

С.М. Кудрявцев, Г.В. Пачурин, Д.В. Соловьев, В.А. Власов

ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ, ПРОИЗВОДСТВА И МАТЕРИАЛЫ КУЗОВА СОВРЕМЕННОГО АВТОМОБИЛЯ



Нижний Новгород 2010

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
НИЖЕГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
им. Р.Е. АЛЕКСЕЕВА

С.М. Кудрявцев, Г.В. Пачурин, Д.В. Соловьев, В.А. Власов

**ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ,
ПРОИЗВОДСТВА И МАТЕРИАЛЫ КУЗОВА
СОВРЕМЕННОГО АВТОМОБИЛЯ**

МОНОГРАФИЯ

Под общей редакцией С.М. Кудрявцева

Нижегород 2010

УДК 629.113:011.5
ББК 39.33-004
О 0751

Рецензент

Управляющий директор ОАО «Военно-инженерный центр» ГАЗ,
кандидат технических наук *Е.М. Кудряшов*

Кудрявцев С.М., Пачурин Г.В., Соловьев Д.В., Власов В.А.

О 0 751 Основы проектирования, производства и материалы кузова современного автомобиля: монография / С.М. Кудрявцев [и др.]; под общей редакцией С.М. Кудрявцева. – Н. Новгород, 2010. – 236 с.

ISBN 978-5-93272-734-8

Рассмотрены вопросы современного кузовостроения. Приведено описание компьютерных технологий проектирования кузовных автомобильных конструкций с примерами и иллюстрациями, а также примеры производства и основы технологии изготовления кузовов современных автомобилей. Рассмотрены перспективные методы проектирования кузовов различных автомобилей и особенности применения различных материалов для производства кузовных конструкций, в том числе пластмасс и композитных материалов.

Монография может быть использована в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению 190100 «Наземные транспортные системы» специальностей 190201 «Автомобиле-и втотракторостроение», 190202 «Многоцелевые гусеничные и колесные машины», магистрантов и аспирантов. Издание может быть полезно для конструкторов и специалистов, занимающихся вопросами проектирования, расчета и испытания кузовов автотранспортных средств, а также специалистам по технологии и материалам применяемым в кузовостроении.

Рис. 67. Табл. 14. Библиогр.: 28 назв.

УДК 629.113:011.5
ББК 39.33-004

ISBN 978-5-93272-734-8

© Нижегородский государственный
технический университет
им. Р.Е. Алексеева, 2010
© Кудрявцев С.М., Пачурин Г.В.,
Соловьев Д.В., Власов В.А., 2010

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	5
1. КОНСТРУКЦИЯ КУЗОВОВ И НАЗНАЧЕНИЕ АВТОМОБИЛЯ	7
1.1. Кузова легковых автомобилей.....	7
1.1.1. Особенности конструкций кузова легкого автомобиля	7
1.1.2. Типаж легковых автомобилей	10
1.2. Кузова и кабины грузовых автомобилей.....	16
1.3. Автобусы и их кузова.....	33
2. ОБЩАЯ МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ КУЗОВОВ	48
2.1. Основные вопросы проектирования кузова.....	48
2.2. Основы композиции автомобиля.....	52
2.3. Техничко-экономическое обоснование проекта.....	58
2.4. Общая компоновка кузова.....	63
2.5. Общий анализ эргономических требований.....	65
2.6. Проектирования кузова автобуса.....	80
3. ТЕХНОЛОГИИ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ КУЗОВА	88
3.1. Разработка внешнего вида автомобиля в системе <i>3D Studio MAX</i>	89
3.2. Разработка поверхностных моделей в программе <i>Rhinoceros 3D</i>	95
4. ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА АВТОМОБИЛЬНЫХ КУЗОВОВ	104
4.1. Взаимосвязь конструкции кузова и технологии его производства.....	104
4.2. Процесс сборки-сварки кузова.....	109
4.2.1. Технологический процесс сборки-сварки кузовов легковых автомобилей.....	111
4.2.2. Технологический процесс сборки-сварки кабин грузовых автомобилей.....	116
4.2.3. Особенности технологического процесса сборки-сварки автобусных кузовов различной конструкции.....	119
4.2.4. Сборочно-сварочная оснастка для производства кузова.....	120
5. МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА КУЗОВА АВТОМОБИЛЯ	124
5.1. Низкоуглеродистые стали для кузовов и их свойства.....	124
5.2. Легкие высокопрочные стали для кузова.....	133
5.3. Листовые стали повышенной коррозионной стойкости.....	139
5.4. Механические свойства некоторых машиностроительных сталей при статических и циклических нагрузках.....	145
5.5. Термообработанные материалы и влияние режима обработки на их свойства.....	153
5.5.1. Влияние степени предварительной деформации материала.....	153

5.5.2. Влияние скорости технологической деформации материала.....	156
5.5.3. Поверхностное пластическое деформирование.....	158
5.5.4. Сварные соединения и влияние технологии сварки	160
5.5.5. Сравнение влияния объемной деформации и ППД на материал.....	163
5.6. Алюминий в современном кузовостроении.....	167
5.6.1. Примеры использования алюминия в кузовостроении.....	172
5.6.2. Механические свойства алюминиевых сплавов.....	175
5.7. Термообработанные алюминиевые сплавы.....	179
5.7.1. Влияние степени предварительной деформации.....	179
5.7.2. Влияние скорости пластической деформации.....	180
5.8. Прогнозирование коррозионной долговечности формированных металлов и сплавов.....	182
5.8.1. Влияние структуры и свойств поверхности на физические механизмы коррозионно-усталостного разрушения сплавов.....	182
5.8.2. Сравнительная оценка долговечности в коррозионной среде и на воздухе деформированных конструкционных материалов кузова...	190
5.8.3. Сопротивление коррозионно-усталостному разрушению материалов.....	195
6. НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ В КУЗОВОСТРОЕНИИ	197
6.1. Применение пластмасс в кузовостроении.....	197
6.2. Стекло в кузове автомобиля.....	208
6.3. Стеклокристаллические материалы.....	211
Библиографический список	215
Приложения	218

ВВЕДЕНИЕ

Автомобильный транспорт играет важную роль в жизни современного общества, обеспечивая удовлетворение потребностей в перевозке грузов и пассажиров. В системе других видов транспорта, особенно в городе, автомобили занимают значительное место и развиваются вместе с другими видами транспортных средств.

Кузов, с точки зрения назначения автомобиля как транспортного средства, представляет собой некоторую емкость для перемещения людей, грузов или средств обслуживания. Форма кузова – отражение существующего уровня развития техники, организации и уровня жизни, а также взглядов на функции автомобиля. С течением времени эта форма существенно изменялась и развивалась с учетом изменения вкуса потребителей и назначения автомобиля. На изготовление кузова затрачиваются в большом количестве относительно дорогие и дефицитные материалы. Степень износа кузова как несущей системы определяет возможность дальнейшей эксплуатации автомобиля.

Поэтому обеспечению достаточной прочности и жесткости кузова придается большое значение как при проектировании, так и при его изготовлении, а также в эксплуатации. С этой целью необходимо следить за техническим состоянием путем обеспечения своевременного и качественного обслуживания и ремонта кузова. Вследствие очень широкого распространения автомобилей их долговечность является весьма актуальной проблемой. Наиболее важный агрегат легкового автомобиля – это кузов, поэтому целесообразно изучение факторов, влияющих на его срок службы. Стоимость кузова современного легкового автомобиля, автобуса или специального автомобиля составляет 45–50% от общей стоимости автомобиля. Экономичность автомобильного кузова прямо пропорциональна его долговечности и обратно пропорциональна стоимости его изготовления, ремонта и поддержания его в технически исправном состоянии.

У безрамных автомобилей кузов является единой несущей конструкцией. Каждый кузов является несущим, ибо воспринимает все внешние и внутренние силы, обусловленные весом пассажиров и груза. В автомобилях рамной, или интегральной, конструкции кузов также воспринимает определенную часть эксплуатационной нагрузки, а при авариях и ДТП – основную часть аварийной нагрузки. По этой причине в кузовах легковых автомобилей устанавливают специальные энергопоглощающие элементы, которые снижают последствия столкновения на людей, находящихся в кузове.

Конструкция кузовов, в особенности легковых автомобилей, переживает период бурного развития, в результате чего появляются все новые разновидности типа кузова. Происходит некоторое стирание четких граней определенных групп, что связано с насыщением автомобильного рынка и поиском новых

групп покупателей, чьи потребности ранее не были учтены в полной мере. Это относится не только к легковым, но и к другим типам автомобилей, в том числе грузовым, автобусам и специальным автомобилям.

Изменяется не только конструкция кузова, но и комплектация его различным оборудованием для механизации и автоматизации с целью повышения прежде всего безопасности удобства и комфорта водителя и пассажиров. Это относится к подушкам безопасности, механизации кресел, электроприводу стеклоподъемников и зеркал обзора и т.д. Значительно большее внимание уделяется удобству входа и выхода, размещению в салоне пассажиров автобусов, а также их безопасности за счет организации обязательных запасных выходов и т.д.

Для грузовых автомобилей несущей конструкцией является рама. Особенность рамы заключается в том, что она относительно простая по конструкции и позволяет модифицировать автомобиль без больших изменений несущей конструкции.

1. КОНСТРУКЦИЯ КУЗОВОВ И НАЗНАЧЕНИЕ АВТОМОБИЛЯ

1.1. Кузова легковых автомобилей

1.1.1. Особенности конструкция кузова легкового автомобиля

В конструкции легкового автомобиля кузов является основой, на которой размещаются все остальные узлы и агрегаты, а также водитель, пассажиры и багаж. Кроме того, кузов влияет на создание таких свойств автомобиля, как аэродинамика, дизайн, пассивная безопасность, комфорт и эргономика внутреннего пространства салона автомобиля. Через кузов передаются все эксплуатационные и аварийные нагрузки, действующие на автомобиль. Поэтому кузов должен быть прочным и жестким с точки зрения эксплуатационных нагрузок и энергоемким при действии аварийных нагрузок. Кузов состоит из каркаса, или остова, создающего прочность и жесткость, а также панелей обшивки и оперения, создающих аэродинамику и внешний вид, дверей, крышек люков, капота и багажника. Кроме того, на кузов устанавливают стекла, обтекатели и другое оборудование. По внешнему виду кузова люди отличают один автомобиль от другого.

Таким образом, кузов является зрительным символом данного автомобиля и всех его технико-эксплуатационных и потребительских свойств. Поэтому разработке кузова уделяется очень большое внимание. На рис. 1.1 показаны основные части кузова легкового автомобиля. В тоже время конструкция кузова достаточно сложная как с точки зрения конструкторской разработки, так и с точки зрения его производства. Так, при относительно малом объеме подкапотного пространства в нем должны размещаться несколько узлов и агрегатов. Сюда относятся двигатель с коробкой передач, передний мост с рулевым и тормозным управлением, подвеска передних колес и другие узлы и детали. Все они должны быть размещены так, чтобы обеспечить свободный доступ к каждому из них для возможности их снятия или установки при сборке автомобиля и при ремонте. Крышка капота, переднее оперение должны при этом обеспечить необходимый дизайн передней части автомобиля, а каркас, который поддерживает все перечисленные детали и узлы, – необходимую прочность и жесткость. Кроме того, вся конструкция передней части автомобиля должна принять на себя основную долю энергии удара при столкновении автомобиля с препятствием или другим автомобилем в условиях ДТП.

При этом не следует забывать, что основное назначение автомобиля – перевозка людей и груза. Поэтому главным по назначению следует считать салон автомобиля. В грузовых автомобилях – это грузовой кузов.

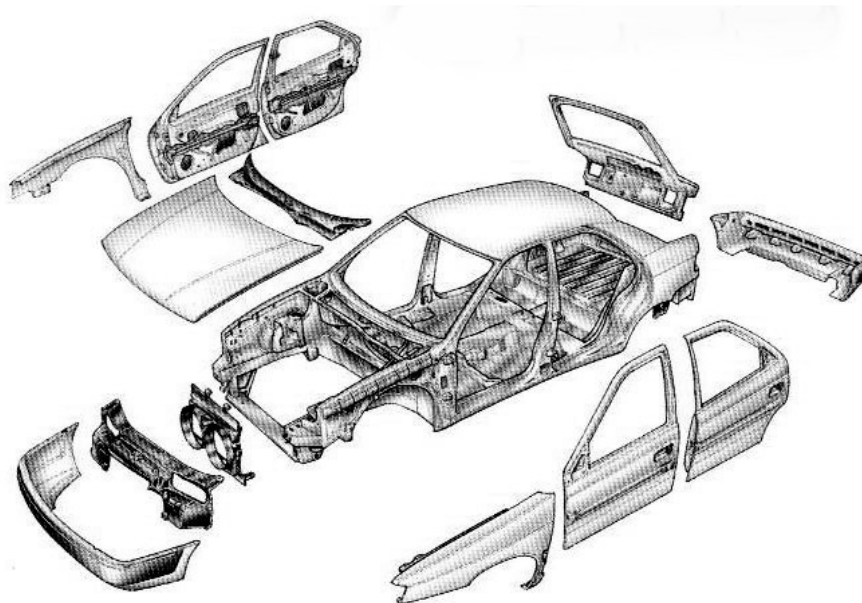


Рис. 1.1. Основные части кузова легкового автомобиля

В кузове легкового автомобиля имеется еще один отсек, или багажник, для размещения багажа, инструмента и запасного колеса. Там же размещается и топливный бак. Некоторое представление о размещении людей и агрегатов дает рис. 1.2. На этом рисунке видно взаимное расположение агрегатов, пассажирских мест и сиденья водителя на фоне каркаса кузова и его оборудования. Конструктору кузова предстоит решить очень непростую задачу не только по расположению всех узлов, но и обеспечению доступа как водителю, так и пассажирам при посадке и высадке из автомобиля, а также доступа в багажник при погрузке и разгрузке багажа и запасному колесу и инструменту.



Рис. 1.2. «Рентген»-снимок кузова легкового автомобиля

Основу кузова создает каркас, на который крепятся все другие узлы и агрегаты, включая двери, крышки капота и багажника и др. Каркас показан на

рис. 1.3. Он состоит из боковин кузова, в которых сделаны дверные проемы, лонжеронов основания, или порогов в дверных проемах, стоек кузова, на которых крепятся дверные петли и замки панели крыши и панели пола, на которой при наличии привода задних колес выполнен тоннель карданного вала.

Панель передней стенки кузова отделяет пассажирский салон от подкапотного пространства и вместе с брызговиками передних колес и подрамником двигателя образует достаточно жесткий моторный отсек. В задней части кузова имеются также небольшие, но весьма жесткие элементы балочного типа, которые вместе с брызговиками задних колес и стойками заднего окна образуют багажное отделение. Панель, отделяющая багажник от пассажирского салона, устанавливается в кузов или с помощью съемных элементов крепления или приваривается. В одном случае повышается жесткость и прочность конструкции кузова, а в другом –увеличивается объем багажника и появляется возможность перевозки длинных предметов типа холодильника, дивана и т.п.

В проемы переднего и заднего окон вставляются специальные стекла, при этом в переднее окно обязательно устанавливают травмобезопасное трехслойное стекло типа «триплекс». В заднее окно – закаленное стекло типа «сталинит». Установка стекол в настоящее время проводится путем приклеивания их к кузову специальным клеем, что обеспечивает удержание стекол в проеме кузова даже при столкновении автомобиля с препятствием и тем самым удерживает людей в кузове в процессе ДТП.

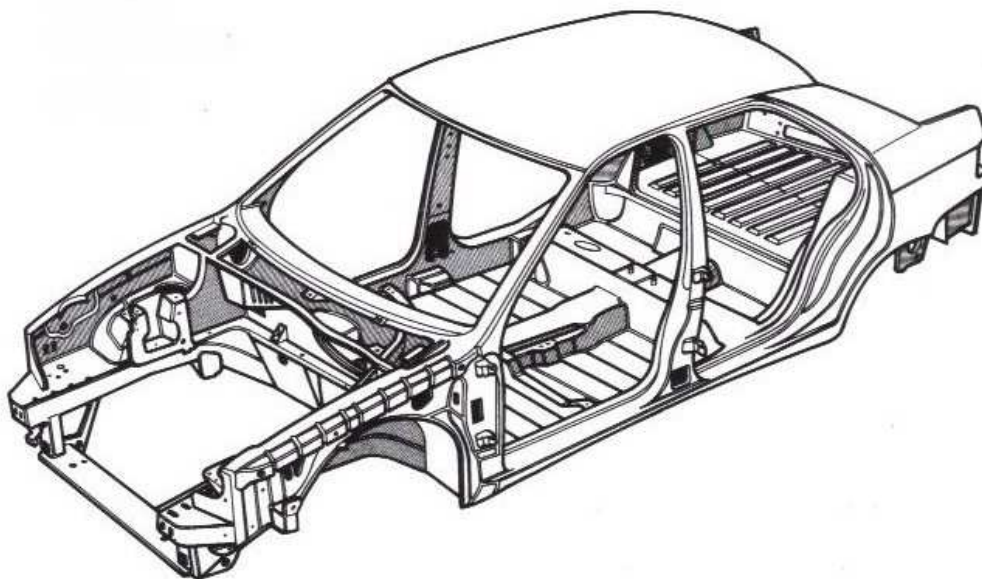


Рис. 1.3. Каркас кузова несущего типа легкового автомобиля

Кроме того, следует отметить, что приклеивание стекол повышает прочность и жесткость кузова и способствует повышению его долговечности. Кроме того, стекла повышают комфорт в салоне при тонировании его в допустимых пределах, при этом уменьшается теплообмен в салоне кузова с окружающим пространством.

1.1.2. Типаж легковых автомобилей

При классификации кузова обращают внимание на форму и компоновку кузова (для легковых – седан, кабриолет и др.), характеризующих его вместимость, устройство крыши, количество дверей и т. п. Различают следующие основные типы современных кузовов легковых автомобилей: седан четырехдверный закрытый; кабриолет с открывающимся верхом; универсал с вагонной компоновкой задней части кузова, а также кузова хэтчбек, мини-вэн, лимузин, хардтоп, лимузин, пикап и др. В настоящее время получили распространение кузова типа хэтчбек, универсал и мини-вэн.

Одним из основных признаков хэтчбека является двухобъемная форма со смещением ветрового стекла и переднего щита салона вперед – это всегда представляет собой компромисс между передней обзорностью и доступом к двигателю, успешно реализуемый при повышенной габаритной высоте. Продвижение переднего щита салона вперед ограничено, в частности удобством входа – выхода, через брызговик переднего колеса. Для легкового автомобиля со средней габаритной высотой и невысоким уровнем пола расположение переднего щита салона в районе плоскости передней оси не представляет проблемы по входу - выходу и желательно из соображений общей компоновки. Продвижение салона вперед ограничено силовым агрегатом, передней подвеской и рулевым механизмом.

Силовой агрегат такого автомобиля должен обладать некоторыми особенностями: продольным расположением двигателя над осью передних колес, большей частью в свесе, меньшей – внутри базы. Укорочение переднего свеса за счет смещения двигателя назад нецелесообразно, так как затрудняется доступ к нему через капот, уменьшается объем салона за счет смещения щитка назад.

Повышенный, по сравнению с базовым седаном, уровень пола кузова позволяет получить некоторые дополнительные компоновочные преимущества. Так, появляется возможность увеличения объема системы выпуска отработавших газов и размещения ее полностью под полом для дальнейшего снижения токсичности и шумности в салоне, что дает возможность укоротить задний свес и более рационально скомпоновать багажное отделение. Объем топливного бака также может быть больше, чем у седана. Это полезно особенно для дальних поездок. Конструкция бака проще, чем у седана, благодаря большей высоте пола. Бак может быть как пластмассовым, так и сварным из стального листа. Расположение бака под полом в колесной базе оптимально с точки зрения его безопасности при заднем и боковом ударе. С точки зрения развесовки, расположение бака внутри базы также полезно, так как его переменная масса оказывает меньшее влияние на изменение центра масс автомобиля.

Повышение пола позволяет повысить общую безопасность автомобиля, в том числе пассивную. Увеличение высоты силовых элементов кузова, располо-

женных под полом, способствует повышению жесткости кузова, т. е. его долговечности, уменьшению деформаций салона при ударах (пассивная безопасность) и улучшению управляемости (активная безопасность). Последний фактор несколько уравнивает повышение центра тяжести, впрочем, некритическое с точки зрения устойчивости. При лобовом ударе силовой агрегат больше уходит под пол и меньше внедряется в салон за счет большего перепада высот, чем у седана. Восприятие бокового удара происходит также более благоприятно мощными продольными и поперечными силовыми элементами под полом. На высоте, где у базового седана расположены точки «Н» водителя и пассажиров и боковой удар воспринимают только двери и каркас сидений, у хэтчбека находится панель пола и ноги пассажиров ниже колен. Даже при внедрении в боковую часть салона бампера ударяющего автомобиля для ног требуется меньше места, чем для туловища, т. е. вероятность тяжелых повреждений меньше, чем в седане.

С точки зрения функциональной принадлежности, универсал — это грузопассажирский кузов с тремя или пятью дверями и, как правило, вагонной компоновкой задней части, то есть кузов с одним основным рядом сидений или одним основным и одним дополнительным и двумя или тремя дверями. Для вагонной задней части машины в 70-е годы придумали название «хэтчбек», то есть с дверцей в задней стенке.

В соответствии с отраслевым стандартом с 1 января 1985 года приказом по управлению конструкторских и экспериментальных работ Министерства автомобильной промышленности СССР были определены типы кузовов легковых автомобилей.

В России принято называть хэтчбеком пятидверную легковую машину с покатой задней стенкой. Но с функциональной точки зрения такой кузов называется «седан» – конструкция с двумя основными рядами сидений. Седан может быть двух-, трех-, четырех- и пятидверным с выступающим сзади багажником (то есть трехобъемным) или покатой задней стенкой (двухобъемным) и даже с вагонной компоновкой. В первом случае мы назовем его седан-нотчбек (*notch* — по-английски «выемка», «зарубка», «вырез» см. П 1), во втором – фастбек (две или четыре, как у «Победы», двери) или хэтчбек (три или пять, как у «Иж-Комби»).

В хэтчбеках пассажирский салон и багажное отделение представляют собой единое целое. Багажник, как правило, имеет меньший объем, чем у седанов, но складывающиеся задние сиденья и задняя дверь размером от крыши до бампера позволяют грузить и перевозить в хэтчбеке достаточно громоздкие предметы, а потому автомобили с этим типом кузова стали находкой для практических автовладельцев.

Был период, когда покупательский спрос на хэтчбеки достиг такого уровня, что некоторые автомобильные аналитики поторопились объявить обречен-

ными на вымирание не только универсалы, с которыми хэтчбеки конкурируют в силу собственной универсальности, но даже седаны. Время, однако, расставило все на свои места.

В России это сравнительно новый активно развивающийся тип автомобиля, получивший широкое распространение, благодаря актуальному и эмоциональному дизайну и высоким эксплуатационным свойствам.

В кузове хэтчбека выделены два отсека – моторный и пассажирский, который объединён с багажником. Поскольку основное назначение хэтчбека состоит в перевозке людей, то багажнику отведена вспомогательная роль. При необходимости перевозки груза задние сиденья можно сложить, тем самым увеличив объём багажного отделения.

Хэтчбек бывает трёх- и пятидверным. В особо малом классе хэтчбеки почти все с тремя дверями. Трёхдверный покупается людьми, ценящими индивидуальность, к тому же он более спортивен, стремителен, изящен. Пятидверная версия обычно приобретается в качестве семейной машины, но, тем не менее, сохраняет свои эстетические свойства за счет динамичного силуэта.

Мини-вэны – скорее, это «хорошо забытое старое», попытка вернуть ценное, что было потеряно по дороге 100-летней эволюции автомобиля. Первые автомобили выросли из конных повозок и имели большую габаритную высоту, которая при жёсткой крыше превышала два метра. Самые первые имели двигатель под задним сиденьем, не занимающий места в плане, – особенность, которую ведущие современные дизайнеры век спустя считают перспективной. Безудержное стремление к скорости и дешевизна бензина привели к увеличению объёма двигателя. Его пришлось расположить спереди, а ведущими колёсами долгое время оставались задние: конструкторская мысль наталкивалась на технологические ограничения.

Рост скорости заставил понижать автомобиль для улучшения устойчивости и уменьшения лобовой площади. С появлением капота и понижением крыши автомобиль становился длиннее и тяжелее.

К началу 30-х годов XX века типичный американский легковой автомобиль имел габаритную высоту около 1,8 м, т.е. человек среднего роста мог заходить в него не сгибаясь. Такой автомобиль имел классическую компоновку с отдельной рамой простой формы, верх которой располагался выше карданного вала. Кузов крепился сверху рамы – это повышало его центр тяжести, но зато пол был совершенно плоским, без тоннеля. Задняя стенка кузова была почти вертикальной, как у универсалов, но двери в ней, как и багажника, обычно не было. Заднее сиденье располагалось вплотную к стенке, над задним мостом, на большом расстоянии от спинки переднего сиденья. Это позволяло задним пассажирам поставить багаж внутри салона на плоский пол перед собой – ценное качество для такси.

Автомобили этого периода часто имели три ряда сидений со складным

средним рядом, как современные лимузины высшего класса. Однако такие автомобили могли иметь двигатель среднего литража и относительно умеренную длину (до 5 м), за счёт отсутствия выступающего сзади багажника, и выпускались в массовом порядке. Колёсная база была длинной за счёт выноса жёсткого переднего моста перед двигателем. Автомобиль такого типа (с двумя рядами сидений) начал выпускать ГАЗ в 1936 году – это М1 («Эмка»). Во второй половине 30-х годов XX века происходило дальнейшее понижение и удлинение легковых автомобилей. Применение независимой передней подвески позволило продвинуть двигатель, а за ним и салон, вперёд; база по отношению к длине кузова стала короче. Появился выступающий сзади объём багажника; стремление понизить центр тяжести привело к опусканию пола салона и выступанию из него тоннеля карданного вала.

В первые послевоенные годы высота типичного легкового автомобиля снизилась до 1,65 м (например, ГАЗ-М20 «Победа» или ГАЗ-12 «ЗИМ»), что близко к современным мини-вэнам. Дальнейшее понижение легковых автомобилей завершилось примерно к началу 60-х годов, и в последние 35-40 лет средняя высота легкового автомобиля установилась на уровне 1,4 м. С тех пор диапазон высоты 1400 ± 100 мм можно считать областью обычных самых массовых легковых автомобилей с кузовами типа седан или хэтчбэк. Дальнейшее понижение кузова проблематично по соображениям комфорта пассажиров на задних сиденьях, поэтому можно предполагать сохранение этого диапазона для большинства легковых автомобилей на обозримую перспективу.

При ограничении комфорта задних сидений или отсутствии их (у спортивных автомобилей) высота может быть меньше 1,3 м. Напротив, габаритная высота свыше 1,5 м характерна для мини-вэнов и внедорожников. Увеличение высоты повышает вес автомобиля и его лобовую площадь, т.е. сопротивление качения и воздуха и расход топлива. Однако из трёх габаритов автомобиля высота влияет на вес меньше длины и, особенно, ширины. В этом можно убедиться, сравнив снаряжённый вес массовых легковых автомобилей за полвека: ГАЗ-М1 => ГАЗ-21 => ГАЗ-24 => ГАЗ-31105. Эта величина колебалась в довольно узких пределах: $1450 \div 1500$ кг – и не имеет заметной тенденции к снижению, хотя габаритная высота от М1 до 31105 понизилась примерно на 300 мм. Сопротивление воздуха, как известно, пропорционально произведению лобовой площади на коэффициент сопротивления. Этот коэффициент у мини-вэна можно снизить за счёт аэродинамически оптимальной однообъёмной формы кузова.

Теоретическими исследованиями и практическим опытом зарубежных фирм доказано, что при заданном полезном объёме в условиях городской эксплуатации и при умеренных скоростях за городом высокий и короткий автомобиль экономичнее. В автострадном (скоростном) режиме экономичнее низкий и длинный автомобиль.

Как недостаток мини-вэнов можно отметить повышенный центр тяжести, особенно с полной нагрузкой, – фактор, ухудшающий устойчивость и управляемость. Это представляет проблему только для очень узких и высоких машин с высотой центра тяжести выше половины колеи.

Каркас кузова представляет собой сварную неразборную жесткую пространственную ферму, образующую так называемую несущую конструкцию, или несущий кузов (рис. 1.4). Основными несущими элементами этой фермы являются такие детали коробчатого сечения, как стойки боковины, лонжероны и пороги пола, боковой брус крыши и различные поперечины. Обычно они изготовлены из листовой стали толщиной 0,6–1,2 мм.

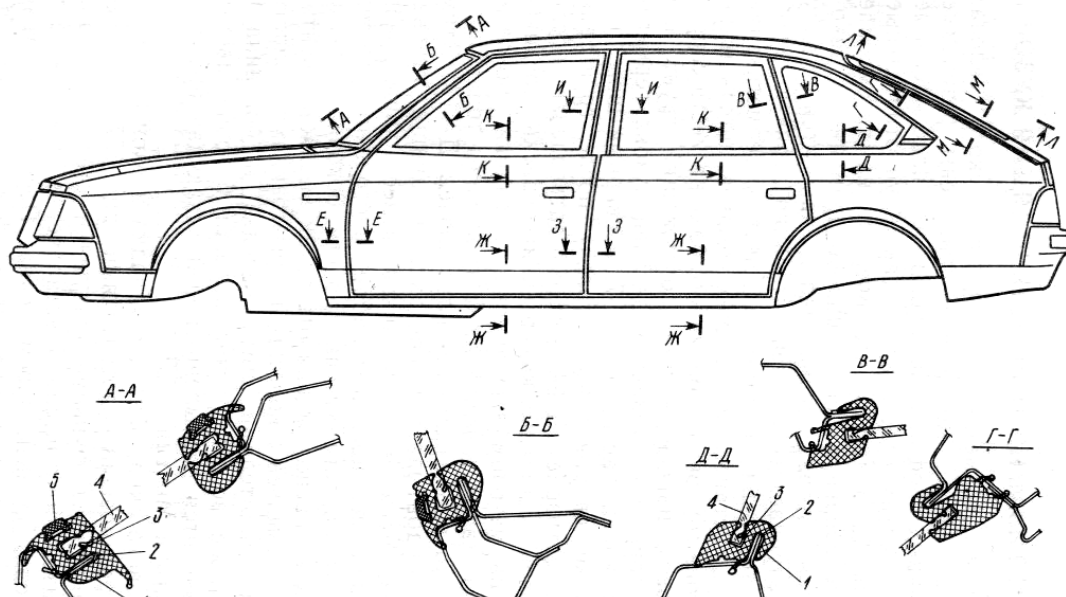


Рис. 1.4. Кузов автомобиля «Москвич» с конструктивными сечениями и уплотнителями в оконных проемах

Эти элементы в сочетании с несущими внутренними и наружными панелями и соединенными деталями обеспечивают требуемую жесткость кузова. В связи с тем, что в автомобиле нет обычной рамы, все нагрузки, возникающие при движении автомобиля, воспринимает кузов. Для передачи нагрузок от колес и подвески на кузов применяются специальные подрамники. Двери кузова легковых автомобилей выполнены в виде двух штампованных панелей: наружной и внутренней, соединенных между собой при помощи фланцев, соединителей и надставок.

Применение дверей рамочного типа позволяет уменьшить толщину стоек двери и увеличить площадь дверного окна. В закрытом положении двери кузовов легковых автомобилей удерживаются замками роторного типа.

Далее показаны примеры некоторых кузовов легковых автомобилей различных типов (рис. 1.5–1.13).

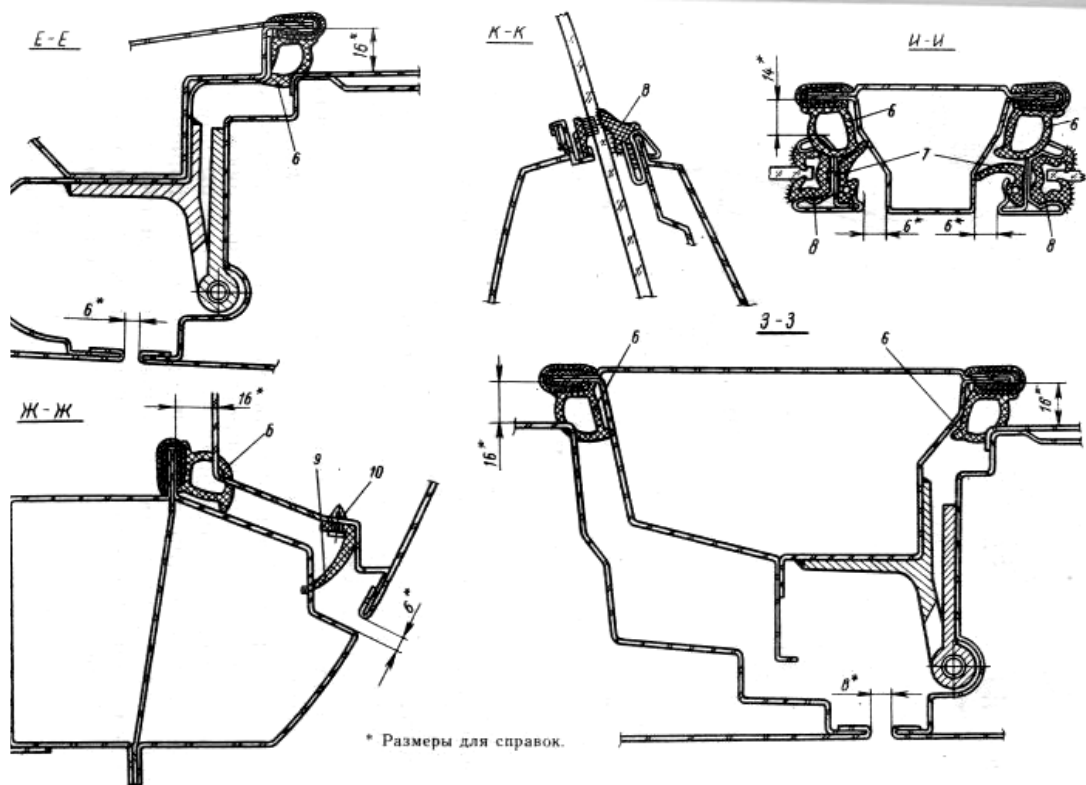


Рис. 1.5. Кузов автомобиля «Москвич» с конструктивными сечениями и уплотнителями в дверных проемах



Рис. 1.6. Автомобиль «Тойота»



Рис. 1.7. Форд «Галакси 3»



Рис. 1.8. Мини-вэн «Хонда»



Рис. 1.9. Рено «Меган» классик



Рис. 1.10. Автомобиль «Киа Авелла»



Рис. 1.11. Газ-3106



Рис. 1.12. Рено Меган



Рис. 1.13. Рено Кунг

1.2. Кузова и кабины грузовых автомобилей

Грузовой автомобильный транспорт является важным звеном в общей системе транспорта. В нашей стране он занимает второе место по объему перевозок, а в США – первое место в связи с наличием развитой сети автомобильных дорог. Для городов автомобиль является фактически единственным видом транспорта, обеспечивающим внутригородские и пассажирские перевозки. Многообразие условий работы требует различных транспортных средств, отличающихся по размерам, грузоподъемности и конструкции. Появился даже термин «развозной» автомобиль, который доставляет продукты или грузы внутри города мелкими партиями грузоподъемностью 0,8–1,5 т. Это связано с сокращением затрат на перевозки таких грузов автомобилями большой грузоподъемности.

Для магистральных перевозок используются грузовые автомобили большой грузоподъемности и получившие распространение магистральные автопоезда общей массой 50 и более тонн. При этом доля автомобилей средней грузоподъемности существенно сократилась, хотя ранее она была преобладающей в общем объеме подвижного состава автотранспорта.

В связи с этим конструкция автомобилей также существенно изменилась.

Развозные автомобили малой грузоподъемности изготавливаются с использованием узлов и агрегатов легковых автомобилей, а иногда и на их шасси. Конструкция кузова чаще всего применяется типа фургон с расположением дверей, облегчающим ручную погрузку. Примерами может служить автомобиль «ГАЗель» ГАЗ-3302 и др.

Особенности конструкции развозных автомобилей показаны на примере автомобиля «Фиат». При этом шасси автомобиля остается таким же или очень близким с легковым аналогом, взятым за основу. Кузов автомобиля в этом случае выполняется типа фургон, объединенного с кабиной водителя, а иногда и с капотом двигателя.

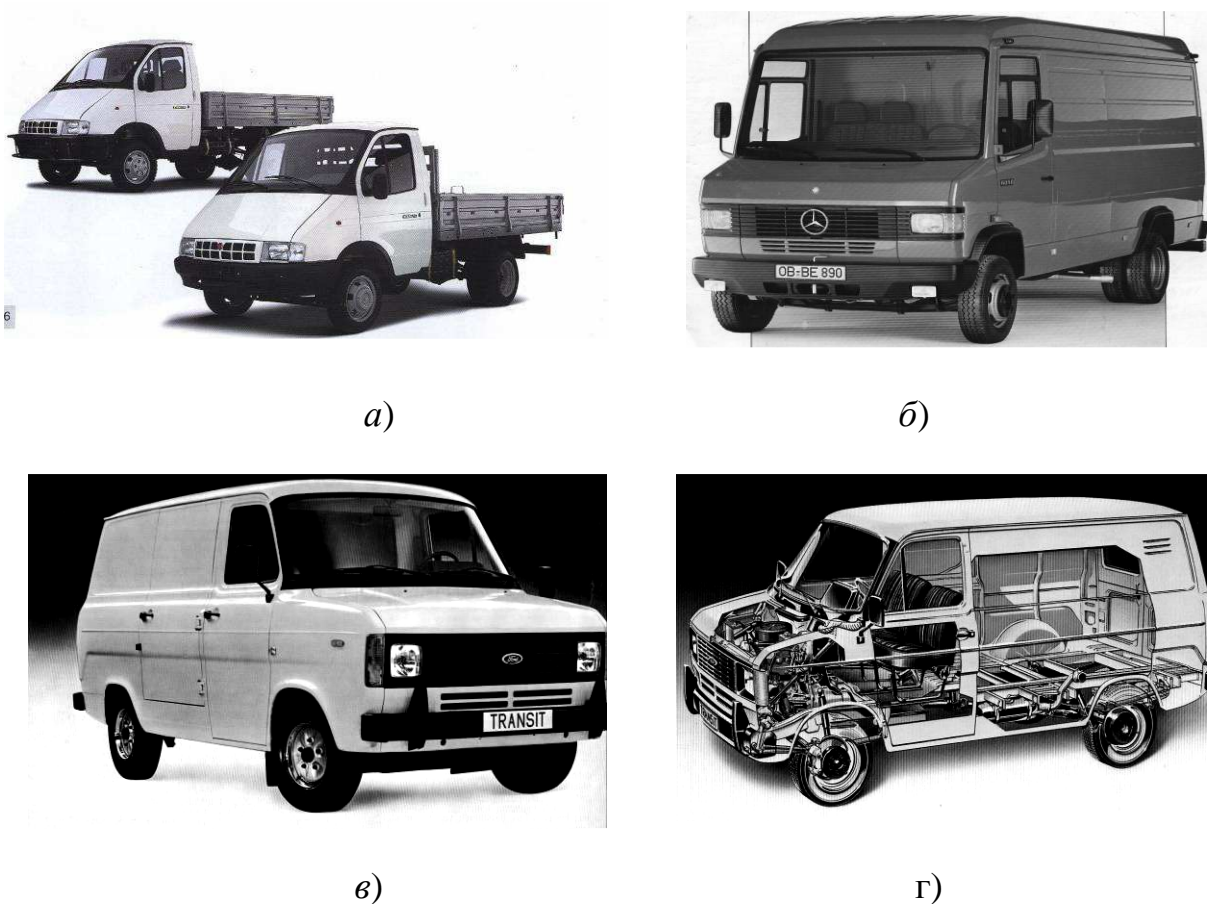


Рис. 1.14. Грузовые автомобили малой грузоподъемности:

а – грузовой автомобиль ГАЗ-3302; *б* – грузовой автомобиль «Мерседес-Бенц»;
в – автомобиль «Форд-Транзит»; *г* – внутреннее устройство кузова

За счет этого удастся решить проблему внешнего вида автомобиля, похожего на легковой, и организовать защиту груза от внешней среды. Для удобства погрузки и разгрузки таких автомобилей делается боковая дверь, как правило, сдвижная и задняя дверь, обычно поворотная. Это дает возможность максимально приблизить автомобиль к месту погрузки-разгрузки.

Для грузовых автомобилей средней грузоподъемности несущим узлом остается только рама, которая и воспринимает все нагрузки от сил, действующих на автомобиль во время движения, которые включают силы тяжести самого автомобиля и груза, реакции дороги, инерционные нагрузки, силу сопротивления воздуха и т.д. Несущей конструкцией грузовых автомобилей является рама, на которой устанавливаются все узлы и системы автомобиля. Через раму передаются все силы, действующие от перевозимого груза, трансмиссии и подвески, систем управления, от сил инерции и сопротивления воздуха. Расположение агрегатов, грузовой платформы или фургона, кабины водителя во многом определяется компоновкой автомобиля и его назначением для обеспечения рационального использования габаритов автомобиля и собственной массы, а также удобства управления и эксплуатации автомобиля. На рис. 1.15 показана рама грузового автомобиля с расположенными на нем агрегатами, а на рис. 1.16 – конструкция рамы автомобиля «КамАЗ».

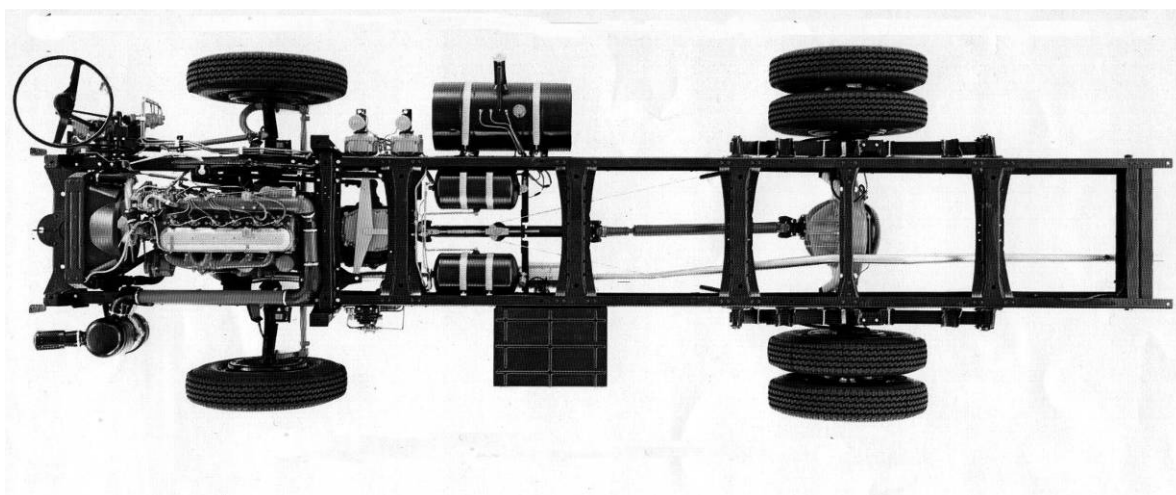


Рис. 1.15. Рама грузового автомобиля «Фиат» в сборе агрегатами

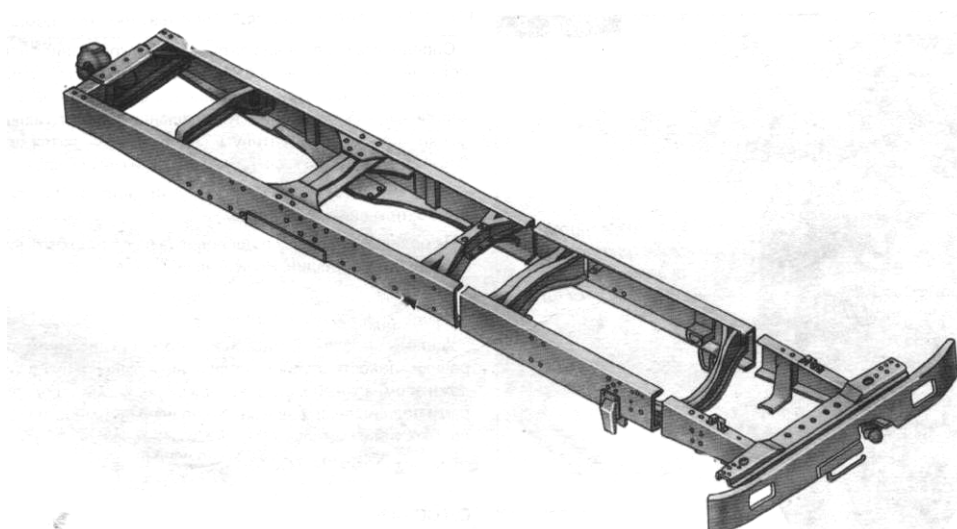


Рис. 1.16. Конструкция рамы грузового автомобиля «КамАЗ»

Магистральные автопоезда проектируются с учетом обеспечения высокой аэродинамики, так как скорости их движения сопоставимы со скоростями легковых автомобилей и при больших размерах лобовой площади создают значительные потери мощности и дополнительный расход топлива. Соответственно, и конструкция (подвески, рама, системы управления, трансмиссия, двигатель) проектируются для обеспечения высокой скорости движения и обеспечения безопасности. Кабина для экипажа магистрального автопоезда оборудуется спальным местом и должна обладать необходимым комфортом для приема пищи, поскольку автопоезд находится в пути несколько суток и покрывает расстояние в несколько тысяч километров. Большое внимание уделяется дизайну автопоезда в связи с жесткой конкуренцией на авторынке седельных тягачей и полуприцепов. В качестве примера следует назвать автомобили «КамАЗ», «МАЗ», а также автопоезда зарубежного производства *Volvo*, *Scania*.

Кузова грузовых автомобилей бывают открытые (платформы, самосвалы и др.) и закрытые (фургоны, цистерны и др.). Выбор кузова начинается с определения области применения и назначения автомобиля и приспособленности его к определенным типам грузов, а также способов погрузки-разгрузки. Так, для перевозки жидких грузов, не имеющих специальной тары (бочек, бутылей, бидонов), применяют автомобили-цистерны, а для перевозки сыпучих грузов – автомобили-самосвалы.

Грузовые автомобили с открытой платформой более универсальны, преимущественно для «тарных» грузов, то есть упакованных в какую-либо тару (ящики, контейнеры, тюки, бочки, бидоны, фляги, а также штучный груз – станки и другое промышленное оборудование, доски, бревна и т.д.). Ранее в нашей стране такой тип грузовых автомобилей был преобладающим, но в настоящее время появляются другие типы кузовов.

Особенностью открытых кузовов автомобилей большой и средней грузоподъемности является большая погрузочная высота грузовой платформы, что затрудняет процесс загрузки-разгрузки и увеличивает стоимость этой операции. Применение погрузочных устройств не всегда возможно и также увеличивает стоимость работ. Кроме того, открытая платформа не защищает груз от атмосферных осадков, пыли, грязи, а также от возможности хищения груза.

Применение автомобилей с кузовом типа фургон снимает эту проблему и в настоящее время получило распространение не только на дальних перевозках, но и на местных маршрутах. Недостатком фургона является невозможность применять погрузочно-разгрузочную технику. Другим преимуществом кузова типа фургон является красивый внешний вид, хорошая аэродинамика и значительная жесткость самого кузова, что разгружает раму автомобиля.

Конструкция кузова на автомобиле КамАЗ-5320 представляет собой металлическую бортовую платформу, состоящую из основания, шести бортов и каркаса с тентом.

Основание платформы выполнено в виде металлического каркаса, состоящего из двух крайних профилей, обвязок и трех промежуточных поперечин каркаса, а также продольных усилителей, связанных семью поперечными балками. Усилители и балки изготовлены из листовой стали толщиной 2,8–3 мм. Борта платформы состоят из металлического каркаса и профилированной панели, изготовленной из листовой стали толщиной 1 мм. Боковые и задние борта откидные. Передний борт прикреплен к основанию платформы. Между боковыми ртами имеются откидные стойки, закрепленные шарнирно в кронштейнах основания. Стойки фиксируются в вертикальном положении специальными болтами. Кроме того, стойки стягиваются между собой цепью с натяжным устройством. Борта запираются задними и боковыми запорами. К поперечным балкам каркаса прикреплены болтами и хомутами два продольных деревянных бруса. На каркасе платформы установлено восемь деревянных щитков, которые изготовлены из досок толщиной 34 мм, соединенных собой металлическими профилями. В бортах платформы имеются гнезда для установки каркаса тента, который состоит из втулок и стоек, устанавливаемых в соответствующие гнезда. Кабины грузовых - закрытого типа, двух- или трехместные. Кабины грузовых автомобилей ЗИЛ-4331, ГАЗ-3307, МАЗ-5335, КамАЗ-5320 – цельнометаллические двухдверные закрытые, корпуса этих кабин сварены из заранее собранных крупных узлов: боковых панелей, панели крыши, задней бели, верхней панели и каркаса. Необходимая жесткость панелей обеспечивается ребрами различной формы: каркаса кабины – коробчатыми замкнутыми сечениями, образуемыми при сопряжении панелей после сварки; крыши – куполообразной ее формой. Основные детали кабины изготовлены из листовой стали толщиной 0,8–1,2 мм.

Кабина грузового автомобиля КрАЗ – закрытая, полуметаллическая (каркас деревянный, облицовка металлическая). Кабины современных автомобилей ЗИЛ, МАЗ, и КамАЗ – трехместные и имеют отдельное одноместное сиденье для водителя и двухместное сиденье для пассажиров). Положение сиденья водителя можно регулировать в горизонтальном направлении, а также изменять наклон подушки сиденья и спинки. Двери кабин, как и двери легковых автомобилей, собраны из наружной и внутренней панелей и навешены на кабину на двух петлях. В закрытом положении двери кабин удерживаются замком и фиксатором. Благодаря наличию на упоре замка внутри кабины автомобиля КрАЗ двух гребней двери могут удержаться на месте в двух положениях: в плотно закрытом состоянии и в неплотно закрытом положении, когда остается небольшой зазор.

Обслуживание двигателя, его систем и других узлов, расположенных под кабиной автомобилей МАЗ и КамАЗ, обеспечивается путем опрокидывания ее вперед на передних опорных шарнирах.

Оригинальной конструктивной особенностью кабины автомобиля КамАЗ является передняя облицовочная панель, при подъеме которой открывается

свободный доступ к отопителю, устройствам очистки и обмывки ветровых стекол, приборам электрооборудования, монтажным схемам электрических и пневматических систем, передним опорам кабины и т. д. Облицовочная панель состоит из двух частей: верхней и нижней, соединенных между собой болтами. Нижняя облицовочная панель имеет решетку для подвода воздуха к радиатору системы охлаждения двигателя и отверстия под фары. В подтянутом положении облицовочная панель фиксируется двумя телескопическими упорами, состоящими из стойки, обоймы и защелки, фиксирующей упоры при поднятой облицовке. В опущенном положении облицовочная панель запирается двумя замками, которые винтами крепятся к нижней части облицовки.

Современный уровень развития автомобильных перевозок обуславливает непрерывно растущую потребность в выпуске большого количества автомобилей с кузовами специального назначения (рефрижераторами – для перевозки скоропортящихся продуктов; кузова для перевозки сыпучих грузов – зерно, песок, цемент, походные мастерские и др.).

Разнообразие перевозимых грузов и различные требования к их транспортировке нашли отражение в конструктивных особенностях моделей ряда кузовов фургонного типа. Эти кузова специализированы по виду перевозимого груза и типу шасси. Все кузова – типа закрытый фургон. Для перевозки замороженных продуктов применяют изотермические кузова типа фургон.

Грузовые автомобили средней грузоподъемности (до 10 т) обеспечивают грузоперевозки в пригороде и на средние расстояния (в пределах 1000 км) преимущественно по дорогам третьей и четвертой категории, то есть с неусовершенствованным покрытием. Сюда относятся отечественные автомобили КамАЗ-5320, Урал-4332, ГАЗ-3307 и др.

Автомобили высокой проходимости семейства ЗиЛ-433420 поставлены на производство взамен автомобиля ЗиЛ-131Н в 1995 году. У автомобиля все три оси ведущие, что обеспечивает ему высокую проходимость. Автомобиль с грузом в 3 750 кг при движении по твердому грунту без прицепа преодолевает подъем в 35%. Автомобиль имеет возможность преодолевать брод глубиной до 1,4 м по твердому дну. Автомобили выпускаются с лебедкой. Предельное тяговое усилие лебедки – 5 000 кг (рис. 1.17). На автомобиле установлена усиленная пятиступенчатая коробка передач, модернизированная раздаточная коробка, оригинальная рама с лонжеронами толщиной 8 мм. Автомобили выпускаются для МО и в гражданском исполнении и могут комплектоваться карбюраторным двигателем ЗиЛ-508.10 и дизельным двигателем ММЗ Д-245.30Е2. В 2000 году три автомобиля ЗиЛ-433420 были отправлены в северную экспедицию Москва-Якутск-Уэлен, организованную АМО ЗИЛ и клубом «Приключение». Автомобили успешно прошли маршрут протяженностью 13500 км. Второй маршрут – кругосветное путешествие протяженностью 10000 км по маршруту Сиэтл –

Калгари – Торонто – Нью-Йорк – Лондон – Париж – Берлин – Варшава – Минск – Москва.



Рис. 1.17. Автомобиль высокой проходимости ЗиЛ-433420

Автомобили ЗиЛ имеют следующие преимущества:

- высокие эргономические характеристики;
- достаточно высокая проходимость;
- приспособленность к использованию в армии (имеет специальное оборудование).

Автомобильный завод «Урал» образован в 2001 году в результате реструктуризации производственного комплекса «УралАЗ» и является приемником его истории и традиций. Новое предприятие вошло в состав российского холдинга «РусПромАвто». АЗ «Урал» стал основным предприятием в структуре дивизиона «Большегрузные автомобили». В состав дивизиона также входят: Торговый дом «АвтоУрал», предприятие «УралАЗ-Энерго», включающее в себя все энергетические объекты АЗ «Урал», недавно образованное ООО «Социальный комплекс».

В настоящее время автомобильный завод «Урал» занимает ведущие позиции среди производителей полноприводных грузовых автомобилей с колесной формулой 4x4, 6x6, 8x8.

Высокая проходимость, большая грузоподъемность, надежность, простота технического обслуживания сделали автомобили «Урал» незаменимой техникой для различных отраслей промышленности, сельского хозяйства, силовых структур. Миасские грузовики способны эффективно работать при температурах окружающего воздуха от -50 до $+50^0$ С. Автомобили «Урал» имеют высокую ремонтпригодность и рассчитаны на безгаражное хранение.

Главной отличительной особенностью автомобилей семейства «Урал» является высокий уровень проходимости. Способность двигаться по бездорожью обеспечивается мощным двигателем, специальной конструкцией ведущих

мостов, централизованной системой регулирования воздуха в шинах и рядом других конструктивных особенностей.

Автомобили «Урал» способны преодолевать:

- снежную целину глубиной до 1 м;
- ров шириной до 1,2 м;
- вертикальную стенку высотой до 0,55 м;
- водные преграды глубиной до 1,7 м;

На базе шасси автомобилей «Урал» монтируются 180 образцов спецтехники: вахтовые автобусы, подъемные краны, автоцистерны, топливозаправщики, пожарные автомобили, ремонтные мастерские, разнообразные агрегаты для нефтегазового и лесопромышленного комплекса, горной промышленности и коммунального хозяйства. Семейство автомобилей имеет высокую степень унификации по агрегатам и комплектующим, что позволяет снизить затраты на производство, техническое обслуживание и эксплуатацию.

Возможности автомобилей ярче всего проявляются на соревнованиях по преодолению препятствий на местности – на триале. Серийные «Уралы» принимают участие в Европейском чемпионате по триалу (в 2002 году были завоеваны сразу две «золотые» медали) и Кубка России (команда АЗ «Урал» стала бессменным лидером общего зачета с 2002 года).

На предприятии стремятся к освоению новых перспективных ниш на рынке грузовых автомобилей. Наглядное подтверждение этому – постоянное появление новинок. Наряду с классическими моделями «Урал-4320», «Урал-5557», которые покупатели уже давно оценили по достоинству, автомобилестроители предлагают более 300 других моделей и модификаций (рис. 1.18–1.19).



Рис. 1.18. Автомобиль высокой проходимости УРАЛ-43206-0551



Рис. 1.19. Автомобиль высокой проходимости УРАЛ-4320

Оставаясь лидером в производстве внедорожников, АЗ «Урал» намерен в ближайшее время войти в новую для себя рыночную нишу дорожных грузовых автомобилей. Первые образцы этой серии – бортовой «Урал-6363» (4х2) и самосвал «Урал-63645» (6х4) – были представлены на московской международной выставке «MIMS-2004».

С целью выполнения требований потребителей, производящих монтаж оборудования увеличенной массы, в производстве освоены автомобили с усиленным передним мостом, рассчитанным на нагрузку 6,5 т. Для привода специальных установок разработан отбор мощности, позволяющий использовать 100% мощности двигателя при работе на стоянке.

Автомобили УРАЛ-4320-01 и УРАЛ-43202-01 (г. Миасс) с 1988 г. являются модернизированными автомобилями соответственно Урал-4320 и Урал-43202, которые выпускались с 1977 по 1988 гг.

Кузов Урал-4320-01 – металлическая платформа армейского типа с откидным задним бортом, оборудованная боковыми откидными и съемной средней скамейками, съемными дугами и тентом, дополнительными боковыми и передними надставными решетчатыми бортами. Кузов Урал-43202-01 – деревянная платформа с откидными боковыми и задним бортами, оборудованная съемными двумя боковыми и одним передним надставными бортами, предусмотрена установка дуг и тента. Кабина трехместная, с термо- и шумоизоляцией, расположена за двигателем, сиденье регулируется по длине, высоте и наклону спинки. На автомобиле Урал-4320-01 предусмотрена установка лебедки.

В 2001–2002 годах на базе конструкции серийной кабины УРАЛ проведен ряд работ по повышению комфортабельности с кабиной увеличенного объ-

ема. Так называемая «полупортная» кабина стала длиннее серийной на 600 мм, раскладывающиеся пассажирские сиденья сдвинуты назад относительно сиденья водителя, что позволило оборудовать место для отдыха и личных вещей водителя. Это существенно облегчает работу водителей в длительных поездках. Также производятся шестиместные четырехдверные кабины, которые с независимым отопителем на традиционном шасси создают комфортные условия для перевозки персонала. Установка на серийные кабины (как короткие, так и длинные) высокой крыши из полимерных материалов с формованными обивками, позволяет повысить тепло- и шумоизоляционные свойства кабины.

Автомобили «Урал» имеют следующие преимущества :

- высокие эргономические характеристики на автомобилях (высокий уровень тепло- и шумоизоляции в кабинах и фургонах);
- высокая проходимость;
- высокая приспособленность к использованию в армии (имеет специальное оборудование, стоит на вооружении в армии, используется для транспортировки личного состава и различных типов грузов, а также для буксировки техники).

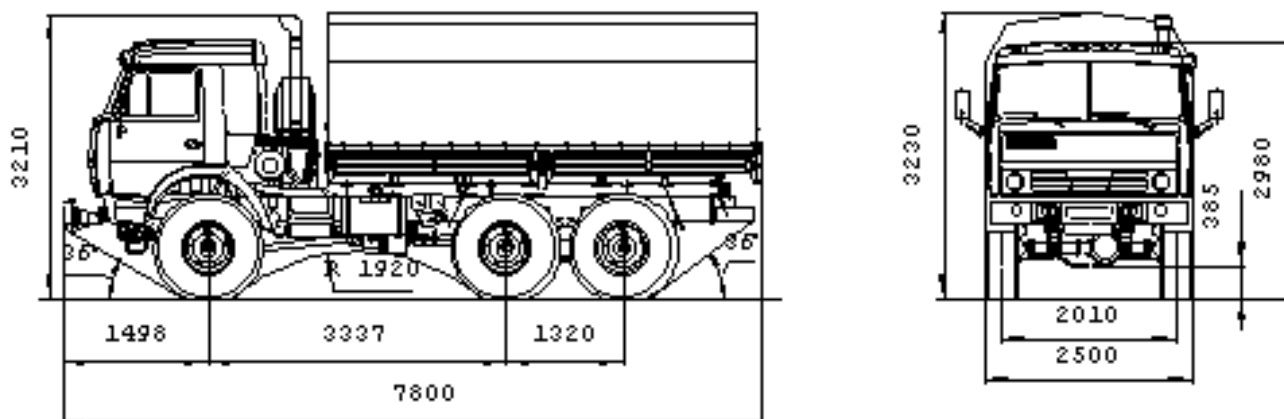


Рис. 1.20. Автомобиль КамАЗ-43114



Рис. 1.21. Автомобиль КамАЗ-6350 "Мустанг"

Бортовой автомобиль-тягач многоцелевого назначения КамАЗ-43114 предназначен для перевозки различных грузов, людей, буксировки прицепов и прицепных систем по всем видам дорог и местности (рис. 1.20). На шасси автомобиля возможен монтаж специализированного оборудования массой до 7 т. Конструкция автомобиля обеспечивает выполнение требований стандартов, а также специальных требований, распространяющихся на автомобили данного класса и назначения.

Специалисты утверждают, что КамАЗ-6350 «Мустанг» (рис. 1.21) – самая энерговооруженная в российской армии. Однако пока военные не спешат покупать ее: для Министерства обороны построено лишь семь комплексов «Мустанг» (каждый комплекс состоит из трех автомобилей – 4х4, 6х6 и 8х8). На автомобиле КамАЗ-6350 «Мустанг» установлена немецкая 16-ступенчатая КПП ZF с переключением по схеме «двойное Н». Схема переключения выполнена в виде буквы «Н», причем чтобы переключать передачи верхнего ряда надо сначала толкнуть рычаг из нейтрالي вправо, а возвращаясь в нижний ряд, рычаг соответственно нужно перевести влево.

В целом четырехосный КамАЗ-6350 остается редкой машиной. Если не учитывать опытные образцы, построено всего около 30 экземпляров; самый крупный заказчик этих машин – Татнефтегеофизика, где вездеходы работают на сейсморазведке.

Автомобиль КрАЗ-5133ВЕ, оборудованный бортовой платформой, предназначен для перевозки различных грузов и людей, буксировки транспортных и специальных прицепов, а также самолетов на аэродромах и может эксплуатироваться по всем видам дорог, бездорожью и пересеченной местности (рис. 1.22). Вид климатического исполнения соответствует ГОСТ 15150 - "У". Автомобиль комплектуется ЗИП. По требованию заказчика автомобиль может комплектоваться предпусковым подогревателем.



Рис. 1.22. Автомобиля КРАЗ - 5133BE 4x4

Автомобили КраЗ имеют следующие преимущества:

- высокая проходимость;
- невысокая цена;
- приспособленность к использованию в армии (имеет специальное оборудование).

Исходя из технических характеристик автомобиля (проходимость, габаритные размеры фургона) и экономических требований (цена, расход топлива и т. д.) видно, что он соответствует предъявленным требованиям, но его характеристики ниже, чем характеристики КамАЗа.

Минский автомобильный завод (МАЗ) – ведущий изготовитель тяжелых колесных машин для армии. В 1991 году специализированное производство, выпускавшее военную технику, было преобразовано в Минский завод колесных тягачей (МЗКТ). В 1991 году на базе существующих мощностей производства специальных колесных тягачей Минского автомобильного завода был основан Минский завод колесных тягачей. На протяжении многих лет он являлся важным научно-техническим и производственным объектом военно-промышленного комплекса бывшего СССР. Сегодня в результате проведенной конверсии во многом изменилось направление деятельности предприятия. Среди выпускаемой продукции все большее место занимает автомобильная техника для различных отраслей промышленности и строительства. Сегодняшняя продукция МЗКТ – это не только полноприводные многоосные автомобили многоцелевого назначения, но и специальные шасси под монтаж различного оборудования: для обслуживания и ремонта нефтяных и газовых скважин, кранового и экскаваторного, пожарной техники и т.д.

Колесное шасси МКЗТ-80211 предназначено под монтаж различного специального оборудования и его транспортировку по дорогам всех категорий и бездорожью.

Несмотря на произошедшие перемены (преобразование МАЗ в Минский завод колесных тягачей), изготовление армейских автомобилей на МАЗе продолжилось. Программа пополнилась грузовиком МАЗ-6317 и его модификациями. Трехосные полноприводные автомобили предназначены для буксировки артиллерийских систем, гусеничной техники, а также перевозки личного состава и различных грузов по дорогам и бездорожью. На базовом варианте и модели 6317-020 установлен турбодизель ТМЗ-8424 мощностью 425 л.с., на модификациях 6317-021 и 63172 применен двигатель ТМЗ-8421, развивающий 360 л.с. На всех машинах использованы 9-ступенчатая механическая коробка передач и одноступенчатая раздаточная коробка с понижающей передачей. МАЗ-6317 может двигаться по колее глубиной 0,7 м и преодолевать двухметровые броды.

Бортовой полноприводный автомобиль повышенной проходимости предназначен для перевозки людей и грузов по всем видам дорог, а также буксировки самолетов на аэродромах. Бортовой полноприводный автомобиль повышенной проходимости МАЗ-6317 был выпущен в 90-х гг. (рис. 1.23). Ярославский дизель мощностью 330 л.с., многоступенчатая трансмиссия, система, изменяющая давление воздуха в шинах, широкопрофильные вездеходные шины, блокировка дифференциалов, большой дорожный просвет позволяют работать на пересеченной местности в составе автопоезда полной массой 44–55 т.

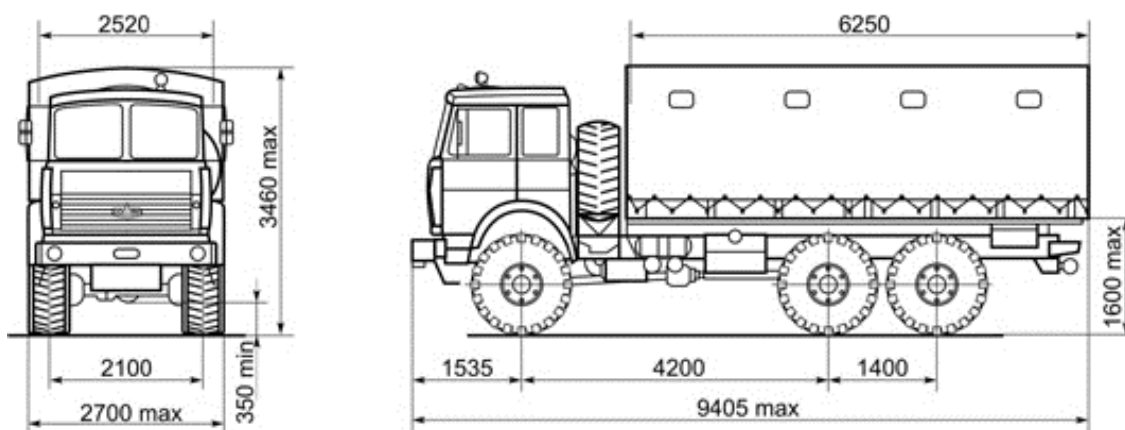


Рис. 1.23. Геометрические параметры автомобиля МАЗ-6317

Совместное белорусско-германское закрытое акционерное общество «МАЗ-МАН» — производитель современных большегрузных автомобилей европейского класса для региональных и международных перевозок.

Производственные мощности завода рассчитаны на выпуск до 2000 автомобилей в год. На производственных площадях располагаются современные цеха, конвейер, складские помещения, площадка для хранения готовой техники, а также административное здание. На предприятии в настоящее время занято 180 человек.

Стремление уже сегодня удовлетворить требования завтрашнего дня позволяет заводу превращать эффективность и экономичность выпускаемых автомобилей в предпринимательский успех покупателей.

Автомобили «МАЗ-МАН» представляют на рынке качественно новый уровень техники, производимой в Республике Беларусь. Она соответствует всем действующим и перспективным требованиям европейских правил и директив, в том числе правилам ЕЭК ООН по нормам Euro 3, регулирующим уровень выхлопа и шумности. Техника ориентирована на заказчиков, предъявляющих повышенные требования к надёжности и качеству автомобиля (рис. 1.24).

Автомобили МКЗТ и МАЗ-МАН имеют следующие преимущества:

- высокая экологичность двигателей автомобилей МАЗ-МАН;

- высокий уровень качества автомобилей МАЗ-МАН;
- высокие эргономические характеристики на автомобилях МАЗ-МАН;
- достаточная проходимость;
- средняя приспособленность к использованию в армии (имеет специальное оборудование, нет разработок специальных фургонов).

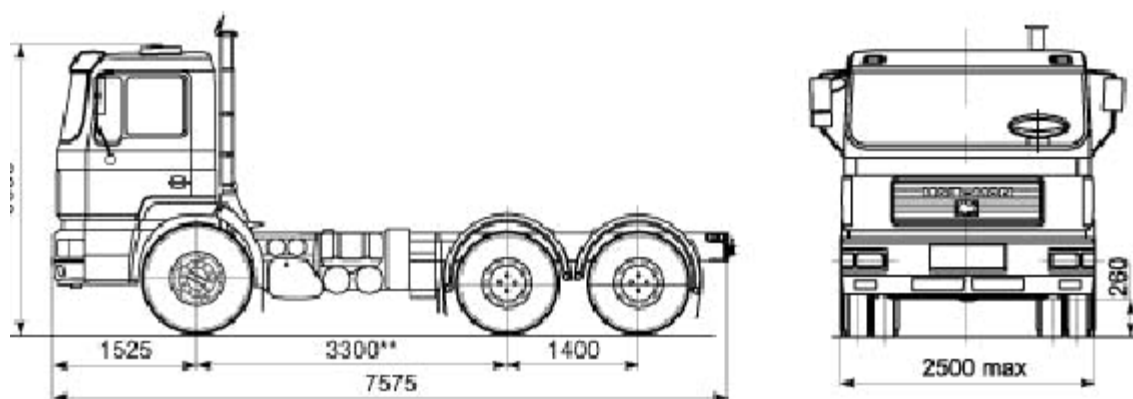


Рис. 1.24. Автомобиль «МАЗ-МАН» 6x4 высокой проходимости

Магистральные автопоезда для дальних перевозок

Из российских производителей наиболее конкурентоспособные автомобили производят Камский автомобильный завод (КамАЗ) и Минский автомобильный завод (МАЗ). КамАЗ производит несколько серий магистральных тягачей, наиболее совершенными из которых являются автомобили семейства 5460 (4x2) и 6460 (6x4). Они рассчитаны на работу в составе автопоездов полной массой 40–46 т. Нагрузка на седло у автомобилей КамАЗ 5460 – 10,8 т, а у 6460 – 17,0 т. Оснащаются 360-сильным мотором 740.50 V8 (Euro-2), сухим однодисковым диафрагменным сцеплением, 16-ступенчатой коробкой передач ZF, планетарными колесными редукторами, задней рессорной или пневматической подвеской собственной конструкции, тормозной системой с АБС, более вместительными, безопасными и комфортными кабинами с повышенным расположением крыши и двумя спальными местами. В составе автопоездов тягачи развивают на трассе скорость 90–100 км/ч (рис. 1.25).



Рис. 1.25. Автомобиль КамАЗ 5460 4х2 (тягач и автопоезд)

В отличие от базовой модели 5460, модернизированный вариант 5460М укомплектован 420-сильным дизельным двигателем КамАЗ-750.80 (Euro-3), передними дисковыми тормозами, задней пневматической подвеской, сцепным устройством пониженного расположения (1100 мм) и более комфортной кабиной на пневматической подвеске с двумя спальными местами. По заказу может устанавливаться новая передняя панель, разработанная фирмой «РИАТ».

Завод МАЗ предлагает 18 моделей седельных тягачей серий 5432, 5433, 5440 (4х2), 6422, 6430 (6х4) и 6425 (6х6). Эти автомобили отвечают требованиям по техническому уровню, экологии, уровню шума и безопасности и могут участвовать в международных перевозках, в том числе в европейские страны. Самыми популярными являются седельные тягачи серии 5432. Они могут работать в составе автопоездов полной массой 28-40 т и комплектуются двигателем ЯМЗ-236БЕ2 мощностью 250 л.с., 8-цилиндровыми ЯМЗ-238ДЕ2 (330 л.с.) и ЯМЗ-7511.10 (400 л.с.). Коробка передач механическая 8- или 9-ступенчатая. Все машины имеют кабину со спальным местом.

Тягачи серии 5440 (4х2) (рис. 1.26) и унифицированные с ними 6430 (6х4) наиболее современные и совершенные из всей гаммы и предназначены для магистральных перевозок в составе автопоездов полной массой до 44 т. Допустимая нагрузка на седельное устройство для модели 544008 составляет 9,8–10,6 т. Дизель ЯМЗ-7511.10 мощностью 400 л.с. отвечает нормам Euro-2 и обеспечивает движение с максимальной скоростью 100 км/ч. Аналогичный тягач 544069 комплектуют 410-сильным дизелем MAN D2866 (Euro-3). В основном грузовые автомобили данной марки используются для транспортировки различных специальных грузов, но данная компания не имеет автомобилей высокой проходимости, и специальных фургонов предназначенных для перевозки пассажиров и специальных грузов



Рис. 1.26. Автомобиль МАЗ 54408

Одним из самых интересных современных магистральных тягачей является французский *Renault Magnum* (рис. 1.27), отличающейся своей уникальной кабиной с ровным полом, полностью изолированной от моторного отсека и высоко поднятой над поверхностью дороги. Автомобиль неоднократно модернизировали и улучшали, он получил титул «Грузовик года». За 15 лет их собрали 85 тыс. экземпляров, что способствовало приданию им имиджа наиболее престижных в мире тяжелых грузовиков. Гамму *Magnum* формируют седельные тягачи, бортовые автомобили и шасси габаритной шириной 2550 мм с колесными формулами 4x2 и 6x2 и размерами базы (3920–6820 мм). Полная масса одиночных машин – 19–26 т, в составе автопоезда 40–44 т. На автомобиль устанавливают два варианта 6-цилиндрового 24-клапанного двигателя *Renault Dxi 12 (Euro-3)* мощностью 440 и 480 л.с., оснащенного новыми электронной системой управления и моторным тормозом *Optibrake*, а также двигатель *Dxi 13 (Euro-5)* мощностью 500 л.с. Стальная рама с высокими лонжеронами имеет модульную конструкцию, позволяя создавать различные модификации по требованиям покупателя.



Рис. 1.27. Автомобиль *Renault Magnum*

Семейство грузовиков *Mercedes-Benz Actros* (рис. 1.28) включает автомобили полной массой от 18 до 41 т, 60 базовых моделей и более 600 модификаций. Это в основном седельные тягачи для магистральных перевозок, бортовые автомобили и специальные шасси для работы в наиболее тяжелых условиях. Колесные формулы от 4x2 до 12x6 с многочисленными вариантами колесных баз, несколькими типами двигателей мощностью от 320 до 612 л.с.

Основными силовыми агрегатами являются 12- и 16-литровые дизельные двигатели *OM501LA V6* и *OM502LA V8* с турбонаддувом, промежуточным охлаждением и электронным управлением. Для работы с ними предназначены механические или автоматизированные 16-ступенчатые коробки передач, облегченные ведущие мосты с главной гипоидной передачей и блокируемым дифференциалом.

Тормоза вентилируемые дисковые на всех колесах с системами *ABS* и *ASR*. Подвеска рессорная, пневматическая или комбинированная. Кабины типов *S*, *M*, *L* и *MegaSpace* с различными планировками интерьера, одним или двумя спальными местами, ровным полом и внутренней высотой до 1920 мм. Для удовлетворения требованиям *Euro-4* все двигатели сделаны по технологии *BlueTec* с использованием избирательной системы каталитической очистки *SCR* (*Selective Catalytic Reduction*).



Рис. 1.28. Автомобиль *Mercedes Actros MP11*

Как уже было отмечено, большинство магистральных автоперевозок осуществляется седельными тягачами. Это преимущество сохранится в обозримом будущем. Поэтому основными аналогами разрабатываемому магистральному модульному автопоезду являются автопоезда в составе седельных тягачей российского и зарубежного производства.

Типичным представителем европейских магистральных автопоездов являются автопоезда в составе тягача *Scania R*-серии (рис. 1.29). В основе – наиболее оптимальная модульная концепция проектирования, предоставляющая широкие возможности для создания многочисленных производных вариантов машин.



Рис. 1.29. Scania R-series с кабинами Topline

Количество унифицированных базовых моделей – более 450 вариантов. В пределах каждой серии покупателю предоставляются на выбор несколько типов кабин над двигателем (серии *P* и *R*) и капотных вариантов (*T*), дизельных двигателей, трансмиссий и основных узлов, типов шасси с различными колесными формулами и исполнениями, включая версии с разными конструкциями подвески, варианты со стандартным или увеличенным дорожным просветом, размерами колесной базы, разнообразным вспомогательным оборудованием, многочисленными видами кузовов и специального оборудования. По назначению весь модельный ряд подразделяется на три группы: магистральные тягачи с кабинами серий *R R* и *T*, шасси, грузовики и самосвалы для работы в тяжелых дорожных условиях. На выбор предлагаются дневные и удлиненные кабины с внутренней высотой 1700, 1900 и 2200 мм. На грузовиках серии *R* установлена рама с новой пневматической подвеской ведущего моста на четырех пневмобаллонах.

1.3. Автобусы и их кузова

Автобусы подразделяют по видам пассажирских перевозок на городские, пригородные, районные (местного сообщения), междугородные, туристские, школьные и служебного пользования. В городских автобусах, предназначенных для перевозок пассажиров в городах, применяют планировку пассажирского помещения с двумя или тремя рядами сидений и широким центральным проходом между сиденьями. Широкие двери и расположенные около них накопительные площадки, небольшая высота подножек и уровня пола пассажирского помещения над поверхностью дороги повышают удобства входа в городской автобус и выхода из него.

Пригородные автобусы, используемые для сообщения города с пригородом, изготавливают на базе городских, но по сравнению с последними они имеют большее число мест для сидения.

Автобусы районного или местного сообщения применяют для перевозки пассажиров между небольшими городами и населенными пунктами, а также внутри населенных пунктов, для служебных перевозок сотрудников предприятий и учреждений, обслуживания санаториев и курортов, маршрутных таксомоторных перевозок и т. п.

Автобусы предназначены для массовых перевозок пассажиров и подразделяются на городские междугородные и пригородные. В нашей стране автобусы классифицируются по длине: особо малого класса – до 5 м; малого класса – до 7 м, большого – до 11 м и особо большого – до 17 м.

В свою очередь, городские автобусы разделяются на подгруппы А и Б, при этом автобусы подгруппы А – для преимущественной эксплуатации только в городе, имеют небольшое количество посадочных мест; автобусы подгруппы Б – с преобладанием мест для сидящих пассажиров.

Междугородные автобусы делятся на подгруппы А, Б и В. При этом подгруппа А – это автобусы для сообщения между городом и пригородом (удаленность до 50 км); подгруппа Б – для местных перевозок на сельских маршрутах, В – для маршрутных перевозок. Все они оборудуются сиденьями, допускают провоз небольшого количества стоящих пассажиров в проходах и имеют поручни и стойки.

Автобусы дальнего следования подразделяются на группы: А – для межобластного и межреспубликанского сообщения; Б – туристические и экскурсионные. В этих автобусах допускается провоз только сидящих пассажиров, устанавливаются специальные багажники, туалет, гардеробы, буфет и т.д.

Специальные автобусы предназначены для перевозок пассажиров, объединенных одной целью: вахтовые автобусы, посадочные автобусы в аэропортах для обслуживания авиапассажиров, школьные автобусы и т.п.

По международной классификации автобусы как транспортные средства для перевозки людей относятся к категории «М» и подразделяются на подкатегории: М₁ – микроавтобусы на шасси легковых автомобилей с числом мест до 9, М₂ полной массой до 5 т, и подкатеорию М₃ полной массой свыше 5 т.

Минимальное число мест в автобусе – девять. Транспортные средства с числом мест до восьми включительно относятся к легковым автомобилям.

Автобусы особо малого класса проектируются на шасси легковых автомобилей и предназначаются для работы в качестве маршрутных такси или служебных автомобилей, а также используются в качестве семейного автомобиля. При этом по сравнению с базовым автомобилем изменяется компоновка салона, а иногда расположение дверей. Пример такой компоновки салона микроавтобусов приведен на рис. 1.30.



Caravelle GL

Рис. 1.30. Микроавтобус Фольксваген «Каравелла»

Такие автобусы позволяют совместить преимущества легкового автомобиля с точки зрения движения его в городском потоке и возможности автобуса при небольшом количестве пассажиров.

В специальных автобусах некоторые показатели комфорта и удобства размещения пассажиров имеют худшие значения, чем у других автобусов, особенно городских, туристических и т.д.

В связи с тем, что в период до 1991 г. отечественная автомобильная промышленность работала в условиях отсутствия конкуренции, что тормозило совершенствование конструкции автомобилей и их свойств. В то же время требования к автомобилям на мировом рынке значительно выросли, что требует значительных вложений в автомобильное производство для достижения современного уровня качества автомобилей и их конкурентоспособности.

Другие типы автобусов, как правило, в своей основе имеют шасси грузового автомобиля с некоторыми изменениями, связанными с особенностями компоновки. Так, большие городские автобусы имеют заднее расположение двигателя, что увеличивает салон и повышает комфорт размещения пассажиров. Это, в свою очередь, изменяет расположение узлов трансмиссии и системы управления двигателем и трансмиссией. Пример такой компоновки показан на рис. 1.31.

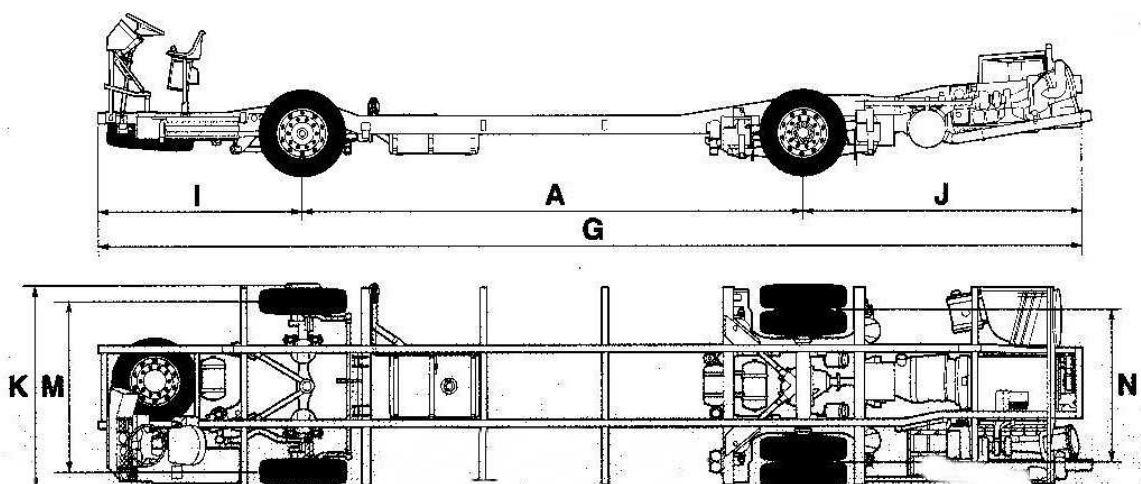


Рис. 1.31. Шасси городского автобуса «Вольво»

В этом случае увеличивается передняя площадка для удобства входа и выхода пассажиров и улучшается развесовка по осям, особенно для пустого автобуса. Кроме того, такая компоновка облегчает проведение технического обслуживания и ремонтных работ. Аналогичная компоновка применяется на отечественных автобусах ЛиАЗ-5256, НефАЗ-52хх, белорусских автобусах МАЗ-105, на автобусах венгерского производства «Икарус» и других.

Результатом этого процесса является обновление моделей автобусов ПАЗ, ЛиАЗ, организация новых автобусных заводов или появление автобусного производства на существующих автозаводах. Особенности новых автобусов являются увеличение салона для пассажиров, более удобный вход и выход из салона автобуса и другие показатели комфорта. Кроме того, претерпевает изменения общая компоновка автобуса, размещение силового агрегата становится более компактным и рациональным. Совершенствуется система управления автобусом, что повышает культуру работы водителя и делает его труд более комфортабельным.

Несмотря на ощутимое увеличение личных автомобилей в последнее десятилетие, значение автобусных перевозок не только не утратило своей актуальности, но даже возросло. Личный автомобиль требует места для гаража, стоянки и дополнительных финансовых затрат. Строительный бум, ставший устойчивым явлением во многих российских городах, вполне естественно ведет к появлению новых микрорайонов, где соцкультбыт еще только налаживается. Первыми туда прокладывают дорогу автобусы, которые зачастую остаются главным транспортным средством для жителей окраин. Позднее на помощь приходят трамваи, троллейбусы или метро. Впрочем, и в городских районах с развитой инфраструктурой автобус играет важную роль, обеспечивая львиную долю городских пассажироперевозок. Ежегодно России требуется 17–18 тыс. новых городских автобусов.

В начале 90-х годов с развитием рыночной экономики появилась необходимость в маневренном транспорте, наиболее приспособленном к городскому движению. На рынок вышли такие маршрутные такси, как «ГАЗель», «Богдан», «Эталон», которые были долгое время наиболее конкурентоспособными по сравнению с другими видами автобусов. Сейчас ситуация изменилась: для оптимизации транспортного обслуживания (сокращения количества подвижного состава на маршрутах, уменьшения интервала движения транспорта) на центральных маршрутах города должны работать автобусы большой вместимости и с повышенными маневренными качествами. Также появилась потребность в автобусах, учитывающих интересы всех категорий пассажиров, включая маленьких детей, пожилых людей и инвалидов, чьи возможности передвижения ограничены. Таким является городской низкопольный автобус, низкий уровень пола которого обеспечивает удобство входа и выхода, в результате чего сокращается время остановки, увеличивается среднетехническая скорость на маршруте.

Обзор конструкций автобусов

В настоящее время на автобусном рынке представлен широкий ряд низкопольных городских автобусов большого класса отечественного (ЛиАЗ) и зарубежного (МАЗ, MAN, Scania, Volvo и др.) производства, длина которых 10–12 метров и пассажироместимость 100–120 человек. Однако данные автобусы не очень удобны при эксплуатации в городском режиме на маршрутах с

интенсивно меняющимся в течение суток пассажиропотоком и на маршрутах, проходящих по оживленным улицам городов.

При эксплуатации таких автобусов в крупных промышленных городах в дневное время пассажироместимость используется лишь на 20–25%, что наносит ощутимый ущерб автопредприятиям. В утреннее и вечернее время при высокой интенсивности движения на городских дорогах затрудняется движение из-за невысокой маневренности, обусловленной большой габаритной длиной данных автобусов. Выходом из данного положения может быть использование автопредприятиями городов автобусов среднего класса (длиной 8–9,5 метров и пассажироместимостью 65–85 человек) совместно с автобусами большого класса. Некоторые примеры отечественных автобусов показаны на рис. 1.32–1.37.



Рис. 1.32. Автобус Лаз-52072



Рис. 1.33. Автобус Лиаз-5268



Рис. 1.34. Автобус Мерседес-Бенц 0303



Рис. 1.35. Автобус Лаз-42071

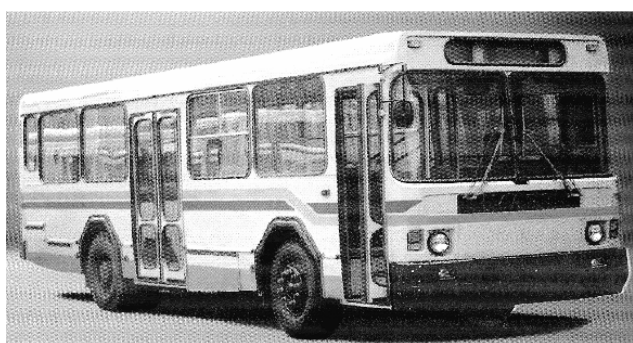


Рис. 1.36. Автобус МАЗ-42191



Рис. 1.37. Автобус Сарз-3281

Однако отечественные автозаводы такие автобусы пока не производят, а зарубежные стоят очень дорого – от 3 до 5 миллионов рублей. Выход был

найден на Минском автозаводе, разработавшем новый городской низкопольный городской автобус МАЗ–206 длиной 8 650 миллиметров, шириной 2 550 миллиметров и высотой 2 930 миллиметров. Полная масса – 12 800 кг. Данный автобус рассчитан на 72 человека, 25 из них – сидящие.

Другим выходом из данного положения может послужить использование автопредприятиями городов двухэтажных автобусов среднего класса (длиной 8–9,5 метров и пассажироместимостью 65–85 человек) совместно с автобусами большого класса. Кроме того, такие автобусы могут использоваться как туристические.

Комфорт посадки пассажиров определяется расстоянием между спинками сидений: 68 и 72 см соответственно. Однако это не имеет никакого отношения к двухэтажным туристическим автобусам, у которых расстояние между спинками сидений не менее 77 см. В более комфортабельном варианте кресла удалены друг от друга в продольном направлении на 83 см, а в самом комфортабельном – на 90 см. Учитывается и высота спинки кресла: в зависимости от класса она должна быть в пределах 52–68 см. Каждое пассажирское место должно иметь два подлокотника и оборудоваться индивидуальным освещением и вентиляцией. Пространство в зоне ног должно оставаться свободным, без кожуха отопителя или вспомогательного оборудования.

Отличительные признаки туристических «двухпалубников»:

- количество мест – 60–80 (в зависимости от класса автобуса), комфортная посадка всех пассажиров. Как правило, основная часть пассажиров размещается на верхней палубе, а нижняя заполняется пассажирскими креслами лишь наполовину, остальное место используется под багажное отделение и различное дополнительное оборудование;

- повышенный комфорт, например, автобусы дальнего следования оснащаются различной аудио-, видео- и мультимедийной техникой, мини-барами, грилями, гардеробами, туалетными кабинами и т.д.;

- как правило, «двухпалубники» имеют относительно низкий пол на нижней палубе, в отличие от своих одноэтажных аналогов. Это объясняется стремлением конструкторов понизить общую высоту автобуса, как следствие, багажное отделение обычно размещают ближе к корме, делая его большим по объему. Там же обычно размещен туалет и трап, ведущий на верхнюю палубу.

Отличительной особенностью также является большая площадь остекления на верхней палубе. Встречаются автобусы с одной хребтовидной продольной балкой крыши, по бокам которой вклеены стекла.

В связи с большой массой на «двухпалубниках» применяют двухосную заднюю тележку. Колесная формула при этом обычно делается бх2, ведущим является средний мост. Задний неведущий мост может быть сделан подруливающим для повышения маневренности на городских улицах.

Другой особенностью «двухпалубников» является насыщенность их различными системами обеспечения безопасности. Это, например, вспомогательный моторный тормоз, АБС, система контроля траектории, система «Антисон» и т.д.

Силовые агрегаты, ходовая часть и трансмиссия «двухпалубников» имеют высокую унификацию с аналогичными моделями одноэтажных туристических автобусов.

Заниженная высота центра масс для обеспечения устойчивости на поворотах достигается, как правило, установкой балласта на днище.

Фирма Neoplan построила свой первый «двухпалубник» в середине 60-х годов прошлого века. За два года был разработан первый дабл-деккер *Neoplan N20L Do-Lux*, или *Berolina*. В апреле 1967 года на Неделе автобусов в Ницце состоялась официальная премьера двухэтажного *Skyliner*. Удивил он не только внешним видом, но и функциональностью. Габаритная длина двухосного *Skyliner NH22L* составляла 12 м, а высота достигала 3,80 м. Автобус обладал комфортабельными креслами на 67 пассажиров. С 2000 года компания входит в холдинг *NeoMAN Bus GmbH*. Совместная доля на европейском рынке в прошлом году достигла 15%, но специалисты уверяют, что это только начало, так как весь мир сейчас идет по пути глобализации.

До показа новейшего флагмана в Ганновере на первое место среди двухэтажных туристических автобусов претендовал *Neoplan Skyliner N122/3L* с колесной формулой 6х2. При длине 13,65 м, высоте 4 м и полной массе 25,5 т он вмещал, в зависимости от модификации, от 56 до 78 пассажиров и предоставлял в их распоряжение 11–13 м³ багажных отсеков. С топливными баками объемом 580–640 л он обладал завидной автономностью. На рис.1.38–1.43 показаны некоторые примеры двухэтажных автобусов.

В зависимости от типа автобуса регламентируется нижний предел максимальной скорости, которую могут развивать автобусы: городские – 70 км/ч, пригородные и местного сообщения – 80 км/ч, междугородные – 100 км/ч. Технико-эксплуатационными требованиями также предусмотрено, что время разгона автобуса с места до указанной максимальной скорости не должно превышать (в зависимости от типа и длины автобуса): 40–55 сек для городских, 50–65 сек для пригородных и 70–90 сек для междугородных автобусов.

Требования к конструкции кузова автобуса касаются прежде всего размещения водителя и пассажиров в салоне, а также удобства входа и выхода. Кроме того, существуют специальные требования пассивной и послеаварийной безопасности, касающиеся сохранения жизненного пространства и аварийного выхода. Наружные размеры автобуса должны удовлетворять общим требованиям к автотранспортным средствам с точки зрения габаритных размеров дорог, дорожного ограждения, мостов, путепроводов и т.д.



Рис. 1.38. Neoplan Berolina



Рис. 1.39. Neoplan Skyliner



Рис. 1.40. Neoplan Skyliner



Рис. 1.41. Neoplan Megaliner



Рис. 1.42. Neoplan Jumbocruiser



Рис. 1.43. Neoplan Jumbocruiser
(обновленная версия)

Внутреннее оборудование автобусов должно отвечать требованиям необходимого комфорта и санитарно-гигиеническим требованиям с точки зрения температурного режима, вентиляции пассажирского салона и рабочего места водителя, а также освещения салона.

Кузова автобусов изготавливаются капотного и вагонного типа (последние более распространены).

Привод осуществляется главным образом на заднюю ось; в городских и пригородных автобусах всё более применяются автоматические трансмиссии. При расположении двигателя в задней или средней части и при механической трансмиссии применяется дистанционное управление сцеплением и коробкой перемены передач. В подвеске автобуса начали использовать резино-тканевые пневмобаллоны, заполненные сжатым воздухом. Помимо повышения плавности хода, это позволяет сохранять постоянную высоту уровня пола и подножек автобуса независимо от нагрузки. Рулевое управление средних и больших автобусов имеет усилитель, в несколько раз уменьшающий силу, необходимую для поворота рулевого колеса. Привод рабочего (ножного) тормоза к тормозным механизмам колёс передней и задней осей на средних и больших автобусах – пневматический или пневмогидравлический отдельный. На особо малых автобусах – гидравлический, а на малых автобусах – гидравлический с вакуумным усилителем или пневматический. На некоторых автобусах, особенно междугородных, применяется тормоз-замедлитель.

Некоторые модели таких автобусов отечественного и зарубежного производств представлены на рис. 1.44–1.46 и дают некоторое представление о современном и перспективном уровне развития автобусостроения.



Рис. 1.44. Mercedes-Benz Tourismo



Рис. 1.45. Mercedes-Benz Travego 17 RHD



Рис. 1.46. Mercedes-Benz Travego M

Туристические автобусы занимают отдельное место в общем перечне автобусной техники в связи с особенностями их назначения и специфическими требованиями их пассажиров. Сюда следует отнести большую длительность поездки, высокие требования комфорта, близкие к условиям вагона поезда, хорошую обзорность и высокую безопасность, вместительные багажные отделения. Рассмотрим некоторые примеры таких автобусов.

Компания *Mercedes-Benz* в настоящее время производит две модели туристических автобусов – *Travego* и *Tourismo*.

Модель *Travego* выпускается в трех вариантах: *Travego 15 RH* и *RHD* (длиной 12 м) и *Travego M* (длиной 12820 мм). А завершает ряд *Travego 17 RHD* (длиной 13850 мм).

Модель *Tourismo* по классу стоит ниже, чем *Travego*, однако это очень удачный автобус, и подтверждением тому является выпуск его на многочисленных сборочных заводах *MB*, в частности в Турции.

В качестве высокого туристического автобуса *RHD* или супер-высокого *SHD* он превосходно справляется с любой задачей. *Tourismo* благополучно добирается до места назначения при любом его применении. Безопасность пассажиров для *Tourismo* стоит на первом месте. Поэтому в серийном исполнении он снабжен антиблокировочной тормозной системой *ABS* и противобуксовочной системой *ASR*. Водителю *Tourismo* предоставлен всесторонний обзор. Дополнительные противотуманные фары и фары дальнего света делают более безопасными поездки ночью или в тумане. Кроме того, стабильная конструкция *Tourismo* обеспечивает высокую защиту от боковых столкновений и устойчивость при обгоне по стандарту *ECE R 66*.

Компания *Van Hool* – бельгийская автобусная компания, находится близ городка Льер. Фирма специализируется на производстве автобусных кузовов на шасси различных компаний. Главные среди них – шасси *Volvo*, *Scania*. На сегодняшний день фирма производит туристические автобусы семейства *Van Hool* серия T9 (рис. 1.47–1.50).

Базовой моделью семейства считается 12-метровый туристический *T915 Acron* с габаритной шириной 2550 мм и высоким расположением салона. Он предлагается с дизелем *MAN* заднего расположения мощностью 310–380 л.с., механической 6-ступенчатой коробкой передач *ZF*, пневматической подвеской, передними дисковыми тормозами и независимой подвеской. Салон на 36–53 места оборудован автоматической климатической установкой, кожаными сиденьями, отделкой из натурального дерева, дисплеями на жидких кристаллах, по которым пассажир может следить за маршрутом движения автобуса. Новинкой 2000 года стал упрощенный 310-сильный вариант *T915CL* для местного сообщения вместимостью 53–55 пассажиров с габаритной высотой 3210 мм, высотой расположения пола 860 мм и багажниками емкостью 4,1 м³.

Междугородный 55-местный вариант *T915TL* имеет габаритную высоту

3340 мм и высоту пола 1150 мм. Развитием базовой модели стали туристские автобусы высшего класса *T917 Acron* и *T918 Altano* (6x2) длиной 13,7 м с повышенным и высоким расположением салона на 40–55 человек. Мощность заднего вертикально расположенного двигателя составляет 380–420 л.с. Новую гамму замыкает трехосный двухэтажный автобус *TD927 Astromega* (6x2) вместимостью до 74 человек, хотя обычно 25–30 пассажиров располагаются на втором этаже, а первый уровень отведен под багажник и бытовые помещения.



Рис. 1.47. *Van Hool T 915 Acron*



Рис. 1.48. *Van Hool T917 Astron*



Рис. 1.49. *Van Hool T918 Altano*



Рис. 1.50. *Van Hool TD927 Astromega*

Особенности конструкции автобусных кузовов

Конструктивно автобусные кузова могут различаться по способу соединения основных элементов – разъемные и неразъемные; по способу изготовления профилей – гнутые профили открытого типа, прямоугольные стальные трубы, алюминиевые профили.

Кузов автобуса типа «ГАЗель» ГАЗ-2217 представляет собой жесткую ферму, сваренную из нескольких заранее собираемых элементов. Все основные элементы кузова изготовлены штамповкой из малоуглеродистой листовой стали и сварены при помощи контактной точечной электросварки. Кузов крепится к раме с помощью болтовых соединений и резиновых прокладок.

Кузова автобусов ПАЗ-3205 состоят из основания, пола, боковин (левая и правая), крыши, передней и задней частей. Задняя часть кузова автобуса типа образована закруглениями боковин и установленными при стыковке кузова

двумя поясами (верхним и средним) и двумя средними панелями (наружной и внутренней). Все узлы кузова соединены между собой электродуговой или электроконтактной сваркой.

Кузов автобуса КАВЗ-685 цельнометаллический, сварной, несущий. Каркас кузова образуется из отдельно свариваемых узлов: основания с настилом пола, боковин, крыши, передней части кузова, передней части кабины автомобиля ГАЗ-3307. Основание является базовым узлом, на котором стыкуются все узлы каркаса. Снаружи каркас кузова облицовывается панелями. Соединение узлов между собой и обшивки с каркасом осуществляется сваркой. В сваренном состоянии кузов представляет жесткую пространственную систему, работающую совместно с рамой грузового автомобиля ГАЗ-3307. Соединение кузова с рамой полужесткое, с помощью стремянок и болтов через резиновые прокладки. Кузов в сборе с внутренним оборудованием автобуса свободно монтируется на шасси.

Все элементы каркасов кузовов выполнены из тонкостенных стальных труб прямоугольного сечения (основание автобуса ЛиАЗ-5256, крыша кузова ПАЗ-3205) или из стальных омегаобразных профилей (каркас боковины кузова до подоконного бруса и поперечные элементы – шпангоуты – каркаса крыши автобуса ЛиАЗ-5256, боковины кузова ПАЗ-3205, МАЗ-105 и др.).

Основание кузова автобуса ПАЗ представляет собой раму, состоящую из двух продольных балок швеллерного сечения, соединенных семью поперечинами, из которых пять имеют закрытое коробчатое сечение, одна – снегообразное и одна – швеллерное.

Монолитный сварной каркас из прямоугольных или снегообразных стальных труб обеспечивает высокую прочность, жесткость и долговечность кузовов, что значительно снижает потребность в техническом обслуживании и ремонте.

Для вентиляции кабины водителя предусмотрен открывающийся люк в наклонной части пола, вентилятор и опускающееся стекло двери водителя, а для вентиляции салона – люки крыши.

Полы автобусов ЛиАЗ-5268, ПАЗ-43, ЛАЗ-42071 выполнены из бакелизированной фанеры толщиной 12 мм. Полы автобусов ЛАЗ по всей площади и панель пола водителя выполнены из дюралюминиевого листа толщиной 3 мм (за исключением автобуса ЛАЗ-52072). Боковые части пола этих автобусов, расположенные под сиденьями, выполнены из стальных панелей толщиной 1,2 мм, прикрепленных к основанию электроточечной сваркой. Пол автобусов «Икарус» выполнен из прессованных древесных плит. Колесные кожуха автобуса выполнены из дюралюминиевого листа толщиной 3 мм и приклепаны к продольным балкам и боковине алюминиевыми заклепками. Колесные кожуха автобусов ЛАЗ-695Е и ЛАЗ-697Е выполнены из дюралюминиевого листа толщи-

ной 3 мм. Пол кожуха колес и подножки закрыты резиновым ковром, закрепленным декоративными алюминиевыми уголками.

Наружная облицовка боковин кузовов автобусов ЛиАЗ, ЛАЗ и ПАЗ выполнена из дюралюминиевого листа толщиной 0,8 мм. Крепление ее к каркасу ЛиАЗ и ПАЗ осуществляется алюминиевыми заклепками, а к каркасу ЛАЗ – стальными пластинами с электроточечной сваркой. Наружная облицовка передней и задней частей кузовов ЛиАЗ, ЛАЗ и ПАЗ выполнена из стального листа толщиной 1,0 мм, прикрепленного к каркасу электроточечной сваркой. Наружная облицовка автобуса «Икарус» выполнена из стальных листов толщиной

1 мм. Облицовка окон изготовлена из декоративной фанеры, а потолок пассажирского салона – из слоистого пластика. Внутренняя облицовка боковин и крыши кузова автобуса ЛиАЗ изготовлена из слоистого пластика, наклеенного на каркасный картон. Каркас крыши кузова ПАЗ снаружи облицован стальным листом. Внутренняя и центральная часть крыши автобуса ПАЗ, боковины кузова, стойки между окнами и дверь водителя облицованы крашеным красным картоном или слоистым пластиком. Детали обивки боковины этих автобусов крепятся алюминиевыми профилями и самонарезающими винтами. Полихлорвиниловые декоративные заглушки вставляются в пазы алюминиевых профилей и скрывают места их крепления.

Передние и задние пассажирские двери на городских автобусах ПАЗ, ЛиАЗ и ЛАЗ – четырехстворчатые, на междугородних – передние двери трехстворчатые, а задние – четырехстворчатые, на автобусах КАВЗ передняя пассажирская дверь – одностворчатая. В кузовах туристических автобусов ЛАЗ имеются две двери: дверь водителя и дверь пассажирского салона. Все двери водителя на автобусах одностворчатые. Трех- и четырехстворчатые двери открываются при помощи пневматических механизмов, привод которых осуществляется с помощью крана управления дверьми, расположенного в кабине водителя. Пассажирские двери открываются внутрь кузова.

Каждая половина двери пассажирского помещения имеет отдельный механизм открывания дверей. Они установлены в кузове автобуса на уровне пола. Пневматические механизмы открывания дверей управляются водителем посредством электропневматического привода. Правая полость цилиндра механизма открывания дверей сообщается с воздушным баллоном пневмосистемы автобуса. В левую полость цилиндра воздух может быть впущен или выпущен из него при помощи электропневматического клапана.

Двери автобусов «Икарус» моделей 556, 180, 260 и 280 многостворчатые. Оси створок дверей вверху вращаются на подшипниках, а внизу — на поворотных пальцах, при помощи которых створки дверей можно поднимать или опус-

кать. Количество створок дверей различное. Так, у автобуса «Икарус-556» по одной дву-, трех- и четырехстворчатой двери, у «Икаруса-180» – две двустворчатые двери и по одной трех- и четырехстворчатой, у «Икаруса-250» – три четырехстворчатые, у «Икаруса-280» – четыре четырехстворчатые.

Открываются и закрываются двери в автобусах «Икарус» моделей 180, 556, 260 и 280 с помощью пневматических цилиндров и механизмов управления дверьми. Две двери обеспечивают доступ в пассажирский салон, а две другие — в кабину водителя.

Для входа и выхода пассажиров служит дверь салона в правой боковине; задняя дверь служит для доступа к багажному отделению, расположенному в пассажирском салоне за задними сиденьями, к люкам топливного бака в полу, инструментам водителя и принадлежностям, запасному колесу. Дверь кабины водителя имеет наклонную переднюю оконную стойку и снабжена форточкой, проем двери с резиновыми уплотнителями.

В дверях установлены безопасные замки. Фиксатор замка крепится двумя винтами и имеет возможность регулировки вследствие установки в стойках дверей плавающих бобышек. Фиксатор предохраняет дверь от провисания в петлях и самопроизвольного открывания при частичной деформации дверных проемов.

Сиденье и остекление автомобилей и автобусов

Сиденья в автомобилях типа седан установлены в два ряда. Для обеспечения наиболее удобной посадки водителя и пассажира (в соответствии с ростом) положение каждого переднего сиденья можно регулировать по длине пола кузова. Для продольного перемещения переднее сиденье установлено на салазках. Пассажир на сиденье поворачивает рукоятку и, упираясь ногами в пол, устанавливает его в удобное положение. Опуская рукоятку, фиксирует сиденье в выбранном положении. Спинка сиденья прикреплена к подушке при помощи двух шарниров, позволяющих изменять ее наклон.

Для посадки на передних сиденьях трех человек во многих автомобилях устанавливается съемный вкладыш между подушками, а проем между спинками заполняется приставкой, увеличивающей спинку правого сиденья. При посадке на первом сиденье двух пассажиров приставку спинки можно повернуть и использовать как подлокотник.

Для отдыха или ночлега в салоне кузова сиденья могут быть использованы спальные места. Для этого продвигают переднее сиденье вперед до отказа, поднимают рычаг, доводят спинку до горизонтального положения и опускают рычаг. При совпадении спинки переднего сиденья с подушкой заднего сиденья рычаг поджимают вниз.

Конструктивно передние и задние сиденья выполнены в виде спиральных металлических каркасов для подушек и спинок, на которых установлены зигзагообразные пружины, связанные по периметру наружной поверхности легкой проволочной рамкой. Пружины обтянуты мешковиной, пронизанной проволокой. Затем уставлены прокладка из губчатого блока и верхней обивки. Сиденья в автобусах применяются двух видов – регулируемые и нерегулируемые. Регулируемые по углу наклона спинки односкатные пассажирские сиденья, имеющие мягкие подушки и спинки, устанавливаются в междугородных туристских автобусах. Нерегулируемые пассажирские сиденья устанавливаются в автобусах городского назначения. Сиденья состоят из каркаса, подушки и спинки. Пассажирские сиденья автобуса ЛиАЗ-5256 – полужесткие, нерегулируемые, на трубчатом каркасе. В качестве амортизирующего элемента подушки и спинки применяется формованная губчатая резина.

2. ОБЩАЯ МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ КУЗОВОВ

2.1. Основные вопросы проектирования кузова

Проектирование кузова легкового автомобиля существенно отличается от проектирования кузова других типов автомобилей. При этом уделяется большое внимание размещению людей в относительно небольшом объеме кузова и удобству их входа и выхода.

Кроме того, большое внимание в легковом автомобиле уделяется проектированию внешней формы, которая не только обеспечивает аэродинамику, но и необходимый эстетический облик – своеобразный запоминающийся символ данной модели.

Особенность проектирования кузова легкового автомобиля заключается еще и в том, что при этом приходится решать одновременно несколько задач:

- обеспечить функциональное назначение кузова автомобиля, то есть разместить людей, багаж и агрегаты самого автомобиля;
- спроектировать внешний вид и поверхность кузова;
- разработать каркас кузова и обеспечить его прочность и жесткость;
- обеспечить требования пассивной безопасности для водителя и пассажиров;
- учесть требования технологии изготовления кузова и возможности производственного оборудования;
- обеспечить конкурентоспособность данного автомобиля на рынке.

Проектирование автобусного кузова во многом соответствует процессу проектирования легкового кузова, но отличается в первую очередь размерами, а также специфической конструкцией устройств входа-выхода. Двери автобусов предназначены для быстрого входа и выхода большого количества пассажиров, особенно на городских автобусах. Кроме того, специфическим является здесь проектирование силового агрегата, который занимает много места и при размещении в салоне мешает водителю или пассажирам. Еще одна особенность заключается в наличии рамы, или несущего основания, автобуса.

Последовательность проектирования кузова

С точки зрения важности кузова и количества его модификаций с использованием одного и того же шасси проектирование кузовов приобретает все большее значение [9].

Особенность проектирования кузовов состоит в умелом объединении в одно целое сведений и требований многих отраслей техники. Трудность проектирования заключается в разнообразии этих сведений и знаний и необходимости (что надо специально подчеркнуть) одновременного «встраивания» их в проект на самой

ранней стадии, т. е. на стадии компоновочного чертежа. «Перестройка» или «достройка» кузова на дальнейших этапах невозможна без ухудшения качества кузова или увеличения срока пуска его в производство. В зависимости от методов и способов проектирования будут поочередно рассмотрены:

- основные размеры кузова и обуславливающие их факторы, например, нормы, требования эргономики, упаковка грузов;
- компоновочный чертеж и связанные с ним конструкция, аэродинамика, безопасность кузова;
- техническая разработка кузова;
- модели формы кузова и их влияние на технико-эксплуатационные свойства кузова;
- геометрическая характеристика кузова, от которой зависит графическое или числовое представление специфических форм кузова.

С процессом создания кузова неразрывно связаны дополнительные факторы, на которых основываются проектирование и организационные работы, сопутствующие предполагаемому производству.

В процессе создания кузова проводятся три основных вида работ:

- непосредственно проектные, работы по подготовке и обслуживанию производства;
- научно-исследовательские работы;
- работы общепромышленного характера.

Непосредственные проектные работы – это не только компоновка, разработка эскизного и технического проектов, но и работы, обеспечивающие основную технологию формообразования и монтажа кузова, а также аналитические работы: предварительные расчеты, вспомогательное моделирование и детальные расчеты. Связи между этими работами установлены так, чтобы гарантировать реальный ход процесса.

Правильность проектирования до минимума снижает риск изменений в работе службы подготовки производства и благодаря этому обеспечивает минимальные сроки освоения продукция. Научно-исследовательские работы и работы общего характера составляют необходимую основу проектирования. Сумма сведений этой очень обширной области выражается при компоновке автомобиля в виде эксплуатационных и технико-экономических предпосылок, наглядно отраженных в компоновочном чертеже кузова с обозначенными агрегатами двигателя и шасси. Выбор компоновки должен быть обоснован основными расчетами, касающимися массы автомобиля и статики его несущей системы. Правильность выбора компоновки является важнейшим фактором всех дальнейших работ. При последующих работах компоновка не должна изменяться. В течение разработки компоновки поддерживается концепция одного направления.

Поскольку подбор разнообразной информации, необходимой для разра-

ботки компоновки, – дело сложное, на практике нередко огромное значение приобретает опыт проектировщиков и их знания. Если не всегда можно получить необходимые сведения, тогда основную роль играет общий уровень проектанта.

Проектирование кузовов – одна из трудных задач области машиностроения из-за разнородности составных элементов проекта. Оно является классическим примером тесного переплетения множества отраслей знаний из разных областей науки и техники. Достаточно указать, что надо разрешить вопросы эргономики, эстетики, аэродинамики, анализа прочности, технологии, экономики, организации производства, безопасности и т. д., чтобы создать сложный образ современного кузова, далеко выходящего за пределы привычных канонов одноотраслевой конструкторской работы.

Проектирование может осуществляться по двум основным системам: последовательной и комплексной. Более известна последовательная система, которая, однако, в настоящее время практически полностью заменена современной системой комплексного проектирования.

В последовательной системе выполнение каждого следующего действия возможно после выполнения предыдущего [9].

При компоновке кузова проверяют возможность реализации основных предпосылок. Если оказывается, что реализовать их нельзя, то возвращаются к началу и корректируют их, и так на всех этапах разработки кузова. При этом бывает, что следующий этап вносит изменения в предыдущий. Однако возможно, что после технологического анализа нужно изменять предварительный проект или даже предпосылки. Практически последовательная система сводится к такой форме работы, при которой технологи или расчетчики должны получать документацию конструкторского проекта кузова для анализа еще до получения окончательного варианта конструкции. То же самое относится и к испытателям опытного образца.

При последовательной системе нередко принимаются компромиссные решения, чтобы избежать слишком трудоемкого повторения работ. При этом невозможно добиться высокого качества проектировочных работ, и тогда необходимо опытные образцы подвергнуть более полным испытаниям.

Другим недостатком последовательной системы является большая продолжительность всего комплекса проектных работ.

Комплексная система, как показывает само название, основывается на группировке работ и тесной взаимосвязи их результатов [10]. При этой системе работы подразделяются на четыре группы, выполняемые в двух фазах. *В первой фазе* разрабатывается компоновка гораздо глубже, чем при последовательной системе. Это имеет принципиальное значение, так как позволяет в дальнейшем, во второй фазе, разделить работы на три группы.

Вторую фазу составляют документационные этапы, дополняемые модельными и расчетными работами. Эту фазу строят таким образом, чтобы по

результатам моделирования и расчетов можно было совершенствовать документационные этапы. Например, на основе компоновочного чертежа можно выполнить модель-макет интерьера и расчет упрощенной несущей системы, а результаты увязать с одновременно сделанным предварительным проектом кузова. То же самое касается и других вопросов, особенно технологических, которые следует учитывать уже в предварительном проекте путем ускоренной проверки на моделях принципов сборки. Дальнейшими модельно-расчетными работами обеспечивается создание общего вида кузова в масштабе (1:1) и с учетом целесообразных способов монтажа, формы агрегатов или узлов кузова, а также их прочностных свойств [11].

Использование компьютерных технологий является необходимым условием для введения в проект в полном объеме механических и технологических требований к серийному кузову. Многие результаты расчетов пригодны затем для непосредственного использования при организации производства. Соответствующим программированием и обработкой алгоритмов кузова можно заменить значительную часть испытаний. Опытные образцы кузова играют при этом значительно меньшую роль и служат для оценки неизмеримых в количественном отношении факторов, например, эстетики, герметичности и т. п.

Компьютерные технологии не только сокращают время, затрачиваемое на процесс проектирования, но и дают качественно новое свойство – возможность проектировать в пространстве и одновременно рассмотреть большее количество вариантов проектируемого объекта. Кроме того, при этом легко использовать ранее созданные наработки узлов и деталей, включать их в новый проект. Автоматизированное проектирование вместе с компьютерными технологиями моделирования процесса напряженно-деформированного состояния конструкции органично включается в современное роботизированное производство кузова и других узлов под названием «система САПР» [12].

Порядок проектирования кузова. Элементы дизайна на этапе проектирования. Дизайн, или художественное конструирование, обеспечивающий максимальное соответствие автомобиля его эксплуатации, создание высоких эстетических качеств, является составной частью процесса проектирования с позиций требований человека и может рассматриваться как художественное и инженерное конструирование одновременно. Это две взаимодействующие стороны единого процесса проектирования. Художник-конструктор (дизайнер) призван обеспечить комплекс свойств автомобиля: удобство эксплуатации, рациональность и оправданность компоновки, целостность, функциональность формы и красоту изделия.

Можно выделить пять основных факторов дизайна: социальный, эргономический, технический, экономический и эстетический.

Социальный фактор учитывает существующую и перспективную общественную и индивидуальную потребность в автомобиле, необходимость и

оправданность всех его новых качеств. Различия в социально-политических отношениях в разных странах предопределяет различия во взглядах на автомобиль и способах его использования, что находит отражение в типаже автотранспортных средств. Социальная задача процесса художественного конструирования автомобиля заключается в том, чтобы заинтересовать водителя в повышении культуры и производительности труда, привить уважение к автомобилю и своей профессии.

Эргономический фактор предполагает анализ разрабатываемой конструкции с учетом особенностей человека с точки зрения удобства посадки, обзорности, легкости управления, удобства входа и выхода, обеспечения микроклимата в салоне автомобиля, оценки оформления панели приборов, рычагов управления и др. Учет эргономического фактора необходим для создания оптимальных условий труда водителя.

Технический фактор требует от художника-конструктора учитывать возможности современных технологий массового производства, необходимость обеспечения надежности и эффективности работы автомобиля в заданных условиях, пути создания принципиально новых конструкций, работающих на других принципах узлов, в том числе и на цифровых технологиях.

Экономический фактор предполагает разработку конкурентоспособной продукции на основе результатов маркетинговых исследований и анализа тенденций развития автомобильного рынка в стране и за рубежом на период разработки новых моделей автомобиля; с учетом повышения производительности труда и снижения расходов на производство и обслуживание автомобиля за счет инженерной и дизайнерской проработки его конструкции.

Эстетический фактор обеспечивает воплощение в автомобиле достигнутого в стране технического прогресса, представления о господствующих эстетических концепциях в области автостроения, высокого уровня комфорта и эмоционального воздействия на человека.

2.2. Основы композиции автомобиля

Композиция формы автомобиля должна создать определенный образ, зрительно выявить его функцию и особенности конструкции, подчеркнуть положительные качества изделия, выразить основную идею замысла. В остальной композиции формы автомобиля должны быть положены известные закономерности восприятия человеческого глаза.

Рассмотрим основные моменты построения композиции формы автомобиля и воплощения замысла разработчика в реальную конструкцию с помощью компьютерного моделирования. На рис. 2.1–2.5 показаны отдельные этапы разработки, которые, в свою очередь, становятся началом следующих этапов проектирования.

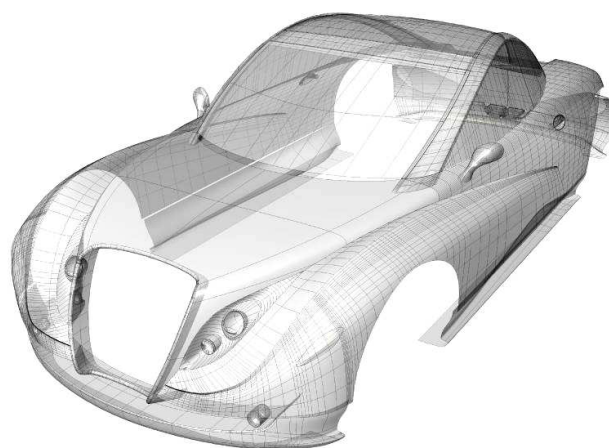


Рис. 2.1. Замысел конструктора. Общий вид

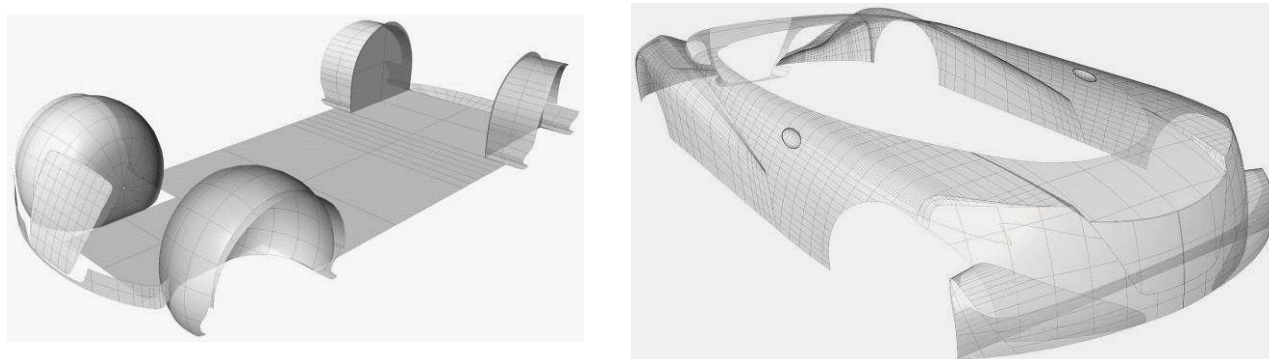


Рис. 2.2. Эскизы основания и оперения кузова

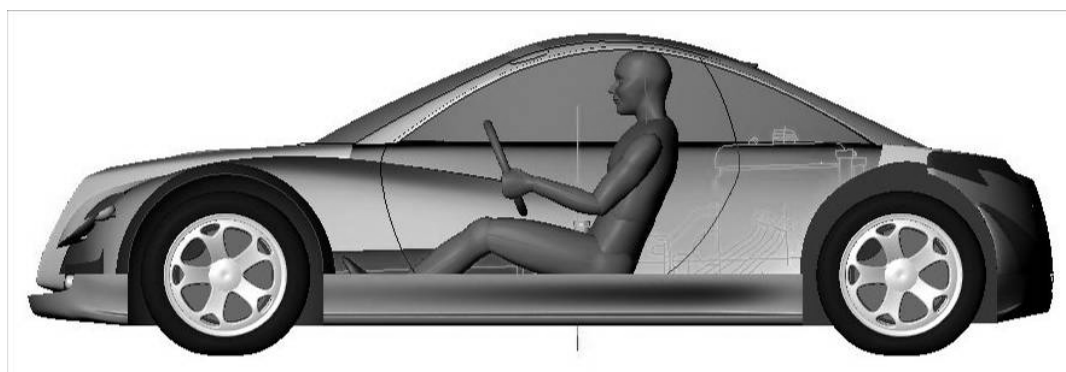


Рис. 2.3. Компоновка спортивного автомобиля

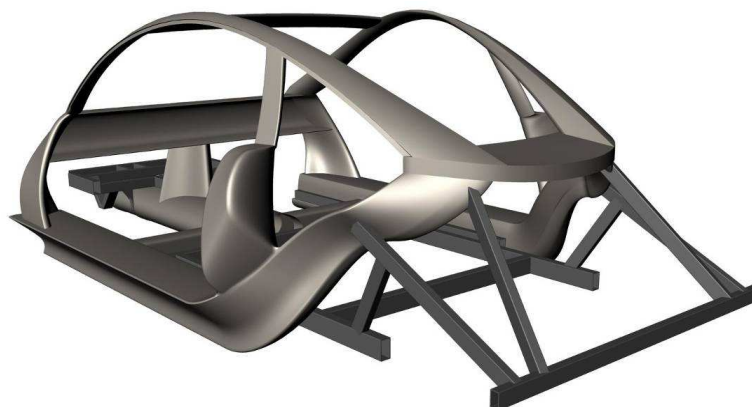


Рис. 2.4. Каркас спортивного автомобиля

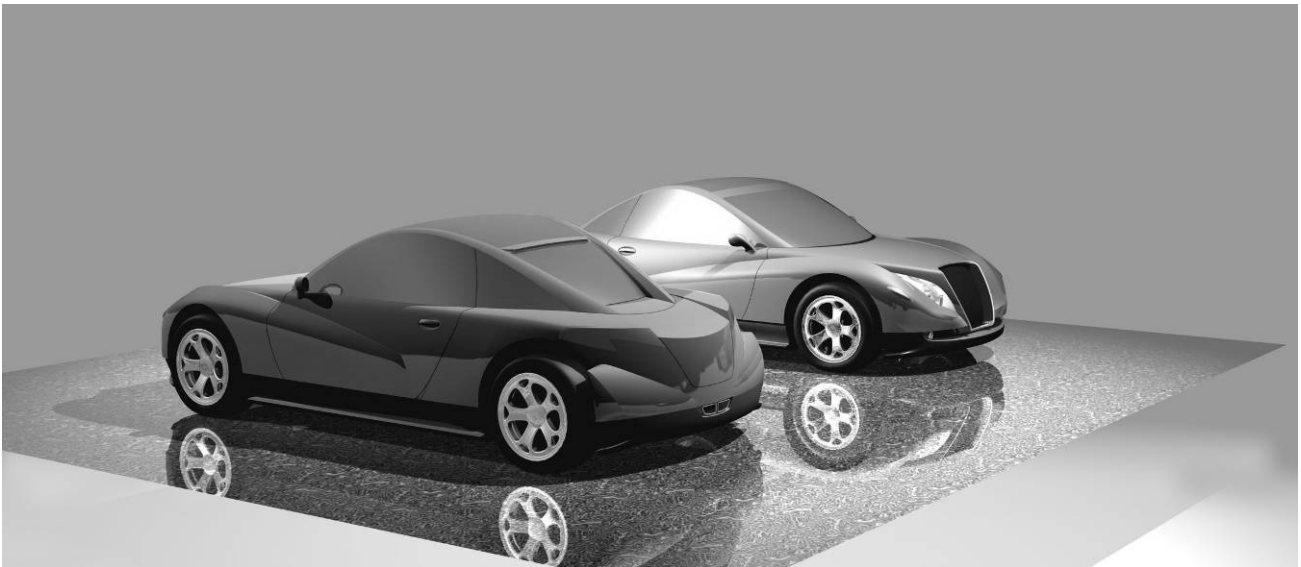


Рис. 2.5. Внешний вид спортивного автомобиля

Информативность и пропорции формы автомобиля

Формы автомобилей по числу и расположению основных видов можно разделить на следующие группы: с тремя явными объемами, двумя основными объемами, с одним основным объемом.

Каждый из выделенных объемов, активно взаимодействуя с другими, создает определенное впечатление о концепции и роли составляющих элементов. Очень сложные композиции производят впечатление многофункциональности, тихих ходности и нерациональности конструкции.

Композиция с одним объемом выглядит монолитной, скоростной и относительно простой по устройству. При разработке внешних форм грузовых и легковых автомобилей используют геометрические пропорции, основанные на «системе двух квадратов». Наиболее известна пропорция 0,618, называемая «пропорцией золотого сечения» [3].

Отношение сторон прямоугольника, подчиняющееся пропорции «золотого сечения», часто встречается в технике. В тоже время следует отметить, что современные тенденции проектирования автомобиля постепенно уходят от этой традиции.

Масштабность формы автомобиля

Сущность масштабности предметного мира заключается в соотношении его к человеку. Промышленное изделие немасштабно, если в нем отсутствуют элементы, по которым можно судить о незримом присутствии человека.

Масштабность формы автомобиля прежде всего определяется правильностью выбора высоты салона, его ширины и глубины подушек сидений, высоты и ширины дверного проема, величины пространства для ног, то есть всех тех размеров, которые связаны с человеком, определяют удобство пользования автомобилем и оказывают прямое влияние на масштабность [3].

Изменение пропорций автомобиля, как правило, связано с изменением его размеров. Форма автомобиля следующего класса становится во многом иной, неизменным остается лишь один размер – высота, являющаяся мерилем масштабности по отношению к человеку. Для семиместного лимузина высшего класса отношение длины салона к габаритной длине примерно равно 1:3...1:2; для пятиместного автомобиля среднего класса это соотношение приближается к 1:2, а у автомобилей малого и особо малого классов – 1:1,5. При этом меняются и все вертикальные соотношения, например отношение диаметра к габаритной высоте автомобиля, которое составляет у большинства автомобилей высшего, большого и среднего классов и 1:3,5 у автомобилей малого и особо малого классов.

Статика и динамика формы автомобиля. Форма автомобиля как изделия в зависимости от его функционального назначения и «основного замысла» может быть отнесена к статичной или динамичной.

Статичная форма характеризуется стойкой уравновешенностью объемов, преобладанием вертикальных линий внешней формы, диагональных линейных построений, нейтральным ритмом элементов. Статичны предметы, которые имеют явный центр и у которых ось симметрии является главной организующей форму осью. Примерами абсолютной статичности формы могут быть такие геометрические фигуры, как квадрат, окружность, куб, сфера.

Динамичная форма отличается активной односторонней направленностью. Она обычно характеризуется доминированием диагональных линий, изменяющимся ритмом составляющих его элементов, асимметрией. Например, равнобедренный треугольник динамичен по высоте. Динамичная форма может быть свойственна как неподвижным, так и движущимся объектам. Но если в первом случае динамичная форма является определяющим качеством предмета, то во втором она выражает его сущность. Движение, подвижность присущи автомобилю по его природе и служат созданию выразительного образа движущегося объекта. Но потенциально динамичный параллелепипед, даже установленный на колеса, не создает впечатления движения из-за симметрии бокового вида и нейтрального ритма. Для пассажиров и пешеходов данная форма не информативна, так как не подсказывает направления движения и не облегчает ориентировку при нахождении входа [17].

Впечатление движения может создаваться за счет четкого выявления передней части автобуса. В композиции бокового вида применяют наклонные линии, подчеркивающие динамичность формы, такое же впечатление движения задают асимметричной проекцией боковины, основанной на контрасте зрительно легкого остекления и относительно тяжелой глухой части кузова. В современном автостроении для выявления передка автобуса преимущественно используется разница переднего (более короткого) и заднего (более) длинного свеса. Кроме того, на боковой проекции на переднем свесе с одной стороны

видна дверь водителя, а с другой – передняя дверь салона. На туристических автобусах применяются наклонные стойки окон.

Главным требованием к художественно-конструкторскому проектированию автомобиля является придание ему впечатления поперечной устойчивости, уравновешенности. Такое впечатление обеспечивается за счет симметричной формы поперечного сечения кузова, что, как правило, и приводит к созданию впечатления уравновешенности и доверия к машине. Однако и при асимметричной композиции переднего вида возможно создание впечатления уравновешенности и устойчивости. Кроме того, важное значение имеют форма и размеры отдельных деталей. Так, на автомобиле «Валдай» значительно увеличены размеры переднего бампера и поднята кабина, несколько увеличен капот. Учитывая, что общая конфигурация этого автомобиля похожа на «ГАЗель», создается впечатление такого же элегантного, но достаточно мощного грузового автомобиля. Данная композиция является примером дизайна, сочетающего в себе особенности эстетического и экономического аспектов (рис. 2.6).



Рис. 2.6. Автомобиль Газ-3310 «Валдай»

Композиционное единство элементов формы автомобиля является важным свойством композиции, которым обязательно должны обладать изделия высокого эстетического уровня. Иначе не создается впечатления единого гармоничного целого, если каждый из элементов формы, будучи красивым, остается сам по себе. Композицию формы автомобиля следует выполнять с учетом законов зрения и соблюдением пропорций, подчиненных единому замыслу, единой схеме построения. Это значит, что основные формообразующие линии, видимые по краям граней кузова, его бликов и других элементов, должны быть взаимозависимы. Известны несколько способов обеспечения композиционного единства формы.

Первый способ состоит в выборе точек схода, определяющих положение

поперечных линий формы. Чем ниже расположена главная точка S_x , тем более обтекаемую форму удастся получить.

Второй способ основан на построении композиции в виде сетки параллельных линий; часто такой прием используется при выборе схемы композиции автобусов, реже – легковых автомобилей. Известны и другие способы композиции внешнего вида автомобиля, обеспечивающие единство элементов формы, а наиболее распространенным является максимальное использование овала в качестве задающего элемента при разработке как очертания кузова в целом, так и его отдельных элементов (фар, крыльев, колесных арок, бамперов и др.).

Учет законов аэродинамики при выборе формы автомобиля

Одним из важнейших функциональных качеств формы автомобиля являются ее характеристики взаимодействия с аэродинамической средой. Продуманная с точки зрения законов аэродинамики форма автомобиля при движении с большими скоростями обеспечивает ему существенное снижение сопротивления воздуха и, как следствие, – повышение тягово-скоростных свойств, снижение расхода топлива. Прообразом идеально обтекаемой формы движущегося тела может служить форма капли [8]. Однако следует помнить, что сила сопротивления воздуха еще изменяет нормальные реакции на колесах и создает подъемную силу, что может отразиться на устойчивости автомобиля. Более того, при выборе внешней формы автомобиля следует учитывать и действие силы бокового ветра, который будет создавать поперечные реакции на колесах автомобиля, что может изменить его управляемость. Это особенно актуально для спортивных и гоночных автомобилей, которые движутся на скоростях 200 км/ч и выше. Для надежного сцепления колес с дорогой здесь применяется «антикрыло». На грузовых автопоездах с полуприцепом типа фургон необходимо учитывать положение центра парусности при выборе осей, так как при этом происходит перераспределение боковых сил по осям. В свою очередь это изменяет углы бокового увода передних и задних колес, что изменяет характер управляемости автомобиля.

Кроме того, следует учитывать и полезную функцию потоков воздуха в организации системы вентиляции пассажирского салона, подкапотного пространства, а также направленного обдува заднего стекла, номерного знака и, по возможности, боковых поверхностей кузова для самоочищения их от брызг и грязи. Для нормальной вентиляции салона необходимо располагать приточные лючки в зоне повышенного давления, а вытяжные – в зоне разрежения. Кроме того, при неправильной организации такой вентиляции создается сильный шум в пассажирском салоне. Все эти факторы существенно зависят от формы кузова и правильного расположения форточек и люков.

2.3. Технико-экономическое обоснование проекта

Выбор основных размеров автомобиля

Разработка технико-экономического обоснования проекта автомобиля начинается с постановки задачи создания нового автомобиля и цели его создания. Исходя из цели и назначения автомобиля определяются основные свойства и их характеристики. Для этого подбирается группа автомобилей-аналогов, т.е. автомобилей того же класса и назначения. При этом ставится задача превзойти своих предшественников-аналогов и в условиях рыночной экономики – создать конкурентоспособный автомобиль. Такая задача существовала всегда, но в условиях плановой экономики она ставилась несколько по-другому. Тем не менее, необходимость сравнения автомобиля-проекта с автомобилями-аналогами существовала всегда.

Особенности проектирования грузовых автомобилей

При этом главным показателем была и остается производительность как величина, характеризующая перевозочную способность автомобиля, то-есть способность выполнения своего основного назначения. Однако не для всех автомобилей эта характеристика является главной. Для грузового автомобиля главное назначение заключается именно в этом, а конструкция кузова зависит от типа груза, на который ориентирован проект, например, самосвальный кузов для сыпучих грузов, цистерна для жидких грузов, фургон для защиты грузов, бортовая платформа – для любых грузов, но в соответствующей упаковке.

Производительность для такого автомобиля определяется как произведение массы перевозимого груза на среднетехническую скорость с учетом ряда ограничений, связанных с условиями эксплуатации автомобиля, работой предприятия и особенностями груза. Например, при перевозке легких грузов (мебель, бытовая техника, одежда и др.), плотность которых довольно низкая, не удастся загрузить автомобиль до полной грузоподъемности и тогда его производительность снижается. Для борьбы с этим явлением можно применить прицеп или полуприцепы, но это зависит от способа организации перевозок, а не только от автомобиля. На величину производительности также влияет время на погрузку-разгрузку, и для его уменьшения применяют средства механизации погрузо-разгрузочных работ там, где возможно. Ранее с той же целью применяли съемные кузова, которые отсоединяли от автомобиля-тягача и подсоединяли порожний кузов-прицеп.

$$W_{\text{ад}} = \frac{q\gamma\beta V_T T_c 365\alpha}{l + \beta V_T t_{i-\delta}},$$

где q – грузоподъемность автомобиля; V_T – среднетехническая скорость; γ – коэффициент использования грузоподъемности; T_c – время в наряде; 365 –

число рабочих дней в году; α – коэффициент использования автомобиля; t_{n-p} – время погрузки-разгрузки одного рейса; β – коэффициент использования пробега

Таким образом, исходя из заданной производительности автомобиля определяли размеры необходимой грузовой платформы или фургона, с учетом ограничений и требований ОСТов ГОСТов и других документов выбирали габаритные размеры, осевую нагрузку, колесную формулу и число осей.

Производительность автомобиля является основным показателем его эффективности. Другие показатели характеризуют совершенство автомобиля с точки зрения соответствия Правилам и нормам ЕЭК ООН, ГОСТам, ОСТам.

В условиях рыночной экономики востребованными оказываются и другие свойства, не указанные в документах, но, тем не менее, влияющие на конкурентоспособность любого автомобиля. Для грузовых автомобилей к ним относятся внешний вид, комфорт рабочего места водителя, включая спальное место водителя-сменщика, и др.

Важными показателями являются и характеристики повышения пассивной и активной безопасности, которые превышают минимально необходимый уровень, записанный в указанных документах. Сюда относятся автомобили фирм, которые ведут активную работу по совершенствованию конструкций своих автомобилей в этом направлении. Таким образом, происходит повышение конкурентоспособности этих автомобилей.

Особенности проектирования автобусов

Для автобусов также существует понятие производительности, которая измеряется в количестве перевезенных пассажиро-километров в час. Однако при этом учитываются различные показатели комфорта, характерные для различных видов автобусов – городских, пригородных, междугородних и т.д.

$$W_a = n\gamma T_c \eta_i V_{\text{ср}} \beta 365 \alpha,$$

где W_a – число пассажиро-километров в час (год); $V_{\text{ср}}$ – среднетехническая скорость; α – коэффициент использования вместимости; β – коэффициент использования пробега; η_n – коэффициент использования времени в наряде; T_c – время в наряде за сутки; 365 – число рабочих дней в году.

Особенность конструкции автобуса заключается в том, что грузом для него являются люди, для перевозки которых требуются другие условия. В первую очередь – это уровень комфорта, который подразделяется на удобство входа-выхода, особенно важный для городских автобусов, удобство размещения или посадки, комфорт плавности хода, комфорт по допустимому уровню шума, удобство обзора для туристических автобусов, комфорт на размещение багажа для междугородних автобусов. Иногда такие автобусы выпускают как полудо-

раэтажные с высоким и объемным багажным отделением по всей площади кузова автобуса и верхним пассажирским салоном. Такие автобусы оборудуются буфетом с микроволновой плитой, а также биотуалетом.

Понятие производительности автобуса сопровождается большим числом ограничений на производительность, связанных с обеспечением не только комфорта и безопасности, но и другими показателями. Тем не менее, исходя из производительности автобуса можно определить минимально необходимые размеры пассажирского салона и выбрать ориентировочные размеры всего кузова.

Городской автобус работает в стесненных условиях уличного движения, и для повышения его производительности при той же занимаемой площади на дороге конструкторы увеличивают его высоту, автобус становится двухэтажным. Английские конструкторы давно пошли по этому пути, и другие фирмы тоже стали выпускать такие автобусы.

Для повышения комфорта пассажиров в городских автобусах делается бесступенчатый вход за счет низкого расположения пола, что сокращает время входа-выхода пассажиров, время на остановках и, тем самым, повышает производительность автобуса.

Таким образом, для автобусов необходимо учитывать не только производительность, но выполнение указанных требований.

Технический эффект, необходимый для разработки технико-экономического обоснования, выражается эксплуатационными и конструктивными свойствами. Этот раздел рассмотрен на примере автомобиля с кузовом типа хэтчбек на шасси ГАЗ-31105.

Эксплуатационные свойства учитывают следующие составляющие.

1. Соответствие назначению.

Автомобиль с кузовом типа хэтчбек является многоцелевым транспортным средством, способным перевозить до пяти человек с максимальной эффективностью и комфортом. Основные сферы его применения следующие: семейный автомобиль, такси, деловой офис (на колесах) и возможная модификация повышенной проходимости.

2. Надежность и долговечность.

Эти свойства определяются соответствующими свойствами применяемых агрегатов от автомобиля-прототипа, а также кузова, который для проектируемого автомобиля является полностью оригинальным. В качестве меры повышения долговечности кузова можно предложить применение оцинкованной стали. При относительно небольшой годовой программе эффективно применение стального оцинкованного каркаса с пластмассовыми наружными панелями, например, *Renault Espace*. В этом случае возможна экономия за счет меньшего количества крупных кузовных штампов.

3. Экономичность – зависит от трех основных составляющих: силового агрегата, веса и аэродинамики. Силовой агрегат заимствуется без изменений с автомобиля-прототипа. Полностью новый кузов, с целью снижения веса, имеет предельно компактные габариты для данного полезного объема, а с целью снижения сопротивления воздуха – обтекаемую внешнюю форму.

4. Безопасность. Большая габаритная высота в сравнении с прототипом не достигает критического значения по устойчивости на опрокидывание и позволяет уложиться в нормативные требования. Кроме того, более высокий автомобиль обеспечивает водителю лучшую обзорность.

Пассивная безопасность (снижение тяжести последствий аварии) лучше за счет повышенного уровня пола. При лобовом столкновении силовой агрегат меньше внедряется в салон, а при боковом – удар поглощается жесткой зоной нижней части кузова и менее опасен для пассажиров.

5. Экологичность. Соответствие проектируемого автомобиля экологическим требованиям обусловлено применением в нем агрегатов ГАЗ-31105: двигателя, удовлетворяющего нормам токсичности и шума, а также агрегатов шасси, сидений, удовлетворяющих требованиям виброзащиты и плавности хода, уплотнителей, шумоизоляторов и обивки, обеспечивающих минимальный шум в салоне и вне его.

6. Производительность обусловлена большой вместимостью, трансформируемостью салона, удобством входа и выхода, погрузки-выгрузки, хорошей обзорностью, маневренностью за счет компактных габаритов.

Конструктивные свойства учитывают следующие составляющие:

- состав;
- структуру;
- габариты изделия.

Значительная часть состава автомобиля, за исключением кузова, заимствована у прототипа, габариты в плане (занимаемая площадь на дороге), в сравнении с седаном, уменьшены.

1. Технологическая рациональность и конструктивная преемственность.

По узлам шасси изменения не вносятся. Изменения касаются только габаритов, не ведут к усложнению конструкции и не требуют новых технологических процессов. Потребуется также изменение жесткости пружин и амортизаторов, что также не является усложнением.

2. Новизна и сложность конструктивного исполнения.

Для российской промышленности проект хэтчбэка представляет определенную новизну, прежде всего за счет кузова. Кузов отличается по конструкции от седана формой, большей площадью остекления, съемными и складными сиденьями, позволяющими трансформацию салона, конструкцией пятой двери. По степени сложности такой кузов должен быть сравним с универсалом, но

только без учета унификации, так как в хэтчбэке не применяются кузовные детали от седана.

3. Влияние принятых технических решений на сроки разработки и подготовки производства.

В сравнении с созданием всего автомобиля с нуля, сроки разработки и освоения проектируемого автомобиля сокращаются за счет применения в нем узлов силового агрегата и шасси от прототипа. Затраты на разработку и освоение относятся в основном к новому кузову.

Определение экономического эффекта

В результате внедрения разработки полезный эффект достигается в случае применения проектируемого автомобиля в качестве такси или служебного. Улучшение условий труда водителя в таких модификациях возможно за счет отделения его от салона перегородкой и создания для него отдельного микроклимата.

1. Простота в обслуживании и ремонте определяется соответствующими свойствами применяемых агрегатов от прототипа. Снижение стоимости ремонта кузова обусловлено прежде всего его долговечностью.

2. Сборка автомобиля аналогична сборке седана ГАЗ-31105 и может осуществляться на той же сборочной линии. Этому способствует унификация применяемых агрегатов, а также идентичность базы и колес обоих автомобилей. Сборка на одной линии различных моделей, часто с существенными отличиями, широко применяется зарубежными фирмами.

3. Себестоимость в сравнении с аналогами. Основная предпосылка снижения себестоимости – низкая стоимость рабочей силы в России, среди стран с более или менее развитой автопромышленностью и, соответственно, рекордно низкая доля зарплаты в себестоимости. Конкурентоспособность с аналогами на российском рынке определяется не столько себестоимостью, как таковой, сколько такими трудно предсказуемыми факторами, как курсы валют и таможенная политика правительства на момент выхода автомобиля на рынок. Снижение себестоимости за счет увеличения годовой программы возможно при условии расширения рынка.

Потребительские свойства автомобиля обеспечивают удовлетворение культурных и социально-бытовых запросов владельцев и пользователей автомобильной техники. Проектируемый автомобиль, в силу его многоцелевого характера, прекрасно подходит не только для работы, но и для отдыха. Например, хэтчбек удобен как для поездок на дачу, так и для перевозки объемного багажа во время дальних путешествий. Необходимо отметить следующее:

- благоприятное соотношение (качество/цена) в сравнении с аналогами;
- престижность нового изделия в ряду уже известных аналогов достигается в течение нескольких лет его эксплуатации потребителями;
- улучшение условий труда водителя.

2.4. Общая компоновка кузова

Компоновка – это общая планировка кузова с учетом агрегатов двигателя и шасси, оборудования кузова, водителя и пассажиров, а также груза.

Элементы компоновочного чертежа

Компоновочный чертеж должен содержать важнейшие элементы общего вида и основные разрезы кузова. При разработке компоновки должно быть предусмотрено следующее:

- расположение водителя и пассажиров или груза по отношению к уровню дороги и колесам;
- выбор типа кузова ;
- обозначение размещения агрегатов двигателя и ходовой части и оборудования;
- определение формы кузова с учетом различных требований, показателей аэродинамики и безопасности, удобства пользования, внешнего вида;
- определение принципов формообразования, соединения частей кузова (разрезы) и сборки автомобиля;
- первые приближенные расчеты нагрузок кузова и распределения веса по осям автомобиля;
- оценка прочностных свойств модели корпуса кузова;
- определение основных разрезов автомобиля.

Разработка компоновочного чертежа представляет собой типичный пример комплексного проектирования, основанного на ранее упомянутом в методах проектирования принципе встраивания.

Выбор в качестве исходного положения проекта функции изделия является характерной чертой современных методов промышленного проектирования, которые значительно отличаются от прежних. В частности, в автомобилестроении произошел отход от трактовки системы размеров комплекса двигатель-шасси как исходного положения проекта автомобиля или кузова. В настоящее время проектирование кузова представляет собой начальную позицию в процессе создания большинства автомобилей. Далее при описании отдельных элементов компоновки кузова используются так называемые рекомендуемые, или общепринятые, размеры, обусловленные значениями перцентилей и функцией.

Определение уровня пола

Уровень пола определяют от внутренней поверхности элемента, образующего основной фрагмент нижней части корпуса кузова. Основным фрагментом нижней части считается пол среднего отсека-кузова легкового автомобиля, пассажирской части автобусов, кабины водителя грузового автомобиля и грузового помещения развозных автомобилей и специальных кузовов. За внутреннюю поверхность принимается нижняя часть кузова без защитных покрытий и настила [11].

В несущих кузовах безрамных легковых автомобилей, развозных автомобилей и автобусов внутренняя поверхность пола определяется плоскостью O . Плоскость O является в дальнейшем базой всех вертикальных размеров. Первая связь кузова с агрегатами двигателя и шасси устанавливается при определении положения колес относительно уровня пола. В легковых автомобилях ось колес находится обычно выше плоскости пола на расстоянии, обеспечивающем требуемый уровень пола и дорожный просвет не менее 150 мм при статическом радиусе принятых шин. Низкий уровень пола, необходимый для снижения центра тяжести и уменьшения высоты автомобиля, может быть получен при расположении агрегатов привода (коробки передач и карданного вала) в туннеле пола. Выпускную систему (труба и глушитель) и необходимое оборудование устанавливают в предназначенной для этого зоне, для создания которой размещают нижнюю кромку кузова ниже уровня O . В случае переднего расположения двигателя и передних ведущих колес или заднего расположения двигателя и ведущих задних колес в продольном туннеле располагают не карданный вал, а выпускную систему или оборудование.

В несущих безрамных кузовах автобусов или развозных автомобилей ось ведущих колес размещают ниже уровня O на заданном расстоянии, которое выбирают с учетом вертикальных перемещений оси задних колес при сохранении гарантированного минимального зазора в крайнем ее положении. Высота уровня пола является весьма важным фактором, поскольку ее нельзя понижать местами, как в легковых автомобилях. Учитывая этот недостаток, обусловленный приводом на задние колеса, в развозных автомобилях все чаще применяют привод на передние колеса, что позволяет снизить высоту пола путем удаления приводного механизма с задней оси. Высоту можно уменьшить путем выгиба балки заднего моста или использования независимой подвески задних колес на продольных балансирах.

В автомобилях, имеющих шасси с рамой и отдельный кузов, за уровень O принимают поверхность верхней полки рамы. Уровень пола определяется тогда размерами профилей, образующих нижнюю часть, являющуюся каркасом пола, и прокладки между кузовом и рамой, установка которой обязательна. Анализируя зависимость высоты пола от типов кузова и подвески колес, можно сделать общий вывод о том, что в зоне между осями автомобиля уровень пола определяется типом кузова, а в зонах колес – типом их подвески. Несущие кузова и независимая подвеска колес позволяют значительно снизить уровень пола. При понижении уровня пола достигается много преимуществ: уменьшаются высота автомобиля, его собственный вес и аэродинамическое сопротивление, снижается центр тяжести, т. е. улучшается устойчивость автомобиля. Этим объясняется, в частности, широкое распространение безрамных автомобилей с независимой подвеской.

Оперение автомобиля

Колеса автомобиля занимают значительную часть полезного объема кузова, поэтому естественно стремление проектировщика получить крылья минимальных размеров. Однако необходимо выдержать условие: форма крыльев

должна быть такой, чтобы не возникало трение резины о кузов. Крылья проектируют с учетом максимально возможных размеров шины и ее перемещений относительно кузова в соответствии с упругостью подвески. Проектирование крыльев неуправляемых колес трудностей не вызывает. Высота крыла H определяется максимальной упругостью подвески и расположением ограничителей хода, а ширина крыла — возможностью поперечного поворота колеса относительно кузова во время крена автомобиля. Зазор между крайними точками колеса и крылом должен быть не менее 50 мм.

На следующем этапе разработки основания выполняют компоновки подвесок, стоек и дверных проемов. Поперечные сечения наносят на конфигурацию поперечин и лонжеронов рамы или балок основания несущего кузова в передней и задней частях, найденных при компоновке. После того, как намечено положение дверных проемов и стоек кузова, завершают построение контура рамы продольных балок основания несущего кузова на всей длине автомобиля. При этом намечают контуры всех осей поперечин, плеч периферийной рамы, вилок А-образных проемов и поперечных элементов, связывающих пороги боковин с передними и задними продольными балками основания несущего кузова, и т. д.

В случае разработки рамной конструкции устанавливают точки крепления кузова на раме с учетом конструкции узлов крепления.

Затем разрабатывают конструкцию мест крепления силового агрегата, промежуточной опоры карданной передачи рулевого механизма, топливного бака.

После выбора принципиальной схемы и сечений конструктивных элементов несущей системы следует проверить жесткость. Предварительно высоту сечения лонжеронов или продольных оснований несущего кузова выбирают, опираясь на подобные конструкции автомобилей, близких к проектируемому по размерам и типу несущей системы. Правильность работ проверяют путем проведения расчетов напряженно-деформированного состояния конструкции на ее конечно-элементной схеме.

2.5. Общий анализ эргономических требований

Моделирование фигуры водителя

Сведения о размерах человека дают антропометрические исследования, на основании которых устанавливают градацию людей в зависимости от роста и других размеров.

Для проектирования кузова следует применять манекены 5% и 95% перцентилей, соответствующие рекомендациям ЕЭС ООН. При этом обеспечивается соответствие кузова антропологическим данным 90% населения. Размеры лица 50%-ного перцентиля можно применять только для проверки промежуточных размеров.

В первой фазе компоновочного чертежа проектировщик обычно пользуется моделями манекенов человека 5%-ного и 95%-ного перцентиля и определяет расположение человека в кузове, а также схему его движений и зоны досягаемости (рис. 2.7). Для определения окончательных размерных зависимостей необходимы макеты фрагментов кузова и манекенов, связывающие компоновочный чертеж с предварительным проектом. Манекены построены в программе *AutoCAD* и приспособлены для проектирования фигуры человека в соответствии с рабочим местом водителя, а также для проверки позы водителя на соответствие эргономическим требованиям по углам сгиба в суставах

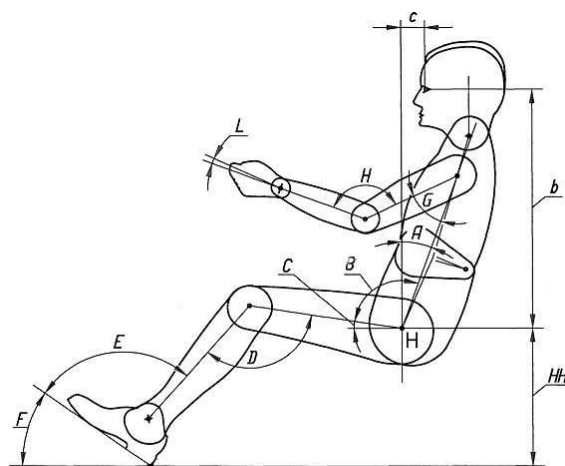


Рис. 2.7. Манекен 95%-ного перцентиля в позе водителя легкового автомобиля

Каждый виртуальный манекен разработан таким образом, что вся его фигура состоит из отдельных блоков рисунка, которые связаны между собой только в суставах, через которые проходят линии условно называемые скелетом. При этом в суставах имеются угломеры или угловые шкалы, которые помогают определить фактический угол сгиба, для этого надо увеличить масштаб просмотра.

Для изменения позы надо выделить ту часть манекена, которую требуется повернуть, перейти в режим редактирования объекта и задать нужный угол поворота числом или вручную, перемещая выбранный объект курсором. Предварительно после вызова файла, например «*man 95*», следует разблокировать его, так как он представляет собой блок. После этого он становится доступным для редактирования. Следует напомнить, что он состоит из следующих подблоков: голова, туловище (верхняя часть), туловище (нижняя часть), бедро, голень, ступня, плечо, предплечье, кисть. Нельзя повторно вызывать команду разблокировки, иначе указанные подблоки распадутся на свои составляющие линии. Для поворота нескольких подблоков, например ноги, надо выделить все подблоки, которые образуют ногу (бедро, голень, ступню), выполнить привязку к тазобедренному суставу и только тогда поворачивать ногу на нужный угол.

Если нужно ногу согнуть в колене, то надо выделить только ступню и голень и выполнить привязку к коленному суставу – теперь можно задавать угол поворота. После изменения позы манекен следует сохранить в отдельном файле с другим названием.

С точки зрения эргономики к месту водителя предъявляются следующие требования:

а) антропометрические требования – при проектировании места водителя, структура, размеры и механические функции человеческого тела занимают центральное место. Надежные антропометрические данные и методы их учета являются тем необходимым инструментом, который дает возможность оптимизировать размеры органов управления автомобилем, а также их размещение около водителя;

б) физиологические требования – обеспечение соответствия величины усилия на органах управления транспортным средством физиологическим возможностям человека;

в) психологические требования – выражаются в обеспечении соответствия параметров предъявляемой водителю зрительной и слуховой информации возможностям человеческого восприятия. В этом смысле они подразделяются на следующие требования:

- к обзорности с места водителя через лобовое окно и зеркала заднего вида;
- на размещение в кабине водителя информационных приборов и индикаторов, а также навигационных устройств и к методам цветового и символьного предъявления информации;

г) внутренние окружающие условия – это уровень внутреннего шума, величины продольных и вертикальных виброускорений, микроклимат в кабине, включая температуру и влажность воздуха, скорость воздухообмена, количество и состав вредных веществ в воздухе кабины;

д) конструктивные или критические параметры, ограничивающие габаритные размеры и массу;

е) возможность использования в аварийных и других нестандартных ситуациях.

Таким образом, к месту водителя предъявляются разнообразные требования, степень влияния которых на конечный результат проектирования неодинакова.

Антропометрические характеристики места водителя

Необходимость учета антропометрических данных при проектировании рабочего места водителя объясняется природной вариативностью людей. Люди различаются по наследственным признакам и этническим группам, возрасту и полу, роду занятий и происходящим в течение жизни изменениям телосложения.

Научные исследования в области антропометрии показали, что в любой значительной группе людей размеры человеческого тела подчинены закону нормального распределения.

Еще более адекватное понимание диапазона размеров человеческого тела, чем размах вариативности людей, допускают перцентили .

Перцентиль – значение измеряемого показателя, отсекающего в его распределении сотую часть объема измеряемой совокупности. В антропометрии наиболее характерными являются 1, 5, 50, 95 и 99-й перцентили. В интервале от 1 до 99 перцентилля находятся размеры человеческого тела 98% людей. В этом случае согласовать их с размерами оборудования представляется достаточно сложным. Поэтому наиболее часто конструктор должен создавать такие конструкции машин, которые приспособлены для работы на них минимум 90% населения. В связи с этим, главной задачей, решаемой конструктором при проектировании рабочего места водителя, является следующая: 90% людей по своим антропометрическим данным должны быть в состоянии управлять автомобилем.

С этой точки зрения универсальная управляемость машины осуществима на основании следующих утверждений:

- большие размеры машин накладывают на размеры человеческого тела сравнительно мало ограничений, обычно такие ограничения создают детали или узлы конструкции;
- рассеивание колебаний размеров людей малы, по сравнению с размерами машины, даже в таких условиях, как кабина автомобиля;
- рассеивание колебаний размеров человеческого тела у 90% взрослого населения обычно компенсируется регулирующими устройствами машины.

Основные размеры типового места водителя определяются удобством расположения водителя органов управления автомобилем в зоне досягаемости рук и ног водителя, обеспечением обзорности дорожной обстановки не только впереди, но и за автомобилем, а также справа и слева от автомобиля. Кроме того, необходимо обеспечить возможность считывания показаний приборов, не изменяя при этом положения головы, Это обеспечивается углом наклона рулевой колонки, диаметром рулевого колеса и высотой сиденья. Углы наклона подушек сиденья и спинки, а также расстояния от середины рулевого колеса и от педалей до сиденья являются менее характерными и регулируются индивидуально. В отечественном стандарте ГОСТ 51266-99, который разработан на основе ГОСТ 28070-89 с учетом директив ЕЭС 77/649 и 78/318, учтены требования тех и других нормативов и обеспечивают удобное размещение как водителя, так и пассажира.

Как правило, салон проектируемого автомобиля обеспечивает удобную посадку для людей ростовых групп от 5 до 95% групп репрезентативности. Тем не менее, в ходе дальнейшего проектирования автомобиля, в процессе создания образцов, посадочных макетов и при доводочных испытаниях необходима доработка и уточнение всех эргономических параметров

Положение педалей относительно сиденья определяет величину силы нажатия стопы на педаль. В зависимости от разницы уровня подушки сиденья и

педали обычный водитель может развить усилие от 1000 до 2000 *H*. Как правило, педали располагают ниже подушки. Сила P_p уменьшается при увеличении высоты сиденья. Из-за различий в характере работы водителей автомобилей малой и большой грузоподъемности и в критериях обзорности вперед - вниз, а также в соответствии с классической и вагонной компоновками кузова, сформировалось два основных типа места водителя: низко расположенное и высоко расположенное сиденье..

Существуют и другие системы моделирования формы человеческого тела для анализа удобства посадки водителя в автомобиле. К ним относится система *VDI* разработанная союзом немецких инженеров. Пример манекена, используемого в данной системе, показан на рис. 2.8.

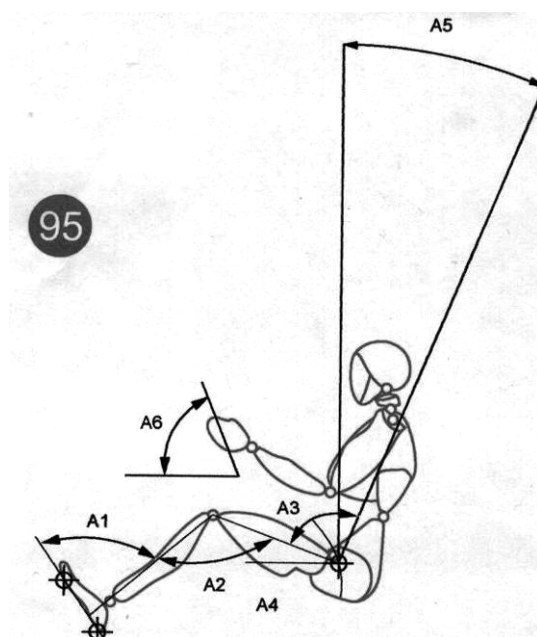


Рис. 2.8. Манекен 95 перцентиля *VDI*

В основе системы лежат те же представления о размерах людей и распределения их по ростовым группам, однако подход к определению углов в суставах для выбора удобной позы – другой.

Стандарт *VDI* создан в результате изучения различных посадок – от низких до высоких – больших групп населения различного роста. В этом стандарте рассматриваются параметры посадки в зависимости от высоты точки *H* (центра тазобедренного сустава) манекена над полом, или точнее, над точкой пятки – размер *HH* (см. рис. 2.7). В стандарте *VDI* рассматривается диапазон этой величины от $HH = 100$ мм (посадка на полу в спортивном или гоночном автомобиле) до $HH = 400$ мм (мини-вэны, автобусы, грузовики). Для седанов типичны значения *HH* в пределах 250÷350 мм, а для больших грузовиков и автобусов – свыше 400 мм, т.е. за пределами данного стандарта. Стандарт *VDI* предполагает, что все значения *HH* от 100 до 400 мм изначально удобны и задаются ком-

поновщиком автомобиля. Исходя из заданной величины *НН*, по графикам, приведенным в стандарте, находятся параметры посадки: углы в суставах и линейные величины. Для удобства посадки, естественно, решающее значение имеют углы в суставах, а линейные величины служат дополнительной информацией для их проверки, например при небольшом различии в росте манекенов. В стандарте *VDI* используется манекен 95% группы репрезентативности ростом 186 см. Углы, найденные по этому стандарту, не являются жесткой догмой, и при наличии регулировок сидений, водитель и пассажиры могут менять позу, особенно при длительных поездках (табл. 2.1).

Таблица 2.1

Рекомендуемые значения параметров углов посадки водителей различного роста (по *VDI*)

Обозначения углов	5-й уровень репрезентативности, град. ⁰	95-й уровень репрезентативности, град.	Рекомендуемые значения, град.
a	21	21	20±5
b	94	92	90-105
c	19	19	16±4
d	117	117	95-125
e	87	88	87-90
f	67	60	55-70
q	94	100	

Нормативы *VDI* предусматривают большие углы в колене водителя, чем некоторые другие стандарты. Так, максимальный угол в колене при прожатии педали тормоза или сцепления составляет 153-165°, в зависимости от высоты *НН*. Именно в этом диапазоне человеческая нога может развить максимальное усилие на педали, или меньше всего уставать при умеренных усилиях.

В отечественном стандарте ОСТ 37.001.458-87 «Взаимное расположение основных элементов рабочего места водителя легковых автомобилей» углы в суставах не увязаны с высотой *НН* и имеют некоторый разброс. Такие цифры пригодны только для грубой проверки готовой компоновки, но не для начального поиска. Углы по стандарту *VDI* находятся в пределах ОСТа. Углы туловища водителя и пассажиров при одинаковой высоте *НН* по стандарту *VDI* считаются одинаковыми. Туловище манекена имеет небольшой прогиб в 7° за счет фиктивного шарнира в середине спины манекена, имитирующего прогиб позвоночника. Углы туловища определяются по прямой линии от точки *H* к плечевому суставу, без учета прогиба (рис. 2.9).

Низкое расположение места водителя предусматривается в кузовах легковых и спортивных автомобилей, форма которых должна обеспечить обзорность вперед, начиная от трех метров перед автомобилем. Угол наклона рулевого колеса находится при этом в пределах 40–80°, поэтому угол наклона рулевой ко-

лонки составляет 50–10°. К месту водителя относятся также окружающие элементы кузова: дверь, окна, панель приборов, переключатели и т.п. [1].

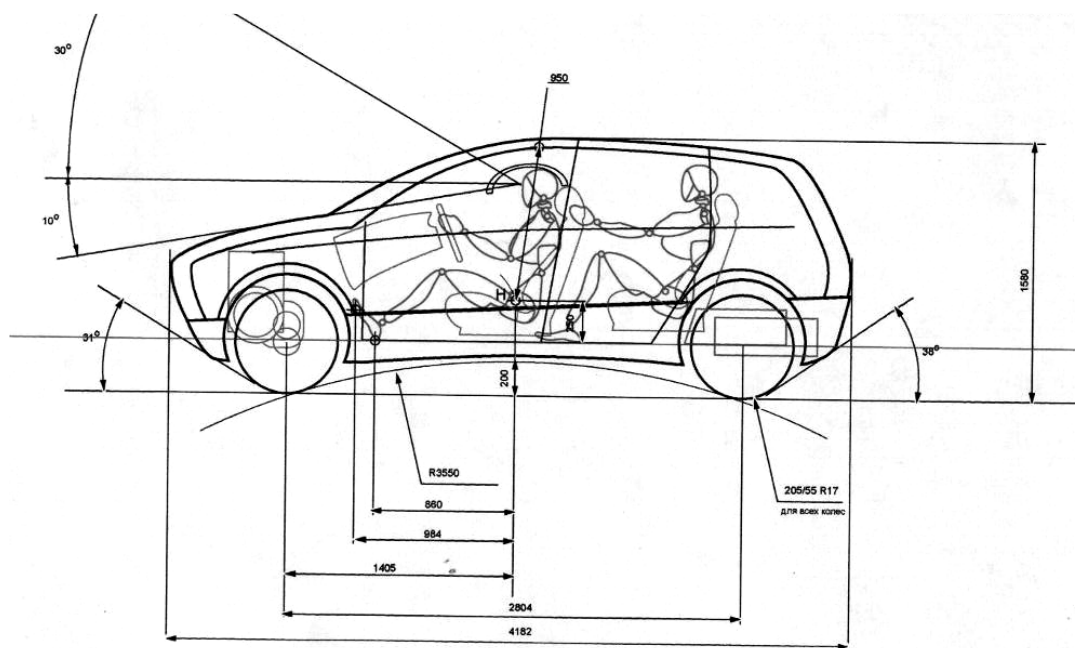


Рис. 2.9. Схема посадки водителя и пассажира с манекенами типа VDI

От правильного положения водителя в значительной мере зависят безопасность езды на автомобиле и удобство управления им. Водитель не должен работать в зонах периферического или неточного действия рук (рис. 2.10).

Низкая посадка связана с уменьшением общей высоты автомобиля, что в свою очередь уменьшает площадь поперечного сечения автомобиля и повышает его аэродинамику

Таблица 2.2
Рекомендуемые значения параметров углов посадки водителей

Названия углов	Параметры	Значения угла, град.
Наклон спинки сиденья	A	8-12
Плечо-позвоночник	G	5-40
локтевой сустав	H	80-150
Бедро-позвоночник	B	90-120
Коленный сустав	D	95-125
Голень-ступня	E	87-90
Пол-ступня	F	28-30
Бедро-горизонталь	C	12-20

Высокое расположение сиденья водителя применяется, как правило, в кузовах вагонной компоновки для увеличения полезного объема кузова. Это важ-

но для большинства кузовов транспортных средств различного назначения, таких как автобусы, грузовые автомобили и тягачи, а также развозных автомобилей [2] (рис. 2.11).

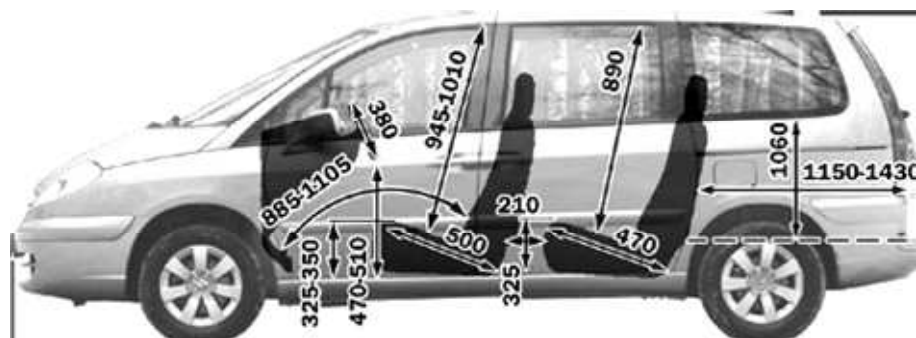


Рис. 2.10. Пример посадочных размеров салона автомобиля

Водители этих транспортных средств управляют ими, как правило, в течение всего рабочего дня, что и вызывает иной подход к выбору основных размеров места водителя. Угол наклона рулевого колеса в кузове вагонной компоновки составляет $10-40^\circ$, что соответствует углу наклона рулевой колонки $80-50^\circ$. Вследствие уменьшения наклона колонки обеспечиваются два важнейших свойства сиденья водителя при высоком его расположении: приближение сиденья к передней стенке автомобиля и возможность опоры рук на рулевое колесо.

Таким образом достигается необходимая обзорность вперед и вниз и уменьшается усталость водителя при длительном управлении автомобилем. Место водителя расположено выше, чем при классической низкой компоновке кузова. Высота подушки сиденья колеблется от 450 до 620 мм. При такой компоновке легко достигается вертикальное положение головы водителя, соответствующее основному свойству человеческого глаза, который лучше всего воспринимает окружающее под углом, близким к прямому, что большинством проектантов не всегда учитывается.

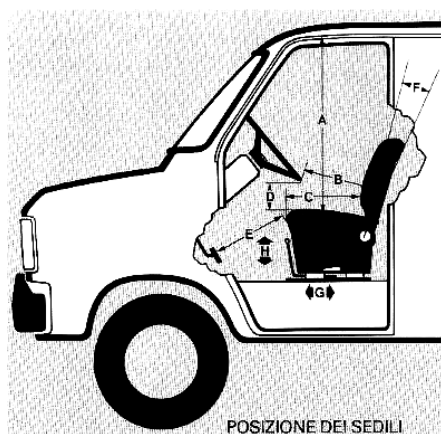


Рис. 2.11. Высокая посадка водителя и регулировки сиденья и руля

Хорошая обзорность с места водителя – одно из важнейших условий удобства управления автомобилем и обеспечения активной безопасности при движении [4,5]. Обзорность улучшается при увеличении высоты расположения подушки сиденья и уменьшении углов наклона подушки к горизонтали. Кроме того, также влияет наклон спинки к вертикали и приближение сиденья к передку автомобиля, увеличение площади окон и понижение высоты расположения их нижней кромки, а также уменьшение толщины стоек ветрового стекла или удаления их из поля зрения водителя. Осуществить все перечисленные мероприятия не всегда удается, поэтому приходится искать разумный компромисс.

Нормативными документами предусматриваются специальные требования по обзорности. Согласно ГОСТ Р 51266-99, передняя обзорность определяется размерами и расположением нормативных зон *A* и *B* ветрового стекла, степенью очистки (80% – *A*, 65% – *B*) этих зон стеклоочистителями, размерами непросматриваемых зон, зонами передней и боковой обзорности вниз [4, 5]. Дальнейшее улучшение обзорности в кузовах вагонной компоновки достигается снижением нижней кромки переднего окна (табл. 2.3), (рис. 2.12).

Таблица 2.3

Показатели обзорности с места водителя

Показатель	Норматив по ГОСТ Р 51266-99, град.
Нормативный угол обзора вверх	не менее 7
Нормативный угол обзора вниз	не менее 5
Нормативный угол обзора влево	не менее 17
Углы, образованные стойками переднего окна: левой, правой	не более 6

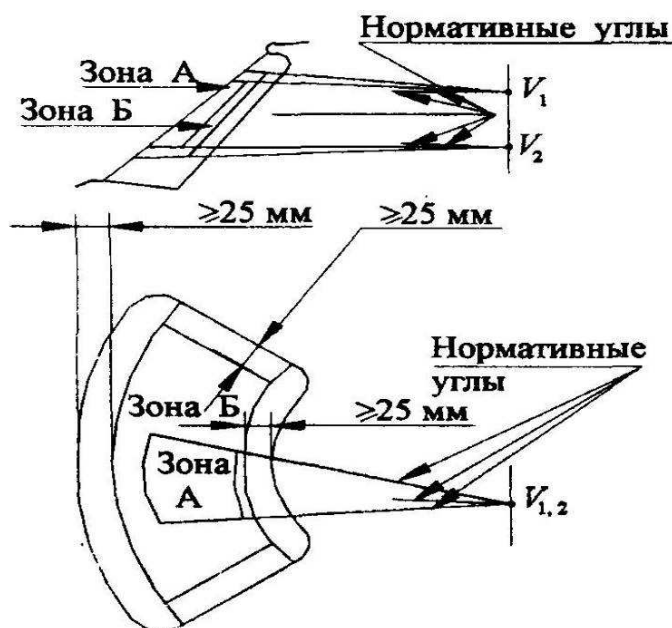


Рис. 2.12. Нормативные углы и нормативные зоны *A* и *B* переднего окна характеризующие обзорность с места водителя

Отсчет углов идет из точки, расположенной над точкой R на высоте 640 мм и смещенной назад на 230 мм, а точки $V1$ и $V2$ соответствуют манекенам 95 и 5% манекенам.

Это вызывает необходимость установки наиболее часто применяемых переключателей на рулевой колонке с целью исключения периферического действия рук.

Обзорность назад и в стороны также важна для водителя при вагонной компоновке кузова, поскольку часто заднего окна нет или оно не обеспечивает достаточного обзора. Обзорность назад обеспечивается системой зеркал (рис. 2.13). Это очень важные элементы места водителя, который в условиях интенсивного дорожного движения около 25% времени управляет автомобилем, ориентируясь в окружающей обстановке с помощью зеркал. Основным элементом, связывающим водителя с кузовом, – сиденье – является предметом изучения и будет рассмотрено отдельно. Для правильного подбора сиденья необходимо учитывать его функции – служить для тела опорой с точки зрения анатомии и физиологии и обеспечивать свободу движений и возможность изменения положения туловища, рук и ног.

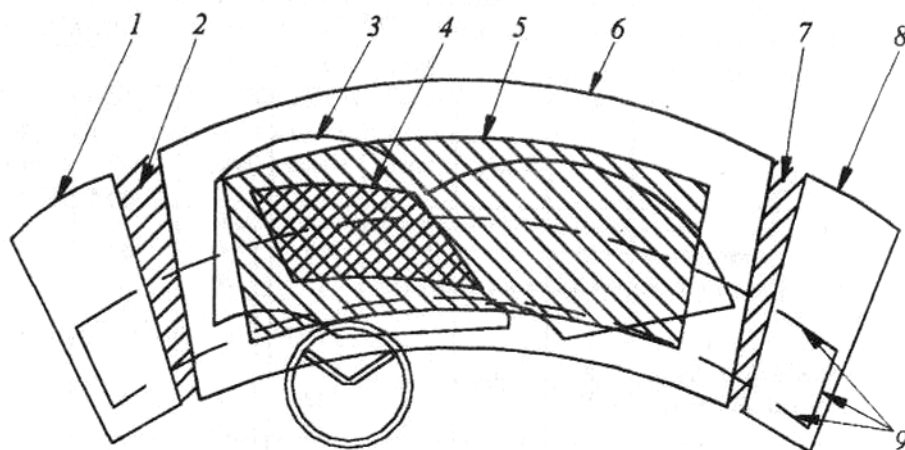


Рис. 2.13. Расположение зон А, Б и II обзора относительно рабочего места водителя:
 1 – верхний край левого окна; 2 – левая стойка переднего окна; 3 – контур очистки переднего окна; 4 – граница зоны обзора А; 5 – граница зоны обзора Б; 6 – верхний край переднего окна; 7 – правая стойка переднего окна; 8 – верхний край правого окна, поле обзора II

С учетом этих функций форма сидений может быть различной, в частности, в зависимости от продолжительности работы водителя и характера движения.

Существуют сиденья для кратковременной спортивной езды, при которой прежде всего важна фиксация туловища водителя. Но находиться в одном и том же положении в течение нескольких часов езды невозможно. Поэтому в обычных кузовах сиденье должно обеспечивать возможность смены положения туловища и большую свободу движений, без ухудшения остальных анатомо-физиологических свойств.

В современных легковых автомобилях для повышения комфорта движения применяются сиденья, имеющие не только регулировки, но и дополнительные устройства. Сюда относятся электропривод управления регулировкой положения сиденья, устройства вентиляции и обогрева, устройство памяти для полуавтоматической регулировки посадки, различные формы подушки и спинки сиденья – стандартные, эргономические, спортивные, с повышенным комфортом, с элементами роскоши и т.д.

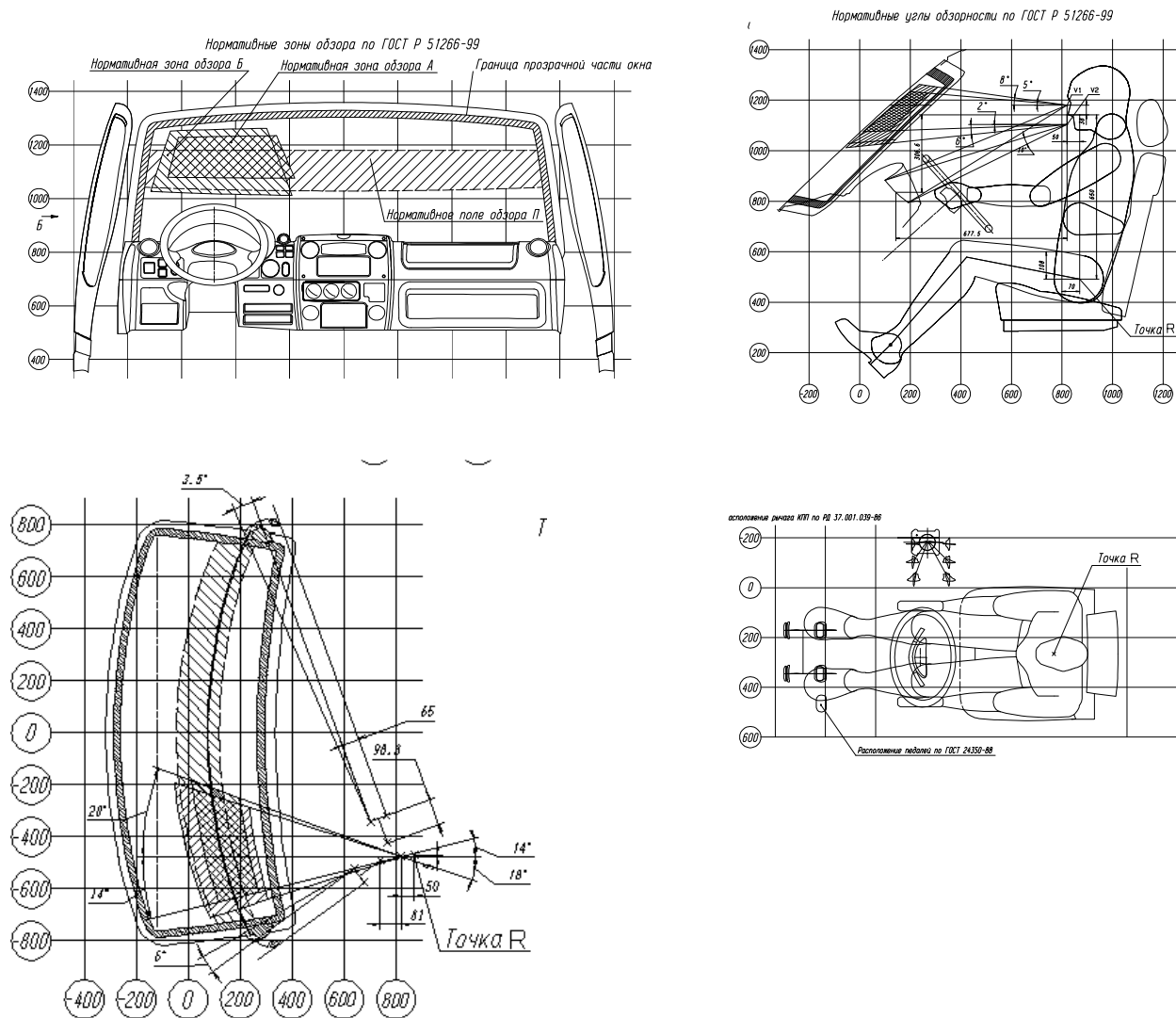


Рис. 2.14. Основные зоны обзора и расположения органов управления относительно рабочего места водителя

Место пассажира

Пассажир в легковом автомобиле располагается в положении сидя.

В таких кузовах легковых автомобилей, как купе и лимузин, могут быть предусмотрены вспомогательные места. В этих случаях допускается проектировать место пассажира по размерам лица 50 перцентилия. Во всех остальных разновидностях кузовов автомобилей малых, средних и больших классов места пассажира почти идентичны. Это объясняется тем, что проектирование сиденья

для пассажира аналогично проектированию сиденья для водителя, за исключением размеров, вытекающих из условий, которые определяются функцией управления автомобилем.

Таблица. 2.4

Размеры нормативных зон в зависимости от категории транспортных средств

Размеры нормативных зон А и Б переднего окна АТС						
Категории АТС	Варианты компоновок АТС	Зоны	Нормативные углы, градусы, не менее			
			вверх	вниз	влево	вправо
M ₁	Все варианты	А	3	1	13	20
		Б	7	5	17	+
M ₂	Капотная	А	3	1	13	20
		Б	7	5	17	+
	Полукапотная	А	7	4	15	20
		Б	12	8	19	+
	Вагонная	А	7 (5)	4	15 (13)	20
		Б	12 (5)	11	19 (13)	+
M ₃	Капотная	А	6	3	15	20
		Б	9	7	19	+
	Полукапотная	А	9	15 (8)	20	20
		Б	10	21 (8)	22	+
	Вагонная	А	9	15	20	20
		Б	10	21	22	+
N ₁	Капотная	А	3	1	13	20
		Б	7	5	17	+
	Полукапотная	А	5	2	14	20
		Б	8	6	18	+
	С кабиной над двигателем	А	5	2	14 (13)	20
		Б	8 (5)	6	18 (13)	+
N ₂	Все варианты	А	6	3	15	16
		Б	9	7	18	+
N ₃	Все варианты	А	6	7	15	16
		Б	7 (6*)	10	18	+

Исключение этих условий позволяет осуществить больший наклон спинки сиденья и выпрямить ноги

Различия в деталях зависят от категории автомобиля и разновидности кузова. Поэтому и отпала концепция «малый автомобиль – малый человек», которая вызвала в свое время проекты так называемых микроавтомобилей. В настоящее время основные размеры места пассажира не определяют класс автомобиля. Разграничение происходит лишь за счет внутренней отделки (табл. 2.4).

В кузовах автобусов расположение пассажирских сидений и степень их удобства определяются длительностью поездки, от которой зависит размер шага сидений. Для стоящего пассажира должен быть предусмотрен поручень, находящийся в удобных пределах действия руки. Высоту размещения поручня выбирают в соответствии с размерами человека 5%-ного и 95%-ного перцентилей.

Для человека 5%-ного перцентиля в радиусе действия руки должна иметься петля, размещенная на поручне. При размещении человека высокого роста 95% перцентиля под этим поручнем должен быть соответствующий зазор. Пассажир автомобиля может выступать не только в пассивной роли. Для специализированных кузовов автомобилей, начиная от санитарного, кузова-магазина, кузова-мастерской и т. д. и заканчивая жилыми кузовами, система основных размеров сложна. Разнородность этих систем требует очень тщательного эргономического анализа с учетом ограниченности полезного пространства. В таких случаях после разработки компоновки проводится макетирование интерьера как наилучший способ уменьшения риска неудачного проектирования.

Размещение груза

Стандартизованные грузы могут перевозиться автомобилем любой категории с любым типом кузова. Нормализацию грузов при необходимости осуществляют упаковкой, которая важна не только на транспорте, но играет важную роль во всем процессе доставки, хранения и распределения товаров.

К стандартизованным грузам, перевозимым в кузовах легковых автомобилей, относятся, например, канистры для бензина и основные упаковки розничной торговли, которые должны быть удобно размещены в багажнике.

Предназначенные для установки грузов поверхности кузовов автомобилей грузоподъемностью выше 1 т должны соответствовать нормам ИСО на перевозку пакетированных грузов. Тем же нормам должны соответствовать и дверные проемы закрытых кузовов-фургонов грузовых автомобилей.

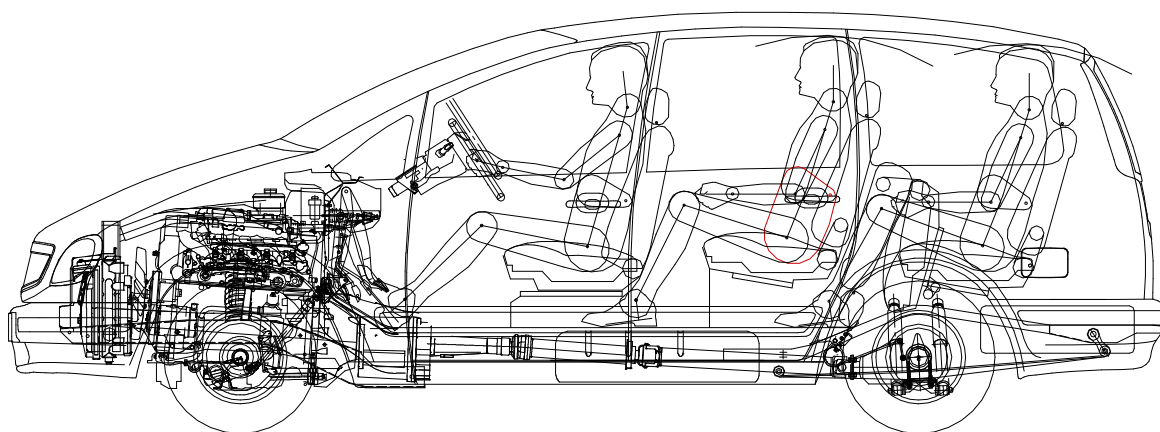


Рис. 2.15. Посадка водителя, и пассажиров в салоне в салоне автомобиля с кузовом типа «мини-вэн»

В результате проведенной работы по размещению водителя, пассажиров, узлов и агрегатов получается компоновка автомобиля, пример которой приведен для легкового автомобиля на рис. 2.15. С учетом проведения разработки сборочных чертежей, которые выполняются на основе существующей технологии ку-

зовного производства и существующего оборудования, получены чертежи конструкции кузова. На рис. 2.16 показаны сборочные чертежи каркаса кузова как наиболее важные для проектирования конструкции кузова и всего автомобиля.

При проектировании грузовых автомобилей тип кузова также имеет большое значение, хотя и не в такой степени, как для легковых. Тем не менее, в качестве несущей системы здесь применяется рамная конструкция (рис. 2.17). Грузовые автомобили малой грузоподъемности, как правило, имеют специализированный закрытый кузов типа фургон, приспособленный для перевозки определенного типа груза. Поэтому внешне такие автомобили близки к легковым и соответствует облику городского транспорта, особенно с учетом появления «развозных» автомобилей.

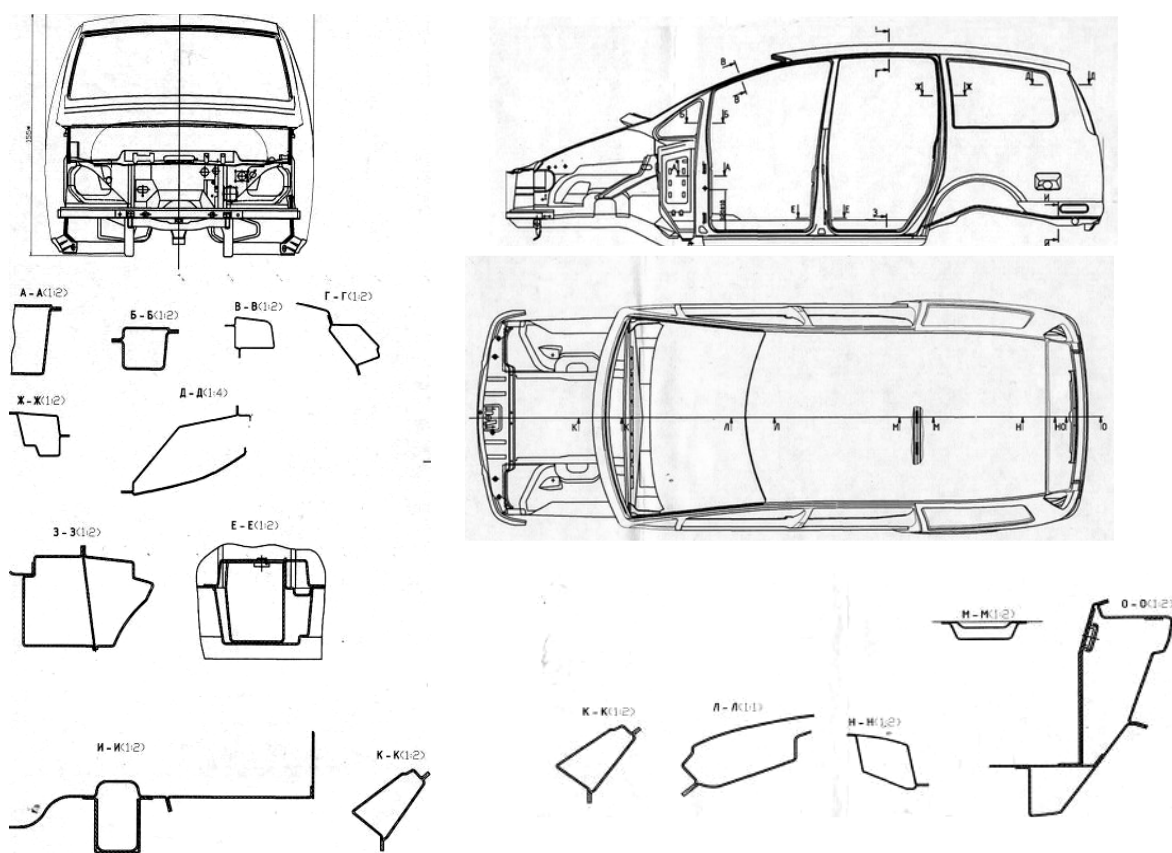


Рис. 2.16. Конструктивные чертежи кузова легкового автомобиля

Грузовые автомобили средней грузоподъемности имеют кузова как типа фургон, так и бортовую платформу. При этом соответствие основных размеров кузовов нормализованным грузам является основным вопросом экономики перевозок для каждого класса грузоподъемности [2]. Грузовые автомобили средней и большой грузоподъемности должны быть приспособлены для перевозки пакетированных грузов, что необходимо для эффективного использования автомобильного парка и снижения затрат на дорогостоящие погрузочно-разгрузочные работы. Доставку грузов также можно усовершенствовать пакетированием грузов соответствующими контейнерами.

При разработке конструкции грузового автомобиля большое значение придается как общей компоновке, так и конструкции рамы и кабины.

При этом в кабине должны быть учтены те же самые вопросы размещения водителя на рабочем месте и удобства погрузки и разгрузки перевозимого груза. При этом некоторые характеристики посадки водителя будут другими.



Рис. 2.17. Различные типы кузова на шасси автомобиля «Форд-Транзит»

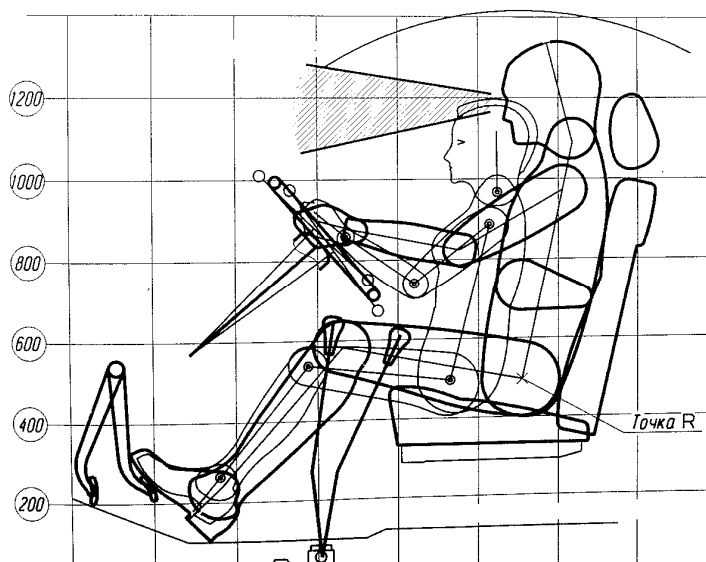


Рис. 2.18. Рабочее место водителя грузового автомобиля с манекенами 5%-ной и 95%-ной репрезентативности

При проектировании рабочего места водителя грузовика необходимо учитывать не только формы и размеры манекена 95%-ного перцетилия, но и размещения манекенов других ростовых групп, а самое главное, – обеспечить им возможность управлять автомобилем, то есть видеть дорожную обстановку, щиток

приборов и их показания, управлять рулевым колесом, педалями и рычагами трансмиссии и стояночного тормоза. Кроме того, важное значение имеет удобство входа и выхода водителя со своего рабочего места. Проектирование грузового автомобиля должно учитывать возможность технического обслуживания двигателя и трансмиссии. Затруднения при проведении таких работ часто связаны с расположением этих агрегатов под кабиной или кузовом (рис. 2.18).

Поэтому конструктор должен предусмотреть соответствующие люки, крышки или капот для доступа к указанным агрегатам. Иногда необходимо проектировать откидную кабину, которая открывает свободный доступ ко всему моторному отсеку. Поскольку кабина грузового автомобиля достаточно тяжелая, нужно предусмотреть механизм откидывания кабины со встроенной механизацией или с сервомеханизмом с пружинами и надежный стопорный механизм запираания кабины в транспортном положении.

2.6. Проектирование кузова автобуса

После того, как каркас автобуса выполнен, необходимо разработать компоновку салона автобуса [1, 3, 9]. При разработке компоновки необходимо руководствоваться требованиями нормативно-технической документации. Требования, предъявляемые к автобусам, изложены в Правиле №107 ЕЭК ООН «Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения транспортных средств категорий М2 и М3 в отношении их общей конструкции»

В соответствии с Правилем, проектируемое транспортное средство классифицируется как автобус «класс I» – транспортные средства, конструкция которых предусматривает места для стоящих пассажиров и позволяет им беспрепятственно перемещаться. Рассмотрим для примера вариант городского автобуса с низким расположением пола для удобства входа и выхода пассажиров.

Низкопольный автобус – транспортное средство класса I, II или A, в котором, по крайней мере, 35% площади, предназначенной для стоящих пассажиров, представляет собой площадку без ступенек и предусматривает доступ к одной служебной двери.

Салон автобуса спроектирован таким образом, чтобы соответствовать следующим требованиям, изложенным в приложении 3 Правил: «Требования, применяемые ко всем транспортным средствами».

«Выход» означает служебную дверь, междуэтажную лестницу, полулестницу или аварийный выход.

«Аварийный выход» означает запасную дверь, запасное окно или аварийный люк. Минимальное число дверей в транспортном средстве должно быть две: либо две служебных двери, либо одна служебная дверь и одна запасная дверь.

«Служебная дверь» означает дверь, предназначенную для использования пассажирами при обычной эксплуатации, когда водитель находится на своем месте.

«Запасная дверь» означает дверь, предназначенную для использования пассажирами в качестве выхода только при исключительных обстоятельствах и, в частности, в аварийной ситуации.

Количество служебных дверей при проектировании выбирается в зависимости от числа пассажиров и класса транспортного средства: при количестве от 71 до 100 человек в автобусах класса I должно быть три служебных двери.

Передняя дверь автобуса – одинарная, а находящаяся в базе автобуса – двойная – имеющая два прохода или ширину, эквивалентную двум проходам.

Минимальное число выходов должно быть таким, чтобы общее число выходов в обособленном отделении было следующим: при количестве пассажиров от 61 до 75 минимальное общее число выходов должно быть равно семи. Двойная служебная дверь рассматривается в качестве двух дверей. Таким образом общее количество дверей равно трем. Конструкцией крыши кузова автобуса предусмотрено два люка, которые рассматриваются как запасные. Запасных дверей не предусмотрено, предусмотрены три запасных окна (рис. 2.19). Таким образом, общее число выходов автобуса равно восьми.

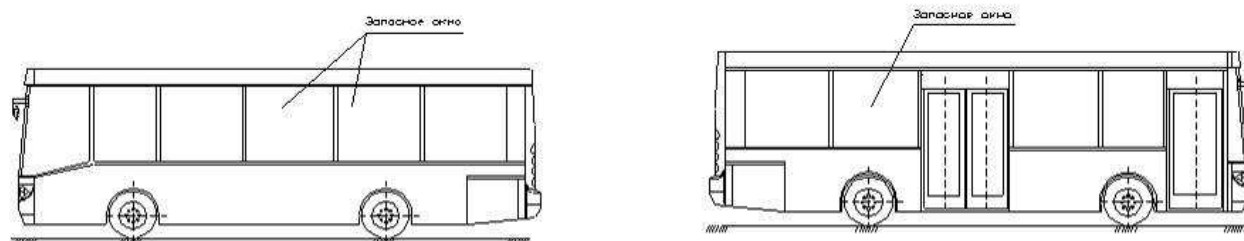


Рис. 2.19. Расположение запасных окон

Расположение выходов. В соответствии с требованиями рассмотренного Правила служебные двери располагаются с ближней к обочине стороны транспортного средства – с правой относительно направления движения, причем одна из них находится в передней половине транспортного средства.

Двери, одна из которых двойная, удалены друг от друга таким образом, что расстояние между осями двух дверей, которые наиболее удалены друг от друга, должно составлять более 40% от общей длины пассажирского салона.

Размеры выходов. Высота дверей составляет 1 873 мм, ширина передней двери – 708 мм, двери в средней части кузова – 1 230 мм. Площадь запасных окон составляет 1 620 060 мм² и 1 722 875 мм². Эти размеры должны составлять: высота дверей – 1 800 мм, ширина передней двери – 650 мм, двойной – 1200 мм; площадь запасных окон должна быть не менее 400 000 мм².

Запасное окно имеет легко разбиваемое предохранительное стекло. Вблизи каждого запасного окна должно быть установлено приспособление, легко доступное для лиц, находящихся в транспортном средстве с тем, чтобы можно было разбить каждое окно.

Высота запасных окон над уровнем пола составляет: 839 мм для окна, расположенного напротив средней двери, и 688 мм для остальных запасных окон. Окна должны быть на высоте не менее 500 мм и не более 1 200 мм от уровня пола.

Внутренняя планировка. «Основной проход» означает пространство, обеспечивающее доступ пассажиров от любого сиденья или ряда сидений к любому другому сиденью или ряду сидений, а также к любому проходу в месте расположения служебной двери и к каждой площадке для стоящих пассажиров [4].

Основной проход в транспортном средстве спроектирован и выполнен таким образом, чтобы обеспечивать свободное прохождение контрольного устройства, состоящего из двух соосных цилиндров и перевернутого усеченного конуса между ними и имеющего следующие размеры (табл. 2.5, рис. 2.20).

Уклон основного прохода. В задней части автобуса основной проход находится под уклоном (измеряемом в транспортном средстве без груза, находящемся на горизонтальной поверхности, и с отключенной системой опускания пола), который составляет 5° , что соответствует требованиям Правил, по которым он не должен быть более 8° . В остальной части салона проход располагается в горизонтальной плоскости, то есть без уклона.

Ступеньки. Так как проектируемый автобус – низкопольный, то для доступа в салон автобуса пассажиру необходимо подняться всего на одну ступеньку. Её высота составляет 307 мм от поверхности земли (по Правилу – не более 350 мм). Для доступа к задней части салона, предназначенной для сидящих пассажиров, спроектированы две ступеньки высотой 200 мм и глубиной 308 мм (по Правилу минимальная высота – не менее 120 мм, максимальная – не более 250 мм, глубина – не менее 200 мм).

Таблица 2.3

Размеры контрольного устройства

Параметры сиденья	Класс I
Диаметр нижнего цилиндра "А"	450
Высота нижнего цилиндра	900
Диаметр верхнего цилиндра "С"	550
Высота верхнего цилиндра "В"	500(*)

Общая высота "Н"

1 900(*)

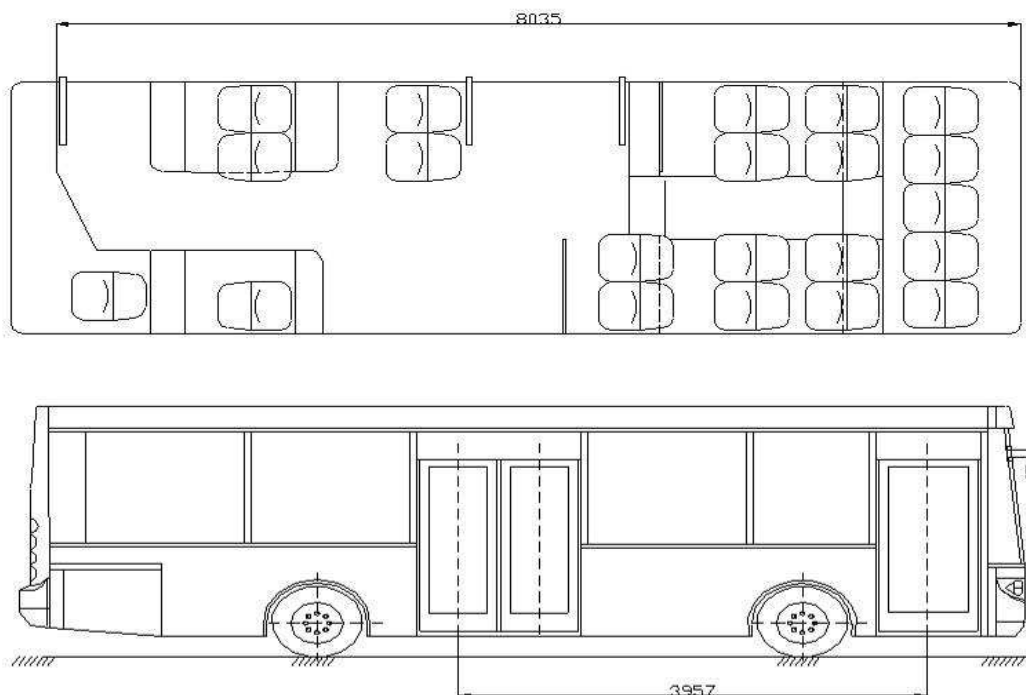


Рис. 2.20. Расположение служебных дверей

Передний ряд сидений, а также все сиденья задней части салона, расположены на подиумах для удобства посадки пассажиров. Высота этих подиумов не превышает 350 мм, требуемых по Правилу.

Для посадки на последний ряд сидений предусмотрен подиум, высота которого составляет 206 мм и глубина 328 мм, что также удовлетворяет требованиям (рис. 2.22–2.23).

Пассажирские сиденья и пространство для сидящих пассажиров. В автобусе установлены сиденья производства ОАО «Павловская сельхозтехника». Они полностью удовлетворяют всем требованиям, предъявляемым Правилем к пассажирским сиденьям.

Расстояние между сиденьями. Практически все сиденья для пассажиров расположены по ходу движения. Для сидений, расположенных таким образом, расстояние составляет не менее 1 300 мм.

При этом расстояние между передней стороной спинки сиденья и задней стороной спинки расположенного впереди сиденья при измерении по горизонтали и на любой высоте над полом между верхней поверхностью по-

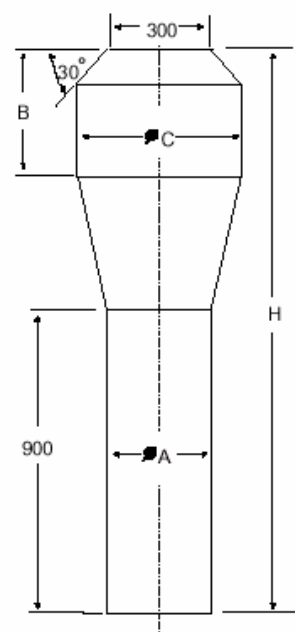


Рис. 2.21. Общий вид контрольного устройства

душки сиденья и точкой на высоте 620 мм над уровнем пола должно составлять не менее 650 мм.

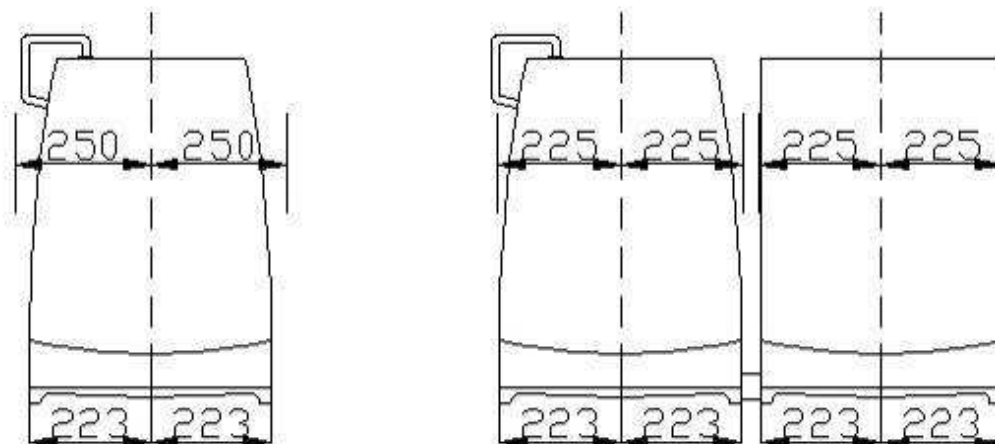
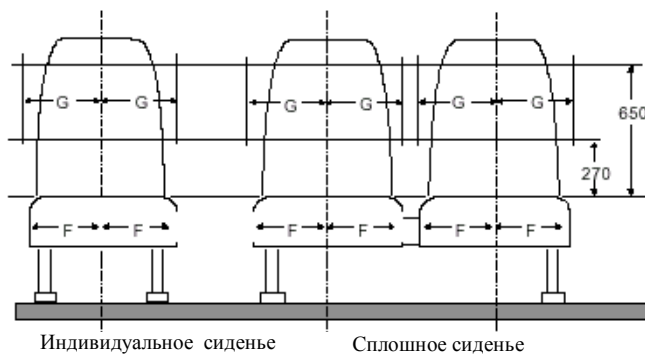


Рис. 2.22. Сиденья, устанавливаемые в проектируемом автобусе



	G (мм) мин	
F (мм) мин	Сплошные сиденья	Индивидуальные сиденья
200*	225	250

Рис. 2.23. Размеры пассажирских сидений по требованиям Правилу №107 ЕЭК ООН

Связь с водителем. На проектируемом автобусе предусмотрены устройства, позволяющие пассажирам передавать водителю сигнал для остановки транспортного средства. Элементы управления всеми такими устройствами связи имеют выступающие кнопки, которые находятся на высоте 1 000 мм от уровня пола и имеют контрастную расцветку. Эти элементы располагаются на вертикальных поручнях в достаточном количестве и равномерно по всему транспортному средству. Включение элементов управления сигнализируется для пассажиров с помощью светящегося указателя, содержащего надпись «Остановка автобуса» и остается светящимся до момента открывания дверей. Такой указатель располагается на перегородке водителя.

Отсутствие ступеней при посадке в автобус значительно облегчает посадку и высадку пассажиров, особенно для пожилых людей и инвалидов, однако усложняет конструкцию автобуса, в частности кузова (рис. 2.24).

Тем не менее, такое направление является перспективным и получило широкое распространение в мировом автостроении.

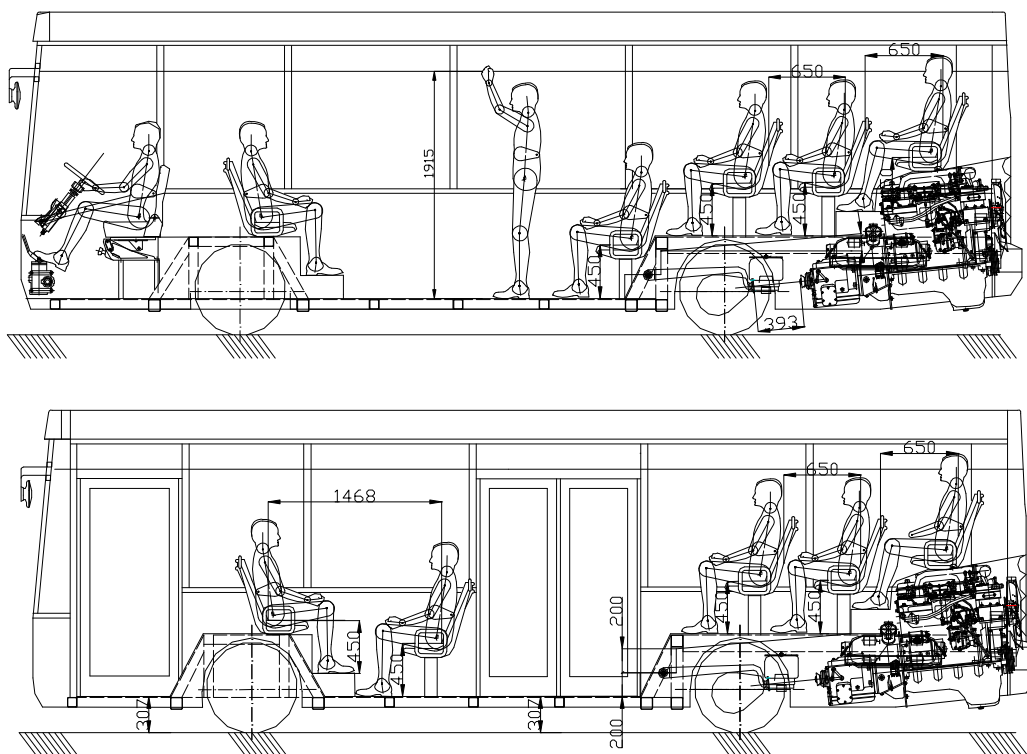


Рис. 2.24. Компоновка низкопольного автобуса

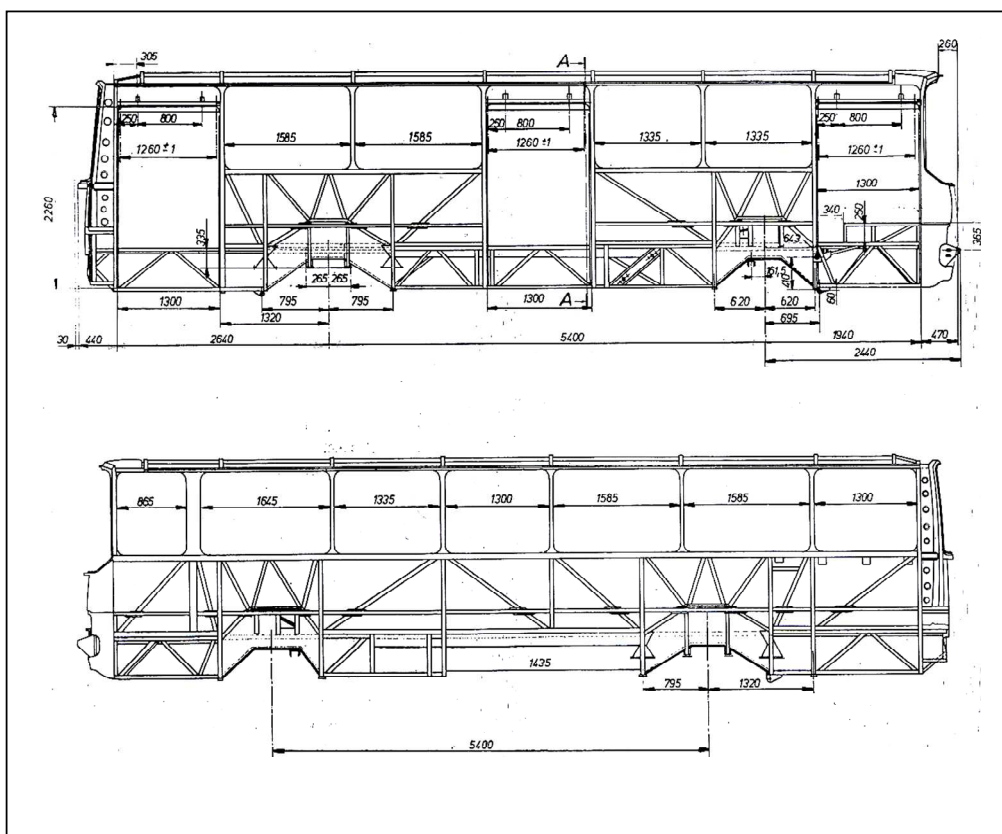


Рис. 2.25. Сборочный чертеж боковин каркаса автобуса

Разработка чертежей кузова автобуса

После завершения конструкторских работ над компоновкой разрабатываются сборочные чертежи автобуса, которые определяют его каркас и приближаются к внешнему виду машины (рис. 2.24–2.27). Затем разрабатываются рабочие чертежи, на основании которых изготавливаются детали и сборка всей конструкции кузова.

При этом для каркаса кузова предусматривается применение труб прямоугольного сечения, а для рамы применяются штампованные детали швеллерного типа. Для обшивки применяют стальной прокатный лист. Далее будут рассмотрены порядок и оборудование для производства других видов работ, связанных со сборкой автобусных кузовов (гл. 5). Контроль правильности сборки проводится по величине контрольных размеров, указанных в «Технических условиях» на сборочных чертежах кузова. Очень важно при сборке выдержать размеры оконных и дверных проемов, так как от этого будет зависеть качество установки дверей и окон кузова, а изменить их практически невозможно.

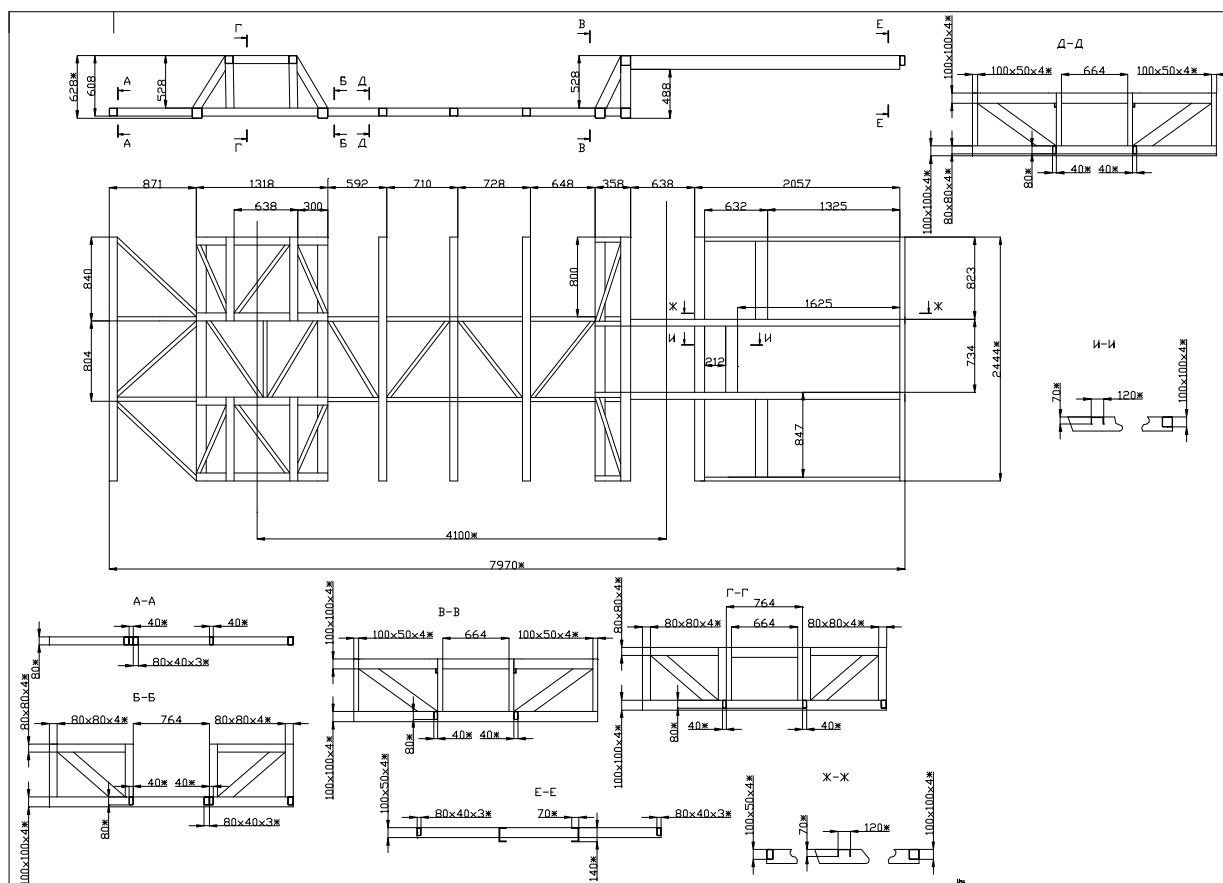


Рис. 2.26. Чертеж основание кузова автобуса

В условиях современного автоматизированного проектирования на основе компьютерных технологий появилась возможность автоматизации не только построения чертежей, но и получения виртуальных макетов любых деталей и сборок, включая весь кузов и даже автомобиль в сборе.

С их помощью конструкторы уточняют и корректируют рабочие чертежи, с ними сверяют опытные образцы деталей кузова и его деталей в процессе отладки производства. Таким образом, роль натурального макета всего автомобиля и отдельных его частей, которые ранее являлись неотъемлемыми и ответственными элементами производства, резко снижается и постепенно сводится к нулю. Тем более, что в настоящее время появилась возможность получения натуральных макетов (в масштабе 1:1) на специальных станках с ЧПУ.

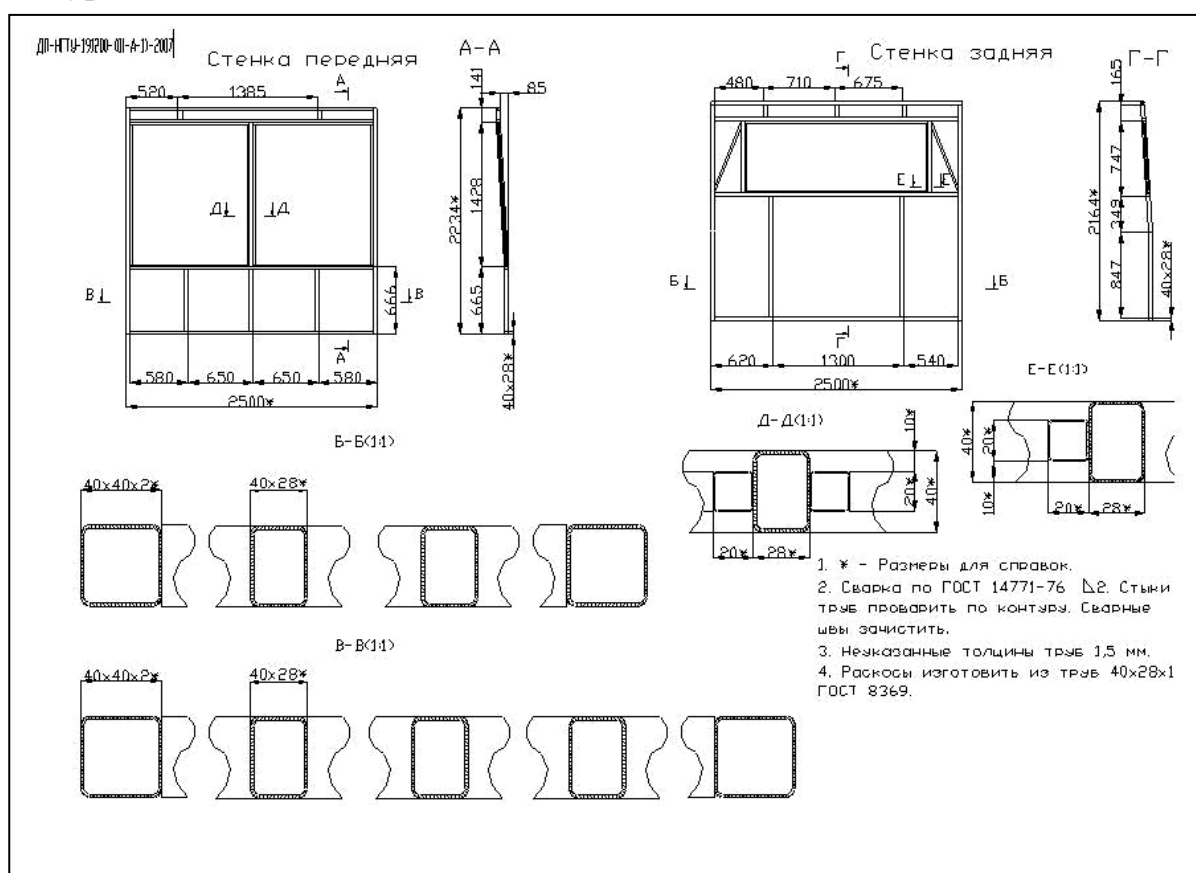


Рис. 2.27. Передний и задний борта кузова автобуса

В настоящее время существуют системы быстрого прототипирования, которые позволяют достаточно быстро изготовить любой объемный макет или модель средствами компьютерной графики по имеющейся матмодели объекта из специальных полимерных материалов путем напыления легкоплавкого порошка в электростатическом поле.

1. ТЕХНОЛОГИИ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ КУЗОВА

В настоящее время широко применяются технологии проектирования и разработки внешнего вида автомобиля (поверхности) в пакетах трехмерного моделирования *3D Studio MAX*, *V-Ray* и *AutoCAD*, а также прочностные расчеты кузовных конструкций методом конечных элементов в соответствующих программных комплексах.

Высокая сложность и трудоемкость осуществления классической методики дизайна автомобиля, в которой не являющийся творческим и дизайнерским этап разработки поверхностей и создания мастер-моделей кузовных деталей и кузова в сборе занимают значительный период времени, вынуждает инженеров искать обходные пути, новые технологии проведения этих работ. С развитием электронной измерительной техники и широким внедрением мощных ЭВМ и персональных компьютеров, соответствующего программного обеспечения появилась возможность осуществлять разработку поверхностей кузова проектируемого автомобиля с помощью таких электронных комплексов. В итоге, процедура уточнения положения, исправления и взаимного согласования кривизны формообразующих линий наружных панелей нового кузова значительно ускорилась. Теперь исходные данные с утвержденного макета внешних форм автомобиля снимаются не путем вручную изготавливаемых черновых шаблонов и последующей их привязки к чертежу по координатной сетке, а путем определения координат точек в пространстве с помощью электронной координатно-измерительной машины.

Разработка поверхности происходит также не вручную с помощью карандаша и лекала, а электронным путем с помощью компьютерных технологий. Так производилась разработка поверхностей панелей кабины и оперения известного полутонного грузовика ГАЗ-3302 «ГАЗель» и легковых автомобилей ГАЗ-3111 и ГАЗ-31105 «Волга».

Такая технология проектирования имеет ряд других достоинств. Теперь собранные в базе данных ЭВМ сведения об уточненных координатах точек кузовных панелей позволяют в любой момент сделать распечатку чертежа кузова или его составной части. Эти же данные могут быть использованы для изготовления штампов и другой технологической оснастки. Теперь можно обойтись без изготовления мастер-моделей кузовных деталей и мастер-модели кузова в сборе. Наконец, содержащиеся в памяти ЭВМ данные значительно облегчают процедуру разработки математических моделей конструкции кузова для последующего их расчета на прочность и жесткость и теоретической проверки соот-

ветствия требованиям кузова по пассивной безопасности, оценки его вибрационных и шумовых характеристик и др.

Наметились и уже апробируются и другие более совершенные схемы проведения работ по созданию новых моделей автомобилей. Так, для ускорения процесса разработки нового кузова легкового автомобиля ГАЗ-3115 при сохранении в нем уже применяющихся на предыдущей модели основных узлов и агрегатов трансмиссии инженеры обошлись без этапа создания макета внешних форм автомобиля в натуральную величину, разработка которого требует трех-шести месяцев. Разработка поверхности кузова осуществлялась с помощью ЭВМ и хранящихся в ее памяти баз моделей и электронного координатно-измерительного комплекса.

Таким образом, данная технология проектирования автомобиля позволяет исключить создание дорогостоящих мастер-моделей кузовных деталей и мастер-модели кузова в сборе, на изготовление которых требуются большие людские, экономические и временные затраты.

Оболочка внешней формы, построенная по принципу трехмерного моделирования с помощью ЭВМ, позволяет получить всю необходимую информацию для построения чертежей кузовных деталей, разработки расчетных моделей и их теоретического анализа на прочность и жесткость, изготовления штампов и другой необходимой оснастки. Считается, что такая технология дизайна нового автомобиля примерно вдвое сократит сроки проведения работ по созданию нового кузова и ускорит освоение его производства.

3.1. Разработка внешнего вида автомобиля в системе

3D Studio MAX

3D Studio MAX – это программа трехмерного моделирования для *Windows*, созданная фирмой *Autodesk* параллельно с *3D Studio*.

Пример проектирования внешнего вида кузова хэтчбэк

Процесс разработки поверхности кузова нового автомобиля начинается с разработки эскизной компоновки этого автомобиля. Эскизная компоновка обычно делается в масштабе 1:10 или 1:5. На ней с помощью разработки посадки манекенов 5-го и 95-го перцентилля определяются основные предварительные размеры автомобиля (высота расположения линии крыши, соотношение габаритных размеров, величина базы, взаимное расположение основных объемов, их предварительные пропорции), а также примерное расположение сидений, дверей, окон, багажника, двигателя и агрегатов трансмиссии.

Разработка компоновки была проведена после того, как были определены оптимальные углы посадки пассажиров и основные размеры и формообразующие линии кузова.

Используя эскизную компоновку, строятся чертежи необходимых проекций автомобиля и импортируются в программу трехмерного моделирования *3D Studio MAX* (рис. 3.1).

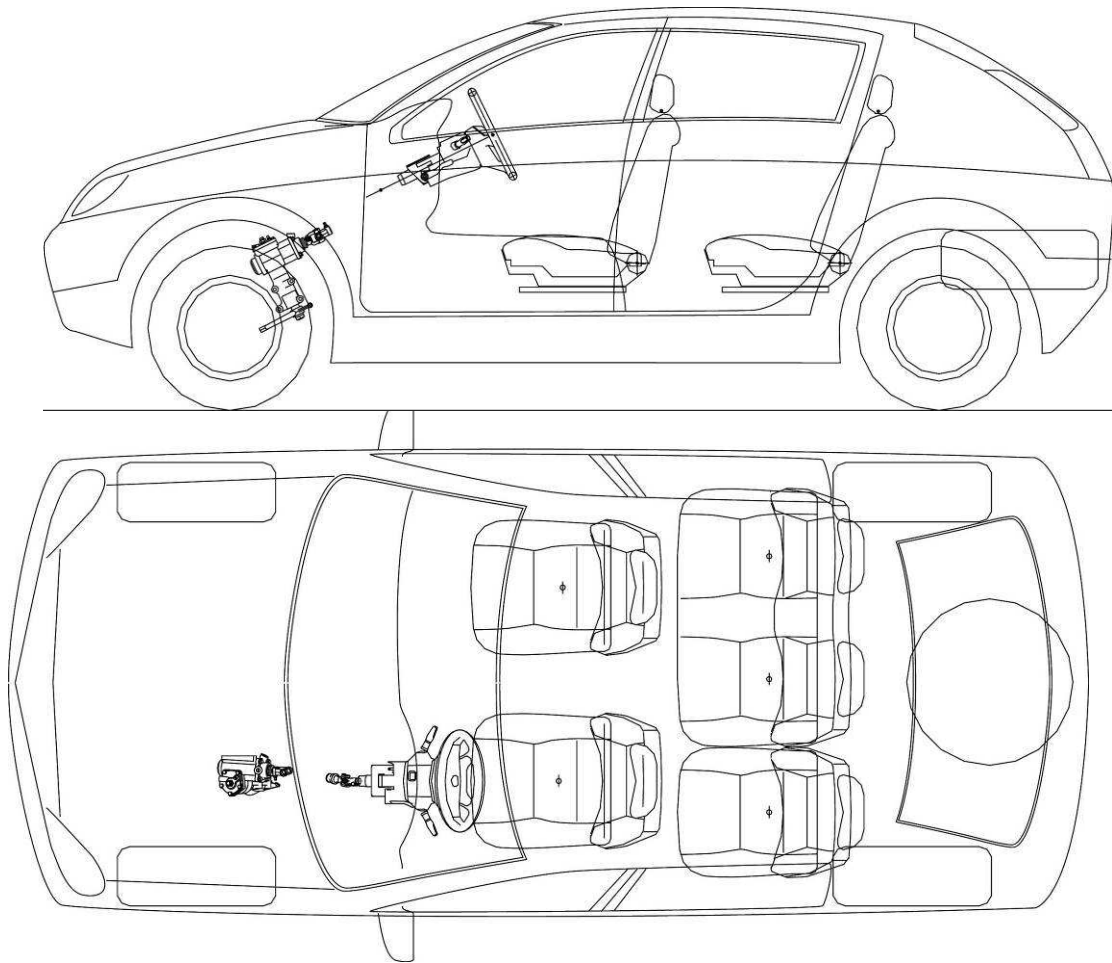


Рис. 3.1. Формообразующие линии, полученные с эскизной компоновки

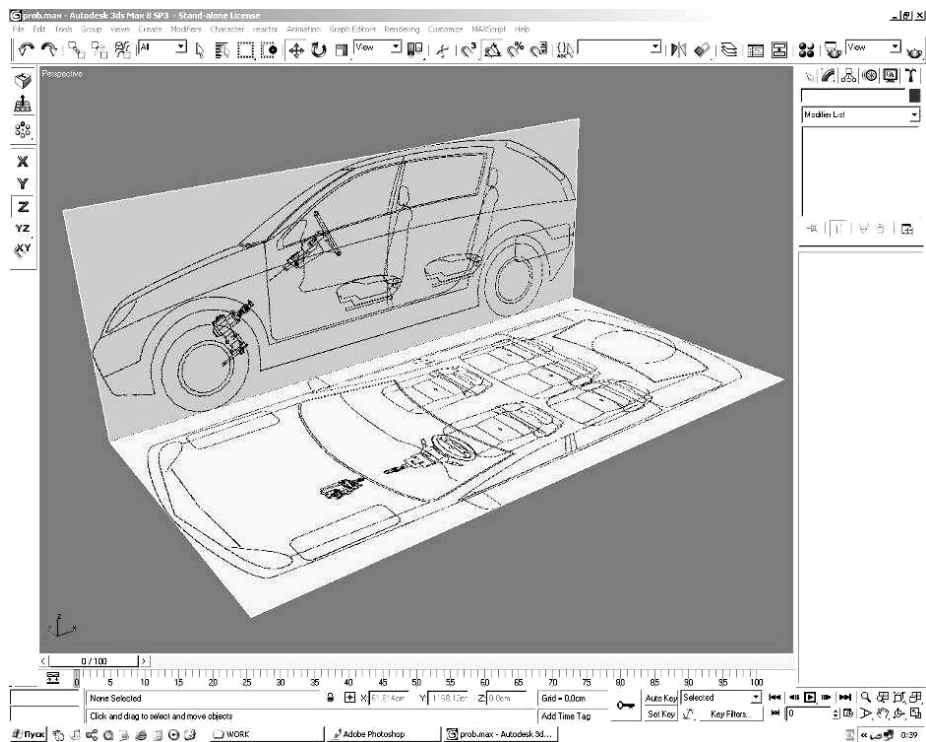


Рис. 3.2. Рабочая область для моделирования кузова

В программе *3D Studio MAX* создается примитив *box* размеры которого совпадают с габаритными размерами проектируемого автомобиля и с размерами подготовленных чертежей будущего кузова. Затем соответствующим граням примитива присваиваются *box*-картинки с изображениями линий кузова, ненужные грани удаляются и получается рабочая область для моделирования (рис. 3.2–3.3).

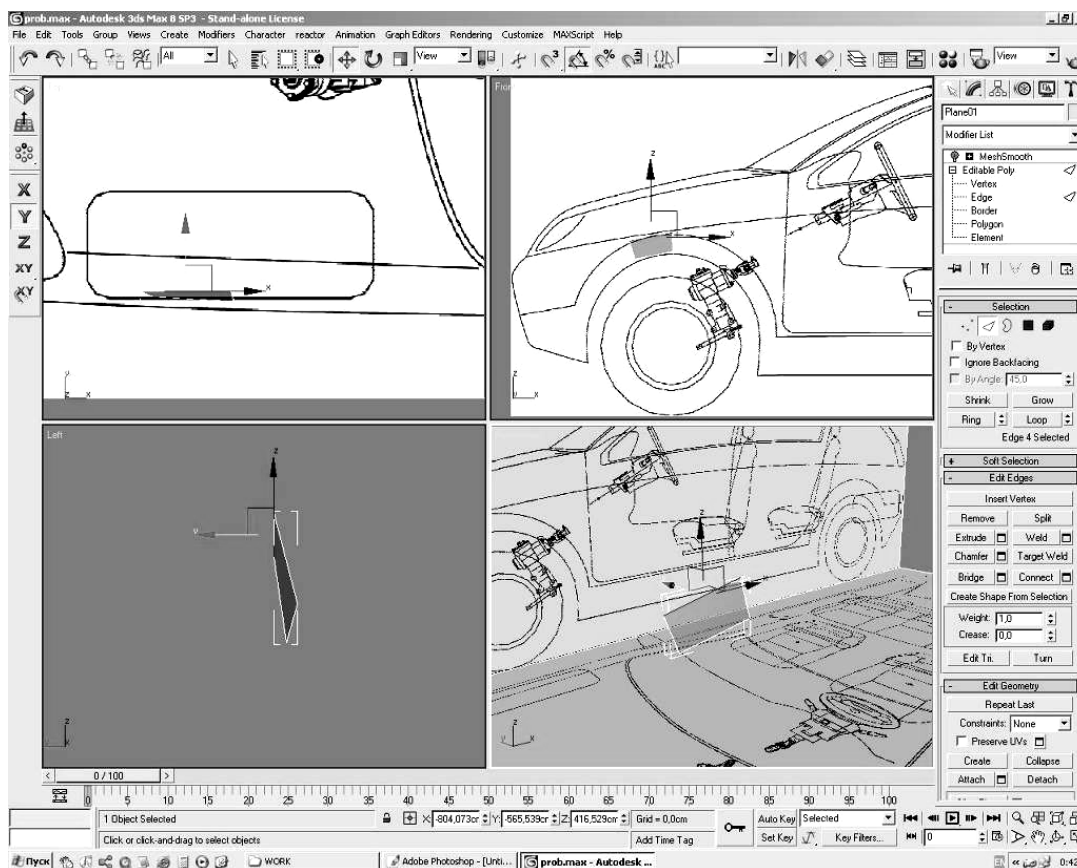


Рис. 3.3. Создание плоскости в районе арки

Моделирование поверхности кузова начинается с примитива *plane* (плоскость). Начинать моделирование возможно с любого места рабочей области. Удобнее делать это с наружной части арки переднего крыла. Дальнейшее моделирование поверхности ведется с помощью копирования ребер этой плоскости и постоянного уточнения положения углов (вершин) получающихся плоскостей в соответствии с чертежом. Для получения более качественного результата при сглаживании сетки, которое производится в конце моделирования, необходимо соблюдать примерно одинаковые размеры всех элементов (плоскостей) и избегать образования плоскостей с тремя или пятью и более вершинами.

При необходимости соседние вершины плоскостей можно сливать в одну (команда *WELD*), возможно также разбивать вершины и добавлять, удалять вершины плоскости, что обязательно пригодится при моделировании сложной поверхности кузова (рис. 3.4–3.5).

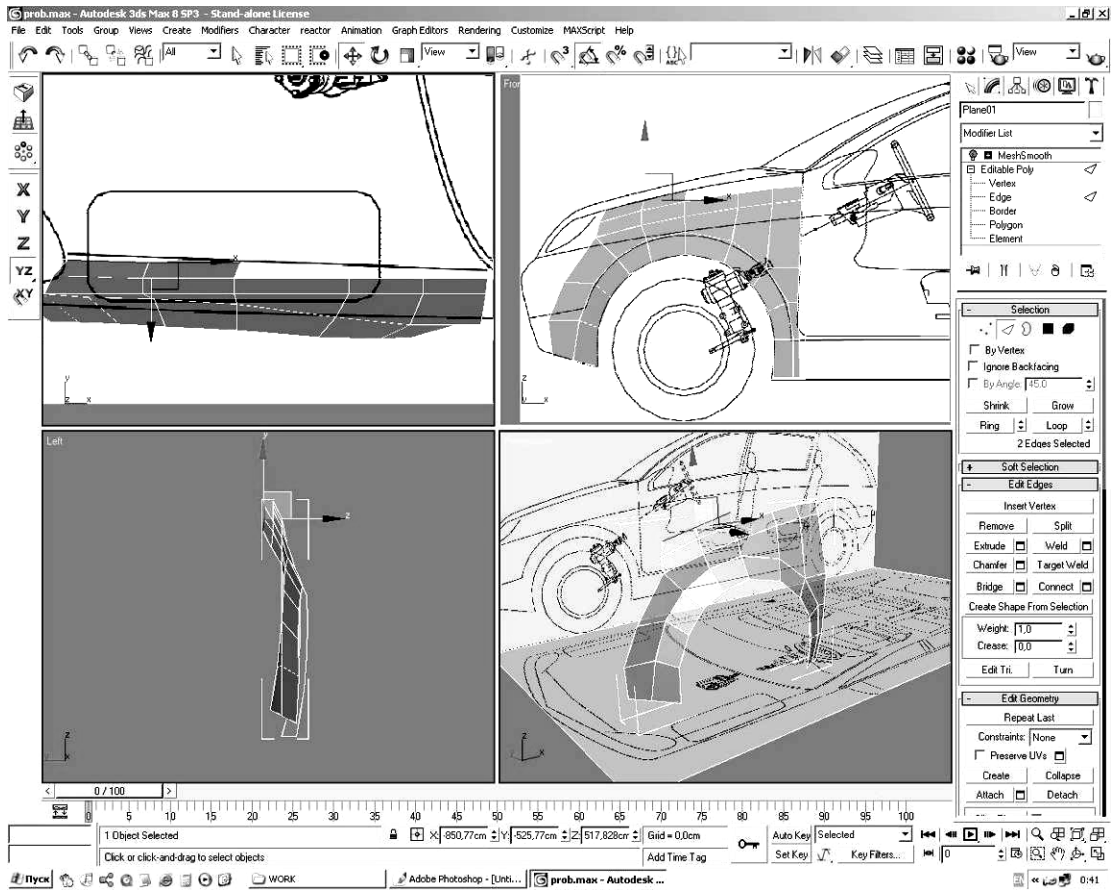


Рис. 3.4. Построение поверхности копированием ребер плоскости

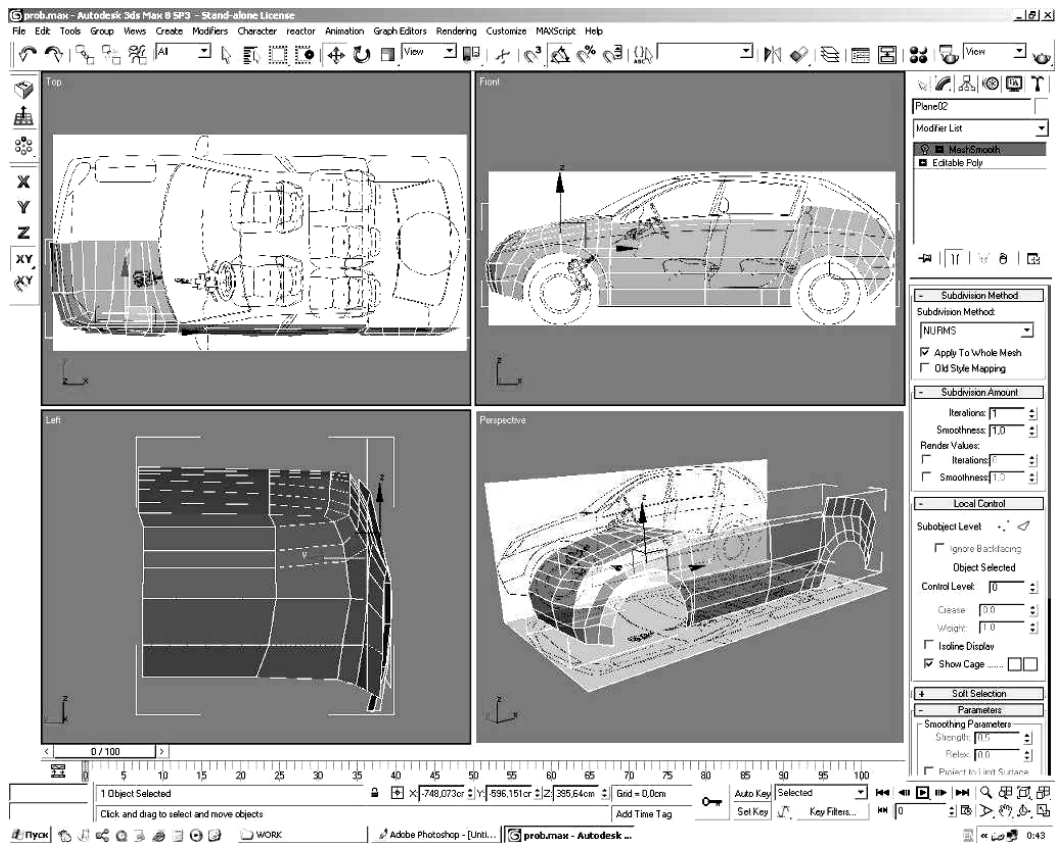


Рис. 3.5. Построение поверхностей кузова

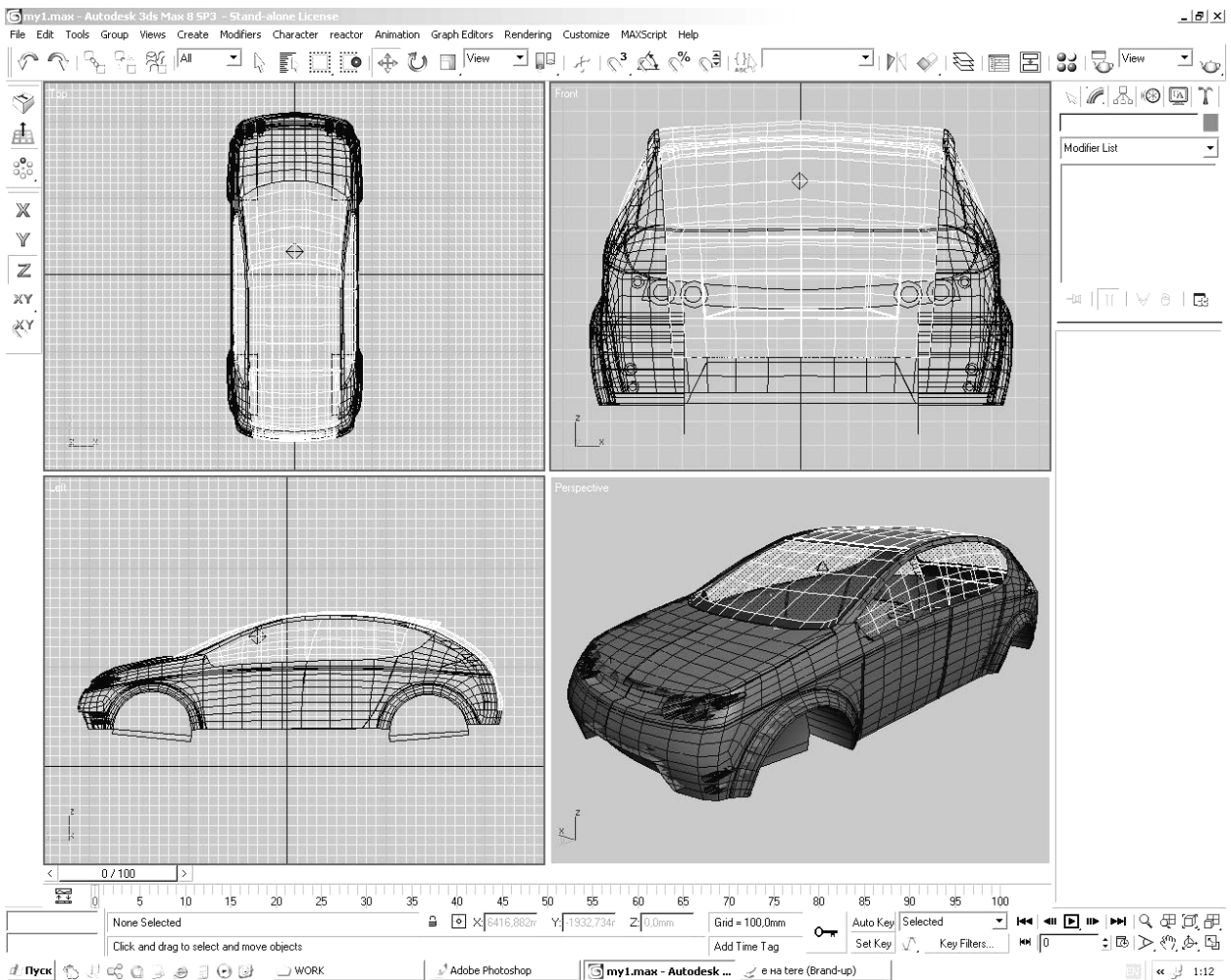


Рис. 3.5. Построение поверхностей кузова (продолжение)

Таким образом, из одной плоскости создается целостная полная оболочка кузова, включая будущие двери, стекла и т.п. После того, как оболочка готова, проводится уточнение положения всех вершин (точек, образующих элементы сетки). В каждом узле должна быть одна вершина, иначе сетка и поверхность при сглаживании будут неправильно восприняты программой и образуют «дыры». Поэтому делается слияние точек командой *WELD* либо вручную, либо для всех точек сразу, задав радиус действия команды.

При построении поверхности с помощью копирования плоскостей необходимо учитывать расположение дверей, окон, оконных рам, стоек, а также швов соединения панелей кузова и основных формообразующих линий боковины, бамперов, капота, всевозможные выштамповки. Грани плоскостей должны повторять эти линии, так как по ним будет проводиться разбиение сетки на блоки: окна, двери, рамы, стойки и т.п.

Сглаживание сетки происходит интерполяцией и увеличением количества ее узлов. Чем больше шаг сетки, тем плавнее происходит сглаживание. Для получения острых углов, фосок, выштамповок с маленьким радиусом скругления необходимо уменьшать шаг сетки в соответствующих местах.

Это можно сделать с помощью команды *EXTRUDE* или *CHAMPFER* (фаска). Выделяем те грани, где необходимо создать острое ребро на поверхности кузова, и применяем им одну из этих команд. Выделенное ребро копируясь, смещается на заданную величину от исходного, тем самым учащая сетку. Если необходимо сделать шов (стык кузовных деталей), то рациональнее использовать команду *EXTRUDE* (выдавливание) для выделенных граней сетки. При этом выделенные грани копируются в обе стороны от исходных, а исходные смещаются нормально к поверхности, образуя углубление шва.

После уточнения таким образом поверхности модели, ее общая оболочка разбивается на составные части: пороги, капот, двери, стекла, рамы стекол и т.д. Это необходимо для того, чтобы впоследствии присвоить каждой части свой *ID*-номер, задать материал для последующей визуализации в программе *V-Ray*. Для этого необходимо выделить полигоны (элементы сетки), относящиеся к соответствующей части кузова (двери, капот, стекла и т.д.) и применить к ним поочередно команду *DETACH* (отделить). Получившимся поверхностям задаем имя и *ID* в стэке модификаторов.

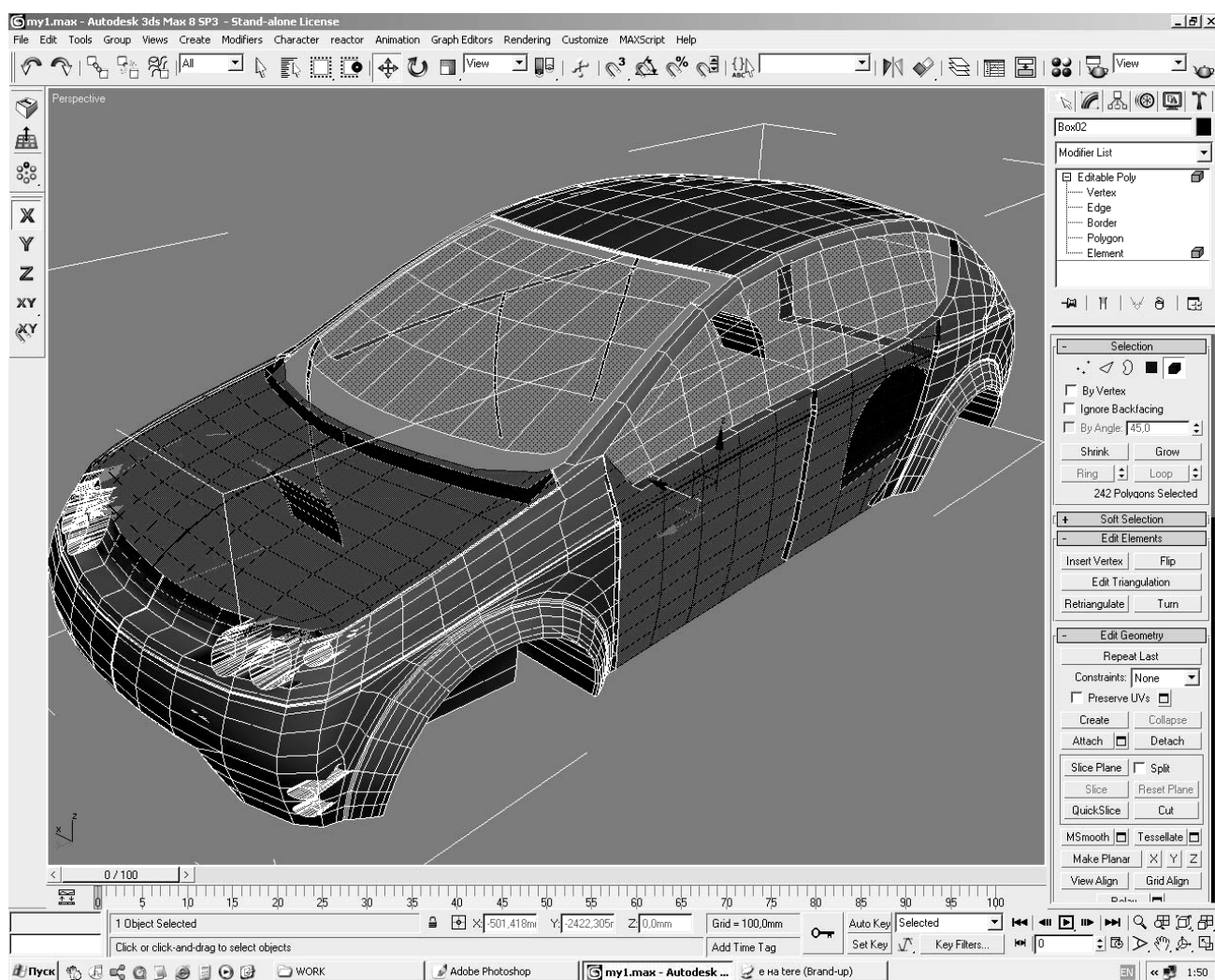


Рис. 3.6. Поверхности кузова, построенные в 3D Studio MAX

После того, как созданы все мелкие детали кузова, такие как зеркала заднего вида, дверные ручки, салон, колеса, выхлопная труба и внешний вид самого кузова нас устраивает, сохраняем файл и переходим в программу визуализации (*V-RAY RENDER*). Для визуализации необходимо виртуальное помещение, которое имитирует фотостудию, освещение и соответствующие материалы для различных частей автомобиля (рис. 3.6).

3.2. Разработка поверхностных моделей в программе

Rhinceros 3D

Программный пакет *Rhinceros 3D* предназначен для разработки поверхностных и твердотельных моделей, удобен для проектирования элементов кузовных конструкций.

Меню программы. Практически все команды доступны из меню. Меню в *Rhino* систематизировано по типам команд: все файловые операции, команды импорта и экспорта доступны из меню «Файл» (*File*), А, например, создание и редактирование кривых – через меню «Кривые» (*Curve*).

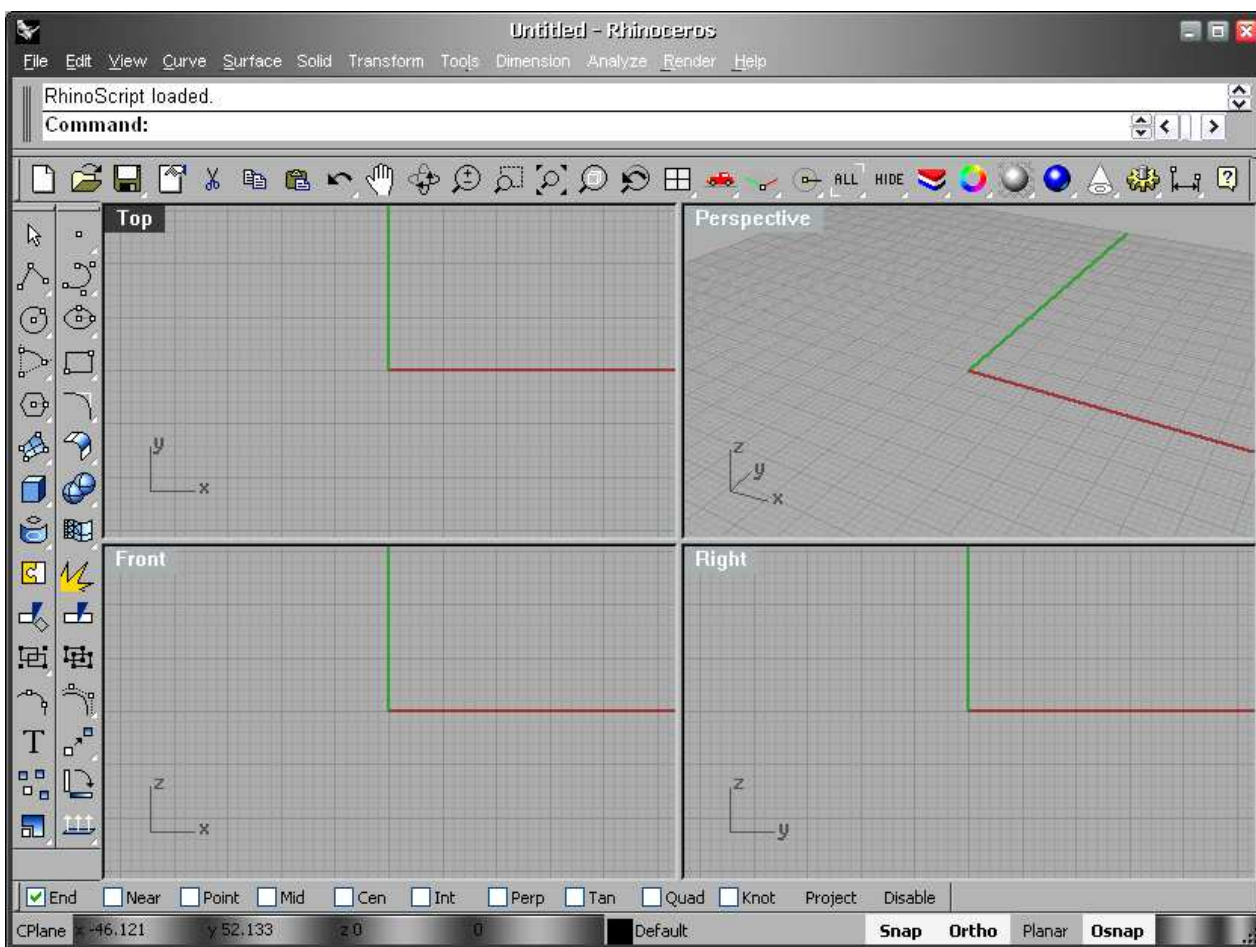


Рис. 3.7. Пользовательский интерфейс *Rhinceros*

Командная строка. Командная строка отображает состояние *Rhino*. Всякий раз, когда исполняется команда, ее имя будет отображено в командной строке. Затем *Rhino* предложит выбрать объекты, указать расстояние, ответить на вопросы (рис. 3.7).

Панели инструментов. При помощи панели инструментов в *Rhino* осуществляется доступ к наиболее часто используемым командам и установкам. Пользоваться панелью инструментов более предпочтительно, чем меню или командной строкой, так как это повышает скорость работы. Все панели инструментов в *Rhino*, полностью настраиваемые.

Левая и правая кнопки мыши. Подсказки описывают функции каждой командной кнопки. Кнопки по-разному реагируют на левую и правую кнопки мыши. Описание функций левой и правой кнопок мыши разделяются вертикальной чертой (|) в подсказке (рис. 3.8).

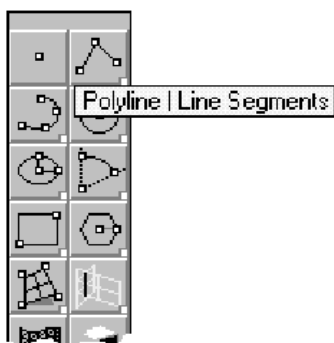


Рис. 3.8. Панель инструментов

Раскрывающиеся панели инструментов. Для облегчения работы наиболее часто используемые команды сосредоточены в панели инструментов. Менее часто используемые команды доступны из раскрывающихся панелей инструментов. У кнопок, связанных с раскрывающимися панелями инструментов, есть индикатор в нижнем правом углу. Для вызова раскрывающейся панели инструментов нажмите и удерживайте правую кнопку мыши (рис. 3.39).

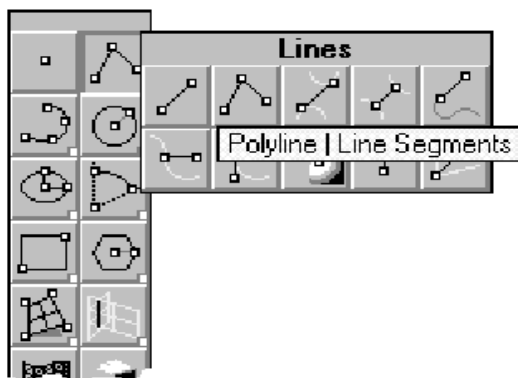


Рис. 3.9. Раскрывающаяся панель инструментов

Плавающие панели инструментов. Как только панель инструментов была раскрыта, ее можно отсоединить от породившей кнопки, превратив в плавающую панель (рис. 3.10).

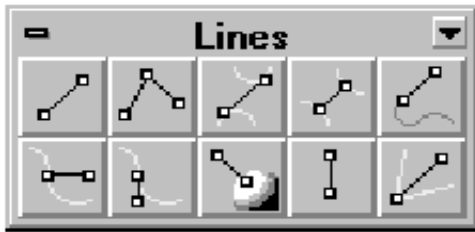




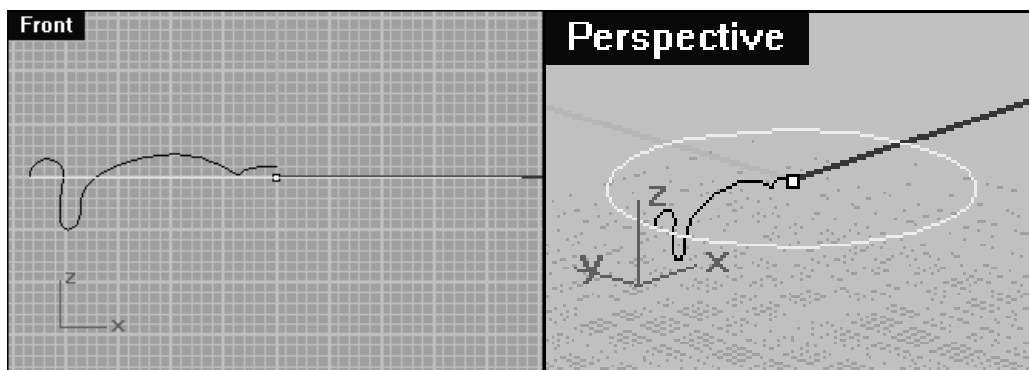
Рис.3.10. Плавающая панель инструментов

Процесс создания компьютерной модели на примере автомобильного колеса в программе *Rhinoceros*

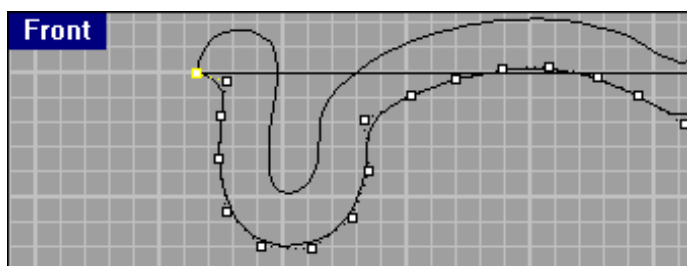
Возьмём, для наглядности за основу диск автомобиля *Porsche 911*. Это не очень сложная и симметричная форма. На протяжении всего описания будут упоминаться команды, которые можно вписывать в верхнем командном меню *Command*. Этот вариант наиболее удобен при создании модели штампованного диска.




Шаг 1 – профиль диска. Включаем опцию *Snap* для привязки к глобальной сетке. Она находится внизу панели *Rhino*. Первым делом создадим в проекции *Top* (команда *Top*) внешнюю окружность этого диска. По окружности будет легко ориентироваться в будущем. Щелкаем по кнопке , *Center, Radius*, (команда *Circle*), делаем круг с радиусом примерно 20 мм. В центре окружности поставим точку. В проекции *Front* (команда *Front*) рисуем половину кривой профиля диска с помощью  (команда *InterpCrv*), глядя на картинку. Для удобства воспользуемся функцией *Osnap*. Она находится в нижней панели *Rhino*. Щёлкнем мышкой по *Osnap* и в появившемся меню поставим галочку на *Quad*. Эта опция даёт возможность привязки к квадранту окружности или эллипса. Это удобно, к примеру, для деления окружности на четыре равные части, без помощи привязки к сетке *Snap*. Чтобы не было проблем с ненужной привязкой, отключаем *Snap*. Кривую ведём от правого края окружности, и, не доходя до центра оси окружности опускаем курсор вниз и включаем *Snap*. Заканчиваем профиль на одну клетку выше окружности. Отключаем *Quad*. Должно быть примерно так:

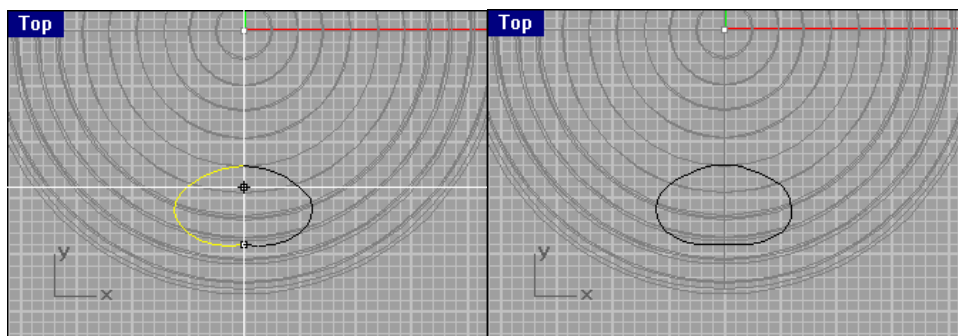


Убедившись, что с профилем всё в порядке, сделаем его повтор. Выделяем профиль в проекции *Front*. В командном меню *Offset* вписываем значение 2 (*Distance 2*), повторяем профиль ниже первой кривой. Выделяем полученную кривую и уменьшаем количество контрольных точек. Заходим в *Curve/Edit Tools/Rebuild* (команда *Rebuild*). Ставим *Point count: 10*. Делаем тоже с первой кривой. Теперь выделяем нижнюю кривую и нажимаем кнопку *Control Points On* (команда *PtOn*). Затем включаем *Osnap/End* (процедура привязки к концам кривых). Подводим крайнюю точку к началу первой кривой, она должна замкнуться.



Шаг 2 – создание поверхности диска. Выделяем обе кривые и соединяем их кнопкой (команда *Join* – объединение). Получится одна кривая, которой нужно поставить определённое количество контрольных точек. Делаем ей *Rebuild* и ставим *Point count: 30*. В проекции *Front*, выделив кривые, заходим в *Surface/Revolve* (команда *Revolve* – вращение). Ставим курсор в центр окружности. Нажимаем кнопку мыши, отпускаем, поднимаем или опускаем крестик по оси *Z*, на любое расстояние и нажимаем ещё раз кнопку на мышке. Выпадает меню. Ставим галочку на *Exact/10 control points/End angle 0/Start angle 360/o'k*. В результате получаем заготовку для будущей модели, полученную методом вращения созданной до этого кривой.

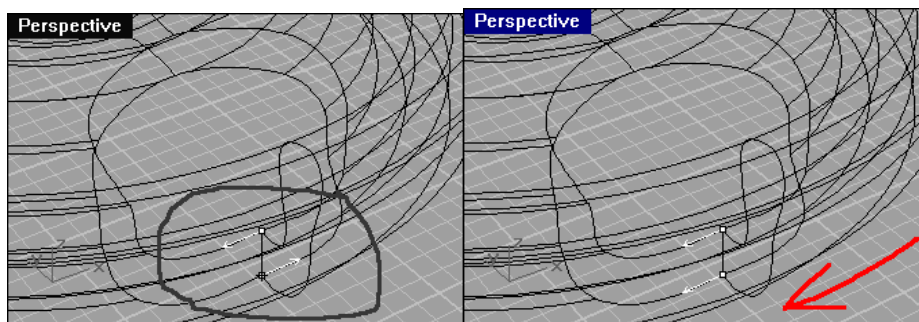
Шаг 3 – отверстия. Для начала выделяем и замораживаем все, что сделали, чтобы не мешало, командой *Lock*. В проекции *Top* рисуем левую половину первого отверстия, на *Porsche 911* их должно быть пять штук. Кнопкой  *Mirror* (команда *Mirror* – зеркальное отображение) делаем вторую половину отверстия. Соединим их *Join* и сделаем *Rebuild c Point count: 10*.



Разморозим всё командой *Unlock* и выделим контур будущего отверстия. Выполняем *Curve/From Objects/Project*. Контур отверстия проецируется на поверхность в двух экземплярах, сверху и снизу. В окне *Perspective* это можно видеть наглядно. Нам надо вырезать два отверстия в поверхности диска при помощи получившихся проекций. Удаляем самую первую кривую, благодаря которой появились две новые. Выделяем их и выполняем *Transform/Array/Polar* (команда *ArrayPolar* – круговой массив). В проекции *Top* устанавливаем курсор в центр диска, в командной строке *Number of elements* задаем 5, *Angle to fill* 360. Кривых станет 5 на виде сверху, а вообще их будет 10. Нажимаем (команда *Split* – разделение), выделяем по очереди поверхность диска, а потом все кривые. После некоторого времени у нас появится 10 вырезов поверхности диска. На виде сверху выделяем и удаляем вспомогательную окружность, точку и всё, что входило в пределы контуров этих вырезов, оставив сам диск.

Теперь осталось убрать иллюзию краёв тонкого листа бумаги и придать подобие отлитого из металла диска.

Шаг 4 – смешивание краёв. Выполняем *Surface/Blend* (смешивание), выделяем по очереди края этих двух вырезов и нажимаем *Enter*. Всё, переход выполнен. Иногда бывает, что перетекание получается вывернутым. Для исключения этого необходимо проследите на направление двух белых стрелок при выполнении *Blend*. Они должны быть направлены в одну сторону и находиться параллельно друг другу. Если стрелки развернуты в противоположном направлении, следует нажать клавишу *F* (*flip* – перевернуть) и, наведя курсор на любую стрелку, выделить ее – она развернется.



Повторяем эту операцию, сделав другие отверстия в диске. Точно также выполняются круглые отверстия под крепежные болты. Конечный результат работы над диском (рис. 3.11).

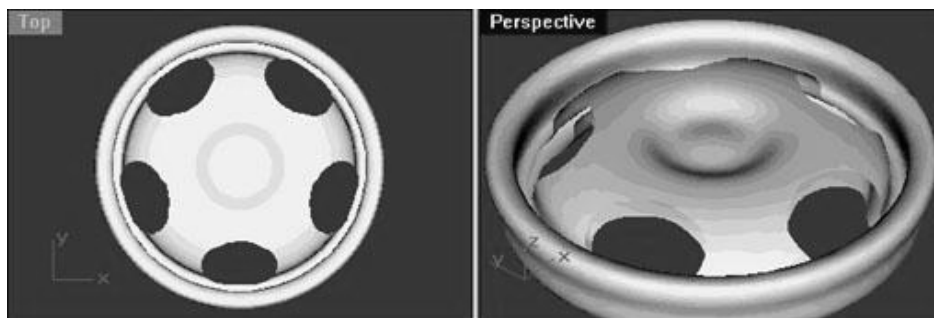


Рис. 3.11. Окончательная модель диска колеса

Разработка поверхности кузова легкового автомобиля. Построение поверхности начинаем с заготовки формоопределяющих линий, которые заранее располагаем определенным образом (рис. 3.12).

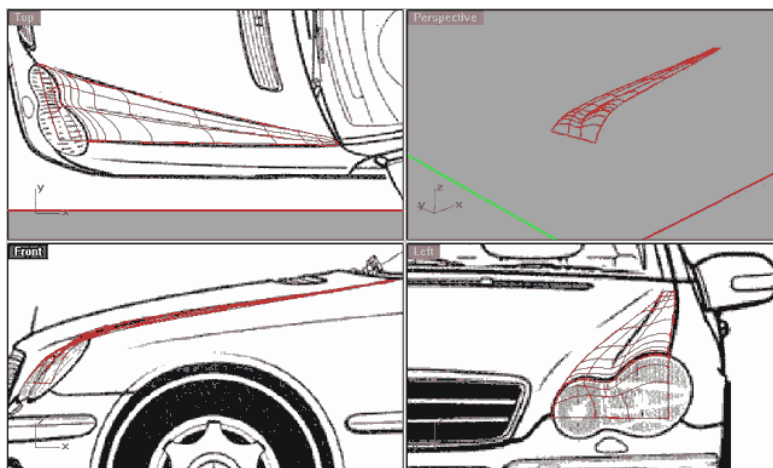


Рис. 3.12. Заготовки линий

При этом капот будет состоять из пяти частей. Чем меньше точек, тем больше шансов получить более гладкую поверхность. Кривые изображены на рисунке. Для получения поверхности использован инструмент *Sweep along 2 rails* (построение поверхности по двум рельсам). Для создания

центральной части капота рисуем четыре линии командой *Curve*: две продольные (1 и 2) и две перпендикулярные (3 и 4). Создаем поверхность с помощью инструмента *Sweep Along 2 rails*. Инструментом *Blend* объединяем две поверхности капота (рис. 3.13). Вырезаем отверстия для радиаторной решетки и для фар инструментом *Split*. Получаем готовый капот (рис. 3.14), который тонируем командой *Shade*.

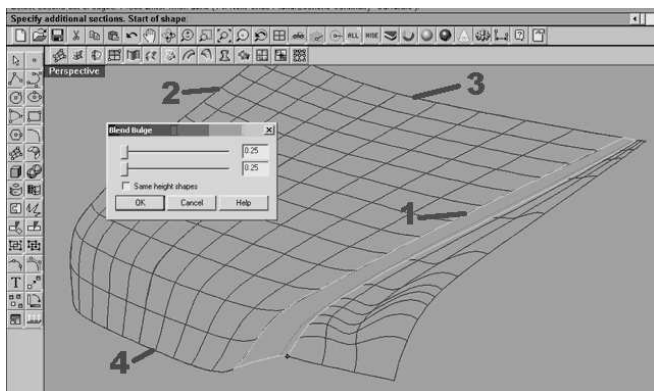


Рис. 3.13. Формирование капота

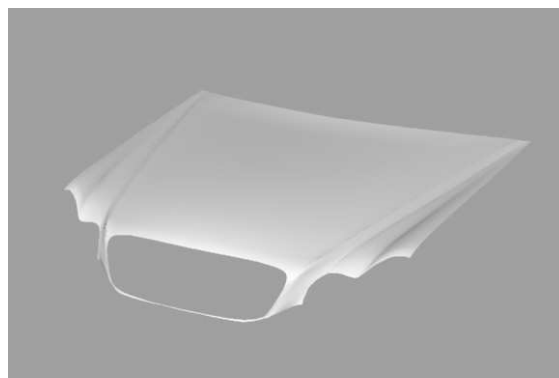


Рис. 3.14. Готовый капот

Далее переходим к построению поверхностных моделей бампера и решетки радиатора.

Для создания нижней части бампера рисуем несколько взаимопараллельных линий и применяем к ним инструмент *Loft*. (рис. 3.15). Верхнюю часть бампера получим, применив инструмент *Patch*. Объединяем эти две части. Для создания боковой части бампера воспользуемся инструментом *Extrude*, путем для которого будет проекция бампера на виде сверху, а сечением – вертикальное ребро нашей заготовки. Далее с помощью инструментов *Split* и *Bevel* создаем воздухозаборник (рис. 3.16). Такие же операции применяем и для создания решетки радиатора.

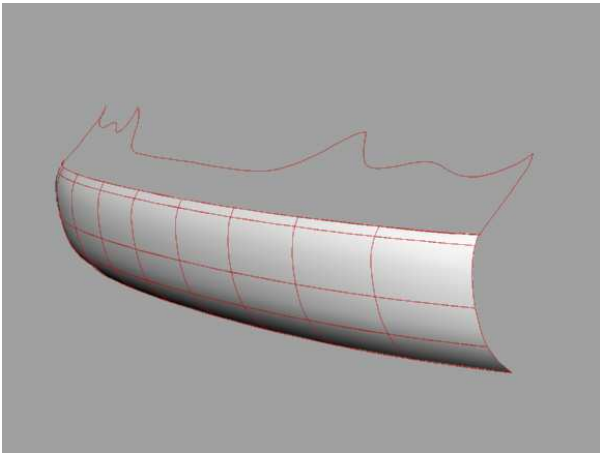


Рис. 3.15. Заготовка бампера



Рис. 3.16. Готовый бампер

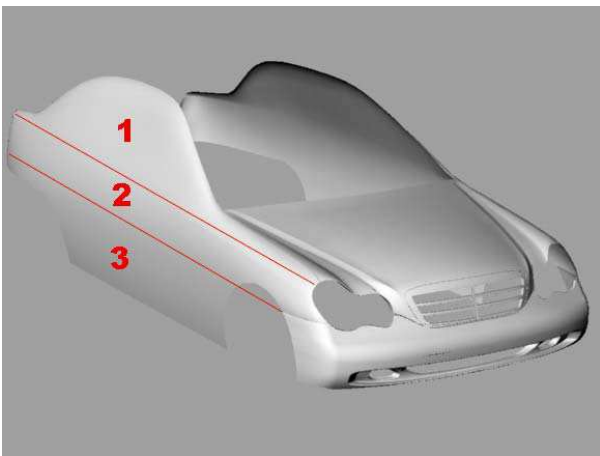


Рис. 3.17. Боковины с оперением

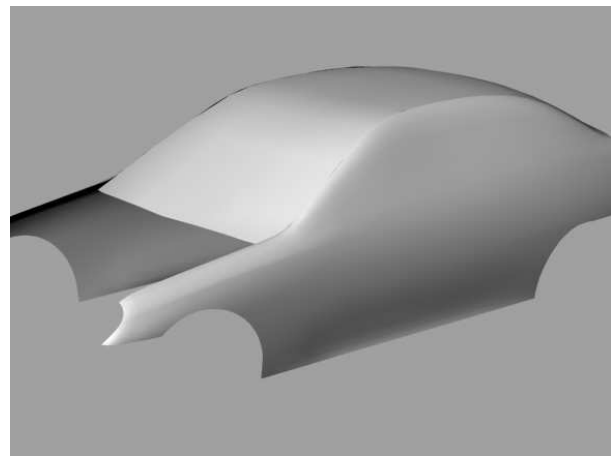


Рис. 3.18. Формирование салона

Боковина автомобиля будет состоять из трех частей. Части с номерами 1 и 2 получим способом *Surface From Network Curve*, а с номером 3 – *Extrude*. (рис. 3.18). Крышу также получаем методом *Surface form Network Curve*, заранее сделав дубликаты кривых из боковой поверхности (рис. 3.18).



Рис. 3.19. Заготовка багажника



Рис. 3.20. Готовый багажник

Багажник создаем инструментом *Surface From Network Curve*, применив к нему в дальнейшем *Extrude*, *Split* и *Bevel* для создания выемки под номерной знак и стоп-сигнал. Затем вырезаем места под задние фонари (*Split*) и окончательно формируем бампер командами *Sweep Along 2 Rails*. Инструментами *Split*, *Scale* и *Bevel* создаем двери, ручки дверей, окна, молдинги на бамперах (рис. 3.21, 3.22). Окончательный вид кузов получает после приведенных операций и показан на рис. 3.23.

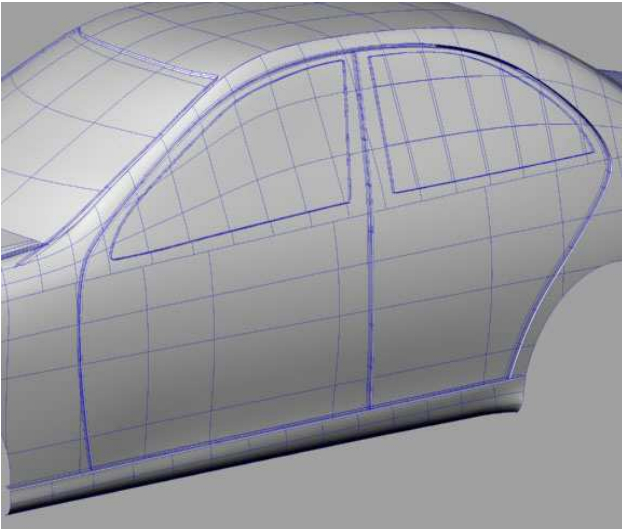


Рис. 3.21. Формирование дверей

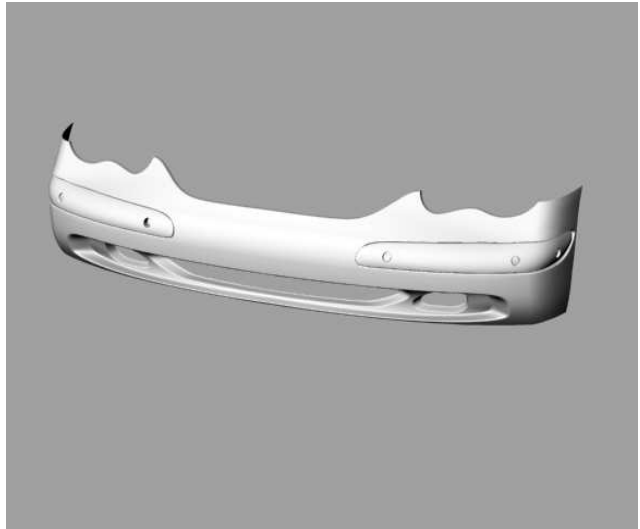


Рис. 3.22. Готовый бампер

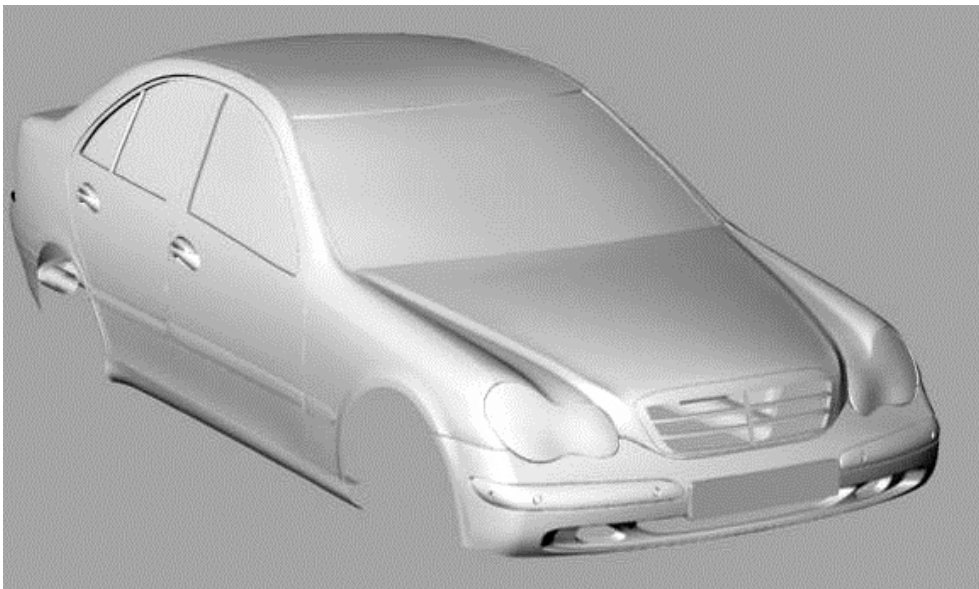


Рис. 3.23. Окончательный вид внешней поверхности кузова

Пакет *Rhinoceros* обладает ограниченными возможностями визуализации поверхностей, однако допускает возможность импортирования разработанных моделей в другие форматы. На рис. 3.24 показана модель кузова автомобиля, разработанная в *Rhinoceros* и импортированная для визуализации в *3D MAX*. Чертеж с сечениями как итог проектирования кузова показан на рис. 3.24.



Рис. 3.24. Модель внешнего вида автомобиля, представленная в *3D Studio MAX*

4. ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА АВТОМОБИЛЬНЫХ КУЗОВОВ

4.1. Взаимосвязь конструкции кузова и технологии его производства

Конструктивными и технологическими мероприятиями необходимо добиться нужных геометрических форм соединений, уменьшить число входящих в сборку единиц деталей и сборочных единиц в кузов, кабину и уменьшить трудоемкость изготовления, повысить их надежность и долговечность. Укрупнением штампованных деталей можно улучшить технологичность единиц, так как при этом снижается трудоемкость сборки-сварки. Применение укрупненных деталей экономически целесообразно, хотя при этом несколько возрастает расход металла.

При изготовлении сварных боковин кузовов ГАЗ-24 «Волга» применяли

не только точечную сварку, но и газовую. С заменой сварной боковины на цельноштампованную осталась только приварка усилителей в радиусных частях боковины. Дверные проемы кузова, получаемые на операции штамповки, имеют стабильные геометрические размеры, значительно сократилась номенклатура входящих деталей (рис. 4.1).

Появилась возможность осуществления сборочно-сварочных работ цельноштампованной боковины на кольцевом кондукторе при помощи подвесных сварочных машин.

Тенденция укрупнения деталей, особенно панелей ветровых проемов, проемов дверей на боковинах, крыльев характерна для моделей как легковых, так и грузовых автомобилей. Так, в современных кабинах грузовых автомо-

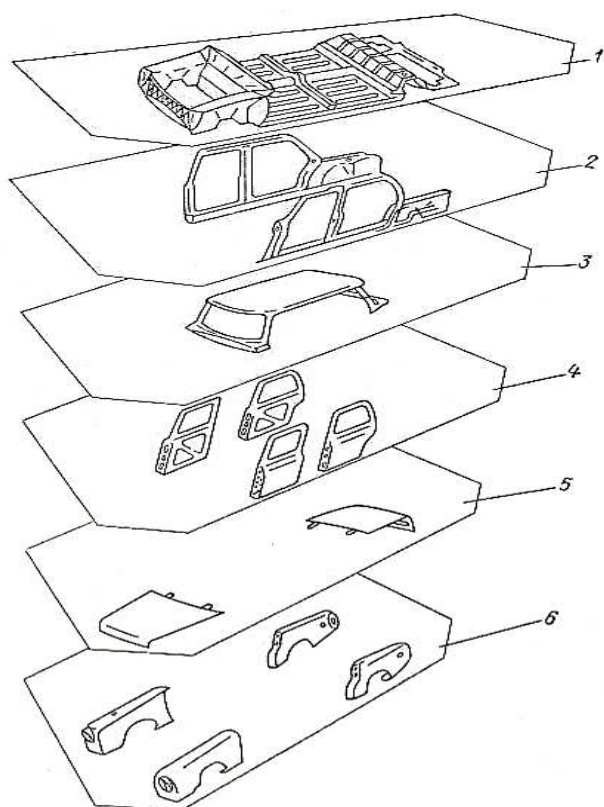


Рис. 4.1. Общая схема последовательности сборки-сварки кузова легкового автомобиля:
1 – основание в сборе; 2 – боковины; 3 – крыша;
4 – двери в сборе; 5 – крышка багажника и капот;
6 – передние и задние крылья

билей панели проема ветрового окна, проемы дверей на боковинах изготавливают цельноштампованными.

Применение цельноштампованных панелей проемов окна и дверей на боковинах не только экономически выгодно, но при этом улучшается и качество деталей. В результате получены стабильные по геометрическим размерам проемы, уменьшен объем сварочных и рихтовочных работ, значительно снижена номенклатура штампованных деталей и трудоемкость сборочно-сварочных работ (по сравнению со сварными сборочными единицам). Новые конструкции цельноштампованных боковин и панелей, ветровых окон позволили применить наиболее целесообразную технологию сборки-сварки и механизировать этот процесс.

Методы технологического расчленения кузовов и кабин на сборочные единицы

Расчленение кузовов и кабин на сборочные единицы является важным этапом проектирования и существенно влияет на технологичность их конструкций. При правильном расчленении кузова на сборочные единицы сокращаются сроки подготовки производства, длительность производственного цикла, повышается качество, обеспечиваются параллельность сборки и сварки сборочных единиц, а также механизация и автоматизация этих процессов.

Места разъемов и соединений сборочных единиц определяются конструктивно-силовой схемой кузова или кабины. При расчленении кузовов и кабин должно быть учтены следующие моменты:

- минимальное количество сборочных единиц, а также деталей, входящих в кузов или кабину;
- открытые и доступные для оснасток сварочных машин сопряжения сборочных единиц;
- сборка кузовов должна быть свободная, ненапряженная, с применением простых технологических приемов, кабин и их сборочных единиц;
- максимальный объем контактной точечной сварки, выполняемой с помощью подвесных, стационарных многоточечных машин и роботов;
- сборка и сварка сборочных единиц кузовов и кабин на одних и тех же базах по всей технологической цепочке;
- окончательная сварка сборочных единиц, кузовов и кабин без нарушения их геометрических размеров.

При выполнении этих условий кузов или кабина будут технологичными, а производство их может быть организовано с наибольшей технической оснащенностью и эффективностью.

Количество сборочных единиц в кузовах и кабинах определяется конструктивными соображениями, а в некоторых случаях – условиями и состоянием производства, т. е. технологическими соображениями. Например, крупнога-

баритная и трудоемкая в изготовлении сборочная единица, требующая сложного оборудования и оснастки, может быть расчленена на две или несколько сборочных единиц упрощенного производства.

Разъемы в кузовах и кабинах и количество сборочных единиц определяют, исходя из требований эксплуатации, например, с учетом необходимости ремонта или быстрой замены изношенных или поврежденных деталей. В любом случае нужно избегать необоснованного расчленения кузовов и кабин и стремиться к уменьшению количества сборочных единиц и деталей.

Для примера можно отметить, что кузов автомобиля ГАЗ-20 собирали из 11 сборочных единиц. Дверные проемы создавались в четыре этапа при соединении следующих сборочных единиц: угловых панелей, крыши, центральных стоек, передних стоек и основания. На следующих операциях сварки кузова в нижней задней части дверные проемы окончательно оформлялись порогами пола и кожухами.

Каждую из этих сборочных единиц собирали отдельно в кондукторах и приспособлениях, а каркас кузова – в главном кондукторе. Расчленение сварных проемов приводило к большим погрешностям при сборке, для устранения

которых требовался большой объем доводочных и рихтовочных работ. Центральные и передние стойки приваривали газовой сваркой. Большой объем сварочных и доводочных работ, сама газовая сварка в значительной степени повышали трудоемкость изготовления.

Кузов автомобиля ГАЗ-21 собирали из семи сборочных единиц, а автомобиля ГАЗ-24 – из шести. На современных автомобилях проемы дверей в боковинах, а также проемы передних и задних окон, выполнены цельноштампованными. С уменьшением количества сборочных единиц значительно снижается трудоемкость сборки и сварки, так как число сварных соединений уменьшается, кроме того, цельноштампованные проемы передних дверей и окон имеют большую точность.

Кабина современного грузового автомобиля состоит из пяти

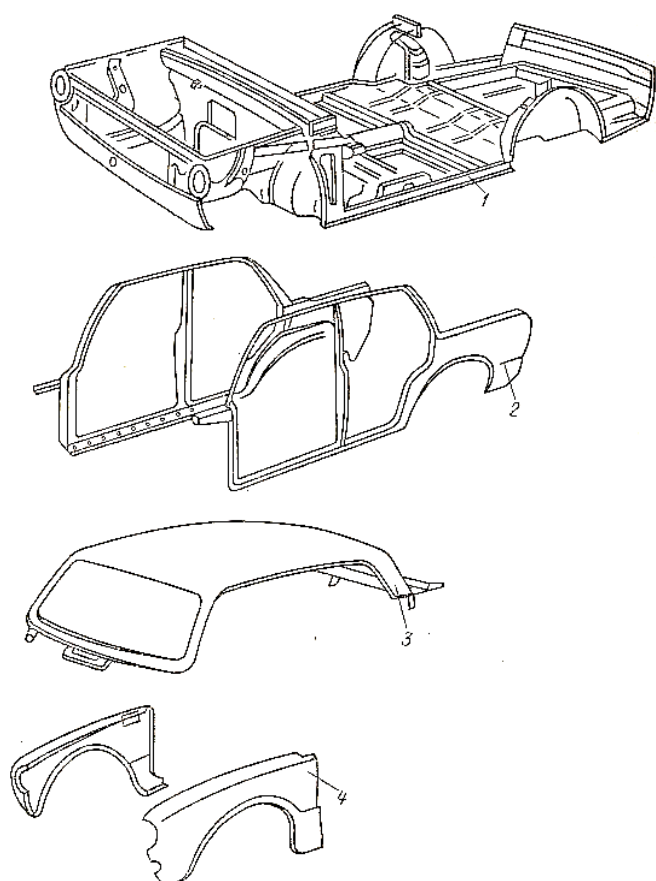


Рис. 4.2. Крупные сборочные единицы кузова автомобиля ВАЗ-2107:

1 – основание; 2 – боковины; 3 – крыша;
4 – передние крылья

сборочных единиц. Проемы передних и задних окон выполнены цельноштампованными. Соединений, требующих применения газовой и газоплазменной сварки нет (рис. 4.2, 4.3).

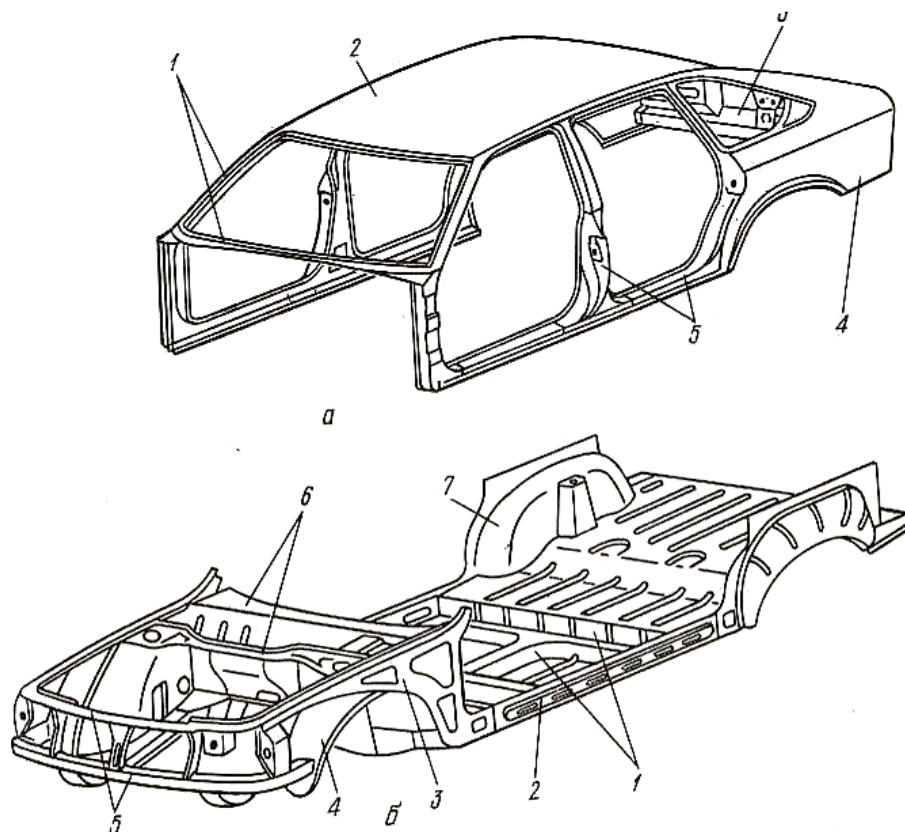


Рис. 4.3. Корпус кузова:

- а* – каркас кузова: 1 – проем ветрового окна; 2 – крыша; 3 – нижняя панель задка;
4 – заднее крыло; 5 – боковина;
- б* – пол с подmotorной рамой; 1 – пол с рамой; 2 – порог пола; 3 – боковина мотоотсека;
4 – брызговик переднего колеса; 5 – каркас мотоотсека; 6 – щит передка с перегородкой отсека отопителя; 7 – брызговик заднего колеса

Сборочные единицы кузовов и кабин должны быть конструктивно жесткими, и технологические процессы сборки-сварки также должны отвечать этому требованию. В этом случае при транспортировке не будет происходить деформаций и нарушений их геометрии, а следовательно, нет необходимости в доводочных работах. При разработке узлования кузова или кабины необходимо учитывать возможности производства, т. е. технологический процесс сборки и сварки.

Существует несколько способов сборки:

- в стационарных кондукторах;
- в главных кондукторах челночного типа со сборочными тележками;
- на конвейерах.

Кузова или кабины собирают путем последовательной установки, фиксации и закрепления сборочных единиц: при первом и третьем способе сборочных

единиц осуществляют также последовательно, во втором случае – одновременно. В местах разъемов кузовов и кабин соединения сборочных единиц должны быть простыми, открытыми и доступными для производства сварочных работ. Применяют преимущественно точечную сварку подвесными сварочными машинами. Находит применение и сварка на многоточечных сварочных машинах.

Кузова автомобилей «Жигули» сваривают в главном кондукторе подвесными сварочными и многоточечными машинами, а автомобилей ГАЗ-24 «Волга» и «Запорожец» – подвесные машинами. Соединения сборочных единиц конструктивно должны быть выполнены в соответствии с указанными способами сварки.

Сборочные единицы автобусов соединяют точечной и электрической сваркой. Кузова автобусов собирают в кондукторах (ПАЗ) или на сборочных тележках (ЛиАЗ). В начале на основание кузова устанавливают боковины, которые прикрепляют к нему винтами, соединения сваривают газосваркой. Затем на конвейер устанавливают передние и задние сборочные единицы и сваривают их. Последней присоединяется крыша автобуса.

Элементы кузова или кабины при сборке в главных кондукторах сваривают не полностью, а только в наиболее доступных местах. При этом кузов или кабина приобретает необходимую жесткость и лучше сохраняет свои размеры, что необходимо для последующей окончательной сварки на конвейере (рис. 4.4).

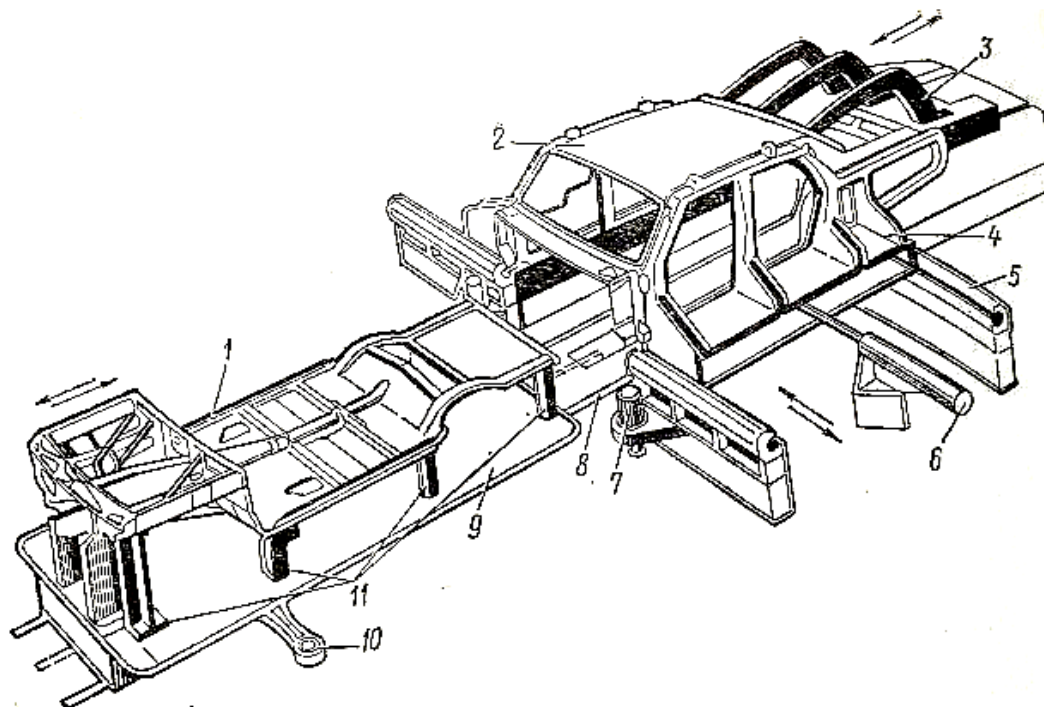


Рис. 4.4. Схема сборки кузова ГАЗ-24 в главном кондукторе:

- 1 – основание; 2 – оболочка; 3 – фиксатор заднего окна и крышки багажника; 4 – фиксатор боковин; 5 и 8 – направляющие; 6 и 7 – гидроцилиндры; 9 – тележка кондуктора; 10 – фиксационное отверстие тележки; 11 – фиксатор основания в сборе

Технологическое расчленение осуществляют во время проработки чертежей сварных изделий на технологичность. К этому времени изготавливают из металла экспериментальные образцы, позволяющие наглядно оценить все соединяемые места и пути расчленения кузовов, кабин и платформ. После проработки на технологичность из различных вариантов расчленения выбирают наиболее целесообразный, на основании которого разрабатываются чертежи общих видов сборочных ниц и спецификации. Принятое решение оформляют в виде чертежей и рисунков. Для проверки правильности принятого варианта расчленения кузова или кабины в период подготовки производства в уменьшенном масштабе изготавливают модели сборочных единиц, из которых собирают кузов. Эти модели выполняют из материала, легко поддающегося формованию. Иногда модели воспроизводят по опытным образцам деталей, сборочно-сварочных кондукторов и их оригинальных частей.

По модели кузова (кабины) можно проанализировать выбранный вариант расчленения и подтвердить правильность выбора минимального числа штампованных деталей, входящих в сборочные единицы, и сборочных единиц кузова (кабины), правильность выбора типа сварных соединений и расположений их в конструкции кузова или кабины с целью обеспечения нормального доступа сварочной оснастки. По модели сборочно-сварочных кондукторов можно судить о возможности осуществления выбранного технологического процесса сборки-сварки сборочных единиц и рациональной последовательности его выполнения. Созданные модели сборочно-сварочных кондукторов или их оригинальных частей позволяют выявить возможные ошибки в конструкциях, влияющие на сборку кузова (кабины), и учесть их при изготовлении сборочно-сварочной оснастки; определить сопрягаемость сборочных единиц в кузове или кабине в соответствии с разработанным расчленением; обеспечить максимальное количество мест сварки в главном кондукторе и свободную ненапряженную сборку.

4.2. Процесс сборки-сварки кузова

Для кузовов, кабин, платформ рекомендуется применять следующие виды сварки:

- точечную как самую производительную для деталей из тонколистовой малоуглеродистой стали;
- рельефную, при которой на одной из свариваемых деталей выдавливаются выступы специальной формы (рельефы);
- контактно-шовную.

Рельефная сварка имеет высокую производительность, так как ее можно выполнять в нескольких рельефах одновременно. По форме рельефов она может быть следующей:

- с отдельными рельефами, расположенными на значительном расстоянии один от другого, например, на держателях пластин дверных стоек, гайкодержателях и других деталях;

- с круговым рельефом, когда на одной из деталей выполняют круглый выступ (рельеф), например, при приварке штуцеров, болтов, гаек и т. д.

Контактно-шовную сварку применяют при изготовлении брызговиков, крыльев и других подобных деталей, требующих герметичности. Полуавтоматическую сварку широко применяют в среде защитного углекислого газа. Этот вид сварки почти полностью вытеснил газовую и ручную дуговую, а кроме того, резко сократилась пайка твердым припоем. Такая сварка обеспечивает высокую производительность труда, хорошее качество работы, прочность сварных соединений и высокую культуру производства и последовательность выпуска той или иной модификации модели. Приспособления для проколки имеют много общего со сборочно-сварочными кондукторами, приспособлениями, а также с контрольными приспособлениями для деталей и сборочных единиц кузова. Практически одинаковыми являются подставки под базовые плиты, узлы зажима и фиксации, загрузочно-разгрузочные приспособления и механизмы.

Принцип проектирования, изготовления, подгонки опор по мастер-модели, мастер-макету и наладки также одинаков. Очень перспективным является совмещение в одном приспособлении или машине операции холодной штамповки и сварки, что может значительно повысить производительность труда. При проектировании технологических процессов для решения вопроса о выборе места и оборудования для проведения той или иной операции штамповки необходимо учитывать значительное количество различных факторов. Определяющим является экономический фактор, т. е. себестоимость выполнения каждой операции.



Рис. 4.5. Соединение крыши с боковиной кузова лазерной сваркой

При сборке крупных кузовных деталей с соблюдением высокой прочности и герметичности соединения применяют шовную лазерную сварку (рис. 4.5). Такой способ сварки обеспечивает качественный тонкий шов с минимальным уровнем остаточных напряжений, что практически полностью исключает коробление деталей.

Для сварки мелких и средних сборочных единиц применяют карусельные установки двух типов.

1. Напольные карусели для сборки-сварки относительно больших сборочных единиц со значительным числом сварных точек, например, брызговиков задних колес, передка в сборе и других. Такие карусели обычно имеют от трех до пяти приспособлений, соединенных между собой цепью и перемещающихся на поворотных и колесах по кольцевым направляющим.

2. Поворотные многопозиционные столы непрерывного перемещения, применяемые для сварки сравнительно небольших деталей, таких как стойка передка, верхняя поперечина, верхняя панель передка. На автоматических сварочных машинах и автоматических линиях контактной сваркой соединяют 40% точек сборочных единиц кузова, а на стационарных и подвесных контактных машинах – 60%. На ВАЗе применяют стационарные сварочные машины мощностью 60, 120, 190, 260 кВА, на которых выполняют точечную рельефную сварку (рис. 4.6). Машины имеют высокую производительность до 200 точек в минуту. Мощность подвесных сварочных машин, применяемых в производстве для точечной и роликовой сварки, равна 85, 130, 180 кВт, а производительность – до 180 сварок в минуту при продолжительности включения 50%, применяют автоматические сварочные линии.

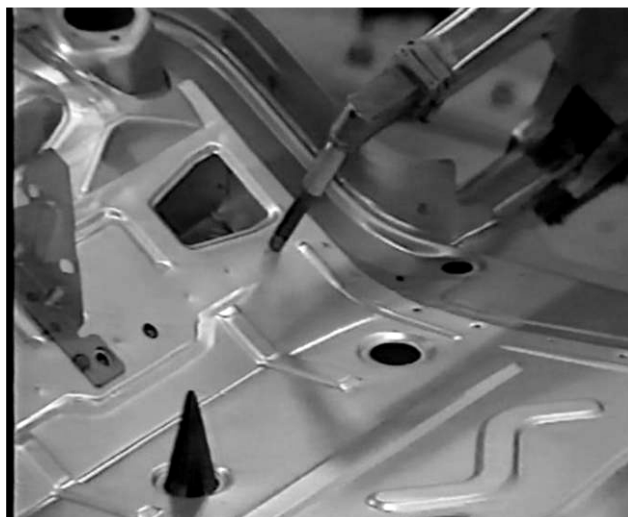


Рис. 4.6. Точечная рельефная сварка на автоматических сварочных машинах

По конструкции все линии аналогичны и представляют в общем виде систему многоточечных машин (постов) с системой транспортеров, обеспечивающих перемещение свариваемого элемента.

4.2.1. Технологический процесс сборки-сварки кузовов легковых автомобилей

Основными сборочными единицами кузова современных легковых автомобилей являются правая и левая боковины, основание в сборе, передняя часть кузова, задняя часть кузова, крыша, оперение в сборе. Построение технологического процесса зависит от разработанного расчленения и программы выпуска. Строят его по принципу от простого к сложному в зависимости от выбранного типа сборочно-сварочной линии. Каждое решение о построении технологического процесса должно быть экономически обосновано.

Боковины современных кузовов легковых автомобилей как самостоятельные сборочные единицы должны обеспечить правильную геометрию дверных проемов для получения стабильных зазоров при навеске дверей. Такие боковины имеют в основном цельноштампованные дверные проемы. Жесткость и прочность боковин обеспечивается приваркой усилителей в различных сечениях.

На ГАЗе боковины собирают на кольцевом кондукторном конвейере. Этот технологический процесс оригинален тем, что разбит на несколько опера-

ций, примерно равных по трудоемкости, и вся сборка-сварка ведется на одном и том же кондукторе. Кондукторы смонтированы на круговых напольных конвейерах карусельного типа, а над каждым рабочим местом навешено требуемое количество подвесных точечных машин разных типов со специальной операционной оснасткой. Число рабочих мест и кондукторов зависит от заданной программы выпуска. В данном технологическом процессе сборка-сварка боковины осуществляется на единых базах, без переключивания деталей с одного кондуктора в другой.

Круговой конвейер состоит из металлического диска диаметром 10 м. горизонтальная плоскость которого расположена на уровне 200 мм от пола. Лицевые поверхности на боковине сваривают через медные пластины, которые являются частью кондуктора. Число подвесных точечных машин определяется числом специальных сварочных оснасток, которые проектируют в зависимости от вида сварных соединений и их доступности.

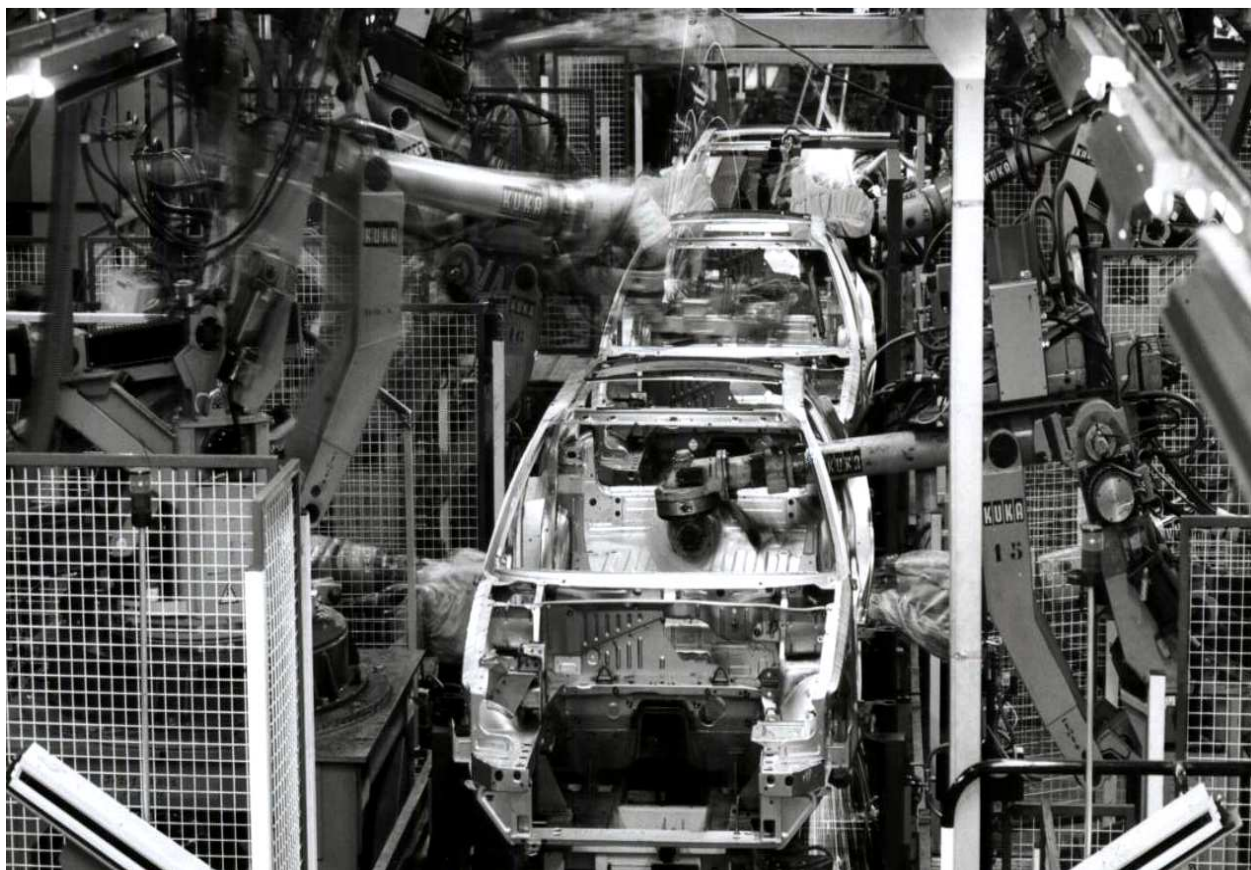


Рис. 4.7. Автоматизированная линия сборки кузова легкового автомобиля

Для питания пневматических зажимов и фиксаторов на кондукторах предусмотрено специальное распределительное устройство, размещенное в центре конвейера, в месте подвода воздуха по трубам. Распределительное устройство имеет вращающуюся муфту. Вместе с конвейером вращается часть муфты. Сварочные машины подвешены на круговых двутавровых балках на

специальных тележках и во время сварки могут передвигаться. Готовые боковины принимают по контрольному приспособлению. На автомобильных заводах сборку-сварку боковин производят на автоматических линиях многоточечными машинами (рис. 4.7). По конструкции автоматические сварочные линии принципиально одинаковы и представляют собой цепочку многоточечных сварочных машин (постов) с системой транспортеров, обеспечивающих перемещение свариваемого элемента. Число сварочных постов выбирают в зависимости от конфигурации боковин и числа свариваемых точек.

Автоматические линии состоят из аналогичных параллельных линий сборки-сварки левой и правой боковин. Каждая линия включает восемь многоточечных сварочных машин, напольный конвейер для передачи сваренных боковин с механизмом перегрузки и устройство для навески боковин на подвеску толкающего конвейера. Привод сварочных клещей и пистолетов – гидравлический. Автоматические линии имеют высокую производительность.

Недостатком такого построения технологического процесса является то, что выход одной позиции из строя влияет на выпуск линии. Для предупреждения остановки линии в конце ее организованы дублирующие места для сварки подвесными сварочными машинами собранных в линии сборочных единиц.

На автомобильных заводах все шире применяют механизированные линии со сварочными роботами. Преимущества таких линий перед автоматическими с многоточечными машинами очевидны.

Это связано с тем, что автоматические линии с многоточечными автоматами без значительной модернизации практически не могут быть использованы для сборки-сварки разных моделей кузовов, тогда как линии с роботами можно применять и на других моделях кузовов.

Число необходимых постов на линии определяется конфигурацией свариваемых единиц и числом свариваемых точек. Линии состоят из сварочных и промежуточных постов, загрузочно-разгрузочных станций, системы транспортеров, шкафов управления, диспетчерских пультов сигнализации, пультов управления.

Сборку-сварку кузова осуществляют на двухпозиционных автоматизированных кондукторах челночного типа с возвратно-поступательным движением тележек, на которых про-



Рис. 4.8. Приваривание дверных петель с предварительной установкой двери в проем боковины при помощи манипулятора

изводят подсорку и предварительную фиксацию основных сборочных единиц кузова.

На одной позиции производят сварку, на другой в это время – разгрузку сваренного кузова, а также загрузку новых сборочных единиц, сборку и фиксацию кузова (рис. 4.8). Загрузка сборочных единиц на позиции осуществляется автоматически. Захват сваренного кузова и подъем осуществляются по команде оператора. Загрузку сборочных единиц (боковин, крыши, передних крыльев), подгонку их и предварительную фиксацию выполняют вручную. При сборке в кондукторе на ответственные сварные швы наносится уплотнительная мастика специальными шприц-пистолетами. В главном кондукторе сваривается 278 точек, 98 из которых выполнены многоточечной автоматической сваркой по порогу пола в нижней части, а остальные 380 – шестью подвесными сварочными машинами с клещами.

Рассмотрим, к примеру, технологию сборки кузова автомобиля ГАЗ-3110 «Волга», который состоит из следующих основных сборочных единиц:

- 1) боковины в сборе (левой и правой);
- 2) основания в сборе;
- 3) передней части кузова;
- 4) задней части кузова;
- 5) панели крыши;
- 6) передних крыльев в сборе;
- 7) передних дверей в сборе;
- 8) задних дверей в сборе;
- 9) капота в сборе;
- 10) крышки багажника в сборе.

Кузов после сборки-сварки в главном кондукторе показан рис. 4.4. Из сборочных единиц 1–5 в главном кондукторе получают кузов. Сборочные единицы 6–10 являются навесными и их присоединяют к кузову крепежными винтами и болтами. При изготовлении кузова применяют в основном точечную сварку всех разновидностей: рельефную, электродуговую в среде углекислого газа и газовую при сварке в местах, недоступных для подвесных сварочных машин. Кузов сваривают в 7500 точках.

Сборку-сварку мелких деталей производят 58 стационарными сварочными машинами. Средние и крупногабаритные детали изготавливают в приспособлениях или кондукторах подвесными сварочными или многоточечными машинами. Для сборки и сварки крупногабаритных деталей, таких, как основание кузова, передние и задние двери, капот, крышка багажника применяют восемь механизированных и пять автоматических линий.

Технологические процессы сборки-сварки этого кузова прежних моделей существенно различаются. Раньше процесс сборки кузова начинали укладкой в главный кондуктор основания в сборе, затем осуществляли последующую установ-

ку и сборку остальных деталей. К жесткозакрепленной конструкции основания приваривали остальные детали. Готовые кузова имели незначительные отклонения по геометрическим размерам, особенно по проемам дверей, крышки багажника, капота и т. д. Для доведения размеров проемов проводили дополнительную обработку нанесением пластмассы или припоя с последующей рихтовкой.

Процесс сборки всех сборочных единиц кузова под сварку разделяют на две стадии. Сначала устанавливают в кондукторе сборочные единицы оболочки и соединяют их между собой контактной сваркой, а затем под полученную оболочку подводят основание в сборе. Последняя операция может быть осуществлена после ввода тележки в главный кондуктор и подъема ее на необходимую высоту. После этого основание приваривают к оболочке. Тем, что сборочные единицы оболочки соединяют отдельно от основания, обеспечивается свободный доступ внутрь кузова для осуществления сборки и сварки сборочных единиц между собой. Производительность труда поэтому значительно повышается. Применением указанного способа обеспечивается высокая точность геометрических размеров элементов кузова, так как в момент установки основания сборочные единицы оболочки уже сварены и оболочка закреплена в кондукторе. При подведении основания под оболочку фланцы основания свободно скользят по фланцам боковин, что позволяет быстро и беспрепятственно собрать весь кузов автомобиля. При этом допускается несовпадение концов фланцев оболочки и основания по высоте, тем самым устраняется влияние допустимых отклонений геометрических размеров основания на размеры элементов кузова (рис. 4.9). Точного положения достигают фиксацией тележки относительно основной части кондуктора. Затем основание приваривается к оболочке по местам сопряжений. Сварку производят подвесными машинами различных типов. Режимы сварки выбирают в зависимости от толщины свариваемых деталей и указывают в технологических картах сборки и сварки. После сварки освобождают все прижимы кондуктора, раздвигают его основную часть, тельфером снимают кузов и передают его для дальнейшей сборки. На современных автоматизированных линиях сборки кузовов обязательно проводится контроль геометрических размеров кузова. Для этой цели применяются автоматически настраиваемые измерительные машины, обеспечивающие высокую производительность и точность измерений. В целом при-



Рис. 4.9. Контроль геометрических размеров кузова на автоматизированных линиях сборки

Рис. 4.9). Точного положения достигают фиксацией тележки относительно основной части кондуктора. Затем основание приваривается к оболочке по местам сопряжений. Сварку производят подвесными машинами различных типов. Режимы сварки выбирают в зависимости от толщины свариваемых деталей и указывают в технологических картах сборки и сварки. После сварки освобождают все прижимы кондуктора, раздвигают его основную часть, тельфером снимают кузов и передают его для дальнейшей сборки. На современных автоматизированных линиях сборки кузовов обязательно проводится контроль геометрических размеров кузова. Для этой цели применяются автоматически настраиваемые измерительные машины, обеспечивающие высокую производительность и точность измерений. В целом при-

менение автоматических линий сборки в кузовном производстве позволяет не только существенно сократить использование людских ресурсов, но также дает возможность использовать одну и ту же линию для сборки кузовов различных моделей автомобилей. Также существенно сокращается время на подготовку производства новых моделей автомобилей. При этом нет необходимости менять всю технологическую оснастку.

4.2.2. Технологический процесс сборки-сварки кабин грузовых автомобилей

Кабины грузовых автомобилей не являются несущими конструкциями, их закрепляют на раме, воспринимающей силовую нагрузку. Обычно металлическая кабина состоит из сварного каркаса с основанием, наружных панелей, приваренных к каркасу, и дверей, соединенных шарнирными петлями. Рассмотрим типовой технологический процесс сборки-сварки кабины массового производства. Сначала производят сборку-сварку мелких сборочных единиц на стационарных машинах, затем из них создают более крупные сборочные единицы в приспособлениях и кондукторах подвесными сварочными машинами. Последующей операцией сборки-сварки сборочных единиц получают каркас кабины и, окончательно, – кабину.

Для сборки-сварки крупногабаритных сборочных единиц, например, каркаса кабины, основания, кожухов, дверей, применяют многоточечные машины.

На современных автомобильных заводах для сборки крупных сборочных единиц применяют автоматические сварочные линии.

Технологический процесс сборки-сварки навесных сборочных единиц

Технологический процесс сборки-сварки этих изделий строят по принципу: от простого к сложному. Сначала собирают мелкие детали, которые поступают на сборочно-сварочные линии основной сборочной единицы. Существует многообразие линий сборки-сварки, отличающихся построением. Самое простое построение имеют линии с неподвижными кондукторами, на которых детали в основную сборочную единицу собирают последовательно. Сварку производят подвесными сварочными машинами. Ранее такую технологию применяли в серийном производстве, например при сборке дверей кабины автомобилей ГАЗ-66, крышки багажника и капота автомобилей «Чайка», РАФ и др. К недостаткам такой технологии можно отнести большую трудоемкость, так как сборочные единицы переключаются с одного кондуктора на другой, что неизбежно отразится на состоянии лицевой поверхности.

При массовом производстве обычно применяют механизированные и автоматизированные линии. Технологический процесс строится таким образом, что сборку и сварку производят последовательно. Загружают детали на линию обычно вручную, а выгружают готовую продукцию (сборочную единицу) автоматически.

Построение технологических процессов с использованием механизированных и автоматизированных линий дает высокую производительность труда, высокое качество сварки лицевых поверхностей. Такие линии применяют при сборке дверей, крыши, багажника, капота.

По конструктивным соображениям внутренние и наружные панели в большинстве случаев подгибают по кромкам и контуру на кромкогибочных машинах, которые обычно встроены в линии. Подгибку осуществляют в два или три приема, сначала на угол 45° , потом на $40\text{--}75^\circ$ и, окончательно, на 90° . В случае применения неподвижных кондукторов подгибку обычно проводят на прессах со штампами клинового действия на гидравлических установках. Число операций подгибки выбирают в зависимости от конструкции деталей, особенно от их кривизны, и технологических переходов штамповки.

Для соединения внутренней и наружной панелей применяют сварку по подогнутым кромкам (сварка трех толщин) и сварку до подгибки (сварка двух толщин).

При этом следует помнить, что сварка должна быть бесследной по лицевой поверхности, поэтому необходимо применять и медные пластины при сборке на неподвижных кондукторах и массивные токоподводы на многоточечных машинах и сварку производить со стороны наружной панели. Сварку до подгибки выполняют для того, чтобы внутренняя панель не могла переместиться относительно наружной поверхности, особенно при подгибке на штампах с клиньями. Для увеличения жесткости наружных панелей их склеивают с внутренними обычно в средней части с наименьшей жесткостью. Для лучшего склеивания на внутренней панели делают выштамповки, которые заполняют клеем типа ПФ-1 и которые не позволяют клею вытечь за фланцы. В этих местах производить сварку нельзя, так как после нее остаются следы от точек, которые практически не могут быть устранены на лицевой поверхности сборочных навесных единиц ручной рихтовкой, а применение для выравнивания лицевой поверхности припоя или пластмасс нецелесообразно.

Операцию склеивания производят на специальной установке следующим образом. На наружные панели с внутренней стороны наносят клей по специальному трафарету, устанавливают внутренние панели, а затем проводят операции сборки-сварки на линии. Готовые сборочные единицы проходят тепловую обработку клея в электропечи при температуре $180 \pm 5^\circ \text{C}$ в течение 25–30 мин (без учета времени достижения указанной температуры). После тепловой обработки сборочные единицы охлаждают до температуры 30°C и лицевые поверхности наружных панелей подвергают дальнейшей ручной рихтовке. Работают с клеем при наличии общей вентиляции, а тепловую обработку клея производят при наличии местной вытяжной вентиляции.

Готовые сборочные навесные единицы проходят контрольные операции в конце технологического потока. Геометрические размеры проверяются на контрольных приспособлениях.

Технологический процесс изготовления платформ грузовых автомобилей

Детали платформ в основном изготавливают из тонколистовой холоднокатаной стали и горячекатаной листовой. По своей конструкции и форме сопрягаемых деталей платформы просты и особых трудностей при их сборке-сварке нет. Платформы получают соединением отдельных крупногабаритных сборочных единиц: основания в сборе, боковых, передних и задних бортов и различных кронштейнов и усилителей для крепления сидений, тента и инструмента.

Сборку-сварку сборочных единиц, изготовленных из тонколистовой холоднокатаной стали (кроме основания), производят на стационарных сварочных машинах или на вращающихся кондукторах при помощи различных подвесных сварочных машин. Режимы сварки выбирают в зависимости от толщины металла. Для увеличения прочности в отдельных случаях применяют электродуговую сварку короткими швами длиной 30–50 мм, осуществляемую при помощи сварочных полуавтоматов. Самой сложной сборочной единицей платформы является основание. Состоит оно из нескольких листов с ребрами жесткой продольных лонжеронов, передних и задних усилителей и поперечин в виде П-образных балок толщиной 1,2–2 мм. Сварить элементы основания платформы можно различными подвесными точечными машинами со специальными откидывающими захватами.

Современный технологический процесс сборки-сварки основ платформы грузового автомобиля включает использование специальных многоточечных машин, нижние электроды которых изготавливают литыми и соответствующей формы. В верхней части машины расположены две порталные балки с смонтированными в них сварочными трансформаторами мощностью 150 кВт. Балки перемещаются вдоль оси основания платформы, а сварочные пистолеты – по направляющим вдоль порталных балок. Подвод тока к сварочным электродам осуществляется через специальные контактные устройства.

В настоящее время для сварки платформы (например, цельносварной платформы автомобиля-самосвала ЗИЛ), изготовленной из горячекатаной стали, кроме электродуговой сварки, используют рельефно-точечную.

Контактная сварка горячекатаной малоуглеродистой стали не вызывает затруднений. Перед сваркой предварительно с поверхности свариваемых деталей необходимо удалить окалину, иначе невозможен нормальный процесс контактной сварки. Одним из способов контактной сварки горячекатаной стали, не требующих удаления слоя окалины с поверхности свариваемых деталей, является рельефно-точечная.

Наличие рельефов облегчает прохождение сварочного тока, обеспечивает правильное формирование сварных точек, повышает стабильность их прочности, позволяет применять электроды с большей контактной поверхностью и большей стойкостью.

Сварку производят на стационарной машине с синхронным прерывистым током, медными электродами диаметром 23 мм. Для точечной сварки бортов с усилителями наиболее рациональным является применение восьмитрансформаторной машины, которая сваривает каждую точку отдельным трансформатором при нормальном двухстороннем подводе сварочного тока. Мощность сварочных трансформаторов принята равной 100 кВт. Режим сварки бортов с усилителями имеет следующие параметры: силу сварочного тока 23 кА; усилие на электродах 1100 кгс; время сварки 1,4 с. Длительность сварки одного борта равна 1 мин, включая загрузку и снятие детали после сварки. Стойкость электродов до полного износа – 50 000 точек. Для рельефно-точечной сварки бортов с основанием режим сварки характеризуется силой сварочного тока 23 кА; усилием сжатия 900–1000 кгс; временем сварки 1,8 с.

4.2.3. Особенности технологического процесса сборки-сварки автобусных кузовов различной конструкции

Кузова автобусов по габаритным размерам отличаются от кузовов легковых автомобилей, например, внутренние размеры автобусов ЛиАЗ-5257 следующие: длина кузова 8900 мм, ширина 2375 мм, высота 1976 мм. Они предназначены в основном для перевозки большого количества людей, поэтому их конструкция близка к пассажирским железнодорожным вагонам. Кузова автобусов состоят из металлического каркаса, собранного из многочисленных профильных деталей при помощи сварки и частичной клепки. Только основание каркаса кузова автобуса ЛиАЗ состоит из 262 поперечин, балок-раскосов, стоек, усилителей, лонжеронов и других деталей.

При сборке крупногабаритных деталей, таких, как основание каркаса, боковины в сборе, каркасы, боковины передней части, открыт доступ для сварочного оборудования. Доступ в средние участки сложнее, так как они удалены от наружного контура автобуса. При газэлектрической сварке основных трудностей нет, но необходимо, при этом строго выдерживать требования по технике безопасности. Режимы выбирают в зависимости от толщины свариваемых деталей, оборудование можно применять универсальное со специальной операционной оснасткой. Сварка и частичная КЛР должны обеспечить хорошую прочность кузовов. Общую сборку-сварку каркаса кузова автобуса обычно проводят на стационарных кондукторах, которые называют стапелями или стендами.

Таким образом, кузов автобуса собирается на одном месте, а все комплектующие и устанавливаемые узлы поступают сюда и устанавливаются на каркас кузова (рис. 4.10).

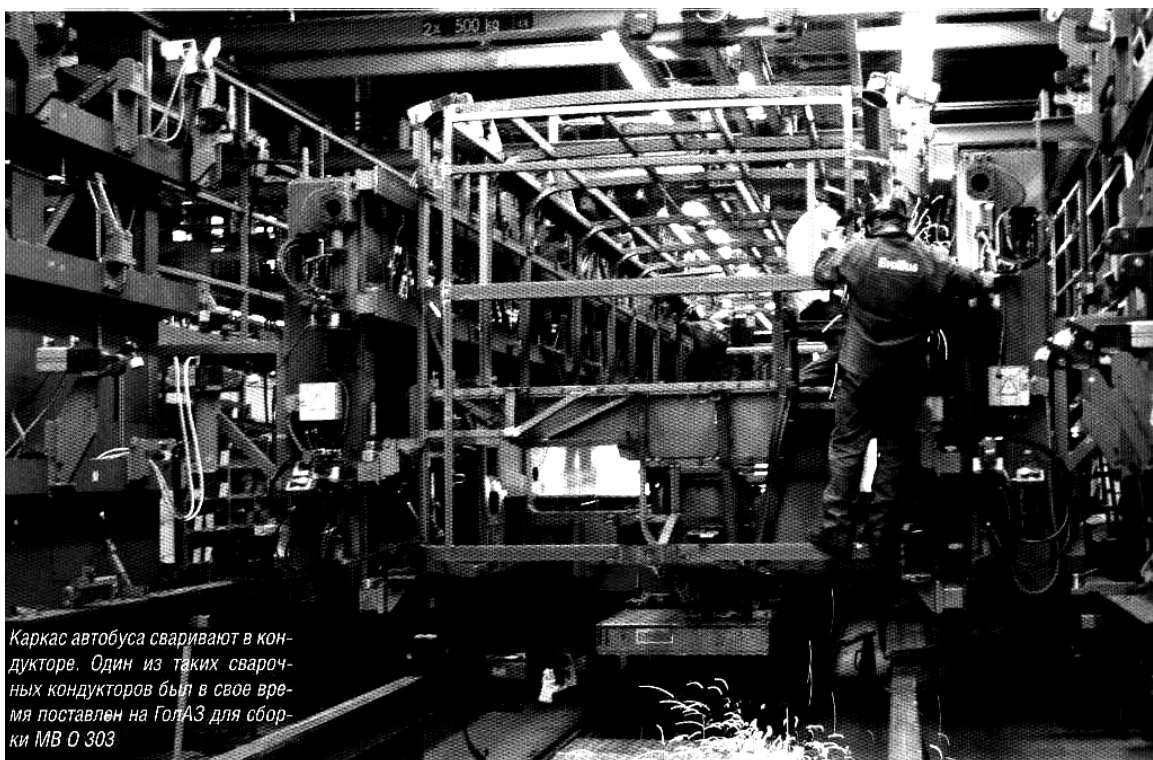


Рис. 4.10. Сборка кузова автобуса на стапеле

4.2.4. Сборочно-сварочная оснастка для производства кузова

Качество сварных конструкций кузовов и кабин и производительность сборочно-сварочного производства в значительной степени определяются оснащенностью различной сборочно-сварочной оснасткой, к которой относятся также приспособления.

В настоящее время невозможно получить низкий уровень себестоимости и стабильное качество без комплексной механизации автоматизации технологических процессов. Для повышения производительности производства сварных конструкций кузовов и кабин необходимо сокращать время, затрачиваемое на вспомогательные работы, предшествующие сварке. В связи с этим значение сборочно-сварочных приспособлений значительно возрастает, во многих случаях они должны быть включены в состав механизированных и автоматических линий.

Изготовление и наладка сборочно-сварочных приспособлений – это более длительные процессы, по сравнению с процессом изготовления изделия. При проектировании сборочно-сварочных приспособлений стремятся максимально сократить использование ручного труда. Это возможно только при комплексной механизации производства, без которой трудно обеспечить темпы массового производства.

Только с помощью комплексной механизации и автоматизации можно резко увеличить производительность сборочно-сварочного производства кузово-

вов и кабин. Эффект от применения автоматических и механизированных способов сборки-сварки, новейшего оборудования и аппаратуры управления, упрощения и облегчения наладки сборочно-сварочных кондукторов проявляется в снижении трудоемкости.

Поддерживающие и направляющие приспособления для сварки значительно проще. С их помощью устанавливают и фиксируют детали в плоскости электродов. Перемещение деталей оператор осуществляет вручную или с помощью роликов шовной машины. К группе вспомогательных приспособлений для сборки-сварки относятся различные устройства, отмечающие шаг между точками или расположение сварных соединений относительно кромки свариваемых изделий и др.

На сварочных машинах применяют различную оснастку; для стационарных точечных машин – переходные втулки и электроды различной формы. Иногда нижние электроды имеют фиксаторы, на нижнем хоботе устанавливают стационарное приспособление для фиксации деталей в процессе сварки. Подвесные точечные машины работают с более сложной оснасткой – сварочными пистолетами. При сборке-сварке применяют пистолеты, конструктивно очень отличающиеся один от другого. Их можно подразделить на следующие группы: пневматические, гидравлические, распорного типа и однополюсные.

Приспособления-кондукторы средней сложности используются для фиксации и перемещения деталей при сборке-сварке. По конструкции такие приспособления-кондукторы сравнительно сложные и состоят из прочного основания (плиты или рамы), на которых смонтированы фиксаторы и прижимы для установки деталей, а также механизмы для вращения кондуктора и съема деталей с приспособления.

На средних кондукторах собирают, прихватывают и сваривают сравнительно небольшие по размерам сборочные единицы, например, кожухи колес, пороги оснований, брызговики и другие сборочные единицы кузовов легковых, кабин и платформ грузовых автомобилей, кузовов автобусов. Эти приспособления имеют меньшее число зажимов, фиксаторов, упоров, поэтому часто в приспособлении можно полностью закончить сварочные работы. Сварку сборочных единиц обычно производят на съемниках, вмонтированных в приспособлении.

Крупные кондукторы применяют для сборки-сварки крупногабаритных деталей, таких, например, как двери, крышка багажника, капот, верхняя панель передка, отдельные сборочные единицы основания, боковины, крылья и т. д. Конструкции таких приспособлений сложные и состоят из жесткой рамы, на которой закреплены фиксаторы, зажимы, механизмы для вращения деталей в процессе сварки и механизм съемника для снятия детали с приспособления после сварки. Фиксаторы в таких кондукторах выполнены в виде отдельных упоров или выдвигаемых штырей несложной формы.

Главные приспособления-кондукторы называются так потому, что в них осуществляют окончательную сборку-сварку кузовов, кабин и платформ. Конструкция таких кондукторов очень сложная. Они состоят обычно из сложного основания (станины), на котором закреплены сложной конструкции фиксаторы и достаточное число зажимов. Фиксаторы бывают в виде блочков и прижимных штырей для фиксации основания и в виде выдвижных блочков для фиксации проемов дверей, окон, крышки багажника, капота и т. д. Эти фиксаторы при помощи специальных механизмов можно вдвигать и выдвигать в главном кондукторе.

Расширение применения приспособлений, а также внедрения механизации в сборочно-сварочном производстве кузовов и кабин на ГАЗе позволило значительно снизить трудоемкость производства кузова автомобиля «Волга». Это является показателем эффективности новых технологических процессов и их оснащенности механизированной сборочно-сварочной оснасткой.

Сборочно-сварочные приспособления

Сборочно-сварочным приспособлением называется устройство, используемое для повышения точности и качества сборки-сварки, сокращения времени выполнения этих операций, улучшения условий труда при сборочно-сварочных работах и повышения безопасности работ. Сборочно-сварочные приспособления можно использовать при любом производстве сварных конструкций, они входят в механизированные и автоматизированные линии.

С помощью сборочно-сварочных приспособлений производят следующие операции:

- установку собираемых деталей соответственно заданному чертежом положению;
- взаимное ориентирование частей сборочной единицы и надежное фиксирование их в этом положении; закрепление (зажим) собранной сборочной единицы на приспособлении;
- поворот обрабатываемой сборочной единицы в наиболее удобное положение для выполнения сборочных, сварочных и отделочных (зачистка/рихтовка, правка, выравнивание и т. д.) операций;
- ориентирование свариваемых поверхностей относительно электродов; создание обратного прогиба собираемых деталей для исключения образования недопустимых деформаций при сварке;
- формирование поверхности, шва; подачу к месту сварки и удаление от мест сварки сварочного инструмента;
- рабочие и вспомогательные перемещения изделия.

В зависимости от назначения сборочно-сварочные приспособления могут быть универсальными и специальными, стационарными и переносными, с ручным и механизированным приводом.

Универсальные приспособления чаще всего применяют в мелкосерийном и индивидуальном производстве, когда изготавливать относительно дорогие специальные приспособления невыгодно. Универсальные приспособления позволяют изготавливать различные по размерам однотипные изделия. Преимуществами этих приспособлений являются возможность их переналадки при смене выпускаемой продукции, относительная простота конструкции, незначительные затраты на их изготовление, а недостатком – менее производительная работа, чем при использовании специальных приспособлений.

С помощью универсальных приспособлений решают основную задачу: установку и закрепление деталей, поворот или вращение свариваемых изделий.

5. МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА КУЗОВОВ

Как известно, кузова первых автомобилей, подобно каретам, в основном изготавливались из дерева. Однако с началом массового производства автомобилей дерево оказалось неподходящим материалом и было заменено сталью. В настоящее время сталь преобладает в автомобилестроении, и вопреки всем сообщениям и прогнозам относительно других более перспективных материалов для кузовов, которые могут заменить сталь, невозможно представить, что сталь постигнет та же участь, что и дерево. Руководители всех ведущих сталелитейных предприятий уверены, что в обозримом будущем этот металл останется главным конструкционным материалом для кузовов автомобилей. Это, помимо прочего, обусловлено его свойствами, перечисленными ниже. Так при одинаковой массе деталь, выполненная из стали, стоит дешевле, чем из других материалов, особенно с учетом срока службы. При этом использование даже дорогих, но зато более долговечных сортов стали (таких как сверхвысокопрочные), может быть экономически выгодным решением. Известны случаи, когда традиционно стальные детали кузова изготавливали из другого материала, но после двух-трех лет эксплуатации автомобиля по экономическим соображениям возвращались к стали. Иначе говоря, опыт замены стали другим материалом оказывался неудачным. Кроме того, сталь обеспечивает большую пассивную безопасность. В случае столкновения автомобиля с препятствием стальные детали кузова поглощают больше энергии удара, чем при изготовлении их из другого материала, включая стеклопласт и алюминий, особенно при сильных ударах на большой скорости.

Наконец, сталь легче использовать как вторичное сырье, так как она обладает магнитными свойствами, что облегчает отделение стальных деталей от общего скрапа на свалке, в котором присутствуют другие, немагнитные материалы.

5.1. Низкоуглеродистые стали для кузовов и их свойства

Производство автомобильных кузовов связано с изготовлением деталей сложной формы и высоким качеством поверхности этих деталей. Кроме того, кузов должен обладать достаточной прочностью и долговечностью, а также удовлетворительным сопротивлением ударам при столкновении автомобилей. Получить такой кузов можно лишь путем холодной штамповки деталей из листовой малоуглеродистой стали. Возможно также применение алюминиевого листа для изготовления кузова, но его стоимость достаточно высока. Также сталь обладает высокой пластичностью и позволяет выполнять детали с глубокой вытяжкой. Тем не менее, все равно невозможно изготовить весь кузов из одного или нескольких листов. Поэтому необходимо конструкцию кузова раз-

делить на несколько участков, которые потом можно соединить с помощью сварки. Для штамповки отдельных деталей кузова применяются специальные штампы. Их стоимость достаточно высокая, но затраты на их изготовление окупаются масштабами крупносерийного производства.

Особенности современной стали для производства кузовов и кабин автомобилей

Основные показатели пластичности стального листа, применяемого для изготовления деталей кузова являются относительное удлинение, поперечное сужение, предел прочности, предел текучести, твердость *HRB*. Для штамповки с глубокой вытяжкой применяются стали с большим относительным удлинением (15–30%, а в отдельных случаях до 40–45%) и значительной разницей между пределами текучести и прочности. Хорошие результаты дает сталь с содержанием углерода 0,05–0,15%. Однако не всегда низкоуглеродистая сталь дает качественную штамповку поверхности. Это зависит от величины зерна стали. Более высокое качество дает сталь. Установлены относительные значения зернистости для таких сталей: при толщине листа 0,8–2,0 мм размер зерна должен быть 26–37 мкм, для листа 2,0–5,0 мм размер зерна должен быть 37–52 мкм, для листа 5,0–6,0 мм зерно должно быть 70–80 мкм. Сталь с более мелким зерном дают лучшую поверхность, но имеют более низкую пластичность и повышенную упругость. Стали с более крупным зерном дают шероховатую поверхность, непригодную для наружных деталей.

Стальные листы изготавливают из качественной малоуглеродистой стали (табл. 5.1) при холодной штамповке деталей с особо сложной вытяжкой (категория ОСВ) и для штамповки со сложной вытяжкой (категория СВ). Взамен стали 08кп допускается поставка листов из стали 08Юпс. Стальные листы изготавливаются и поставляются в термически обработанном состоянии.

Таблица 5.1

Распределение сталей по качеству

0	Отделка поверхности		Распределение сталей
I	Особовысок.отделки, Холоднокатан. листы	ВГ	05кп, 08кп, 10кп, 20кп, 08пс, 10, 15, 20
II	Высокой отделки, холоднокатаные листы	ВГ	05кп, 08кп, 10кп, 15кп, 20кп, 08пс, 10, 15, 20
		Г	05кп, 08кп, 10кп, 15кп, 20кп, 08пс, 10, 15, 20, 25, 30, 35
		Н	05кп, 08кп, 10кп, 15кп, 20кп, 08пс, 10, 15, 20, 25, 30, 35
III	Повышенной отделки, холоднокатаные и горя- чекатаные листы	ВГ	05кп, 08кп, 10кп, 15кп, 20кп, 08пс, 10, 15, 20
		Г	05кп, 08кп, 10кп, 15кп, 20кп, 08пс, 10, 15, 20, 25, 30, 35
		Н	10кп, 15кп, 20кп, 08пс, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50
IV	Нормальной отделки, горячекатаные листы	Г	05кп, 08кп, 10кп, 15кп, 20кп, 08пс, 10, 15, 20, 25, 30, 35
		Н	05кп, 08кп, 10кп, 15кп, 20кп, 08пс, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50

Сталь тонколистовая качественная углеродистая конструкционная поставляется в отожженном состоянии, а также после термического и глубокого отпуска.

По способности к вытяжке при штамповке различают следующие группы: ВГ – весьма глубокой, Г – глубокой, Н – нормальной вытяжки.

Таблица 5.2

Механические свойства стали для автомобильных кузовов ГОСТ 9045-59

Категория листа	σ_T , кг/мм ²	σ_B , кг/мм ²	δ_{10} , %	HRC, 30/100	σ_T/σ_B
ОСВ	20	26–33	44	45	0,66
СВ	21	26–34	42	48	0,7

Примечание. Кривая растяжения ст. 08Ю и 08Фкп должна быть плавной, не иметь площадки текучести и не давать линий сдвига.

Для повышения качества автомобильных кузовов ведутся научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы по совершенствованию свойств кузовных сталей и поиску других материалов взамен стали.

Таблица 5.3

Механические свойства тонколистовой качественной углеродистой стали для автостроения ГОСТ 4041-71

Марка стали	σ_B , кг/мм ²	δ_{10} , %	НВ	HRB
08кп	28-38	30	100	55
08-10кп	28-42	27	108	61
15-15кп	32-45	26	117	66
20-20кп	35-50	24	127	71
25	40-55	23	138	76
30	45-60	21	150	80
35	50-65	18	161	84
40	52-67	17	167	85
45	55-70	15	174	87
50	55-75	13	184	90

Тем не менее, изготовители стали, несмотря на их прочные позиции на рынке, не считают, что все это достигается само по себе в результате уникальности их материала. Большие средства затрачивают на научные исследования и разработки не только в области металлургии и производства стали, но и в отраслях, где используется сталь, привлекая для этого металлургов и научных работников исследовательских организаций.

Высокопрочные стали для кузова

Внедрение современных технологий производства сталей для автомобилестроения является необходимым условием обеспечения конкурентоспособности отечественных конструкционных сталей. Такие технологии должны разрабатываться с учетом мировых тенденций развития данного класса материалов. Но при этом следует искать собственные пути решения проблем, возникающих у отечественных потребителей автомобилестроительных сталей, учитывать особенности оборудования российских металлургических предприятий.

Одним из основных направлений развития материалов для кузова и других деталей автомобиля является увеличение объема применения высокопрочных сталей с целью повышения безопасности и снижения массы автомобиля. Необходимость снижения массы диктуется постоянным ужесточением экологических требований по уменьшению вредных веществ в выхлопе автомобиля.

В настоящее время крупнейшие металлургические компании, производящие автолистовую сталь, совместно с основными российскими производителями автомобилей работают над созданием сталей с улучшенными потребительскими свойствами. Среди наиболее важных направлений можно отметить:

- высокоштампующий прокат из стали со сверхнизким содержанием углерода;
- стали повышенной прочности;
- повышение коррозионной стойкости автолиста путем освоения производства сталей с цинковым, железоцинковым и алюмокремниевым покрытиями разного класса прочности и назначения, а также за счет оптимизации химического состава и технологии производства самих автолистовых сталей.

Применение вакууматоров, позволяющих получать стали со сверхнизким содержанием углерода, в конвертерном производстве основных металлургических предприятий, производящих автолистовые стали (ОАО «НЛМК», ОАО «ММК», ОАО «Северсталь»), открывает новые возможности для производства как высокоштампующих сверхнизкоуглеродистых сталей, так и сталей повышенной прочности различных классов в холоднокатаном состоянии, с покрытием и холоднокатаных сталей повышенной коррозионной стойкости.

Высокоштампующие стали без фаз внедрения

В настоящее время на российских металлургических комбинатах практически освоено производство высокоштампующего автолистового проката из стали типа *IF* в холоднокатаном состоянии и с цинковым покрытием.

Типовой химический состав выпускаемой в настоящее время стали *IF*, используемой для производства холоднокатаного листа и листа с покрытиями, представлен в табл. 5.4.

Химический состав стали *IF*

Типовой состав стали <i>IF</i> , %						
C	Si	Mn	S	P	Al	N
0,003- 0,005	0,010- 0,030	0,10-0,20	0,005- 0,010	0,008- 0,015	0,02-0,05	0,004- 0,006

Содержание титана и ниобия для стали, микролегированной по одному из вариантов – титаном, по другому – титаном совместно с ниобием – рассчитывается в зависимости от номинального содержания углерода, серы и азота методами термодинамического анализа и составляет, соответственно 0,03–0,06 % титана или, соответственно, 0,02–0,03 % титана и 0,03–0,06 % ниобия.

Значения технологических параметров производства для конкретных плавок первоначально назначались на основе мирового опыта производства аналогичных сталей. В настоящее время при разработке технологии производства автолистовых сталей все более широко применяются методы термодинамического анализа, которые позволяют для сталей конкретного химического состава определить температурные интервалы выделения и растворения соединений, влияющих на свойства металлопродукции. В соответствии с этим назначаются режимы нагрева под прокатку, конца горячей прокатки и смотки, а также режимы отжига.

Иногда требуется решение обратной задачи: исходя из особенностей оборудования конкретного металлургического предприятия, в частности из возможностей обеспечения определенных режимов непрерывного отжига, выплавлять сталь оптимального химического состава, который даст наиболее высокий уровень качества.

Например, для высокоштампующих *IF*-сталей, в зависимости от химического состава, оптимальные температуры непрерывного отжига могут существенно различаться. Для сталей, микролегированных только титаном, при определенном химическом составе повышение температур непрерывного отжига выше 800 °С может приводить к растворению частиц карбида титана, переходу углерода в твердый раствор и ухудшению штампуемости. Для сталей, микролегированных титаном совместно с ниобием, можно выбрать химический состав таким образом, что растворение частиц карбида ниобия вплоть до температур 850 °С будет невозможно. В этом случае непрерывный отжиг при 850 °С обеспечит наиболее высокие показатели штампуемости.

Низкие величины отношения σ_T/σ_B и высокая степень деформационного упрочнения этих сталей гарантируют высокие прочностные свойства и однородность толщины штампующих деталей кузова. Использование *IF*-сталей вместо рядовых низкоуглеродистых сталей (типа 08Ю) обеспечивает, при сохранении прочности, снижение массы пропорциональное глубине вытяжки/штамповки.

Автомобильные листовые стали повышенной прочности

При рассмотрении второго направления работ, связанного с освоением производства автолистовых сталей повышенной прочности, необходимо учитывать, что важнейшими характеристиками таких сталей являются временное сопротивление разрыву (σ_B) или предел текучести (σ_T), а также коэффициент нормальной пластической анизотропии r_m . Сочетание этих показателей определяет комплекс основных свойств таких сталей – прочность и штампуемость. На рис. 5.1 приведены значения указанных характеристик для подобных сталей.

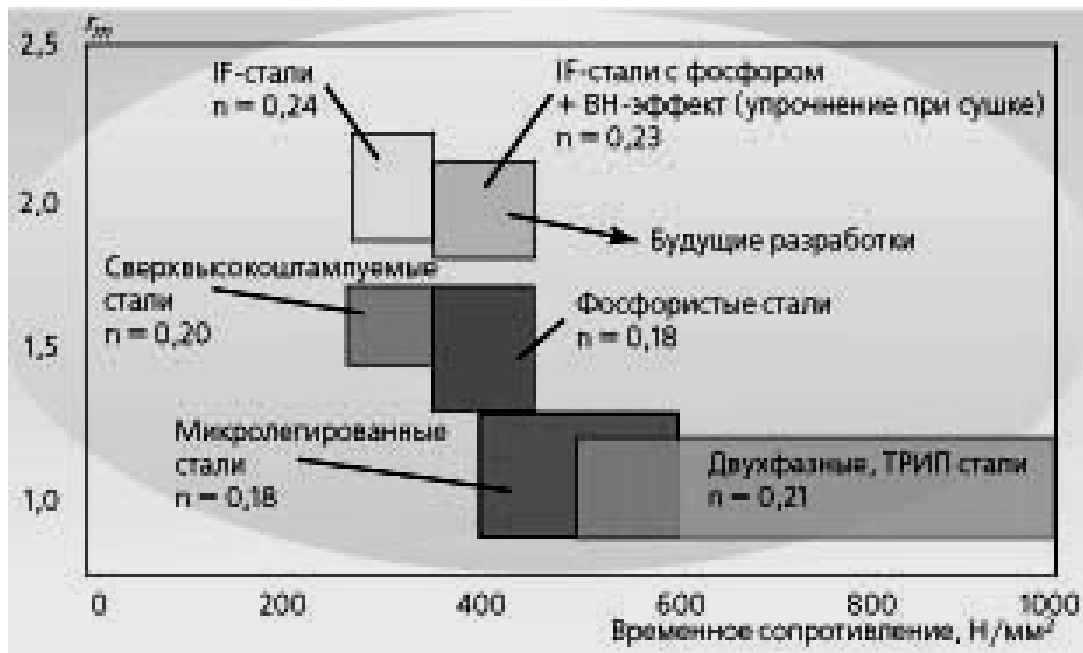


Рис. 5.1. Прочность и штампуемость листа из различных типов сталей

Использование различных механизмов упрочнения твердорастворного упрочнения дисперсными частицами, упрочнения в результате измельчения зерна, упрочнения второй структурной составляющей) позволяет получать различные сочетания прочности и штампуемости. В частности, использование твердорастворного упрочнения элементами замещения и упрочнения измельчения зерна в *IF*-сталях позволяет получать существенно более высокий уровень пластических свойств, включая сохранение острой структуры, по сравнению с обычными низкоуглеродистыми сталями повышенной прочности. Из рис. 5.1 видно, что только упрочненные *IF*-стали позволяют сохранять очень высокий уровень коэффициента $r_m=1,6-1,7$ при прочности $\sigma_B=400$ Н/мм².

Объем применения сталей повышенной прочности в мировом автомобилестроении непрерывно растет. Только за период 1992–2001 гг. его прирост составил 43%.

Стали, упрочняемые сушкой лакокрасочного покрытия (*Bake-hardenable (BH) steels*)

На российских металлургических предприятиях начаты работы по выпуску сверхнизкоуглеродистых сталей с *BH*-эффектом различных классов прочно-

сти (от -180 до 260). Физическая сущность ВН-эффекта заключается в закреплении дислокаций, появляющихся в стали после штамповки детали, атомами углерода, подвижность которых в твердом растворе феррита резко увеличивается при повышенной температуре. Это приводит к упрочнению штампованных деталей во время сушки лакокрасочного покрытия при температуре 150–200 °С. Для этих целей также можно использовать сверхнизкоуглеродистые стали, микролегированные титаном совместно с ниобием, либо только ниобием.

При этом содержание микролегирующих элементов по отношению к элементам внедрения и технологические параметры производства должны обеспечивать содержание углерода в твердом растворе в количестве 6–20 ppm, что необходимо для обеспечения *ВН*-эффекта.

Важным резервом обеспечения требуемых свойств *IF*-сталей и особенно сверхнизкоуглеродистых сталей с *ВН*-эффектом является соблюдение определенных соотношений между элементами, участвующими в связывании примесей внедрения в прочные соединения, к которым относятся не только титан и ниобий, но и алюминий.

Для таких сталей необходимо обеспечить выполнение двух условий: связывание углерода только в карбид ниобия (в определенном количестве) и предупреждение возможности связывания углерода в другие частицы, в частности в карбид титана. То есть содержание ниобия рассчитывается только в зависимости от содержания углерода, а содержание титана и алюминия - в зависимости от содержания азота. Задавая определенное соотношение между содержанием титана, алюминия и азота, можно влиять и на чистоту твердого раствора по примесям внедрения на разных стадиях производства, что в конечном итоге определяет комплекс свойств сверхнизкоуглеродистых сталей.

Например, при недостаточном для полного связывания азота содержании титана возможно с использованием различных температурных условий конца горячей прокатки и смотки либо обеспечить, либо подавить связывание оставшегося азота в нитрид алюминия. Сохранение азота в твердом растворе перед отжигом является также одним из способов повлиять на конечный уровень свойств – аналогично влиянию выделения нитрида алюминия на начальных стадиях рекристаллизации низкоуглеродистой стали типа 08Ю, существенно улучшающему характеристики микроструктуры, текстуры и повышающему штампуемость стали.

Для расчета температурных интервалов выделения частиц, например нитрида титана, а также остаточного содержания алюминия и азота в твердом растворе использование методов термодинамического анализа обязательно, но для низких температур этого недостаточно: тут нужны сведения о кинетических параметрах процесса, которые могут быть получены в результате исследований состояния твердого раствора методом внутреннего трения. Это направление исследований считается перспективным для повышения уровня и стабильности комплекса свойств указанных сталей.

Легирование только ниобием обеспечивает более высокий уровень прочности, хотя при этом несколько снижаются показатели штампуемости. Это связано с тем, что в этом случае связывание азота осуществляется алюминием с образованием нитрида, частицы которого имеют малые размеры и не позволяют обеспечить формирования достаточно крупного ферритного зерна. При совместном легировании титаном и ниобием большая часть азота связывается в нитрид титана, частицы которого, размерами до 3 мкм, не оказывают влияния на размер зерна феррита, то есть в зависимости от конкретных требований к прочности и штампуемости может быть использован тот или другой вариант.

В ОАО «ММК» выпущена и поставлена в ОАО «АвтоВАЗ» первая партия горячеоцинкованного проката толщиной 0,8 мм с *BH*-эффектом из сверхнизкоуглеродистой стали, микролегированной титаном, ниобием и алюминием, класса прочности 180.

Фактические значения параметров этого материала таковы: предел текучести 190–195 Н/мм², предел прочности 300–310 Н/мм², относительное удлинение 40–45%, коэффициент нормальной пластической анизотропии $r_m \geq 2,2$.

Изотропные стали (*isotropic (IS) steels*) обладают одинаковыми прочностными и прочими характеристиками независимо от направления приложенной нагрузки. Прецизионное легирование упрочняющими элементами (марганец, кремний и др.) в совокупности с контролируемым процессом прокатки обеспечивают изотропность структуры *IS*-сталей.

Двухфазные стали (*Dual Phase (DP) steels*). Ферритно-мартенситная (или ферритно-бейнитная) структура обеспечивает высокие прочностные свойства *DP*-сталей (σ_T составляет 350–600 МПа). «Мягкий» феррит (до 80%) придает пластические свойства *DP*-сталям в их исходном состоянии (поставки). В процессе штамповки деформационные напряжения концентрируются в ферритной фазе, приводя к высокой степени деформационного упрочнения. Высокая степень деформационного упрочнения в сочетании с высоким относительным удлинением гарантируют *DP*-сталям очень высокий предел прочности. *DP*-стали по сравнению с конструкционными низколегированными высокопрочными сталями (*HSLA steels*), имеющими аналогичное значение предела текучести, демонстрируют более высокую скорость начального деформационного упрочнения, более высокое относительное удлинение и предел прочности, а также меньшее отношение σ_T/σ_B . Величина предела прочности *DP*-сталей достигает 1000 МПа (*DP700/1000*).

В *DP*-сталях углерод (обычно > 0,1 %) обеспечивает формирование мартенситной фазы и наряду со сбалансированными микродобавками *Mn*, *C2*, *Mo*, *V* и *Ni* отвечает за ее прочностные свойства.

***TRIP*-стали (*Transformation Induced Plasticity (TRIP) steels*)**. Микроструктура *TRIP*-сталей представляет собой ферритную матрицу с дисперсно-распределенными включениями прочной мартенситной и (или) бейнитной фа-

зы. Обязательным условием осуществления феномена высокой пластичности является наличие остаточного аустенита ($\geq 5\%$), который постепенно претерпевает мартенситное превращение при растяжении листа, увеличивая степень деформационного упрочнения при уменьшении толщины листа в процессе формования. Параллельно, аналогично *DP*-сталям, происходят другие процессы упрочнения. Стальной *TRIP*-прокат демонстрирует очень высокую прочность, пластичность и высокое однородное удлинение.

Содержание углерода, кремния или алюминия в *TRIP*-сталях повышено, по сравнению с *DP*-сталями, однако для обеспечения свариваемости содержание углерода в *TRIP*-сталях не должно превышать 0,2%. При минимально допустимых концентрациях углерода остаточный аустенит трансформируется в мартенсит уже на начальных стадиях деформации. При повышенном содержании углерода остаточный аустенит более стабилен и мартенситное превращение происходит только при штамповке или формовании вследствие высокой степени деформации (удлинения). Более того, остаточный аустенит в этом случае содержится в структуре уже готового изделия, и дополнительное мартенситное превращение (упрочнение) происходит даже в результате столкновения автомобиля.

Типичный химсостав таких сталей включает: для легированных кремнием – 0,2% С, 1,5% Mn, 1,5% Si; для легированных алюминием сталей – 0,2 % С, 1,5 % Mn и 2,0 % Al.

В качестве примера на диаграмме «нагрузка-деформация» (рис. 5.2) схематически иллюстрируется поведение *HSLA*-, *DP*- и *TRIP*-сталей, обладающих сравнимыми величинами предела текучести. Степень упрочнения *DP*- и *TRIP*-сталей гораздо выше, чем у низколегированных *HSLA*-сталей, что обеспечивает им несомненные преимущества применительно к процессам штамповки и формования.

Стали с комплексной фазовой структурой (Complex Phase (CP) steels) имеют очень тонкую ферритную структуру с большим процентным объемом твердофазных фракций. Обычно состав легирующих компонентов отличается от состава *DP*- и *TRIP*-сталей тем, что производится дополнительное легирование ниобием, титаном и (или) ванадием, которые формируют различные тонкодисперсные упрочняющие фазовые включения. *CP*-стали обладают высоким значением предела текучести (обычно более 800 МПа), а также способностью демпфировать ударные воздействия в упругой области и при малых деформациях.

Мартенситные стали (Martensitic (Mart) steels) обеспечивают максимальную величину предела прочности (до 1500 МПа). Эти стали подвергаются закалке с последующим отпуском для повышения пластичности и обеспечения высокой формруемости при очень больших величинах деформации. Известно, что для закаленной мартенситной стали величина предела прочности пропорциональна повышению содержания углерода. Дополнительное повышение

States Steel Corporation прочностных характеристик достигается сбалансированным легированием марганцем, хромом, ванадием, молибденом и другими элементами.

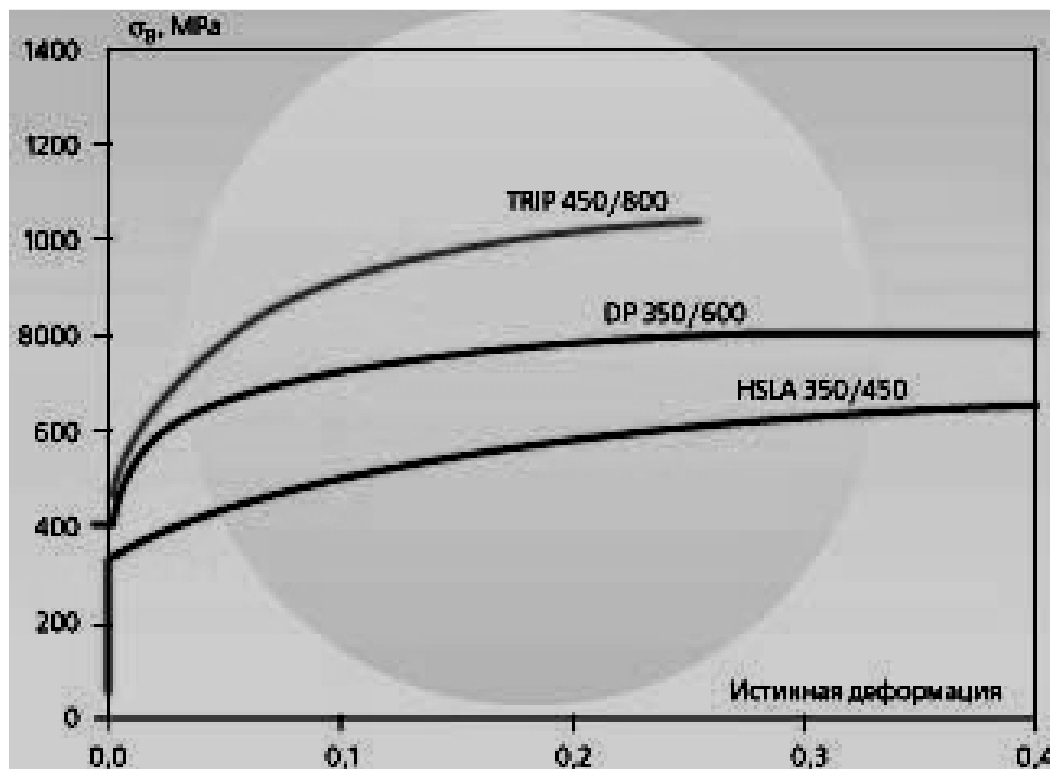


Рис. 5.2. Поведение HSLA-, DP- и TRIP-сталей в координатах «нагрузка-деформация»

5.2. Легкие высокопрочные стали для кузова

Снижение производственных затрат и возрастающие требования топливной экономичности, безопасности и увеличения сроков эксплуатации автомобилей решение этих проблем лежит в плоскости повышения конструктивной прочности, износостойкости, коррозионной стойкости различных узлов и кузова автомобиля при уменьшении его массы.

В начале 90-х годов прошлого века перспектива распространения на автомобильном рынке новых композиционных материалов заставила ведущих производителей стали объединить усилия по разработке новых материалов. Интеграция крупнейших мировых производителей сталей для автомобилестроения: *JFE Steel Corporation* (Япония), *Thyssen Krupp Stahl AG* (ФРГ), *SSAB* (Швеция), *United* (США) и др. осуществляется в рамках различных инициативных программ, координируемых Комитетом по применению сталей в автомобильной промышленности (*AUTOCO*) Международного института чугуна и стали (*International Iron and Steel Institute, ISII*). Целью данных программ является создание сверхлегких, экономичных, безопасных для человека и окружающей среды автомобилей. Машины, разработанные на основе новых конструкторских

решений и новых высокопрочных сталей, должны стать максимально комфортными, легкими в управлении, но без повышения базовой стоимости. Комитет координирует усилия более чем 30 ведущих мировых производителей металлопроката по систематизации перспективных сталей, разработке новых и внедрению уже существующих марок сталей в автомобильную промышленность. Кроме того, разрабатываются нормативные документы по применению высокопрочных сталей и новых технологических процессов их обработки применительно к автомобилестроению.

Основные направления координационных программ проводимых под эгидой *AUTO CO ISH* схематично представлены на рис. 5.3.

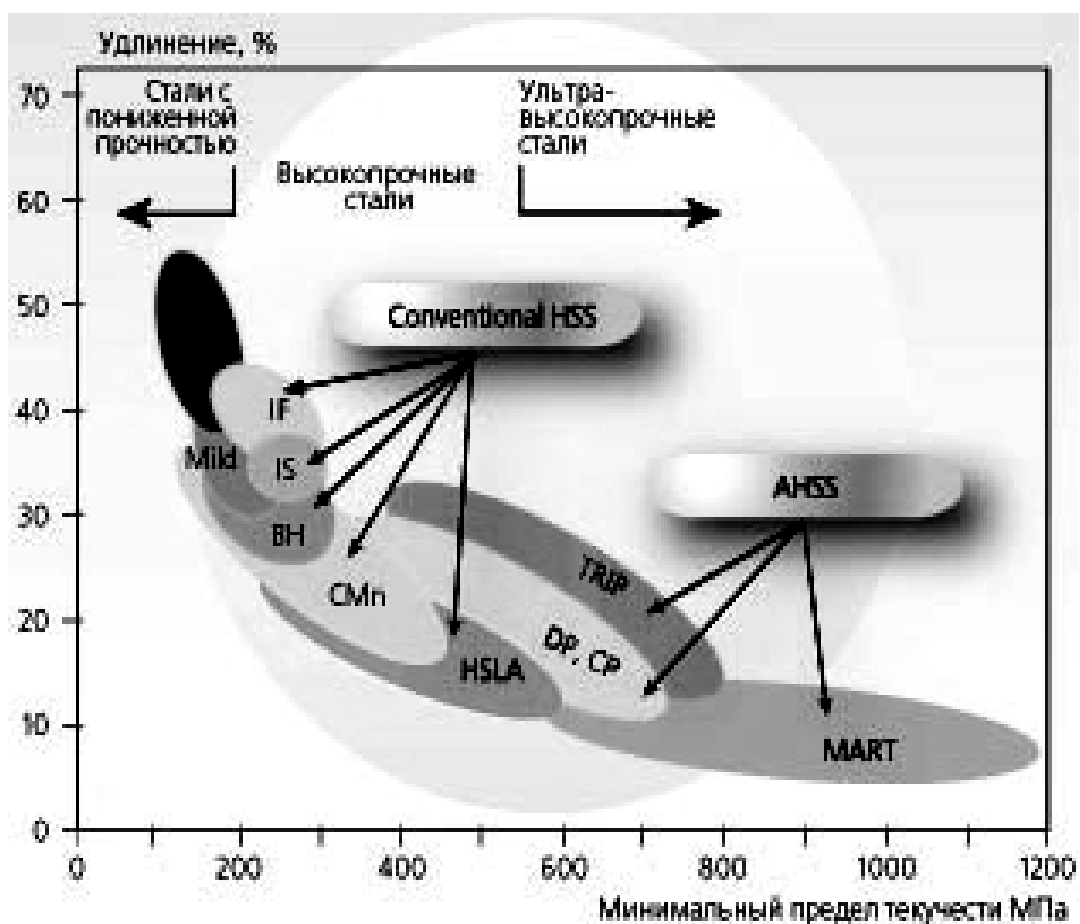


Рис. 5.3. Диаграмма классификации автомобильных сталей

Для устранения возможной путаницы в определениях и стандартах различных стран в рамках проекта *ULSAB* были введены собственные категории прочности, определяемые величиной предела текучести для автопроката толщиной 0,65–2,0 мм.

В программе *ULSAB* определено, что корпус автомобиля должен на 90% состоять из высокопрочных и сверхвысокопрочных сталей. Наиболее подходящая категория стали (по данной классификации) и соответствующая ей конкретная марка для каждого конструкционного элемента автомобиля должна

подбираться экспертами поставщиков. Вопрос выбора сверхвысокопрочной марки стали является наиболее важным, поскольку в этом случае на первое место выходит способность стали пластически деформироваться в процессе изготовления деталей автомобиля.

Консорциум *USLAB-AVC* существенно изменил концепцию классификации автомобильных сталей *USLAB* и конкретизировал их применение для изготовления тех или иных конструкций. В обозначениях присутствуют буквенные обозначения сталей, величины минимальных значений их пределов текучести и прочности в МПа (например *DP 300/500*). К классу «рядовые высокопрочные стали» (conventional *HSS*) теперь отнесены *Mild-*, *IF-*, *IS-*, *BH-*, *CMn-* – (марганцовистые) и *HSLA-* (высокопрочные низколегированные) стали, а к классу «усовершенствованные высокопрочные стали» (*Advanced High Strength (AHSS) Steels*) – *DP-*, *CP-*, *TRIP-* и *Mart-*стали. Механические свойства вышечисленных сталей иллюстрируются диаграммой на рис. 3. Различие механических свойств обусловлено тем, что *DP-*, *CP-* и *TRIP-*стали имеют многофазную структуру, содержащую в строго определенных пропорциях мартенсит, бейнит и (или) остаточный аустенит.

Многофазная структура обеспечивает высокую степень упрочнения, сочетание хороших пластических свойств и высокой прочности при меньшем отношении σ_T/σ_B .

Эволюцию представлений о применении различных автосталей наглядно иллюстрируют две секторные диаграммы. Одна из них отражает общую концепцию *USLAB*, а другая – вполне конкретную концепцию среднеразмерного семейного седана, разработанного недавно в ходе выполнения мощной американской государственной автопрограммы *PNGV (Partnership for a New Generation of Vehicles)*, координирующей свои разработки в рамках *USLAB-AVC*.

Видно, что акценты смещаются в сторону повышения прочностных характеристик, а доля *AHSS-* (*DP-*, *CP-* и *TRIP-*) сталей в этом случае составляет более 80%. Следует отметить, что применение этих сталей позволило исключить применение дорогостоящего процесса горячего прессования заменив его профилированием листового металла, штамповкой и гидропрессованием. Совокупный процент *P-*, *IS-*, *CMn-* и низкоуглеродистых сталей не превышает 2%, а доля *IF-*сталей также невелика. Последнее можно объяснить тем, что *IF-*стали могут проявлять относительно низкую ударную вязкость после формования или глубокой вытяжки. Тем не менее, концерн *JFE* утверждает, что применение уникальных технологий, позволяющих сочетать повышение прочностных характеристик за счет зернограничного рафинирования с дополнительным твердодисперсным упрочнением, предопределило создание высокопрочных ($\sigma_B = 450$ МПа) мелкозернистых (7-8 микрон) *IF-*сталей, в которых содержание углерода приблизительно в два раза выше, чем в обычных *IF-*сталях.

Если рассматривать ближайшую перспективу, то сейчас, например, активно разрабатываются высокопрочные ($\sigma_T > 600$ МПа) аустенитные стали (*Twinning Induced Plasticity (TWIP) steels*), которые обладают очень высокими пластическими свойствами (полное удлинение более 80%). Уникальные свойства этих высокомарганцовистых сталей (содержание *Mn* до 30%), содержащих до 9% алюминия обеспечиваются двойникованием кристаллической решетки. Низкая энергия дефектов упаковки (деформационных двойников) в сочетании с упрочняющим деформационным мартенситным превращением позволяют эффективно упрочнять эти стали при гидропрессовании.

Выбор стали определяется в первую очередь ее механическими характеристиками, функциональной пригодностью для изготовления конкретного изделия, ценой (при прочих равных условиях) и т.д. Например, по концепции *USLAB-AVC* днище автомобиля изготавливается из стали *TRIP 450/800*, а не из стали серии *DP*. Дело в том, что прокат для данного элемента кузова подвергается наиболее существенной деформации в процессе производства, что позволяет извлечь максимальные преимущества по повышению его прочностных характеристик при применении *TRIP*-стали. В свою очередь, *CP*-стали могут быть использованы для изготовления бамперов или стоек кузова. Выбор стали для конкретного конструктивного элемента корпуса – тема отдельного обсуждения, предполагающая всестороннее рассмотрение способности стали поглощать ударную энергию при высоких динамических нагрузках, учет возможности нанесения на нее защитного покрытия, ее коррозионную стойкость и прочность при циклических нагрузках и другие факторы.

Также отдельного обсуждения требуют вопросы дополнительной обработки автомобильных сталей. Например, поверхностное упрочнение содержащих титан *IF*-сталей при отжиге в среде аммиака достигается за счет образования твердой фазы *Ti-N*. Было установлено, что стальной прокат из азотированной *IF*-стали демонстрирует значительно более высокую стойкость к образованию вмятин, чем обычный *IF*-прокат с таким же пределом текучести.

Наноструктурированная сталь *NANO Hiten* (разработка *JFE Steel*) с высоким пределом текучести (780 МПа), обладая однофазной ферритной структурой, содержит в своей структуре термически стабильную упрочняющую дисперсную фазу с размером частиц из трехкомпонентных карбидов размером несколько нанометров. Подобная микроструктура обеспечивает высокую величину относительного удлинения (до 25%). Это первый в мире образец промышленной стали с дисперсной фазой величиной несколько нанометров. Данная сталь не содержит кремния, поэтому хорошо поддается горячему цинкованию и уже используется для изготовления шасси и рамы автомобилей.

Рассмотрим преимущества конструкции *ULSAB* на конкретном примере. Один из нескольких экспериментальных автомобилей, на которых оценивались преимущества концепции *ULSAB* (рис. 5.4) обладает массой 203 кг, что на 36%

меньше, чем масса среднеразмерных седанов, которые находились в концептуальной стадии разработки (сравнения проводились для девяти концептов).



Рис. 5.4. Экспериментальный автомобиль с кузовом изготовленным по технологии *ULSAB*

При этом испытания на кручение и изгиб показали улучшение этих свойств у конструкции *ULSAB* по сравнению с аналогами на 80 и 52% соответственно. Стальной кузов стал легче на 154 кг.

Консорциум *ULSAB*, насчитывающий 35 производителей листового стального проката из 18 стран, изготовил 13 идентичных кузовных конструкций, для того чтобы продемонстрировать сталь как лёгкий материал, создающий крутильную и изгибную прочность большую, чем у девяти исследованных среднеразмерных седанов.

Стальная конструкция кузова, рекомендуемая для автомобилей завтрашнего дня, более прочная, лёгкая и дешёвая. Экономический анализ показал, что себестоимость сверхлёгкого стального автомобильного кузова составляет 947 \$, включая затраты на материалы, рабочую силу, инструмент, обслуживание и прибыль в сравнении с ценой обычной конструкции, которая составляет 979 \$.

Проектируя сверхлёгкий стальной кузов (без капота, багажника и дверей), консорциум *ULSAB* проводил стендовые испытания на статическое кручение, статический изгиб своей конструкции, оппонентами которой выступали *Acura Legend*, *BMW 5-series*, *Chevrolet Lumina*, *Ford Taurus*, *Honda Accord*, *Lexus LS-400*, *Mazda 929*, *Mercedes-Benz 190E* и *Toyota Kressida*. Для того, чтобы получить усреднённый пакет технических характеристик, необходимых для испытаний, было исследовано 32 различных автомобиля. Результатами исследований

стали следующие параметры автомобилей: четырехдверный кузов, вместимость пять пассажиров, передний привод, двигатель типа V6, колёсная база 2700 мм, габаритная длина 4000 мм, габаритная ширина 1000 мм, полная масса 1450 кг, объём багажника 420 л и т.д.

Исследования показали, что последствия столкновения для кузова *ULSAB* оказались в среднем на 25% меньше, чем у других среднеразмерных седанов. Фронтальные и другие краш-тесты проводились при скоростях, превышающих официальные требования к безопасности, предъявляемые в США и Европе.

Число кронштейнов и другие крепления насчитывает 96 единиц, тогда как общее количество деталей, присутствующих в конструкции *ULSAB* составляет 158.

Таким образом, было достигнуто снижение количества деталей по сравнению с обычным кузовом – 158 против 288. Уменьшение числа деталей приведёт к уменьшению количества используемого сборочного инструмента и снижению стоимости сборки. Конструкция *ULSAB* также насчитывает 2286 сварочных точек, что на 1/3 меньше чем у сегодняшних стальных кузовов.

Более чем в 90% структуры кузова *ULSAB* используются высокопрочные (218-558 МПа) и сверхвысокопрочные стали (более 558 МПа). Толщина материала варьируется от 0,6 до 2 мм.

Примерно половину массы кузова *ULSAB* составляют сварные элементы, например, боковина кузова – одна из нескольких частей, где используются полностью сваренные лазерной сваркой детали, которые имеют различную толщину (0,6–1,7 мм) и изготовлены из различных марок стали (218-358 МПа). Цельная конструкция кузова включает в себя боковое кольцо (имеется в виду две боковины кузова, соединённые поперечными элементами) и задней части. Снижение веса конструкции в данном случае происходит за счёт исключения крепёжных изделий, обычно используемых при сборке боковин. Несколько составляющих кузова *ULSAB* изготовлены путём лазерной сварки элементов различной толщины.

Другая передовая технология, используемая в проекте *ULSAB*, – стальной «бутерброд» или композитный материал. В этой структуре термопластичное (полипропилен) ядро служит прокладкой между двумя тонкими стальными листами.

По сравнению с гомогенной стальной структурой, «бутерброд» на 50% легче и при этом не уступает ей по прочности, в проекте *ULSAB* такой материал был использован для изготовления ниши запасного колеса в багажнике и приборной панели.

Гидроформованная боковая направляющая крыши – это стальная труба с толщиной стенки 1.00 мм, внешним диаметром 96 мм, с пределом текучести 200 МПа. Гидроформовка также является одним из наиболее перспективных технологических процессов, используемых в проекте *ULSAB*. Направляющая,

полученная методом гидроформования, обеспечивает конструктивное совершенство, а также делает возможной передачу энергии, выделяющейся при столкновении (аварии), от вершины передней стойки вдоль крыши к средней и задней стойкам и далее в заднюю часть автомобиля.

Процесс гидроформовки труб включает в себя четыре стадии:

- изготовление трубы;
- изгибание трубы;
- предварительную формовку;
- гидравлическую формовку заготовки в окончательную форму.

Использование лазерной сварки при сборке кузова обеспечивает хорошую статическую и динамическую прочность. Лазерная сварка имеет очень маленькую зону термического влияния, и вследствие этого геометрические деформации деталей и изменение свойств материала, возникающие при сваривании, крайне незначительны.

5.3. Листовые стали повышенной коррозионной стойкости

Одной из наиболее важных проблем на сегодняшний день является повышение коррозионной стойкости автомобиля. О том, как эта проблема решается путем использования автомобильных листовых сталей с покрытиями (*Zn*, *Al-Si*), написано достаточно много. Имеет смысл остановиться на путях повышения коррозионной стойкости самих автолистовых сталей путем оптимизации их химического состава и технологии производства.

До недавнего времени считалось, что, во-первых, коррозионная стойкость автомобильных листовых низкоуглеродистых и низколегированных сталей различается незначительно. И, во-вторых, невозможно существенно повлиять на нее, изменяя химический состав стали, чистоту по неметаллическим включениям, технологические параметры производства. Поэтому единственным направлением борьбы с коррозией было принято считать нанесение защитных покрытий – использование оцинкованных сталей, повышение качества лакокрасочного покрытия и т.д.

В то же время, принимая во внимание мнение представителей автомобильных заводов, а также анализируя опыт эксплуатации различных отечественных и зарубежных автомобилей, можно сделать вывод о различной коррозионной стойкости самих автолистовых сталей в зависимости от марки, завода-производителя и технологических параметров производства.

Поэтому основная цель дальнейшей работы – установление факторов, определяющих коррозионную стойкость автомобильных листовых сталей, разработка рекомендаций по повышению коррозионной стойкости. В перспективе – внесение в нормативно-техническую документацию на автолистовые стали

требований к коррозионной стойкости, учитывающих не только качество нанесения покрытия, но и коррозионную стойкость самой стали, в частности, гарантии отсутствия косметической и перфорирующей коррозии в течение определенных периодов эксплуатации.

При постановке задачи важным моментом является выбор методов испытаний. Применение большинства существующих методов (по *DIN 51021* в термовлагокамере, камере соляного тумана и др.) позволяет хорошо оценить качество нанесения покрытий или консервационно-технологической смазки, однако не позволяет дифференцировать сами стали по их коррозионной стойкости, прогнозировать срок их эксплуатации без коррозионных повреждений.

Поэтому одной из основных задач первого этапа исследований является проведение испытаний образцов с заведомо различающейся коррозионной стойкостью по известным методикам, а также по новым методикам, разработанным в ЦНИИчермет им. И.П. Бардина в процессе предварительных исследований. По результатам такой работы должно быть принято решение о выборе методов испытаний для проведения дальнейших работ и для внесения в НТД.

Для проведения предварительных коррозионных испытаний сталей разных марок и разных заводов-поставщиков был выбран метод переменного погружения образцов в водный раствор 3,5% NaCl, в соответствии со стандартом *ASTM G 44-75*. Коррозионную стойкость оценивали по приросту массы образца (привесу) на единицу площади его поверхности. По результатам испытаний получена зависимость скорости коррозии от суммарного содержания углерода и кремния, а в некоторой степени и алюминия.

Учитывая положительное влияние на коррозионную стойкость пониженного содержания углерода и кремния, освоение производства сталей типа *IF* и других сталей с низким содержанием углерода следует проводить, оценивая влияние содержания всех легирующих элементов на коррозию, и оптимизировать состав стали с точки зрения обеспечения наиболее высокой коррозионной стойкости. Возможно, что именно на базе таких сталей можно обеспечить не только высокую штампуемость, но и коррозионную стойкость производимого автомобильного листа. Как показано на рис. 5.5, средние значения скорости потери массы в результате атмосферной коррозии для сверхнизкоуглеродистых сталей примерно в два-три раза ниже, чем для обычных низкоуглеродистых сталей.

Помимо влияния на коррозионную стойкость суммарного содержания углерода и кремния, установлено также положительное влияние легирования стали медью и некоторыми другими элементами. В связи с этим специалисты ОАО «Северсталь» и ОАО «ГАЗ» проводят исследования в направлении создания холоднокатаного автолистового проката из сталей, легированных медью. Аналогичные исследования по созданию сталей, в частности *IF*, легированных медью, проводятся в Японии.

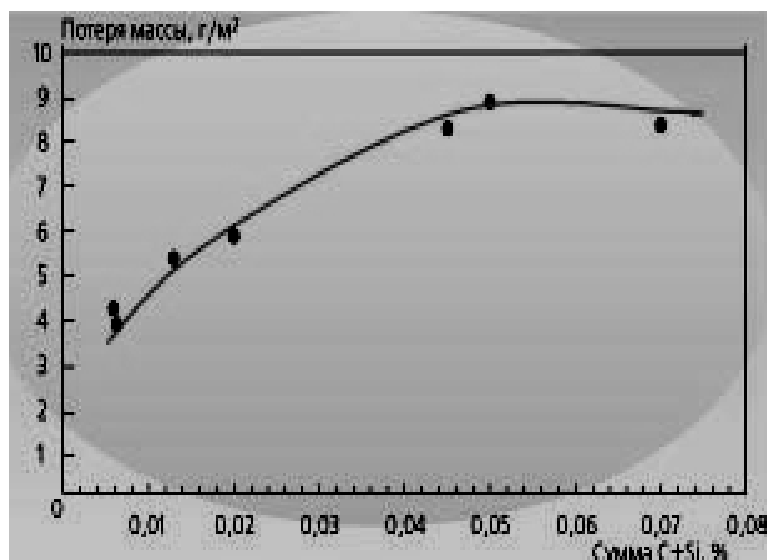


Рис. 5.5. Зависимость потери массы от суммы содержания $C+Si$

Помимо оптимизации химического состава, следует решить вопрос обеспечения чистоты автомобильной листовой стали по неметаллическим включениям, также влияющим на ее коррозионную стойкость. В процессе исследований, проведенных в ЦНИИчермет, установлено, что коррозионная стойкость углеродистых и низколегированных сталей существенно снижается в присутствии особого типа неметаллических включений, которые условно назвали КАНВ (коррозионно-активные неметаллические включения). Эти включения, как правило, содержат кальций и вносятся в сталь в процессе внепечной обработки с участием высокоосновного шлака при определенных технологических параметрах.

КАНВ не выявляются традиционными методами, предусмотренными нормативно-технической документацией на стали, – балльной оценкой неметаллических включений на нетравленном шлифе в оптическом микроскопе. Дело в том, что большая часть таких включений имеет светлую окраску и очень маленький размер: не более 1–2 мкм. Поэтому первая задача, которую решали в основном специалисты НИФХИ им. Л.Я. Карпова и Северстали, с привлечением ЦНИИчермет, – это разработка экспресс-методов выявления КАНВ. В результате были разработаны и запатентованы методы оценки качества стали, заключающиеся в обработке поверхности металлографического шлифа специальными реактивами, в результате которой КАНВ приобретают характерный вид, представленный на рис. 5.6.

Наличие таких включений и (или) их количественная оценка и являются характеристикой коррозионной стойкости стали.

Следует особо подчеркнуть, что речь идет об особых включениях: их количество, как правило, никак не связано с содержанием других включений, которые обычно оцениваются при производстве стального проката. Сталь мо-

жет быть очень чистой по обычным включениям, но корродировать (или ржаветь) с очень большой скоростью из-за наличия КАНВ. И наоборот, в стали могут присутствовать обычные включения вплоть до 4 баллов (оксиды, силикаты), но при этом отсутствовать КАНВ, и тогда оборудование будет работать долго. Именно КАНВ определяют стойкость стали против локальной коррозии в водных хлорсодержащих средах, в условиях атмосферного воздействия и в ряде других сред.

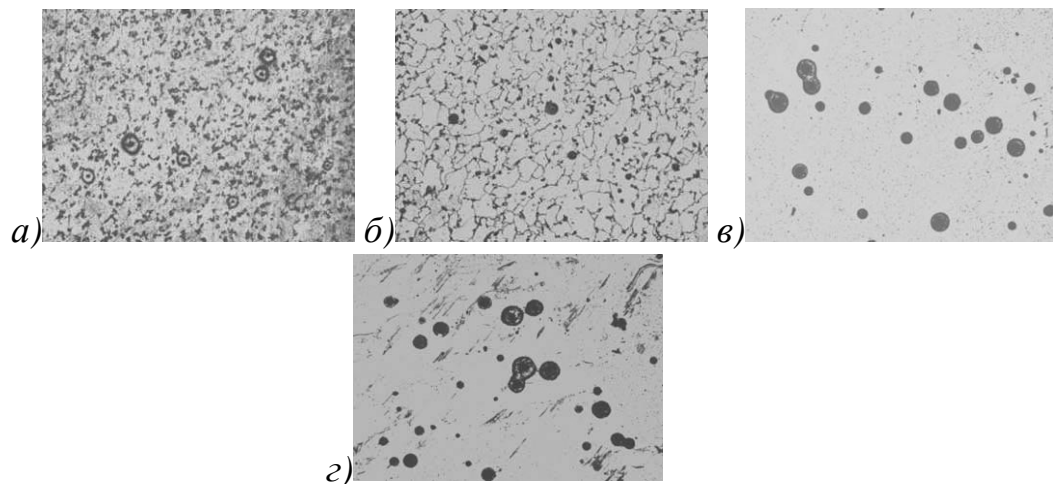


Рис. 5.6. Коррозионно-активные неметаллические включения (КАНВ) в образцах труб:
 типа 1: *a* – x200; *б* – x100; типа 2: *в*, *г* – x100

В ЦНИИчермет были исследованы пятна коррозии, выявленные в ОАО «АвтоВАЗ» на автолистовых сталях 08Ю, 08ГСЮФ. Установлено, что участки, где произошло образование указанных пятен, содержат коррозионно-активные неметаллические включения, которые и приводят к интенсивному протеканию коррозионных процессов даже после непродолжительного контакта с влажной атмосферой или другой агрессивной средой (рис. 5.7).

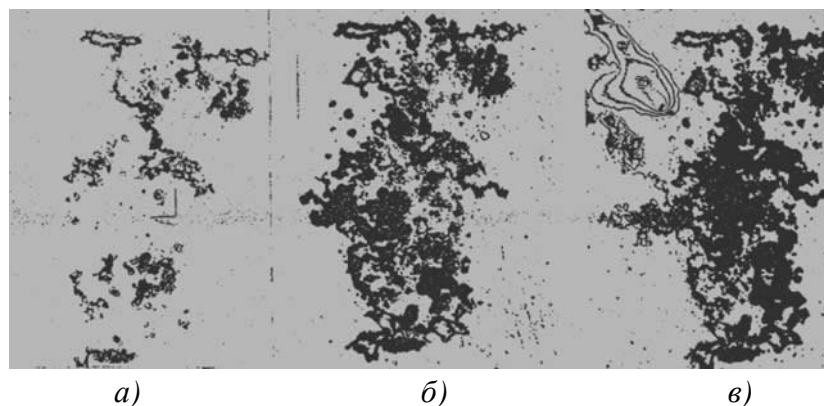


Рис. 5.7. Развитие коррозионного поражения на поверхности автолистовой холоднокатаной стали:
a – выдержка менее 20 часов; *б* – выдержка 1 неделя; *в* – выдержка две недели, x400

Проблема предотвращения коррозии должна решаться на этапе разработки технологии выплавки и внепечной обработки автолистовых сталей.

Таким образом, повышение коррозионной стойкости сталей для автомобилестроения можно обеспечить путем оптимизации химического состава сталей, обеспечения чистоты по КАНВ и корректировки других технологических параметров производства. Эту работу следует проводить совместно со специалистами автомобильных заводов, которые могут предоставить конкретную информацию о коррозионном поведении используемых ими сталей.

Широкий спектр свойств, которыми отличаются автолистовые сверхнизкоуглеродистые стали, свидетельствует о возможности полного обеспечения потребностей отечественного автомобилестроения в высококачественной металлопродукции.

Однако часто большинство деталей и элементов конструкции автомобилей в процессе эксплуатации испытывают циклические нагрузки в присутствии коррозионной среды. При этом несмотря на то, что изучению механизмов коррозионной усталости посвящены работы многих отечественных и зарубежных авторов, в настоящее время еще нет единой точки зрения на процесс коррозионно-усталостного разрушения.

Механизмы коррозионной усталости

Характерными признаками коррозионной усталости являются: отсутствие истинного (физического) предела выносливости; отсутствие четкой корреляции между механическими характеристиками при статическом и циклическом нагружении на воздухе и условным пределом коррозионной выносливости; многоочаговый характер разрушения; более резкое проявление частотного фактора; инверсия масштабного фактора при усталости в коррозионной среде по сравнению с испытанием на воздухе (при этом чем выше агрессивность среды, тем слабее влияние концентраторов напряжений на снижение ограниченного предела выносливости); основную часть от общего времени до разрушения составляет длительность зарождения трещины; значительное уменьшение чувствительности металлов к концентрации напряжений от острых надрезов, углублений, неметаллических включений, трещин и т.д.

Различают три основные стадии коррозионно-усталостного разрушения:

- 1) инкубационный период (характеризуется наличием избирательной коррозии, образованием зародышевых дефектов, завершающаяся возникновением макротрещин);
- 2) субкритический рост коррозионно-усталостных трещин;
- 3) кратковременная стадия, характеризующая практически мгновенным доломом металла в связи с напряжениями, превышающими его предел прочности.

Совершенно очевидно, что полную картину коррозионно-усталостного разрушения металлических материалов, а также влияния на него различных факторов можно представить, лишь изучив этот сложный, распределенный во времени процесс.

Многие авторы указывают на доминирующую роль этапа образования коррозионно-усталостной трещины в циклической долговечности до полного разрушения материалов. Однако несмотря на очевидную важность стадии зарождения трещины, ее контролирующую роль в коррозионной усталости металлов и сплавов, она до сих пор изучена слабее, чем период ее субкритического роста (порой лишь $\approx 10\%$ от полной долговечности), и не поддается количественному описанию.

В то же время успехи теории механики разрушения, позволяющие получить количественные решения на основе концепции о квазихрупком разрушении твердых тел в результате спонтанного или субкритического развития в них дефектов, вызывающих образование трещин, позволили достаточно глубоко изучить вторую (более короткую, чем первая) стадию процесса – закономерности и количественные оценки роста трещин в условиях коррозионной усталости.

К достоинствам методов механики разрушения можно отнести универсальность и простоту исходных концепций, в соответствии с которыми самые разнообразные виды нагружения твердых тел с трещинами и вызванные ими напряженные состояния могут быть описаны коэффициентами интенсивности напряжений (КИН), а различные предельные состояния – критическими и пороговыми значениями этих коэффициентов. Однако без учета современных представлений электрохимии, физики и металловедения в области разрушения металлов рассматривать более глубоко природу возникновения и развития коррозионно-усталостных повреждений нельзя.

Хотя в настоящее время нет единой теории механизма коррозионно-усталостного разрушения металлов и их сплавов, тем не менее, благодаря работам отечественных и зарубежных ученых, например, Г.В. Акимова, Л.А. Гликмана, Н.Д. Томашева и других, выявлены некоторые закономерности усталостного разрушения материалов в коррозионной среде.

Существуют гипотезы, позволяющие объяснить снижение сопротивления развитию трещин при воздействии агрессивных сред и циклического нагружения. При этом определяющими факторами коррозионной усталости являются, по мнению ряда авторов: адсорбционное воздействие поверхностно-активных сред; локальное электрохимическое растворение активированных механическими напряжениями анодных участков металла (анодное растворение); водородное охрупчивание.

При этом они могут быть контролирующими как отдельно, так и в совокупности в зависимости от химического состава материала, режима обработки (термической, пластической, механической и т.д.), вида нагружения и свойств агрессивной среды. Вклад каждого из этих факторов в облегчение разрушения (зарождении и развитии трещин) изменяется в очень широких пределах и к настоящему времени окончательно не выявлен.

В настоящее время получено огромное количество экспериментальных результатов и предложен ряд гипотез, касающихся влияния коррозионной среды на изменение характеристик сопротивления усталости металлов и сплавов в исходном состоянии. Однако сведения по влиянию остаточной пластической деформации, полученной в процессе технологической обработки металлических материалов, на сопротивление коррозионной усталости ограничены и противоречивы. Эффект предварительной пластической деформации на кинетику коррозионно-усталостного разрушения металлов и сплавов в литературе практически не рассматривается, а на основании существующих гипотез предсказать коррозионно-усталостное поведение деформированных материалов затруднительно.

5.4. Механические свойства некоторых машиностроительных сталей при статических и циклических нагрузках

В настоящее время наблюдается некоторое «размывание» понятия сталей по области их применения. Есть определенные традиции и приоритеты выбора конструкционных материалов в той или иной области машиностроения, но происходит взаимопроникновение, например, казалось бы, традиционно авиационных материалов в автостроение. Стандартные механические характеристики конструкционных материалов приводятся в соответствующей справочной литературе.

Однако известно, что в условиях эксплуатации большинство деталей автомобилей испытывают значительные вибрационные нагрузки. Поэтому для обоснованного выбора материала необходимо располагать не только данными его химического состава, статической прочности, но и параметрами сопротивления усталостному разрушению в различных условиях эксплуатации.

В автомобильной промышленности конструкционные материалы подвергаются различным режимам технологической обработки. Наиболее распространенными и высокопроизводительными из них, являются операции пластического деформирования (прокатка, гибка, штамповка, прессование и т.п.). Однако сведения по сопротивлению деформированных с разной скоростью и степенью деформации алюминиевых сплавов усталостному разрушению на воздухе при разных температурах весьма ограничены, а в коррозионной среде практически отсутствуют. Поэтому исследования в данном направлении весьма актуальны.

Авторами были изучены широко применяемые в автомобильной, машиностроительной и авиационной промышленности и обработаны по запросам производства стали разных классов в различном структурном состоянии: углеродистые (конструкционные) – 08кп, 08пс, 08Ю, 20, 20кп, 07ГСЮФТ,

08ГСЮТ; легированные (конструкционные) – 40Х, 20ХН2М, 35ХГСА; коррозионно-стойкие – 20Х13, 14Х17Н2, ВНС-2М, ЭИ878-М1 и 12Х18Н10Т и др.

Цилиндрические образцы и сварные соединения предварительно деформировались растяжением при комнатной температуре на машинах «Инстрон-1115» и ZD 10/90, а плоские образцы – осадкой на гидравлическом прессе и молотах ДО-436 и МЛ-3 через подкладной инструмент до различных степеней, в основном, в пределах равномерной деформации при скоростях от $2 \cdot 10^{-3}$ до 10^2 с⁻¹. Поверхностная фрикционно-упрочняющая обработка (ФРУО) цилиндрических образцов из стали 40Х осуществлялась на токарно-винторезном станке за один проход в средах: масло И-12А, вода, рыбий жир. Дробеструйная обработка (чугунная дробь $\varnothing 0,8 \div 1,5$ мм, стальная круглая $\varnothing 1 \div 3$ мм) листовых сталей 20, 08кп и 08ГСЮТ и их сварных соединений проводилась на установке УДША-1 с давлением воздуха $0,5 \div 0,6$ МПа в течение 10, 30, 60, 120 и 180 с. Оптимальное время обдувки определялось по величине и распределению осевых остаточных напряжений сжатия на установке РОН. Поверхностное пластическое деформирование сварных соединений из стали 12Х18Н10Т (более 25 режимов) осуществлялось в соответствии с заводской технологией изготовления.

Эксперименты на статическое растяжение стандартных образцов проводились на машинах ZD 10/90 и УМЭ-10ТМ со скоростью деформации $2 \cdot 10^{-3}$ с⁻¹. На усталость плоские цельные и Т-образные сварные образцы испытывались на специально спроектированной двухпозиционной установке по схеме консольного изгиба частотой 25 Гц и на машине ИП-2М по схеме чистого изгиба частота 0,83 Гц.

Цилиндрические образцы нагружались при частоте 50 Гц по схемам консольного кругового изгиба на машине МИП-8, переоборудованной для нагружения грузами и оснащенной фазосинхронизатором и оптическим микроскопом (х37) со стробоскопическим освещением для наблюдения за развитием процесса усталостного разрушения и чистого изгиба с вращением на машине ИМА-30. Для испытания в коррозионной среде (учитывая сложность вопроса ограничили широко распространенным 3%-ным водным раствором NaCl) цилиндрических образцов была спроектирована камера (А. С. № 920456, 1981 г.), а также применялось приспособление на машине ИМА-30, обеспечивающее надежное капельное смачивание образца. Были также специально спроектированы и изготовлены приспособления для усталостных и коррозионно-усталостных испытаний цельных и сваренных встык и Т-образных образцов на двухпозиционной установке.

Механические свойства сталей при статическом нагружении. По результатам статического растяжения установлено, что пределы прочности и текучести возрастают, а величины показателей пластичности уменьшаются с увеличением степени предварительной деформации (табл. 5.5), что связывается с изменением его структурного состояния в процессе пластической деформации.

Таблица 5.5

Механические свойства при статическом растяжении конструкционных материалов после различных режимов технологической обработки

Материал	Режим обработки	σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	ψ / δ , %	A
Сталь 20X13	Закалка с 1030°C, масло; отпуск 600 – 640°C	742	660	—	0,13
Сталь 20X13	Растяжение 5%	806	778	—	0,06
Сталь 20X13	Растяжение 13%	778	742	—	0,01

Примечание: продолжение табл. 5.5 приведено в приложении П 2.1.

При этом кривые деформационного упрочнения при статическом растяжении с ростом степени предварительной деформации располагаются выше, а величина структурно-чувствительного показателя степени A в уравнении кривой деформационного упрочнения ($\sigma = \sigma_0 * \epsilon^A$) меньше для всех исследованных материалов.

Таблица 5.6

Механические свойства при статическом растяжении образцов из нержавеющей стали 12X18H10T после различных видов технологической обработки

№ п/п	Режим обработки	σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	A_1	A_2
1	Исходное состояние (нормализация, без сварки)	759	384	58,8	0,143	0,361
2	Сварка, термообработка (нагрев 975°C, выдержка 2 мин, охлаждение 50° в мин), упрочнение пучком проволоки)	718	447	43,7	0,208	0,375
3	Сварка, термообработка, термоправка	703	367	40,4	0,259	0,461
4	Сварка, термоправка (975°C)	680	272	33,4	0,381	0,516
5	Сварка, термоупрочнение пучком проволоки (975°C)	730	355	35,1	0,146	0,408

Примечание: продолжение табл. 5.6 приведено в приложении П 2.2.

Поверхностное пластическое деформирование (ППД) по различным режимам приводит к повышению, по сравнению с исходным состоянием, пределов прочности и текучести и снижению величины показателя деформационного упрочнения при статическом нагружении сваренных встык тонколистовых (сечение 2 мм) образцов из стали 12X18H10T. Наиболее высокие значения σ_B (751 МПа) и $\sigma_{0,2}$ (478 МПа) имеет сварное соединение этой стали после пневмодробеструйной обработки шва с двух сторон ($P=0$, 2 МПа, 1 мин, дробь 0, 6...1, 2 мм). В то же время наибольшее значение показателей A_1 и A_2 выявлено у сварных соединений из стали 12X18H10T после режимов обработки: «сварка» – 0,381 и 0,516 и «сварка + термоправка» – 0,458 и 0,458 соответственно (табл. 5.6).

В табл. 5.7 представлены значения механических свойств сварных листовых образцов некоторых автомобильных сталей при температурах эксплуатации, приближенных к южным, средним и северным широтам.

Таблица 5.7

Механические свойства сварных листовых образцов при скорости деформирования 5 мм / мин

Марка стали	Температура, °С	$\sigma_{0,2}$, Н/мм ²	σ_B , Н/мм ²	δ , %	Ψ , %	δ_p , %
08кп	20	170	380	19	79	16
	70	205	355	24	77	18
	-50	315	420	25	76	22
08ГСЮТ	20	215	485	16	75	14
	70	285	450	19	70	16
	-50	435	525	22	78	18
07ГСЮФТ	20	220	345	13	74	10
	70	235	345	20	79	15
	-50	310	440	21	77	15

Из табл. 5.7 следует, что более высокие прочностные характеристики имеют сварные образцы из стали 08ГСЮТ. У образцов из сталей 08кп и 07ГСЮФТ – они примерно одинаковые.

По пластичности сварные образцы подразделяются в следующем порядке: наиболее высокая пластичность у сварных соединений из стали 08кп. По величинам общего относительного удлинения δ и относительного равномерного удлинения образцы из сталей 08ГСЮТ и 07ГСЮФТ почти не различаются. По величине относительного сужения Ψ сварные стали различаются слабо, и оно у них, надо отметить, очень высокое. При этом деформационное поведение сварных образцов из сталей 08кп и 08ГСЮТ характеризуется примерно одинаковым (0,23 и 0,22 соответственно) показателем степени деформационного упрочнения A при статическом растяжении, а у стали 07ГСЮФТ он значительно ниже (~ 0,17).

Известно, что повышенные температуры и наличие коррозионной среды обычно значительно снижают сопротивление усталости конструкционных материалов, причем это снижение усиливается с ростом продолжительности испытания. Процесс усталостного разрушения металлических материалов зависит от их природы и структурного состояния, вида (объемная или поверхностная) и режима (степени и скорости) объемной и поверхностной пластической обработки.

Влияние степени предварительного деформирования на характеристики усталости металлов и сплавов определяется ее величиной. По данным проф. Г.П. Гусяковой, долговечность до разрушения деформированных металлических материалов обуславливается, при прочих равных условиях, фактически двумя основными факторами: величиной пластической деформации и способностью материалов к деформационному упрочнению при статическом нагружении. С ростом

величины показателя степени в уравнении кривой деформационного упрочнения при статическом растяжении возрастает сопротивление усталости и циклическая долговечность деформированных металлических материалов.

Кинетика усталостного разрушения пластически деформированных материалов при криогенных, повышенных температурах и в присутствии коррозионной среды в литературе практически не освещена, что, возможно, связано с методическими трудностями, использования прямых методов исследования процесса усталости, в конкретных условиях нагружения.

ППД является одним из наиболее распространенных и эффективных методов повышения ресурса деталей механизмов и машин. Особенно значительное повышение коррозионно-усталостных свойств сталей наблюдается после фрикционно-упрочняющих видов поверхностной обработки с образованием так называемых «белых слоев». Однако известные данные не позволяют без предварительного эксперимента предсказать целесообразность введения ППД для различных материалов в зависимости от их структурного состояния.

Далее представлены результаты усталостных испытаний в разных средах ряда конструкционных материалов после различных видов и режимов их технологической обработки (табл. 5.8–5.10).

Анализ результатов экспериментов показывает, что влияние видов и режимов технологической обработки на сопротивление усталостному разрушению сталей зависит от их природы, исходного состояния и условий циклического нагружения.

Циклическая долговечность и предел выносливости металлических материалов при эксплуатации в коррозионных средах, как правило, ниже, чем на воздухе. Влияние коррозии усиливается с ростом продолжительности испытания, а поэтому кривые Веллера для коррозионной усталости непрерывно снижаются.

Эти материалы имеют важное практическое значение, так как дают более достоверные значения долговечности и надежности эксплуатации деталей машин работающих под действием циклической нагрузки в условиях коррозионной среды, Именно в таких условиях и работают детали автомобиля, особенно несущей части, ходовой части которые во многом определяют не только срок службы но и его безопасность. Поэтому разработка долговечных и надежных материалов для автостроения всегда будут актуальны и востребованы, особенно в нашей стране.

Таблица 5.8

Уравнения кривых усталости сталей после различных режимов технологической обработки (консольный изгиб плоских и консольный изгиб с вращением круглых образцов, соответственно с частотой 25 и 50 Гц)

Материал	Режим обработки	$\lg \sigma_a = -\text{tg } \alpha_\omega \lg N + \lg \sigma_{a0}$ или $Y = -A X + B$
1	2	3
Сталь 20X13	Закалка, отпуск	$Y = -0,093 X + 3,085$
Сталь 20X13	Растяжение 5% со скоростью $1,1 \times 10^{-3} \text{ с}^{-1}$	$Y = -0,260 X + 3,732$

1	2	3
Сталь 20X13	Растяжение 13% со скоростью $1,1 \times 10^{-3} \text{ с}^{-1}$	$Y = -0,223 X + 3,603$
Сталь 20X13	Растяжение 25% со скоростью $1,1 \times 10^{-3} \text{ с}^{-1}$	$Y = -0,209 X + 3,549$
Сталь 20X13	Растяжение 25% со скоростью $5,6 \times 10^{-3} \text{ с}^{-1}$	$Y = -0,187 X + 3,531$
Сталь 20X13	Растяжение 25% со скоростью $2,8 \times 10^{-2} \text{ с}^{-1}$	$Y = -0,192 X + 3,552$
Сталь 14X17H2	Закалка, отпуск	$Y = -0,166 X + 3,425$
Сталь 14X17H2	Растяжение 5% со скоростью $1,1 \times 10^{-3} \text{ с}^{-1}$	$Y = -0,255 X + 3,705$
Сталь 14X17H2	Растяжение 13% со скоростью $1,1 \times 10^{-3} \text{ с}^{-1}$	$Y = -0,218 X + 3,564$

Примечание: продолжение табл. 5.8 приведено в приложении П 2.3.

Таблица 5.9

Уравнения кривых усталости сталей при испытании на воздухе и в коррозионной среде (3%-ный водный раствор соли)

Материал	Предварительная деформация			Среда испытания	$\lg \sigma_a = -tg \alpha_{\omega} \lg N + \lg \sigma_{a0}$ или $Y = -A X + B$
	схема	степень, %	скорость, с^{-1}		
1	2	3	4	5	6
Сталь 20X13	—	Исх. сост. (ИС) (закалка, отпуск)	—	Воздух	$Y = -0,0925 X + 3,0852$
Сталь 20X13	—	ИС (закалка, отпуск)	—	Раствор	$Y = -0,1513 X + 3,3122$
1	2	3	4	5	6
Сталь 20X13	Растяжение	25	$5,6 \times 10^{-3}$	Воздух	$Y = -0,1868 X + 3,5305$
Сталь 20X13	Растяжение	25	$5,6 \times 10^{-3}$	Раствор	$Y = -0,2189 X + 3,6090$
Сталь 14X17H2	—	ИС (закалка, отпуск)	—	Воздух	$Y = -0,1656 X + 3,4250$
Сталь 14X17H2	—	ИС (закалка, отпуск)	—	Раствор	$Y = -0,1797 X + 3,4890$
Сталь 14X17H2	Растяжение	25	$5,6 \times 10^{-3}$	Воздух	$Y = -0,1624 X + 3,4359$
Сталь 14X17H2	Растяжение	25	$5,6 \times 10^{-3}$	Раствор	$Y = -0,2077 X + 3,6025$
Сталь 08кп	—	ИС (х/к)	—	Воздух	$Y = -0,0884 X + 3,0247$
Сталь 08кп	—	ИС (х/к)	—	Раствор	$Y = -0,1011 X + 3,0659$
Сталь 08кп	Осадка	5	10^{-1}	Воздух	$Y = -0,9990 X + 3,0661$
Сталь 08кп	Осадка	5	10^{-1}	Раствор	$Y = -0,0880 X + 3,0101$
Сталь 08кп	Осадка	17	10^{-1}	Воздух	$Y = -0,0859 X + 3,0051$
Сталь 08кп	Осадка	17	10^{-1}	Раствор	$Y = -0,1062 X + 3,0550$

Примечание: продолжение табл. 5.8 приведено в приложении П 2.4.

Таблица 5.10

**Результаты статистического анализа вероятностных кривых распределения циклической долговечности сталей
после различных режимов технологической обработки**

Материал	Режим обработки			Условия испытаний	σ_a , МПа	lg N	S	v, %
		Среда	T, °C	Схема нагружения				
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1. Сталь 20X13	Закалка, отпуск	Воздух	500	Консольный изгиб вращением, 50 Гц	400	4,036	0,230	5,6
2. — —	Растяжение 25% со скоростью $2,8 \times 10^{-2} \text{ с}^{-1}$	— —	500	— —	400	4,371	0,118	2,7
3. — —	Растяжение 5% со скоростью $1,1 \times 10^{-3} \text{ с}^{-1}$	— —	20	— —	399	4,255	0,173	4,1
4. Сталь 14X17H2	Закалка, отпуск	— —	20	— —	595	4,456	0,039	0,9
5. Сталь 35ХГСА	Закалка, высокий отпуск	— —	20	Чистый изгиб вращением, 50 Гц	490	5,075	0,088	1,7
6. — —	Термообработка, правка	— —	20	— —	490	4,844	0,072	1,5
7. — —	Термообработка, обдувка дробью, правка	— —	20	— —	490	4,750	0,251	5,3
8. — —	Термообработка, правка, обдувка дробью	— —	20	— —	490	5,250	0,202	3,9
9. Сталь 40	Закалка, низкий отпуск	— —	20	— —	451	5,290	0,010	0,2

Окончание табл. 5.8

1	2	3	4	5	6	7	8	9	
10.	— —	Термообработка, правка	— —	20	— —	451	5,250	0,08 0	1,5
11.	— —	Закалка, высокий отпуск	— —	20	— —	451	5,217	0,03 5	0,6
12.	— —	Термообработка, правка	— —	20	— —	451	5,070	0,11 1	2,2
13.	— —	Нитроцементация с низким отпуском	— —	20	— —	805	5,134	0,36 6	7,1
14.	— —	Термообработка, правка, обдувка дробью	— —	20	— —	805	5,767	0,33 5	5,8
15.	Сталь 40X	Нитроцементация с низким отпуском	— —	20	— —	873	6,094	0,75 6	12,4
16.	— —	Термообработка, правка	— —	20	— —	873	5,620	1,06 9	19,1
17.	— —	Термообработка, обдувка дробью, правка	— —	20	— —	873	5,870	1,10 1	18,7

Примечание: продолжение табл. 5.10 приведено в приложении П 2.5.

5.5. Термообработанные материалы и влияние режима обработки на их свойства

Режим термической обработки материалов определяет их сопротивление разрушению в условиях одновременного воздействия коррозии и циклических нагрузок. При термообработке границы зерен в сталях обычно обогащаются примесями, и в связи с этим усиливается действие границ как анодов в электрохимических парах. Этим обеспечиваются интеркристаллическое разрушение и существенное (на порядок) увеличение долговечности крупнозернистых материалов по сравнению с мелкозернистыми.

Стали с мартенситной структурой хуже сопротивляются коррозионной усталости, чем стали, имеющие перлит-ферритную, сорбитную или трооститную структуру. Все режимы технологической обработки, приводящие к появлению в сталях мартенсита, вызывают снижение их сопротивления коррозионно-усталостному разрушению. Разница в абсолютных величинах условного предела коррозионной выносливости стали с различным структурным состоянием при увеличении базы испытания уменьшается. Легирование среднеуглеродистой стали хромом, никелем, марганцем, кремнием до 5% не улучшает сопротивление коррозионной усталости.

Коррозионная среда понижает сопротивление усталости холоднокатаной с последующей закалкой (910 °С, охлаждение на воздухе) и старением (450 °С) мартенсито-аустенитной стали СН-3М. Так, по нашим данным, при $\sigma_a = 418$ МПа долговечность этой стали на воздухе составляет $1,88 \cdot 10^5$ циклов, а в среде 3%-ного раствора морской соли в воде – лишь $1,44 \cdot 10^5$ циклов, т.е. в ~ 1,3 раза меньше.

5.5.1. Влияние степени предварительной деформации материала

Сопротивление усталости закаленных и высокоотпущенных сталей 40Х, 20Х13 и 14Х17Н2 в области больших амплитуд напряжений более высокое, а в области малых амплитуд, напротив, более низкое в коррозионной среде, чем на воздухе.

Для закаленных с высоким отпуском сталей 20Х13 и 14Х17Н2 мартенситного класса влияние степени предварительной деформации на ограниченный предел выносливости σ_{RN} и долговечность N также зависит от амплитуды приложенного напряжения.

При высоких амплитудах ($N < 10^4$ циклов) предварительная деформация увеличивает N и σ_{RN} стали 20Х13, но эффект величины $\epsilon_{пр.д}$ практически не обнаруживается. При амплитудах, соответствующих $N > 10^4$ циклов, σ_{RN} и N этой стали уменьшаются с ростом $\epsilon_{пр.д}$, особенно при $\epsilon_{пр.д} = 5$ и 13%, и тем в большей степени, чем ниже σ_a , как и для стали 14Х17Н2 при $N > 10^3$ циклов, у которой,

однако, $\varepsilon_{\text{пр.д}} = 25\%$ повышает долговечность по сравнению с $\varepsilon_{\text{пр.д}} = 5$ и 13% почти до уровня долговечности недеформированных образцов.

Растяжение образцов (до 25%) приводит к повышению долговечности в коррозионной среде при высоких амплитудах испытания, но оказывается ниже, чем на воздухе при низких напряжениях. Например, при амплитуде 380 МПа после $\varepsilon_{\text{пр.д}} = 25\%$ коррозионно-циклическая долговечность сталей $14\text{X}17\text{H}2$ и $20\text{X}13$ снижается соответственно в $1,51$ и $1,26$ раза по сравнению с долговечностью термообработанных образцов на воздухе.

Увеличение степени предварительной деформации стали 40X [101] при высоких амплитудах (например, 500 МПа) на воздухе приводит вначале к росту циклической долговечности (с $1\ 220$ до $10\ 600$ циклов при $\varepsilon_{\text{пр.д}} = 5\%$), затем к некоторому ее снижению (до $5\ 290$ циклов при $\varepsilon_{\text{пр.д}} = 10\%$) и последующему увеличению до $12\ 800$ циклов при деформации 29% .

При низких уровнях приложенного напряжения циклическая долговечность имеет максимум при деформации 10% . Так, при $\sigma_a = 200$ МПа долговечность увеличивается с $119\ 060$ до $937\ 000$ циклов при $\varepsilon_{\text{пр.д}} = 10\%$, а затем после деформации 22% снижается до $812\ 000$ циклов.

Деформация на 5% приводит к некоторому снижению коррозионной долговечности (с $6\ 300$ до $5\ 200$ циклов при напряжении 500 МПа и с $322\ 000$ до $133\ 000$ циклов при 200 МПа), а на 22% – к увеличению (до $10\ 200$ циклов при амплитуде 500 МПа и до $259\ 000$ циклов при 200 МПа). При этом для малых амплитуд напряжения коррозионная долговечность стали 40X в исходном состоянии все же выше, чем деформированной даже на 22% .

Циклическая долговечность сталей 08кп , 08ГСЮТ и 07ГСЮФТ при высоких амплитудах симметричного консольного изгиба с частотой 25 Гц плоских образцов в результате предварительной деформации осадкой сначала, до степени 5% , несколько возрастает, а затем при степени 29% снижается.

Предварительная деформация до 29% способствует повышению долговечности сталей 07ГСЮФТ и 08ГСЮТ при малых уровнях амплитуд напряжения.

Сталь 08кп в состоянии поставки имеет предел выносливости на воздухе 312 МПа при 10^6 циклов, который превышает этот параметр для стали 07ГСЮФТ в $1,6$ раза (198 МПа) и для стали 08ГСЮТ в $1,4$ раза (227 МПа). В коррозионной среде 08кп в состоянии поставки имеет ограниченный предел выносливости 368 МПа на базе 10^5 циклов. Он превышает сопротивление коррозионной усталости 07ГСЮФТ в $1,59$ раза ($\sigma_{RC} = 231$ МПа) и стали 08ГСЮТ в $1,69$ раза ($\sigma_{RC} = 218$ МПа).

Пластическое деформирование осадкой на 5 , 17 и 29% улучшает сопротивление усталости на воздухе сталей 07ГСЮФТ (до $1,31$ раза) и 08ГСЮТ (до $1,04$ раза). Однако механические характеристики стали 08кп , с учетом технологической обработки, оказываются более стабильными и превосходящими свойства сталей 08ГСЮТ и 07ГСЮФТ . После осадки до степени 29% предел

выносливости на воздухе деформированной стали 08кп составляет 299 МПа (долговечность 10^6 циклов), а сталей 07ГСЮФТ и 08ГСЮТ – 259 и 251 МПа соответственно.

В коррозионной среде ограниченный предел выносливости деформированной стали 08кп составляет 368 МПа (долговечность 10^5 циклов), а сталей 07ГСЮФТ и 08ГСЮТ, также после осадки (29%) – 259 МПа и 263 МПа соответственно.

Аналогичные результаты получены для этих марок сталей в ФМИ АН УССР, при испытании на малоцикловую усталость на машине ИП-СМ пульсирующим (отнулевым) изгибом с частотой 0,83 Гц при амплитуде деформации 0,25 и 0,5% в жестком режиме нагружения. Установлено, что образцы из стали 08кп имеют лучшие эксплуатационные характеристики, чем образцы из стали 08ГСЮТ, особенно в коррозионной среде и при меньших значениях амплитуды относительной деформации.

Это связано с тем, что электронно-микроскопические исследования выявили в стали 08кп структуру феррита с небольшим количеством перлита. Излом происходит по вязкому механизму, степень предварительной пластической обработки почти не сказывается на процессе усталостного разрушения.

Стали 07ГСЮФТ и 08ГСЮТ имеют карбидные включения, которые препятствуют движению дислокаций в материале. Это приводит к некоторому повышению циклической долговечности в результате предварительной осадки. Однако, карбидные включения, являясь источниками образования вторичных трещин, отрицательно сказываются на сопротивлении усталостному разрушению. В процессе усталости в этих материалах возникает продольное растрескивание, обуславливающее более низкие значения предела выносливости по сравнению со сталью 08кп независимо от режимов технологической обработки.

Коррозионно-усталостное разрушение сталей 08кп, 07ГСЮФТ и 08ГСЮТ также развивается из нескольких очагов и инициируется повреждением поверхности, появлением локальной коррозии, усиливаемыми карбидными включениями. Трещины не только многочисленны и менее ориентированны, чем при испытании на воздухе, но и имеют на поверхности продукты коррозии, окисления.

Предварительная деформация осадкой холоднокатаной стали 08Ю на 12% при $\sigma_a = 250$ МПа стали 08Ю снижает долговечность в 1,37 раза при испытании на воздухе и незначительно увеличивает (в 1,02 раза) в коррозионной среде. При пониженных уровнях амплитуд нагружения деформация 12% сказывается на долговечности холоднокатаной стали 08Ю в различных средах испытания неоднозначно: на воздухе более резко снижается (в 1,42 раза при $\sigma_a = 150$ МПа), чем в 3%-ном водном растворе морской соли.

При этом если в холоднокатаном состоянии долговечность стали 08Ю в коррозионной среде уменьшается по сравнению с испытанием на воздухе в

2,2 раза (при $\sigma_a = 150$ МПа), то после осадки на 12% – лишь в 1,95 раза (при том же напряжении).

При малых степенях $\varepsilon_{пр.д}$ (2...5%) у образцов из холоднокатаной аустенитной стали 12X18Н10Т наблюдается «провал» долговечности, который с понижением амплитуды напряжения смещается в область более высоких деформаций.

В случае очень высоких амплитуд приложенного напряжения для стали 12X18Н10Т кривые зависимости долговечности от наклепа имеют максимум при степени 5% (при $\sigma_a = 450$ МПа долговечность увеличивается в 1,2 раза). Для низких напряжений долговечность образцов из этой стали резко уменьшается при увеличении деформации от 0 до 5%, несколько возрастает при степени 13% и снова снижается при степени 25%.

5.5.2. Влияние скорости технологической деформации материала

Стали мартенситного класса. Анализ результатов усталостных испытаний образцов из закаленных и высокоотпущенных сталей мартенситного класса 20X13 и 14X17Н2 для разных скоростей ($\dot{\varepsilon} = 1,1 \cdot 10^{-3}$, $5,6 \cdot 10^{-3}$ и $2,8 \cdot 10^{-2}$ с⁻¹) предварительной деформации растяжением на 25% показывает, что у обеих сталей ниже всех располагаются кривые усталости при $\dot{\varepsilon} = 1,1 \cdot 10^{-3}$ с⁻¹, а тангенс угла наклона их в этом случае наибольший.

При высоких σ_a долговечность постоянно увеличивается с ростом $\dot{\varepsilon}$. В многоцикловой же области повышение $\dot{\varepsilon}$ от $1,1 \cdot 10^{-3}$ с⁻¹ до $5,6 \cdot 10^{-3}$ с⁻¹ значительно повышает долговечность сталей, например, при $\sigma_a = 300$ МПа в ~ 3,0 раза для стали 20X13 и в 2,0 раза – для стали 14X17Н2.

Дальнейший рост $\dot{\varepsilon}$ до $28 \cdot 10^{-3}$ с⁻¹ незначительно снижает циклическую долговечность этих материалов: в 1,07 и 1,21 раза у сталей 20X13 и 14X17Н2 соответственно.

Циклическая долговечность пассивированных после термообработки (505 °С, 2,5 часа; охлаждение на воздухе) плоских образцов из мартенситной стали ВНС-2М выше, чем только термообработанных и, например, при амплитуде напряжений 750 МПа составляет $4,05 \cdot 10^4$ циклов против $1,38 \cdot 10^4$ циклов соответственно.

Предварительная осадка образцов с последующей термообработкой, как правило, повышает их циклическую долговечность. Однако при высоких амплитудах напряжений осадка на молоте до 5% приводит к некоторому снижению долговечности. Так, при напряжении 850 МПа долговечность деформированных до 5% на молоте образцов снижается в 1,6 раза, в то время как при этой же степени деформации на прессе возрастает в 2,0 раза. При низких амплитудах напряжений (например 750 МПа) долговечность образцов из этой стали, осажженных на молоте и прессе до степени 10% с последующей термообработкой,

возрастает в 3,04 и 1,89 раза соответственно, по сравнению с исходными (термообработанными) образцами.

Эффект скорости предварительной деформации на долговечность сплава ВНС-2М также зависит от амплитуды приложенного напряжения. Так, если при напряжении 850 МПа долговечность стали после осадки на молоте до 22% ($1,19 \cdot 10^4$ циклов) почти соответствует долговечности после осадки на прессе до 10% ($1,24 \cdot 10^4$ циклов), то при напряжении 750 МПа ее величина для образцов, осажённых до 22% на молоте несколько (в 1,1 раза) выше, чем деформированных до этой же степени на прессе. При этом структура материала более мелкодисперсная, чем в исходном (недеформированном) состоянии.

Наблюдаемое повышение сопротивления усталостному разрушению с ростом степени предварительной осадки образцов подтверждается натурными испытаниями штампованных гофровых панелей из этой стали. Кривая распределения циклической долговечности отштампованных на молоте натуральных гофровых панелей из стали ВНС-2М при симметричном цикле нагружения внутренним давлением 1,2 атм и статистическая обработка результатов этих испытаний выявили малый разброс экспериментальных данных (менее 1%), что свидетельствует о высокой стабильности усталостных свойств этого сплава. Местом зарождения усталостных трещин является участок перехода с гофр на плоскую часть панели, где наряду с возможным действием концентратора напряжений имеет место практически нулевая степень предварительной пластической деформации. Это подтверждает полученные на образцах выводы об увеличении циклической долговечности с ростом степени предварительной осадки образцов.

Аустенитная сталь ЭИ878-М1. Влияние степени предварительной осадки плоских образцов из аустенитной стали ЭИ878-М1 на их долговечность, также существенно зависит от скорости деформации (на молоте и гидропрессе) и уровня приложенного напряжения. С ростом степени деформации сопротивление усталостному разрушению сплава повышается больше после штамповки на молоте, чем на прессе.

Так, при низких уровнях приложенного напряжения (400 МПа) с ростом предварительной пластической деформации долговечность сплава вначале увеличивается с $4,06 \cdot 10^4$ циклов в исходном состоянии до $1,92 \cdot 10^6$ циклов после осадки на молоте ($\epsilon = 22\%$) и $1,67 \cdot 10^5$ циклов на прессе ($\epsilon = 10\%$), а затем незначительно уменьшается: до $1,62 \cdot 10^6$ циклов ($\epsilon = 36\%$) и $1,53 \cdot 10^5$ циклов ($\epsilon = 22\%$) соответственно.

Усталостная прочность сплава ЭИ-878-М1 с увеличением степени наклепа повышается, особенно после осадки на молоте, например, на базе 10^5 циклов ($\epsilon_{пр.д} = 22\%$) в 1,7 раза по сравнению с 1,27 раза при деформации на гидропрессе.

В случае высоких амплитуд циклического нагружения, как и для сталей 20Х13 и 14Х17Н2, рост степени предварительной деформации вызывает моно-

тонное повышение долговечности образцов из данного сплава, более существенное после штамповки на молоте, чем на гидропрессе.

Циклическая долговечность отштампованных на молоте (скорость деформации 10^2 с^{-1}) гофрированных панелей из данного сплава в 2,9 раза выше, чем деформированных на прессе (скорость деформации $8 \cdot 10^{-2} \text{ с}^{-1}$). Положительный эффект предварительной деформации на повышение сопротивления усталости панелей обусловлен изменением структуры материала, которая после штамповки на молоте имеет равномерное волокнистое строение. Металлографические и фрактографические исследования показали, что при больших степенях деформации (36% на молоте и 22% на прессе) в структуре материала появляются несплошности между волокнами прокатки в результате их расслоения. Их количество и длина растут по мере увеличения наклепа, и при осадке на молоте до 36% появляются микротрещины, пересекающие волокна.

5.5.3. Поверхностное пластическое деформирование

Поверхностные пластические деформации (обкатка шариками и роликами, обдувка дробью, алмазное выглаживание, гидродробеструйная обработка, виброгалтовка, виброшлифование, кавитация в щелочной среде и другие) являются одним из наиболее распространенных и эффективных технологических методов повышения сопротивления разрушению сталей при циклическом нагружении.

Анализ результатов проведенных исследований показывает, что изменение сопротивления усталости на воздухе и в коррозионной среде определяется физико-химическим состоянием и шероховатостью поверхностного слоя изделий, характером распределения и величиной остаточных напряжений в нем, амплитудой действующего напряжения и степенью агрессивности среды эксплуатации.

Из анализа вероятностных кривых распределения циклической долговечности цилиндрических образцов из сталей 35ХГСА, 20ХН2М и 40Х после различных режимов обработки следует, что дробеструйная обработка после правки существенно повышает долговечность цилиндрических образцов из закаленной (900 °С, выдержка 20 мин, масло) с высоким отпуском (425 °С) стали 35ХГСА в 1,5 раза, цементованной (на слой 0,9...1,2 мм) с закалкой и низким отпуском (180 °С) стали 20ХН2М в 1,8 раза (рис. 5.8) и нитроцементованной (на слой 0,4 мм) закаленной с низким отпуском (180 °С) стали 40Х в 4,3 раза. При этом заметное повышение долговечности образцов с ППД наблюдается для всех вероятностей разрушения.

Результаты усталостных испытаний цилиндрических образцов из закаленной (860 °С, масло) и высокоотпущенной (550 °С) стали 40Х (HRC31) после фрикционно-упрочняющей обработки (ФРУО) (скорость вращения диска 68 м/с; скорость вращения детали 0,20 м/с; подача 1,2 мм/об; глубина снимаемого слоя 0,4 мм; длина контакта диска с деталью 4,5 мм; $R_a = 0,54 \dots 0,63 \text{ мкм}$; технологи-

ская среда – масло "И-12А") показывают, что ФРУО понижает сопротивление усталостному разрушению как на воздухе, так и в коррозионной среде. Очаги разрушения зарождаются на глубине, равной 50 мкм от поверхности, то есть в зоне растягивающих остаточных напряжений.

Обкатка роликом (нагрузка на ролик 1765Н; скорость вращения образца 0,45 м/с; подача 0,11 мм/об) образцов после ФРУО изменяет величину и характер распределения остаточных напряжений сжатия, и их максимальная величина наблюдается у поверхности образца (400, 750 МПа соответственно). При этом растягивающие напряжения, смещаясь вглубь образца (более 800 мкм), обуславливают зарождение усталостной трещины уже на глубине 100 мкм.

Предел выносливости образцов из стали 40Х, обкатанной роликами, после ФРУО повышается в ~ 1,6 раза (с 340 до 560 МПа) на воздухе и более чем в десять раз (с 40 до 429 МПа) в коррозионной среде, по сравнению с фрикционно-упрочненными образцами.

Известен способ поверхностного упрочнения металлических деталей (А.С. № 1574646) с целью повышения сопротивления усталостному и коррозионно-усталостному разрушению: поверхностная термопластическая деформация (ПТПД) (нагрев трением в присутствии технологической среды – насыщенного раствора солей хлорида магния и кальция), обкатка роликами и низкотемпературный отпуск (160°С, 2 ч).

Предел выносливости закаленной и высокоотпущенной стали 40Х (HRC 53), обработанной по этому режиму: ПТПД (скорость вращения образца 20 об/мин; скорость вращения диска 6700 об/мин; подача 1,2 мм/об; глубина врезания диска 0,4мм; высота диска 6 мм, диаметр 250 мм; технологическая среда – насыщенный водный раствор солей хлоридов магния и кальция; материал диска – сталь 40Х), обкатка роликом (скорость вращения образца 0,45 м/с; подача 0,11 мм/об; число проходов 1; диаметр ролика 55 мм; радиус профиля рабочей частоты ролика 4,5 мм), отпуск (160°С, 2 ч), составляет 360 МПа на воздухе и 50 МПа в коррозионной среде (база испытания $2 \cdot 10^7$ и $5 \cdot 10^7$ циклов соответственно).

Предлагается способ поверхностной обработки стальных изделий, отличающихся от известного тем, что при ПТПД в качестве технологической среды используется 5%-ный водный раствор «Эмульсола ФМИ-3» (обычно применяемого при механических обработках без нагрева и выпускаемого серийно в промышленности). При этом улучшается качество поверхностных слоев детали за счет отсутствия интенсивного наводороживания металла при импульсном нагреве и возникновения остаточных напряжений сжатия с максимумом у поверхности детали.

Предел выносливости образцов из стали 40Х (HRC53) после упрочнения по предлагаемому режиму на воздухе увеличился в 2,2 раза, а в коррозионной среде в ~ 10 раз по сравнению с образцами, обработанными по известному способу, и составил соответственно 815 и 510 МПа.

5.5.4. Сварные соединения и влияние технологии сварки

Стали 08кп, 20кп, 07ГСЮФТ, 08ГСЮТ. Коррозионная долговечность сталей со сварным швом, как правило, существенно ниже их долговечности на воздухе. При этом эффект среды сильнее выражен при малых значениях амплитуды приложенного напряжения. Так, если при $\sigma_a = 500$ МПа в коррозионной среде долговечность сварных Т-образных образцов из стали 20кп снижается в 2,4 раза (с 10^4 до $4,12 \cdot 10^3$ циклов) по сравнению с испытанием на воздухе, то при $\sigma_a = 300$ МПа – уже в 3,5 раза (с $1,34 \cdot 10^5$ до $3,8 \cdot 10^4$ циклов).

Сравнительные испытания образцов из листовых сталей 08кп, 08ГСЮТ и 20кп показали, что влияние среды в большей степени сказывается на стали 08ГСЮТ. Коэффициент влияния среды β_c для нее составляет 1,8 при $\epsilon_a = 0,25\%$, а у сварных образцов этой стали при той же амплитуде $\beta_c = 2,6$, в то время как у стали 08кп, например, $\beta_c = 1,97$.

Увеличение амплитуды деформации ($\epsilon_a = 0,5\%$) приводит к снижению влияния среды. Так, и коэффициент β составляет лишь 1,06 и 1,03 для стали 08ГСЮТ и сварного соединения соответственно.

Несмотря на более низкие значения пределов прочности и текучести, сталь 08кп (цельная и сварная) обладает более высоким сопротивлением усталости как на воздухе, так и в коррозионной среде по сравнению со сталями 08ГСЮТ и 20кп и их сварными соединениями.

Исследования влияния времени длительности обдува дробью на долговечность сварных образцов из стали 08кп показали (табл. 5.11), что наибольшее повышение долговечности имеют сварные соединения, обработанные дробью 120 с, что максимально снимает вредные растягивающие остаточные напряжения в околошовной зоне и наводит сжимающие. Такой режим технологической обработки повышает долговечность в коррозионной среде ($\epsilon_a = 0,25\%$) сварных образцов из сталей 08кп в 3,3; 08ГСЮТ – 3,6 и 20кп – 2,3 раза.

Таблица 5.11

Влияние длительности дробеструйной обработки сварных соединений из стали 08кп на малоцикловую усталость при пульсирующем (от нулевом) изгибе ($\epsilon_a = 0,25\%$)

№ п/п	Технология обработки поверхности	Долговечность N , тыс. циклов до разрушения		
		воздух	3%-ный NaCl	β_c
1	Исходные образцы (со швом)	75,0	38,64	1,97
2	Дробеструйная обработка (10 с)	75,5	39,12	1,90
3	Дробеструйная обработка (60 с)	12,45	110,61	1,09
4	Дробеструйная обработка (120 с)	131,51	126,31	1,04
5	Дробеструйная обработка (180 с)	125,62	109,12	1,15

Примечание: результаты средние по данным испытаниям 4...5 образцов на точку.

Наиболее слабым местом сварного соединения является зона термического влияния (переходная зона), расположенная на границе сварного шва и основного металла.

Аустенитная сталь 12X18Н10Т. В процессе сварки происходит изменение свойств околошовной зоны, что приводит к появлению высоких остаточных напряжений (в основном растягивающих) в области сварного шва и, следовательно, низкому пределу выносливости. С целью уменьшения отрицательного влияния остаточных растягивающих напряжений в сварном шве применяются разные методы его обработки, создающие остаточные напряжения сжатия. Наши исследования показывают, что остаточные напряжения вдоль сварного шва являются растягивающими и равны 80...100 МПа на глубине до 0,7 мм, а перпендикулярно шву могут достигать 800...900 МПа на глубине до 8 мкм. Сварной шов характеризуется тонкодисперсным строением (аустенит и δ -феррит). Ширина стыкового шва составляет 3...5 мм.

Предварительная деформация растяжением приводит к увеличению предела выносливости и циклической долговечности, сварных образцов из стали аустенитного класса 12X18Н10Т на базе испытаний $10^3 \div 5 \cdot 10^6$ циклов. Так, при $\sigma_a = 420$ МПа она возрастает линейно с $1,86 \cdot 10^3$ циклов до $9,92 \cdot 10^3$ циклов при изменении $\epsilon_{пр.д}$ от 0 до 16%. Дальнейший рост величины наклепа приводит к более интенсивному повышению долговечности, и при $\epsilon_{пр.д} = 25\%$ она составляет $3,38 \cdot 10^4$ циклов. С понижением амплитуды напряжения циклическая долговечность сварных нормализованных образцов сначала (при $\epsilon_{пр.д}$ от 0 до 16%) линейно возрастает, затем (при $\epsilon_{пр.д}$ от 16 до 25%) увеличивается лишь незначительно (с $5,38 \cdot 10^5$ циклов до $7,25 \cdot 10^5$ циклов при $\sigma_a = 280$ МПа).

Полученные нами результаты усталостных испытаний сварных образцов из стали 12X18Н10Т после различных режимов ППД показывают, что поверхностная пластическая обработка улучшает сопротивление сварных швов знакопеременным нагрузкам. Зарождение и развитие усталостной трещины происходит на неупрочненной стороне. Двустороннее упрочнение сварного шва повышает его устойчивость к циклическому нагружению и тангенс угла наклона кривой усталости сварных образцов, обработанных по режиму «сварка+термоправка+обдувка дробью с двух сторон» меньше, а сама кривая располагается значительно выше, чем по режиму «сварка+термоправка».

Термообработка сварного шва (нагрев до 975°C, выдержка пять минут, плавное охлаждение) выравнивает структуру по всему объему материала, обуславливая уменьшение разброса экспериментальных данных, снижая, однако, циклическую долговечность. Термообработка сварного соединения перед последующей операцией поверхностного упрочнения пучком проволоки благоприятно сказывается на его усталостных свойствах. Так, при уровне напряжения 420 МПа долговечность сварных образцов после термообработки и упрочнения пучком в 9,5 раз больше у образцов, обработанных только пучком проволоки.

Операция «термоправка» заметно снижает сопротивление усталости сварных швов. При этом кривая усталости для образцов после режима «сварка + термообработка» располагается заметно выше, чем для образцов режима «сварка + термообработка + термоправка».

Анализ кривых распределения циклической долговечности сварных образцов из стали 12Х18Н10Т при усталостном испытании в коррозионной среде после различных режимов обработки (табл. 5.12) показывает, что способ технологической обработки сварного соединения существенно влияет на его коррозионную долговечность. Так, деформация растяжением до 8% образцов из этой стали со сварным швом приводит к снижению долговечности в среде 3%-ного водного раствора морской соли на ~ 57%, при $\sigma_a = 303$ МПа, по сравнению с испытанием на воздухе. Введение операции «термообработка» перед термоправкой сварных образцов из стали 12Х18Н10Т повышает их циклическую долговечность в 3%-ном растворе морской соли в воде с $6,36 \cdot 10^3$ до $7,17 \cdot 10^3$ циклов.

Таблица 5.12

Долговечность до разрушения сварных соединений из стали 12Х18Н10Т при симметричном консольном изгибе с частотой 25 Гц на воздухе и в 3%-ном растворе NaCl в воде после различной технологической обработки

№ п/п	Обработка	σ_a , МПа	Долговечность, цикл	
			воздух	раствор соли
1	Дробеструйное упрочнение с двух сторон (давление воздуха - 0,4-МПа; диаметр шариков - 3 мм, время - 5 мин)	372	10000	9510
2	Пневмодробеструйная обработка с одной стороны ($p = 0,4$ МПа; диаметр стальных литых шариков - $0,5 \div 1,0$ мм)	433	10000	8870
3	Термоупрочнение пучком проволоки (пневматическим молотком МР-4, 975 °С)	415	10000	8840
4	Термообработка (975°С, 5 мин; охлаждение на воздухе), термоправка при 975°С	294	10000	7170
5	Термоправка при 975°С	390	10000	6360
6	Упрочнение микрошариками с одной стороны (диаметр шариков 0,02...0,2мм, время 3 мин)	356	10000	6160
7	Растяжение до степени 7...10 %	303	10000	5560

Наилучшим сопротивлением коррозионно-усталостному разрушению из представленных в табл. 5.12 обладают сварные соединения с дробеструйным упрочнением (давление воздуха 0,4 МПа диаметр шариков 3 мм; время 5 мин), особенно при обработке с двух сторон.

Очень эффективным (структура становится тонковолокнистой и мелкодисперсной) и производительным считается метод упрочнения пучком проволоки, позволяющий производить обработку даже неровных поверхностей.

Однако в нашем случае эта обработка оказалась менее эффективной, чем дробеструйная, при усталостном испытании как на воздухе, так и в коррозионной среде, поскольку при обработке пучком проволоки наклепанный слой имеет большую глубину, что нежелательно для тонколистового материала. Пневмодробеструйная обработка термообработанных сварных швов стали 12X18H10T увеличивает выносливость соединений до уровня, даже превышающего выносливость основного металла.

Как и в случае равномерной предварительной пластической деформации, ППД повышает сопротивление коррозионной усталости сварного соединения из стали 12X18H10T тем эффективнее, чем на большую величину при этом снижается показатель деформационного упрочнения при статическом нагружении, например, наименьшему значению $A=0,323$ сварного соединения после пневмодинамического упрочнения с одной стороны (давление воздуха 0,4 МПа, время 5 мин, диаметр дроби 3 мм) соответствует долговечность $9,51 \cdot 10^3$ циклов при испытании в коррозионной среде, что составляет снижение долговечности лишь на 4,9% в сравнении с испытанием на воздухе.

Анализ изложенных результатов проведенных исследований образцов со сварным швом позволил предложить новый режим предварительной обработки сварных соединений из нержавеющей сталей аустенитного класса типа 12X18H10T «сварка + термообработка + $\epsilon_{пр.д.}$ (5%) + упрочнение пневмодробеструйное с двух сторон ($P = 0,4$ МПа, диаметр дроби $0,6 \div 1,2$ мм, время 1 мин)» (А.С. № 1058747).

Введение этого режима существенно повысило предел выносливости сварного соединения путем термообработки и растяжения в области шва до получения остаточной пластической деформации ($\sim 5\%$) и последующего его поверхностного упрочнения по найденному оптимальному режиму. Например, при $\sigma_a = 420$ МПа долговечность сварных соединений после такой обработки возросла в 2,2 раза по сравнению с оптимальным базовым режимом. При этом наблюдается относительно однородная мелкодисперсная структура стали в околошовной зоне.

Результаты, полученные на образцах, подтверждаются данными натуральных вибрационных испытаний готовых изделий теплообменников из стали 12X18H10T, которые показывают, что их ресурс после обработки по предлагаемой технологии возрастает в 2,09 раза.

5.5.5. Сравнение влияния объемной деформации и ППД на материал

Анализ литературных данных и результатов наших исследований показывает, что пластическая разной степенью деформация всего объема или только поверхности металла (ППД) неоднозначно влияет на его циклическую долговечность в зависимости от амплитуды нагружения.

В настоящей работе проведено сопоставление оптимальных режимов предварительной обработки, максимально повышающих долговечность материалов при амплитуде $\sigma_a \approx 0,5 \sigma_B$ и сопротивление усталости на базе 10^5 циклов на воздухе и в коррозионной среде.

Установлено, что наиболее существенное улучшение сопротивления разрушению при циклическом нагружении материалов наблюдается после комбинированных методов ППД.

Так, ранее было показано, что предел выносливости на базе 10^5 циклов сварных соединений из стали 12X18H10T возрастает в 1,26 раза после режима обработки: термическая, пластическая растяжением на 5...16%, пластическая обдувкой дробью и лишь в 1,03 раза – после только растяжения до 7...10%.

Циклическая долговечность в коррозионной среде (3%-ный водный раствор морской соли) сварных соединений из стали 12X18H10T в результате двухстороннего дробеструйного упрочнения сварного шва увеличивается в 1,33 раза, но после растяжения на 7...10% снижается на 22%.

Наиболее эффективными технологическими способами повышения циклической долговечности сварных соединений являются термическая обработка и поверхностное пластическое деформирование материала шва и околошовной зоны.

В процессе электродуговой сварки происходит изменение структуры стали, приводящее к появлению высоких остаточных растягивающих напряжений в области шва (100 МПа на глубине до 0,08 мм) и снижению сопротивления усталости. Сварной шов характеризуется тонкодисперсным строением (аустенит и δ -феррит). Ширина шва (встык) равна 3...5 мм.

Результаты испытаний показывают, что двустороннее упрочнение сварного шва улучшает его сопротивление знакопеременным нагрузкам.

Термообработка (нагрев до 975 °С, 5 мин, охлаждение на воздухе) сварных образцов снижает предел выносливости и циклическую долговечность, но при этом уменьшается разброс экспериментальных данных за счет выравнивания свойств по всему объему материала и снятия внутренних напряжений.

Операция «термоправки» заметно ухудшает сопротивление усталости сварных термообработанных образцов.

Термообработка (нормализация) сварного шва перед операцией поверхностного упрочнения пучком проволоки благоприятно сказывается на усталостных свойствах стали 12X18H10T. Например, при уровне приложенного напряжения 420 МПа долговечность сварных образцов после термообработки и упрочнения пучком проволоки в 9,5 раза больше, чем у образцов, обработанных только пучком проволоки.

Эффективный и производительный метод упрочнения пучком проволоки позволяет обрабатывать неровные поверхности, что обуславливает его широкое распространение в производстве. Однако этот способ обработки в нашем слу-

чае дает более низкие результаты, чем пневмодробеструйная обработка, из-за тонкого сечения (2 мм) образцов, для которых нецелесообразна большая глубина наклепа.

Долговечность при $\sigma_a = 320$ МПа образцов после пневмодробеструйной обработки с двух сторон (давление воздуха 0,4 МПа; время 1 мин; диаметр дроби 0,6...1,0 мм) составляет $6,6 \cdot 10^6$ циклов, в то время как у холоднокатаной стали 12Х18Н10Т без сварки она равна $2,75 \cdot 10^5$ циклов. Введение операции термообработки перед термоправкой сварных образцов повышает циклическую долговечность стали в коррозионной среде.

Лучшим сопротивлением коррозионно-усталостному разрушению обладают сварные соединения из стали 12Х18Н10Т с дробеструйным упрочнением, особенно при обработке шва с двух сторон.

Предварительная деформация растяжением на 5, 10 и 16 % сварных образцов из этой стали приводит за счет наклепа к увеличению низкоамплитудной долговечности на воздухе. Деформация до 25% уменьшает циклическую долговечность. Сварные образцы из стали 12Х18Н10Т, деформированные растяжением до 7...10%, имеют число циклов до разрушения на 56,9% ниже в коррозионной среде, чем на воздухе.

Предлагаемый режим обработки сварных соединений из нержавеющей сталей аустенитного класса типа 12Х18Н10Т: термообработка (нагрев до 975°С, 5 мин, охлаждение на воздухе), растяжение до степени 5...16%, упрочнение пневмодробеструйное (давление воздуха 0,4 МПа; диаметр дроби 0,6...1,0 мм; время 1 мин) с двух сторон (А.С. №1058747) – полностью устраняет возможный отрицательный эффект предварительного растяжения; обеспечивает снижение величины остаточных растягивающих напряжений и равномерное их распределение по сечению сварного образца; увеличивает циклическую долговечность (в 2,2 раза при амплитуде 420 МПа) сварных образцов и натуральных изделий из тонколистовой стали 12Х18Н10Т по сравнению с пневмодробеструйной обработкой сварного шва с двух сторон. При этом наблюдается относительно однородная мелкодисперсная структура стали в околошовной зоне.

Коэффициент влияния технологической обработки методами объемного и поверхностного деформирования на долговечность β для стали 40Х практически одинаков ($\beta_N \approx 10,0$), а на ограниченный предел выносливости (β_{RN}) несколько выше при растяжении до 22% по сравнению с ППД (1,54 против 1,15). Однако при испытании стали 40Х в 3%-ном водном растворе морской соли коэффициенты $\beta_{Nc} \approx 250$ и $\beta_{RNc} \approx 4$ после ППД (ФРУО, обкатка роликами) намного больше, чем после растяжения до 22%, при которой эти коэффициенты незначительно превышают 1.

Осадка до 5...17% холоднокатаной стали 08кп ограниченный предел выносливости и циклическую долговечность на воздухе незначительно (до 3%)

снижает, а в коррозионной среде практически не изменяет. Дробеструйная обработка приводит к повышению долговечности сварных соединений из стали 08кп на воздухе в 1,6 раза, а в коррозионной среде – в 3,25 раза. При этом β_{RNC} составляет 1,41.

У малолегированной стали 08ГСЮТ после осадки $\beta_N = 1,92$, несколько выше, чем после обдувки сварных соединений ($\beta_N = 1,50$). В коррозионной среде циклическая долговечность сварных соединений из этой стали после ППД увеличивается в 3,6 раза, в то время как после осадки до 17% образцов без сварки только в 1,85 раза, а коэффициент $\beta_{RNC} = 1,50$ и 1,18 соответственно.

Коррозионная среда значительно понижает малоцикловую усталость листовых сталей 08кп и 08ГСЮТ и их сварных соединений, причем в большей степени она воздействует на сварные соединения из стали 08ГСЮТ. С увеличением амплитуды циклического нагружения влияние среды ослабевает. Долговечность образцов со сварным швом из стали 08кп в морской воде при амплитуде относительной деформации $\varepsilon = 0,5\%$ почти в два раза выше, чем долговечность образцов из стали 08ГСЮТ.

Снижение сопротивления коррозионной усталости сварных соединений вызвано в основном растягивающими остаточными напряжениями, возникающими в зоне термического влияния, где и происходит зарождение усталостной трещины. Наиболее эффективным способом снятия вредных растягивающих напряжений является дробеструйная обработка, в процессе которой возникает наклеп и остаточные напряжения сжатия, величина и характер распределения которых зависят от режимов обработки.

В работе для сталей 08кп и 08ГСЮТ экспериментально установлено, что из всех исследованных режимов наиболее оптимальна обдувка дробью длительностью 120 с, приводящая к появлению в поверхностных слоях на глубине до 300...400 мкм остаточных напряжений сжатия величиной $\sim 1,5$ ГПа.

Такая ППД повышает долговечность сварных соединений из стали 08кп ($\varepsilon = 0,25\%$) в коррозионной среде в 3,3 раза, а стали 08ГСЮТ в – 3,6 раза. Однако, несмотря на то, что коэффициент технологической обработки сварных соединений у стали 08кп несколько ниже, чем у стали 08ГСЮТ, сопротивление их усталости на воздухе и в морской воде остается все же в 1,19 и 1,25 раза выше ($1,31 \cdot 10^5$ против $1,10 \cdot 10^5$ циклов на воздухе и $1,26 \cdot 10^5$ против $1,01 \cdot 10^5$ циклов при $\varepsilon = 0,25\%$) соответственно.

Дробеструйная обработка после правки закаленной с высоким отпуском стали 35ХГСА обуславливает повышение долговечности на воздухе в 1,49 раза. Растяжение до 2,6 и 5,3% ограниченный предел выносливости стали на воздухе снижает.

Обкатка роликами стали 35ХГСНА и дробеструйная обработка правленных образцов после цементации и закалки с низким отпуском стали 20ХН2М также повышают β_N до 3,31 и 1,84 соответственно.

Таким образом, анализ оригинальных и литературных данных позволяет сделать вывод о большей эффективности на повышение сопротивления усталостному разрушению металлических материалов на воздухе и в коррозионной среде методом поверхностного пластического деформирования по сравнению с объемным деформированием.

Этот вывод подтверждается сопоставлением зависимостей изменения долговечности на воздухе после объемной деформации и ППД:

$$1g(N_e/N) = 4,652 \cdot A - 0,738; \quad r = 0,920,$$

$$1g(N_{\text{ппд}}/N) = 4,127 \cdot A + 0,307; \quad r = 0,851.$$

Кроме того, если после объемной пластической деформации (по данным Г.П. Гуслияковой) для материалов с $A < 0,2$ может наблюдаться снижение циклической долговечности, то после ППД при всех значениях A долговечность металлических материалов существенно повышается.

Выводы

1. Наиболее существенное улучшение сопротивления усталостному и коррозионно-усталостному разрушению металлических материалов наблюдается после комбинированных методов ППД.

2. Поверхностное пластическое деформирование обуславливает больший эффект на сопротивление усталостному разрушению металлических материалов на воздухе и в коррозионной среде, по сравнению с объемным деформированием.

3. Установлена зависимость $N_{\text{ппд}}/N$ от показателя A упрочнения при статическом растяжении металлических материалов в термообработанном состоянии, ($r = 0,851$), позволяющая прогнозировать эффективность введения операции ППД с целью повышения долговечности материалов при циклическом нагружении на воздухе.

4. ППД повышает циклическую долговечность при всех значениях показателя упрочнения A материалов. Этот эффект более существенен для металлических материалов с высоким значением A .

5.6. Алюминий в современном кузовостроении

В настоящее время много говорят об использовании алюминия в автомобилях как экспериментальных, так и серийного производства. Для этого есть веские основания, так как этот самый распространенный в природе металл, который почти в два раза легче стали, позволяет сделать автомобиль более легким и тем самым более экономичным по расходу топлива, а в некоторых случаях и более безопасным.

Расширение применения легких высокопрочных алюминиевых сплавов является одним из перспективных направлений снижения массы автомобилей. Полезные свойства алюминия все шире используются европейскими автомобилестроителями, и среднегодовой рост его применения составляет ~ 10%.

С начала 70-х годов прошлого века использование алюминия в конструкции автомобилей постоянно растет. В настоящее время масса алюминиевых деталей, например, в европейских автомобилях возросла до 95 кг, а к 2015 г. она должна достичь 200 кг. По данным Ассоциации производителей алюминия США, в 2002 г. только в Северной Америке удельное потребление алюминия на один легковой или легкий грузовой автомобиль выросло до 121,5 кг, а в 2005 г. достигло 130 кг. Согласно прогнозу канадской фирмы Alcan Aluminium, в автомобилях нового поколения потребление алюминия на одну машину может увеличиться до 320–410 кг.

Это связано с тем, что увеличение доли алюминиевых деталей и узлов в конструкции автомобиля приводит:

- к значительному снижению массы транспортных средств и, как следствие, уменьшению расхода топлива;
- сокращению затрат на производство;
- использованию (в большинстве случаев без переналадки) существующего оборудования;
- уменьшению числа деталей, подвергающихся механической обработке;
- возможности использования достаточного ассортимента полуфабрикатов;
- снижению трудоемкости изготовления (за счет сокращения соединительных узлов и перехода к прессованным элементам);
- возможности более равномерного распределения массы автомобиля по осям и т.д.

Снижение собственной массы автомобилей в свою очередь повышает их топливную экономичность и улучшает экологическую ситуацию, уменьшая количество выбросов в атмосферу вредных веществ и соединений (в том числе канцерогена типа “бенз-а-пирен”), а также играет важнейшую роль в решении проблемы “парникового эффекта”, вызываемого эмиссией CO₂.

Так, доля в экономии топлива от снижения собственной массы автомобиля составляет 45%, а от уменьшения сопротивления качению шин и улучшения характеристик двигателя и трансмиссии лишь 25 и 30%, соответственно. По данным Международной конференции «Полный жизненный цикл автомобилей» (Детройт, 26-29 апреля 2000 г.), каждый процент экономии массы автомобиля ведет к снижению расхода топлива на 0,6-1,0%. Применение 100 кг алюминия в автомобиле способствует экономии более 1000 л бензина на пробеге 200 тыс. км, а также сокращению выбросов «парникового» газа CO₂ на 2500 кг.

Алюминий привлекает автомобилестроителей не только своей легкостью, но и тем, что он не корродирует и может быть неограниченное число раз использован как вторичное сырье. По отношению прочности к массе алюминий превосходит сталь. Поэтому путем продуманного увеличения толщины материала и размеров сечения деталей в определенных местах, требующих большей прочности, и использование соответствующих методов соединения деталей (новые методы сварки, специальные крепежные детали и прочее) можно создать кузов, изготовленный в основном из алюминия, отвечающий требованиям к прочности и жесткости, но при этом снижающий массу автомобиля (рис. 5.8).

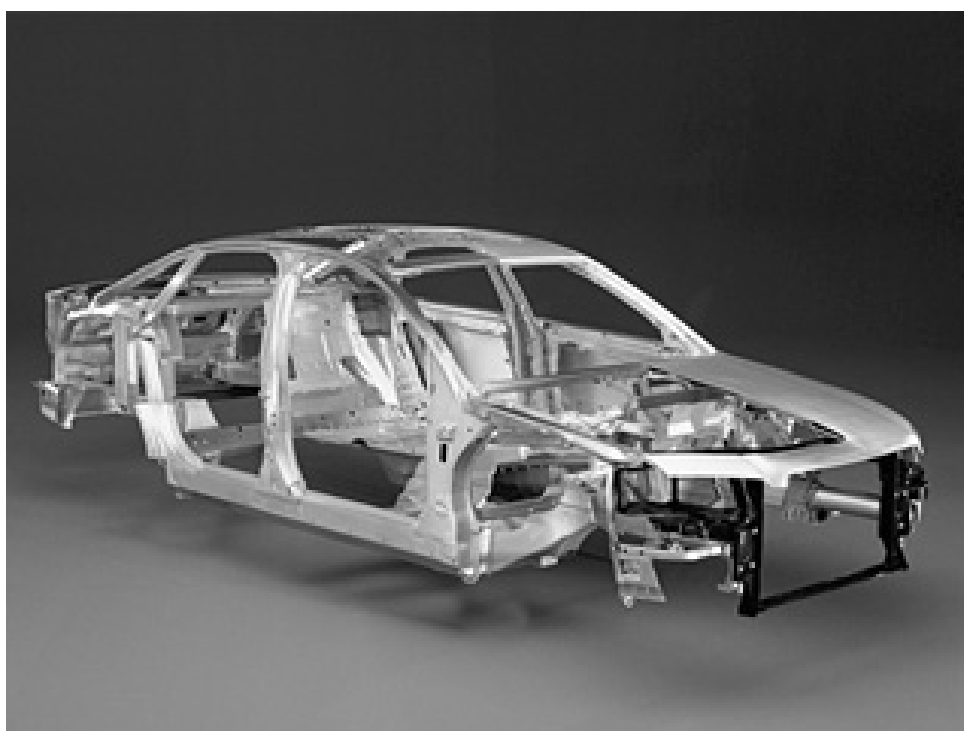


Рис. 5.8. Алюминиевый кузов автомобиля *Audi A8*

Что касается требований к безопасности при столкновении автомобиля с препятствием, то, как показали испытания, конструкция из алюминия поглощает энергию удара точно так же, как стальная, так, например, автомобиль *Audi A8* с кузовом из алюминия в 1998 г. по результатам испытаний на лобовое столкновение получил высшую оценку Национального управления по безопасности дорожного движения США.

Достоинство алюминия и в том, что он предсказуемо реагирует на большие нагрузки и напряжения, что позволяет инженерам с большой точностью устанавливать места возможного образования складок, изломов и других разрушений и деформаций от ударов. Легкость алюминиевых сплавов позволяет использовать их на таких критических участках конструкции с большим сечением металла без значительного увеличения общей массы конструкции.

Государственным требованиям по безопасности, действующим в США, отвечает не только автомобиль *Audi A8*, у которого из алюминиевых сплавов изготовлены все панели кузова и рама, но и такие автомобили серийного производства, как *Plowler* и *GMC EV-1*, а также экспериментальная цельноалюминиевая модель *Mercury Sable*. По заявлению фирмы *Honda*, масса деталей из алюминиевых сплавов в ее модели *Acura NSX* составляет около 450 кг, что облегчило автомобиль в сравнении с конструкцией из стали приблизительно на 205 кг, в результате чего улучшились не только его топливная экономичность, но и ходовые качества, такие как разгон, торможение и управляемость,

В чистом виде алюминий является слишком мягким металлом, поэтому в промышленности его, как правило, используют в виде сплавов с другими металлами (табл. 5.13).

Работы в этом направлении продолжаются, так, американской фирмой *Alyn Corp.* (г. Ирвин, шт. Калифорния) создан новый сплав алюминия с частицами карбида бора, названный *Boralyn*, более легкий и прочный, чем сталь и известные сплавы алюминия.

Группой передовой технологии автомобилестроения GMС этот материал использован в программе опытно-конструкторских работ для деталей подвески, поперечины и рычагов управления. Первоначально он был использован для опорной рамы двигателя автомобиля EV-1.

Таблица 5.13

Сплавы алюминия, используемые в автомобилестроении

Серия	Характеристика	Использование
1	2	3
1000	Сплавы этой серии, содержащие 99% и более чистого алюминия, обычно подвергают механическому упрочнению. Они хорошо сопротивляются коррозии и обладают высокой тепло- и электропроводностью	Детали отделки, идентификационные таблички, декоративные накладки, а также экструдированные трубки и ребра конденсатора
2000	Эти сплавы содержат медь в качестве легирующего элемента. Свойства текучести после термообработки такие же, как у малоуглеродистой стали. Для повышения прочности эти сплавы иногда подвергают искусственному старению. Иногда для повышения сопротивляемости коррозии их сплавляют со сплавами серии 6000 и 7000	Наружные и внутренние панели кузова; детали, изготовляемые на винторезном станке, механические крепежные детали
3000	Сплавы этой серии содержат магний. Они обладают хорошей коррозионной стойкостью и формуетостью. Термиче-	Детали отделки, идентификационные таблички, декоративные накладки, радиатор и другие детали системы отоп-

	ски не улучшаемы	ления и вентиляции, панели и другие детали интерьера кузова, экструдированные трубки конденсатора
--	------------------	---

1	2	3
5000	В данном случае также используется магний, один из немногих металлов, который легче алюминия. В результате получаются сплавы, не улучшаемые термической обработкой, с прочностью от средней до большой. Они очень хорошо свариваются и обладают большой устойчивостью против коррозии	Детали отделки, идентификационные таблички, декоративные накладки, панели и другие детали интерьера кузова, бамперы и панели кузова грузовых автомобилей, внутренние панели кузова, тепловые экраны, конструкционные и сварные детали, колеса, кронштейны и опоры двигателя
6000	Сплавы этой серии содержат магний и кремний, что делает их термически улучшаемыми и допускающими очень широкое применение (особенно сплав 6061). Они обладают хорошей формовкостью, устойчивостью против коррозии, высокой прочностью и рядом других желательных свойств	Панели кузова, лицевые брусья бамперов, крепежные детали, детали кузова (как экструдированные, так и листовые), карданные валы и вилки карданных шарниров, детали усиления бамперов, тормозные щиты, детали системы питания, багажные полки и другие детали
7000	Главным компонентом этих сплавов является цинк, хотя для специальных целей могут быть добавлены небольшие количества магния и меди. Все сплавы этой серии могут быть улучшены термической обработкой и обладают очень высокой прочностью	Направляющие сидений, лицевые брусья и детали усиления бамперов, ребра конденсатора и радиатора, стержни подголовников

В сравнении со сталью, титаном и обычным алюминием, по данным журнала *Aut.Mfg&Production*, композиционный материал *Boralyn* приблизительно на 40% жестче. При этом он еще и менее плотный, чем все сопоставимый с ним металлы. Как показали испытания, *Boralyn* обладает предельным напряжением, как у титана, и большим, чем у стали и сплавов алюминия серий 6000 и 7000. Наконец, этот новый материал отличается высокой износостойкостью и при надлежащей смазке поверхности имеет очень низкий коэффициент трения.

Boralyn не единственный новый композиционный алюминиевый сплав, которым заинтересовались автомобилестроители. Есть и другие новые сплавы, существует также процесс распылительного формования (*spray forming*) для листового алюминия и пенный алюминий, которые сейчас проходят испытания по пригодности в качестве конструкционного материала для всевозможного рода разных деталей, таких как масляный картер, дверные брусья и другие.

Алюминиевые сплавы имеют много преимуществ и являются наиболее вероятными претендентами на замену стали в автомобилях будущего. Снижение веса, улучшение топливной экономичности, снижение вредных выбросов в атмосферу, улучшение динамических характеристик автомобиля и возможность полной переработки алюминия – все это убедительные доводы в пользу применения этого металла в кузовостроении.

В ближайшие годы применение стали будет уменьшаться, а алюминия – увеличиваться. Даже в маленьких и дешевых автомобильчиках доля применения алюминия будет повышаться для снижения веса автомобиля и уменьшения расхода топлива.

Однако рост применения алюминиевых сплавов пока сдерживает их относительно высокая стоимость. Алюминий в 1,5–2 раза дороже стали. Увеличение применения алюминия в автомобилестроении во многом зависит от того, насколько снизится его цена в связи с расширением ресайклинга алюминия и разработкой новых эффективных технологий производства автомобильных деталей.

5.6.1. Примеры использования алюминия в кузовостроении

Одной из новейших конструкций с кузовом, содержащим алюминиевые элементы, является новая модель *BMW 5-series*. В новом кузове для своей 5-й серии фирма *BMW* впервые соединяет стальной кузов с алюминиевой передней частью. Новая конструкция в первую очередь преследует такие цели, как выполнение новейших нормативов по безопасности, снижение массы автомобиля и равномерное распределение осевой нагрузки. Хотя габариты нового модельного ряда больше, чем у его предшественника, благодаря использованию смешанной сталь-алюминиевой конструкции, кузова его массу удалось значительно уменьшить (на 38 кг). За счет алюминиевой передней части (у *BMW* она называется *GRAV – Gewichtsreduzierter Aluminium Vorderbau*) – на 20 кг, алюминиевого капота – на 10 кг, алюминиевых крыльев – на 3,5 кг и дверей – на 4,5 кг. В целом масса снаряженного автомобиля распределяется следующим образом: 770 кг на переднем мосту и 735 кг на заднем.

В конструкции *GRAV* (рис. 5.9) алюминиевая передняя часть соединяется с остальным стальным кузовом в области передних дверных стоек. *GRAV* представляет собой конструкцию с несущей внешней обшивкой алюминиевыми листами, которые скреплены заклепками и частично дополнительно склеены.

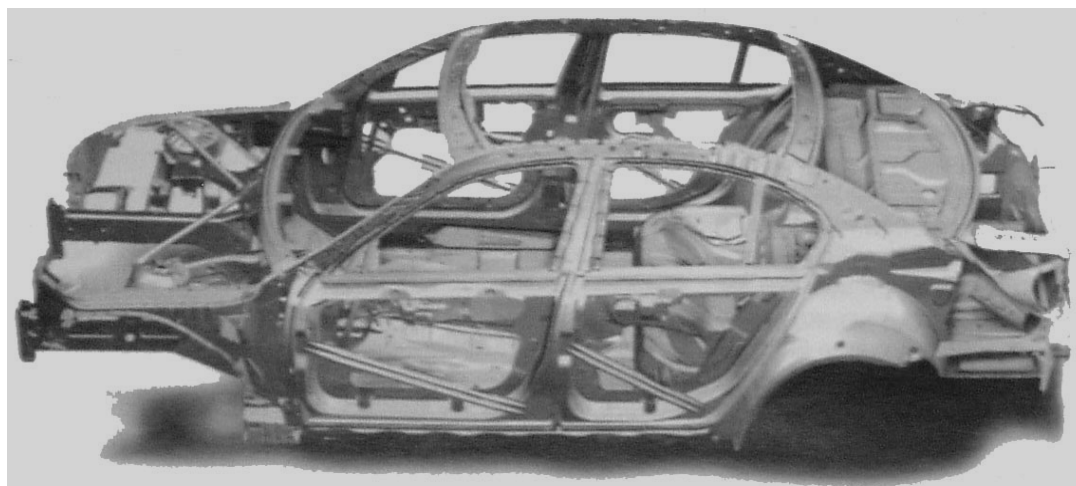


Рис. 5.9. Стале-алюминиевый кузов фирмы *BMW*

Лонжероны состоят из прессованного профиля с интегрированным трапецеидальным профилем. В случае аварии это обеспечивает большое поглощение энергии удара, поскольку лонжероны, как правило, могут складываться. Такое складывание обеспечивается благодаря специальному ослаблению и определенных местах (места обязательного слома). Купола амортизационных стоек представляют собой выполненные литьем под давлением отливки из алюминиевого сплава с небольшим содержанием магния, кремния и марганца. Такая комбинация сочетает высокую прочность с высокой способностью к деформации. Дополнительную прочность кузову обеспечивает обтекатель поверх передней стенки салона. Эта очень сложная деталь является собственной разработкой фирмы *BMW* и изготавливается самостоятельно путем обратного формообразования внутренним высоким давлением. Оба раскоса в моторном отсеке, которые проходят от куполов амортизационных стоек к середине передней стенки салона, также способствуют увеличению жесткости кузова. Кроме того, в переднюю часть кузова входит еще концевой модуль, который состоит из алюминиевой поперечины, двух привинченных деформирующихся боксов и перемычки с выемками для установки радиатора и фар.

Одним из наиболее активно развивающихся направлений современно кузовостроения является применение алюминия при производстве вертикальных кузовных панелей, таких как двери и крылья, изготовленные из алюминиевых листов. В сборную алюминиевую дверь встроена прессованная рамка окна для защиты при боковом ударе.

Для кузовных панелей используются два типа алюминиевых сплавов:

- алюминево-магниевые сплавы серии 5000, не подвергаемые термообработке;
- термообрабатываемые алюминево-магнево-кремниевые сплавы серии 6000.

Из-за прекрасной формуемости при глубокой вытяжке и чувствительности к появлению мелких зазубрин, которые ухудшают внешний вид детали, сплавы серии 5000 используются для внутренних панелей. Концерн *Hugobans* разработал сплав *EN 5102*, который при глубокой вытяжке является предпочтительным по сравнению со сплавом *EN 6016*.

Для внешних панелей основным требованием является высокое сопротивление смятию, так как сопротивление смятию прямо пропорционально пределу текучести, то повышение предела текучести штампованных компонентов является очень важным. Однако при штамповке сплавов с большим пределом текучести (то есть более прочные) наблюдается достаточно высокая «отдача» и снижение формуемости.

В сплавах серии 6000 эти противоречивые требования, заключающиеся в одновременном наличии низкого и высокого предела текучести, несколько сглажены за счёт использования термической обработки, а именно, искусственного старения. Однако низкие температуры и небольшая продолжительность большинства циклов данного технологического процесса позволяют использовать только небольшую часть потенциала, заложенного в сплавах.

Последние исследования были сфокусированы на использовании предварительного старения для усиления реакции спекания сплава *ЕН 6016*, причём применяемые методы были совместимы с традиционными производственными процессами. Результаты этих исследований использовались для оптимизации параметров термообработки, с целью улучшения реакции спекания, при одновременном обеспечении хорошей формуемости и снижении темпа естественного старения. В итоге появился новый сплав *ЕН 6016-Т4П*, который показал лучшее увеличение предела текучести при старении (с 115 до 190 МПа). Были использованы следующие параметры процесса старения: температура 180°C и продолжительность 30 мин. Для сравнения, повышение предела текучести при старении для обычного сплава *ЕН 6016-Т4* составило всего 20 МПа (с 120 до 140 МПа).

Таким образом, *ЕН 6016-Т4П* может быть использован как сплав для тех кузовных панелей, где требуется высокое сопротивление смятию. Окончательный предел текучести этого материала после всех процессов термообработки составляет примерно 200 МПа, причём снижения формуемости по сравнению со сплавом *ЕН 6016-Т4* не происходит.

Ожидается также, что за счёт использования лучших прочностных качеств *ЕН 6016-Т4П*, можно будет снизить размеры панелей, что, несомненно, приведёт к уменьшению цены и веса.

Сопротивление смятию является важной проблемой, решение которой требует комплексного подхода. Особую актуальность эта задача приобретает при предотвращении опасных последствий столкновения. Сопротивление смятию внешних панелей зависит от предела текучести (прочности) материала, толщины, геометрической формы и т.д. Так как дизайн внешних панелей (т.е. их геометрия) не может быть изменён инженером конструктором, то единственными параметрами, которыми он может варьировать становятся толщина и предел текучести. Существуют два типа сопротивления смятию: статическое и динамическое.

Статическое сопротивление смятию – сопротивление деформации, возникающей от действия статических сил. Эти силы могут возникать при прикосновении ладони человека к кузовным панелям во время закрывания дверей (воздействие на дверную панель) и погрузке багажа (воздействие на крышку багажника).

Статическое сопротивление смятию F_{01} (минимальная сила, необходимая для возникновения пластической деформации (вмятины) величиной 0,1 мм) сплава *ЕН 6016-Т4*, подвергнутого предварительному упрочнению, было сравнено со статическим сопротивлением смятию различных сталей. В результате алюминиевый упрочнённый сплав показал лучшее сопротивление смятию, чем любая из сталей.

При ежедневной эксплуатации автомобиля его кузов подвергается по-

стоянному воздействию (ударам) со стороны мелких камешков, щебня и т.д., и это может послужить причиной появления видимых вмятин. Данное явление получило название динамического смятия. Исследования показали, что панель из сплава *EN 6016-T4* толщиной 1,13 мм имеет сопротивление смятию, эквивалентное стальной панели такой же толщины, а для нового сплава *EN 6016-T4П* ожидаются ещё лучшие результаты.

Алюминиевые сплавы, как правило, не так хорошо формуются, как сталь, поэтому процесс их формовки должен быть оптимизирован. Во внешних панелях наибольшие деформации алюминиевых сплавов имеют место при так называемом «хемминг» процессе – очень сильном изгибе алюминиевого листа (до 100°).

Компания *Hugovans* разработала сплав *EN 6016-T4* оптимальный для хемминга, а также хемминг-процесс оптимальный для алюминия. Оба нововведения способствуют улучшению качества процесса и приближают его к хемминг-процессу для стали. В обеих разработках использовалось лабораторное оборудование для хемминг процесса, а также дорогостоящие компьютерные вычисления, позволяющие моделировать оптимальный хемминг-процесс. Предложенный компанией *Hugovans* оптимальный для алюминия хемминг-процесс – двухшаговый.

Другие научно-исследовательские разработки направлены на улучшение поверхностной обработки алюминиевых листов, для того чтобы приблизить свариваемость точечной сваркой и качество окраски к подобным параметрам оцинкованной стали. Обычно, поверхность алюминия не имеет текстуры, но при прокатке листов появляется так называемая МФ-поверхность. Эта поверхность возникает при прокатке тонкого листа между двумя прокатными валиками, не имеющими текстуры. Для улучшения поверхности алюминия применяется электронно-лучевое текстурирование. Этот тип структуры сочетает в себе достаточную грубость поверхности с низкой волнистостью, которые предпочтительны для формовки и окрашивания.

5.6.2. Механические свойства алюминиевых сплавов

Как уже было отмечено, в условиях эксплуатации большинство деталей автомобилей испытывают значительные вибрационные нагрузки. Поэтому для обоснованного выбора материала необходимо располагать не только данными его статической прочности, но и параметрами сопротивления усталостному разрушению в различных условиях эксплуатации.

Однако сведения по сопротивлению деформированных с разной скоростью и степенью деформации алюминиевых сплавов усталостному разрушению на воздухе при разных температурах весьма ограничены, а в коррозионной сре-

де практически отсутствуют. Поэтому исследования в данном направлении весьма актуальны.

Нами были изучены широко применяемые в различных отраслях промышленности алюминиевые сплавы В95пчТ2, 01420, Д19АМ и Д19АТ. Предварительно осажённые на прессе ДО-436 (скорость деформации $\dot{\epsilon} = 0,08 \text{ с}^{-1}$) и молоте МЛ-3 ($\dot{\epsilon} = 100 \text{ с}^{-1}$) с разными степенями деформации ($\epsilon = 0 \dots 40\%$) образцы испытывались на статическое растяжение ("Instron-1115"), знакопеременный симметричный консольный изгиб частотой 25 Гц (специально спроектированная двухпозиционная установка) и консольный изгиб с вращением частотой 50 Гц (машина МИП-8). Натурные испытания штампованных изделий типа гофровых панелей проводились на специальных стендах по пульсирующему циклу от нулевого сдвига частотой 0,2 Гц.

Механические свойства алюминиевых сплавов при статическом растяжении. В табл. 5.14 приведены механические характеристики некоторых алюминиевых сплавов.

Таблица 5.14

Механические свойства при статическом растяжении конструкционных материалов после различных режимов технологической обработки

Материал	Режим обработки	σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	ψ / δ , %	A
Алюминий АД1	Вакуумный отжиг при 280°C, 2ч, вакуум $1,33 \times 10^{-3}$ Па, охлаждение с печью	76	49	—/27	0,26
Алюминий АД1	Отжиг, осадка 5%	79	68	—/23	—
Алюминий АД1	Отжиг, осадка 15%	92	82	—/17	—
Алюминий АД1	Отжиг, осадка 25%	100	84	—/13	—
Алюминиевый сплав 01420	Закалка 450°C, вода	370	240	—/4	0,13
Алюминиевый сплав Д19-М	Холоднокатаный	170	93	9/7	0,21
Алюминиевый сплав В95пч	Закалка 465—475°C, 40 мин, вода, старение 140°C, 16 ч	680	620	17/13	0,05
Алюминиевый сплав Д19АТ	Холоднокатаный	444	248	12/8,5	0,27
Алюминиевый сплав Д19АТ	Растяжение 2%	465	251	10/5	0,26
Алюминиевый сплав Д19АТ	Растяжение 4%	474	256	9/3	0,18
Алюминиевый сплав Д19АТ	Растяжение 10%	511	293	6/2	0,11
Алюминиевый сплав В95пчТ2	Закалка 465—475°C, 40 мин, вода; правка (растяжение в свежезакаленном состоянии 1,7%), двухступенчатое старение 120°C, 5ч; 180°C, 6 ч	566	500	—	0,12

Для алюминиевых сплавов так же, как и для сталей, характерным являются расположение кривых упрочнения тем выше, и численные значения показателей упрочнения тем меньше, чем больше степень предварительной деформации. При этом увеличение степени наклепа обуславливает снижение пластических и повышение прочностных характеристик исследованных металлических материалов.

Подробные результаты усталостных испытаний алюминиевых сплавов представлены в табл. 5.15–5.16.

Таблица 5.15

Уравнения кривых усталости алюминиевых сплавов после различных режимов обработки (консольный изгиб плоских и консольный изгиб вращением круглых образцов, частота 25 и 50 Гц соответственно)

Материал	Режим обработки	$\lg \sigma_a = - \text{tg } \alpha_\omega \lg N + \lg \sigma_{a0}$ или $Y = - A X + B$
1. Алюминий АД1	Отжиг	$Y = - 0,210 X + 2,760$
2. Алюминий АД1	Растяжение 10%, 10^{-3} с^{-1}	$Y = - 0,260 X + 3,045$
3. Алюминий АД1	Растяжение 20%, 10^{-3} с^{-1}	$Y = - 0,430 X + 4,004$
4. Алюминий АД1	Отжиг	$Y = - 0,120 X + 2,280$
5. Алюминий АД1	Осадка 5%, $2 \times 10^{-2} \text{ с}^{-1}$	$Y = - 0,180 X + 2,660$
6. Алюминий АД1	Осадка 15%, $2 \times 10^{-2} \text{ с}^{-1}$	$Y = - 0,170 X + 2,670$
7. Алюминий АД1	Осадка 25%, $2 \times 10^{-2} \text{ с}^{-1}$	$Y = - 0,160 X + 2,670$
8. Сплав Д19АТ	Закалка, естественное старение	$Y = - 0,188 X + 3,205$
9. Сплав Д19АТ	Осадка 5%, 10^{-1} с^{-1}	$Y = - 0,194 X + 3,224$
10. Сплав Д19АТ	Осадка 17%, 10^{-1} с^{-1}	$Y = - 0,229 X + 3,316$
11. Сплав Д19АТ	Осадка 29%, 10^{-1} с^{-1}	$Y = - 0,220 X + 3,219$
12. Сплав В95пчТ2	Закалка, растяжение 1,7%, двух-ступенчатое старение, 20°C	$Y = - 0,160 X + 3,198$
13. Сплав В95пчТ2	Закалка, растяжение 1,7%, двух-ступенчатое старение, 20°C; + 60°C	$Y = - 0,150 X + 3,163$
14. Сплав В95пчТ2	Закалка, растяжение 1,7%, двух-ступенчатое старение, 20°C; +160°C	$Y = - 0,196 X + 3,361$
15. Сплав В95пчТ2	Закалка, растяжение 1,7% и двух-ступенчатое старение, 20°C; +280°C	$Y = - 0,216 X + 3,387$

Установлено, что сопротивление усталости алюминиевых сплавов изменяется неоднозначно в зависимости от температуры, среды и амплитуды приложенного напряжения.

Таблица 5.16

**Результат статистического анализа вероятностных кривых распределения циклической долговечности
алюминиевых сплавов после различных режимов технологической обработки**

Материал	Режим обработки	Условия испытаний		σ_a , МПа	lg N	S	v, %
		Среда	Схема нагружения				
Сплав Д19-АМ	Холоднокатаная	— —	Симметричный кон- соль- ный изгиб, 25 Гц	150	3,780	0,115	3,1
— —	Осадка 9% со скоростью $8 \times 10^{-2} \text{ с}^{-1}$, термообработка	— —	— —	150	4,445	0,184	4,1
— —	Осадка 18% со скоростью $8 \times 10^{-2} \text{ с}^{-1}$, термообработка	— —	— —	150	4,448	0,231	5,2
— —	Осадка 29% со скоростью $8 \times 10^{-2} \text{ с}^{-1}$, термообработка	— —	— —	150	4,636	0,055	1,2
— —	Осадка 40% со скоростью $8 \times 10^{-2} \text{ с}^{-1}$, термообработка	— —	— —	150	4,195	0,240	5,7
— —	Холоднокатаная	раствор соли	— —	150	3,708	0,081	2,2
— —	Осадка 9% со скоростью $8 \times 10^{-2} \text{ с}^{-1}$, термообработка	— —	— —	150	4,342	0,061	1,4
— —	Осадка 18% со скоростью $8 \times 10^{-2} \text{ с}^{-1}$, термообработка	— —	— —	150	4,393	0,109	2,5
— —	Осадка 29% со скоростью $8 \times 10^{-2} \text{ с}^{-1}$, термообработка	— —	— —	150	4,251	0,160	3,8

Примечание: продолжение табл. 5.16 приведено в приложении П 3.1.

5.7. Термообработанные алюминиевые сплавы

Циклическая долговечность алюминиевого сплава В95пчТ2 (закалка-нагрев до 465...475 °С, выдержка 1 ч, охлаждение в воде; правка-растяжение в свежезакаленном состоянии на 1,7%; старение – сначала при 120 °С, 5 ч, а потом – при 180 °С, 6 ч) в коррозионной среде (3%-ный раствор *NaCl* в воде) меньше, чем на воздухе. Уменьшение долговечности под влиянием коррозионной среды особенно характерно для низких амплитуд приложенного напряжения. Например, долговечность в коррозионной среде, по сравнению с испытанием на воздухе, понижается в 1,15 раза при $\sigma_a = 400$ МПа и в 6,3 раза при амплитуде 210 МПа.

Повышение температуры испытания алюминиевого сплава В95пчТ2 (закалка-нагрев до 465...475 °С, выдержка 1 час, охлаждение в воде; правка – растяжение в свежезакаленном состоянии на 1,7%; старение – сначала при 120 °С, 5 часов, а потом – при 180 °С, 6 часов) приводит к снижению величины циклической долговечности, особенно при низких уровнях напряжения. Этому соответствуют уменьшение периода до появления макротрещины и увеличение скорости ее последующего развития.

Так, изменение температуры циклического нагружения данного сплава с 20 до 280 °С при 248 МПа приводит к снижению циклической долговечности ~ в 2,0 раза с ($6,32 \cdot 10^4$ до $3,15 \cdot 10^4$ циклов), уменьшению длительности до зарождения трещины ~ в 2,1 раза (с $4,8 \cdot 10^4$ до $2,3 \cdot 10^4$ циклов) и возрастанию скорости ее последующего роста ~ в 1,7 раза (с 0,285 до 0,474 мкм/цикл). В то время, как при 200 МПа его долговечность уменьшается уже ~ в 2.6 раза (с $2,45 \cdot 10^5$ до $9,55 \cdot 10^4$ циклов), период до зарождения усталостной трещины сокращается ~ в 2,8 раза (с $2 \cdot 10^5$ до $7,25 \cdot 10^4$ циклов), а скорость ее развития увеличивается ~ в 1,9 раза (с $0,10^6$ до 0,200 мкм/цикл).

Циклическая долговечность алюминиевого сплава В95пчТ2 в коррозионной среде меньше, чем на воздухе. Уменьшение долговечности под влиянием коррозионной среды особенно характерно для низких амплитуд приложенного напряжения. Например, долговечность в коррозионной среде, по сравнению с испытанием на воздухе, понижается ~ в 1,15 раза при $\sigma_a = 400$ МПа и ~ в 6,3 раза при амплитуде 210 МПа.

5.7.1. Влияние степени предварительной деформации

Высокопрочный сплав Д19АТ. С ростом $\epsilon_{пр.д}$ плоских образцов из закаленного и естественно состаренного алюминиевого сплава Д19АТ наблюдается монотонное снижение циклической долговечности на воздухе, усиливающееся при понижении амплитуды симметричного консольного изгиба с частотой 25 Гц.

Так, долговечность этого сплава после деформации осадкой на гидро-

прессе до 29% снижается в 3,2 раза при амплитуде 300 МПа и в 4,3 раза – при $\sigma_a = 200$ МПа.

С ростом степени предварительной деформации сплава Д19АТ его долговечность в коррозионной среде наоборот интенсивнее снижается при высоких амплитудах напряжения, чем при низких, и если, например, долговечность сплава в коррозионной среде после 29%-ной деформации уменьшается в три раза при напряжении 300 МПа, то при напряжении 200 МПа – только в 2,6 раза. При этом влияние коррозионной среды на снижение циклической долговечности более существенно для термообработанного состояния, чем деформированного. Так, при амплитуде приложенного напряжения 200 МПа коррозионная долговечность плоских термообработанных образцов из этого сплава в 3,4 раза ниже, чем долговечность на воздухе, в то время как деформированных, например, до 29% – лишь в 2,0 раза. Такая же зависимость наблюдается и при высоких напряжениях.

5.7.2. Влияние скорости пластической деформации

Алюминиевые сплавы Д19АМ и 01420Т. Циклическая долговечность на воздухе алюминиевого сплава Д19АМ с повышением степени деформации при осадке на прессе "Амслер" (9, 18, 29 и 40 % со скоростью деформации $8 \cdot 10^{-2} \text{ с}^{-1}$) возрастает. Образцы после деформирования подвергались закалке (нагрев до 500°C, выдержка 30 мин, охлаждение в воде) и естественному старению. Однако эта зависимость оказывается немонотонной. При амплитуде напряжения 150 МПа максимальную долговечность сплав имеет при степени 29%, когда она увеличивается в $\sim 7,2$ раза.

Деформация до степени 40% приводит после термообработки к укрупнению интерметаллидной фазы в структуре сплава Д19АМ, обуславливающему повышение его долговечности лишь в 2,6 раза (по сравнению с исходным состоянием).

Подобная же закономерность наблюдается при испытании в 3%-ном водном растворе морской соли, но долговечность алюминиевого сплава в исходном состоянии и после штамповки на прессе «Амслер» в 1,2...2,3 раза ниже, чем на воздухе, а ее максимум относится к деформации 18%.

Сопротивление коррозионной усталости сплава Д19АТ с ростом степени деформации, наоборот, интенсивнее снижается при высоких, чем при низких амплитудах, и если, например, долговечность сплава после деформации на 29% в среде 3%-ного водного раствора *NaCl* уменьшается в три раза при напряжении 300 МПа, то при 200 МПа – только в 2,6 раза. При этом эффект снижения долговечности данного сплава под влиянием коррозионной среды более значительный для термообработанного его состояния, чем деформированного. Так, при амплитуде напряжения 200 МПа циклическая долговечность плоских термообработанных образцов сплава Д19АТ в 3,4 раза ниже в коррозионной среде,

чем на воздухе, а после осадки на 29% – лишь в 2,0 раза. Подобная зависимость наблюдается и при высоких уровнях напряжения.

Осадка сплава Д19АМ на молоте (скорость деформации $10 \cdot 10^2 \text{ с}^{-1}$) смещает максимум долговечности в область степени 9%. Коррозионно-усталостное разрушение в этом случае развивается медленнее (в $\sim 1,2$ раза) по сравнению с образцами, деформированными до 9% на прессе (скорость деформации $8 \cdot 10^{-2} \text{ с}^{-1}$), даже при испытании их на воздухе.

Натурные эксперименты, проведенные по схеме пульсирующего сдвига силой 30 кН деталей из алюминиевого сплава Д19АМ, отштампованных на молоте, показывают отсутствие усталостных разрушений в зонах с наибольшими остаточными пластическими деформациями (до 15%), несмотря на действующие там максимальные напряжения, зафиксированные тензодатчиками.

Циклическая долговечность алюминиевого сплава 01420Т при симметричном консольном изгибе с частотой 25 Гц на воздухе плоских образцов, вырезанных вдоль прокатки, после закалки ($460 \text{ }^\circ\text{C}$, 20 мин, охлаждение в воде) во много раз выше (например, при $\sigma_a = 160 \text{ МПа}$ примерно в 18,5 раза) по сравнению с долговечностью сплава после механико-термической обработки: осадка на молоте до степени 18% со скоростью деформации $10 \cdot 10^2 \text{ с}^{-1}$; нагрев до $430 \text{ }^\circ\text{C}$, выдержка 30 мин, охлаждение на воздухе; нагрев до $120 \text{ }^\circ\text{C}$, выдержка 5 часов, охлаждение на воздухе, в результате которой образуются субзерна и микропоры.

Однако такая механотермическая обработка снижает долговечность сплава 01420Т в меньшей мере (при амплитуде 160 МПа в 3,4 раза), чем в случае нагружения образцов в коррозионной среде.

При малоцикловой усталости наблюдается с повышением степени наклепа при осадке на молоте и прессе ($\dot{\epsilon} = 100$ и $0,08 \text{ с}^{-1}$ соответственно) улучшение сопротивления усталости сплава 01420Т, так как в этих условиях нагружения разрушение контролируется механизмом поперечного скольжения дислокаций, который способствует релаксации напряжений в упроченном материале и, вследствие этого, снижению его долговечности. Например, изменение $\epsilon_{\text{пр.д}}$ от 9 до 18 % при осадке на гидропрессе закаленного металла с поперечным направлением волокон прокатки приводит к росту долговечности при $\sigma_a = 190 \text{ МПа}$ на 15% (с 4730 до 5540 циклов).

Деформирование закаленного материала на молоте до $\epsilon_{\text{пр.д}} = 29\%$ повышает циклическую долговечность при $\sigma_a = 210 \text{ МПа}$ образцов с продольным расположением волокон прокатки на 41% (с 2350 до 3610 циклов), а, по сравнению с ними, образцов с поперечными волокнами – в 5,2 раза (с 3610 до 18800 циклов). При этом сопротивление усталости образцов, вырезанных поперек волокон, лучше, чем у вырезанных вдоль. Это наблюдается независимо от технологической обработки алюминиевого сплава 01420 (закалка; деформация с разными степенями, вплоть до 40%, со скоростью $8 \cdot 10^{-2}$ и 10^2 с^{-1} и после-

дующая термообработка) и среды испытания (воздух и 3%-ный водный раствор морской соли). Например, долговечность закаленного сплава 01420Т при амплитуде напряжения 160 МПа в 3,5 раза больше для образцов с поперечным (по сравнению с образцами с продольным) направлением волокон прокатки.

Эта зависимость подтверждается натурными экспериментами, которые показали, что циклическая долговечность листовых изделий (гофровых панелей) из сплава 01420Т, отштампованных с поперечным направлением волокон, превышает долговечность таких же изделий с продольным расположением волокон прокатки. Натурные испытания показали также, что при одной и той же силе пульсирующего сдвига (30 кН) циклическая долговечность штампованных на молоте листовых деталей (гофровых панелей) из сплава 01420Т в 1,7 раза выше, чем из сплава Д19АМ.

Таким образом, натурные испытания гофровых панелей из алюминиевых сплавов 01420Т и Д19АМ подтверждают результаты, полученные на образцах. Так, долговечность листовых изделий из алюминиевого сплава Д19АМ, отштампованных на молоте, в 2,9 раза выше, чем полученных на гидропрессе, что обуславливается значительным физическим упрочнением материала при большой скорости их деформирования. При этом штамповка на молоте существенно повышает стабильность механических характеристик натуральных изделий (разброс экспериментальных данных не превышает 1%).

Из анализа полученных результатов следует, что предварительная объемная с разными степенью и скоростью пластическая обработка алюминиевых сплавов существенно влияет на их эксплуатационную долговечность и, как правило, оказывается значительно выше при штамповке на молоте, чем на прессе.

Таким образом, показана принципиальная возможность расширения ассортимента деталей конструкции автомобилей из высокопрочных алюминиевых сплавов с учетом оптимизации режимов их технологической обработки.

5.8. Прогнозирование коррозионной долговечности деформированных металлов и сплавов

5.8.1. Влияние структуры и свойств поверхности на физические механизмы коррозионно-усталостного разрушения сплавов

По мнению многих авторов, важную роль в задержке и развитии усталостных трещин играет наличие поверхностных (в большинстве случаев оксидных) пленок, состояние которых во многом определяет интенсивность растворения металла и поглощение им водорода. Характер первичных коррозионных повреждений поверхности металлов зависит от многих факторов, в том числе от условий образования и разрушения барьерных оксидных пленок.

Факторы, влияющие на склонность металлов к окислению

На интенсивность процесса коррозии влияет способность металла к окислению. Скорость окисления вполне достаточна, чтобы новые поверхности, образующиеся во время коротких ($10^{-2} \div 10^{-4}$ с) повторяющихся выдержек в первую половину цикла, могли задерживать атомы кислорода. Во второй половине цикла эти атомы переходят с поверхности на определенную глубину, создавая препятствие для движения дислокаций и способствуя, в конечном итоге, росту трещин.

Известно (Н.М. Гринберг), что увеличение долговечности при испытании материала в вакууме обуславливается замедлением скорости роста трещин из-за большего, чем на воздухе, размера пластической зоны и локальных процессов в её вершине (снижение расклинивающего действия оксидных пленок; схватывание свежесформированных поверхностей в устье трещины и отсутствие адсорбции металлом кислорода во время раскрытия трещины; облегчение релаксации напряжений, способствующей равномерности деформации). При этом отмечается (В. Томкинс), что наблюдаемые на поверхности разрушения вязкие бороздки и расстояние между ними коррелируют с максимальным размером пластического раскрытия вершин трещины.

Для анализа влияния коррозионных сред на циклическую трещиностойкость материалов особое внимание приобретает явление закрытия трещин (Г.Н. Никифорчин). При прочих равных условиях закрытие трещины должно быть более эффективно в металлах с высокой коррозионной способностью.

Склонность металла к образованию коррозионных пленок принято оценивать величиной и знаком его стандартного электродного потенциала. Сопоставление электродных потенциалов в водных растворах при 25°C металлов с решетками ГЦК, ОЦК и ГП с энергией дефекта упаковки (э.д.у.) показывает (Г.П. Гусякова), что их величина тем меньше, чем выше значение э.д.у., что связывается с увеличением искажения решетки в ядре нерасщепленной дислокации, обуславливающего низкую энергию удаления электрона или атома с поверхности металла, а, следовательно, его низкую термодинамическую устойчивость. Это подтверждается анализом литературных данных, где металлам с большой величиной э.д.у. соответствует большая скорость коррозии.

Известно (Л.Д. Соколов), что у металлов с одинаковой кристаллической решеткой величина структурно-чувствительного показателя A в уравнении кривой деформационного упрочнения при статическом нагружении тем меньше, чем выше их э.д.у. В работе (В.А. Кроха) рассматривается изменение величины показателя A конструкционных материалов в зависимости от различных факторов (химического состава, режимов термической и пластической обработки, размера зерна и др.). Так, повышение содержания углерода и легирующих элементов в сталях приводит к уменьшению величины A .

Возникающая на структурных дефектах и примесях концентрация ло-

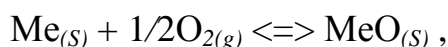
кальных напряжений и электрохимическая активация инициирует избирательное растворение металла и способствует возникновению на его поверхности коррозионных повреждений. Следовательно, можно ожидать усиление электрохимической активности с более ранним переходом металлов в пассивное состояние при уменьшении величины показателя степени деформационного упрочнения. Действительно, сопоставление опубликованных данных (Д.Г. Туфанов) показывает, что металлы и сплавы с меньшим значением A имеют более отрицательный начальный электродный потенциал.

Так как в материалах в исходном (недеформированном) состоянии повышенная концентрация местных напряжений и термодинамической неустойчивости локализуется в первую очередь по границам зерен, то должно наблюдаться более существенное снижение сопротивления усталостному разрушению в коррозионной среде по сравнению с испытанием на воздухе у металлических материалов с меньшим значением величины показателя A , чем с большим. Это подтверждается анализом результатов усталостных испытаний стали 45 (В.И. Похмурский), где показано, что при циклическом нагружении в 3%-ном водном растворе морской соли значительно большей чувствительностью к влиянию коррозионной среды ($\beta = \sigma_{-1c}/\sigma_{-1}$, где σ_{-1c} и σ_{-1} – предел выносливости в коррозионной среде и на воздухе, соответственно) обладает сталь с мартенситной структурой ($\beta = 0,09$; $A = 0,13...0,14$) по сравнению с трооститной и сорбитной ($\beta = 0,24...0,37$; $A = 0,175...0,205$), перлит-ферритной ($\beta = 0,42$; $A = 0,23...0,27$) структурой.

Чем выше скорость смещения потенциала в отрицательном направлении в данной среде, тем быстрее металл переходит в пассивное состояние, что характерно для металлов с высокой э.д.у., к которым относятся легко пассивирующиеся, например, W, Mo, Cr, Al. При легировании ими слабо пассивирующихся металлов они передают им свою склонность к пассивации в случае образования сплавов типа твердых растворов (Д.Г. Туфанов). На этом принципе основано, в частности, получение хромоникелевых и хромистых нержавеющей сталей.

Сопротивление коррозионной усталости определяется образованием защитных барьерных пленок, понижающих скорость коррозии при отсутствии напряжений и непрерывно разрушающихся при циклическом нагружении, а также концентрацией напряжений, вызываемой повреждением поверхности, возникновением на ней коррозионных каверн.

В общем виде окисление металла Me до MeO_x , описывается реакцией:



где (S) – поверхность; (g) – газ, определяется изменением свободной энергии Гиббса ΔG в результате реакции:

$$\Delta G = \Delta G_{MO}^o + RT \ln(a_{MO}/\{a_M\}\{P_{O_2}\}^{1/2}),$$

где a – активности трех фаз; P_{O_2} – парциальное давление водорода; ΔG – стандартная свободная энергия образования указанного соединения.

Спонтанное протекание прямой реакции (окисления) будет вероятным при $\Delta G < 0$, а самопроизвольная обратная реакция (восстановления) будет происходить при $\Delta G > 0$. Условие $\Delta G = 0$ определяет особый случай равновесия между металлом и его оксидом.

При оценке коррозионных процессов принято определять скорость коррозии по величине коррозионного тока, например, по данным Л.Л. Шрайдера, скорость анодного растворения, выраженная через скорость распространения трещины при коррозионном растрескивании, определяется

$$V = i_a \cdot M / Z \cdot F \cdot \rho,$$

где i_a – плотность анодного тока; M – молекулярная масса металла; Z – валентность сольватированных ионов; F – постоянная Фарадея; ρ – удельный вес.

Склонность металла к разрушению при коррозии под напряжением связана с наличием анодных участков и коррозионно-активных путей. Анодные участки могут образовываться при микроструктурной и химической неоднородности сплавов. К ним относятся границы зерен, включения, дефекты решетки и структуры (дислокации; их скопления; микроучастки, обогащенные растворенными атомами, на дефектах кристалла), местные разрушения пленки, начальные микротрещины.

Коррозионно-активные пути – это движущиеся дефекты решетки и микросегрегации атомов растворенного компонента на движущихся дефектах решетки у острия трещины, новые композиционно-нестойкие фазы, зарождающиеся при деформации у острия трещины, участки под разрывами пленки, образующиеся при деформации металла.

Локальное анодное растворение и микропластическая деформация в вершине микротрещины взаимосвязаны: пластическая деформация снижает электродный потенциал металла и, следовательно, увеличивает скорость растворения (Э.М. Гутман); анодное растворение ускоряет процесс пластической деформации, облегчая выход дислокаций на поверхность вследствие удаления поверхностных барьеров, препятствующих выходу дислокации (механизм Эвальда-Поляни).

Скорость роста микротрещин преимущественно анодного контроля растворения (О.И. Стеклов) определяется

$$K = A \cdot \Delta \phi / (n \cdot F \cdot \rho \cdot S \cdot R_T),$$

где A – относительная атомная масса; n – валентность металла; $\Delta \phi$ – разность потенциалов в вершине и стеке микротрещины; F – число Фарадея; ρ – плотность металла; S – площадь поверхности трещины; R_T – общее кинетическое сопротивление системы.

На зависимость скорости растворения ювенильной поверхности металла при коррозии (закон Фарадея) от его плотности указывается в работах В.И. Похмурского.

Влияние предварительной термической и пластической обработки на пассивацию металлов

Несмотря на огромный объем литературы о пассивности материалов, в настоящее время нет единой концепции природы пассивации. Это связано с тем, что кинетика электродного процесса, в частности анодного, является функцией многих переменных, включая природу металла, строения его поверхности, природу электролита и, кроме того, время, в течение которого изменяются эти переменные.

Существуют две господствующие гипотезы пассивности металла (В.В. Скорчеллетти): пленочная и адсорбционная.

Пленочный механизм пассивности металлов предполагает наличие на их поверхности тонкой безпористой пленки оксида, изолирующей металл от воздействия агрессивной среды.

Согласно второй гипотезе, пассивность металла обусловлена наличием на его поверхности адсорбированного пассивирующего слоя кислорода, толщина которого составляет монослой или даже доли монослоя.

В некоторых работах дается попытка сближения адсорбционного и пленочного механизмов пассивации. При этом считается, что на поверхности благородных металлов образуется адсорбционный слой кислорода, а неблагородных - фазового оксида (Л.И. Гурский и В.А. Зеленин), так как практически наиболее важным является процесс взаимодействия металла с кислородом.

Кинетика роста, структура и свойства оксидной пленки зависят от ее термодинамической стабильности, особенностей кристаллического строения, объемного и кристаллохимического соответствия металлу, а также от состояния поверхностного слоя металла, распределения напряжений в нем, его текстуры и плотности дефектов. Поэтому можно ожидать существенного влияния пластической деформации материалов на кинетику роста и структуру оксидных пленок.

Действительно было установлено, что предельный ток пассивации при снятии анодных поляризационных кривых существенно выше у отожженных никеля (Б.А. Мовчан, Л.Н. Ягупольская) и титана (Н.Д. Томашов, Ю.М. Иванов) по сравнению с деформированными. Большую склонность перехода деформированных металлов в пассивное состояние, по сравнению с отожженными, наблюдали и в других работах. При этом выявлено, что если на поверхности отожженного металла оксидные пленки образуются преимущественно по границам зерен, то на деформированном – по всей поверхности (Л.И. Гурский, В.А. Зеленин).

Изменение плотности металла при термической и пластической обработке

Феноменологический критерий деформируемости базируется на сложившихся в настоящее время представлениях о закономерностях влияния истории термической, МТО и пластической обработки на накопление повреждений.

Один из способов оценки повреждений, образующихся в материале в процессе деформирования, сводится к идее связать меру поврежденности металла с изменением его плотности (В.А. Скуднов).

Плотность металлов и сплавов является одной из важнейших физических характеристик. Она зависит от фазового и структурного состояний материала и происходящих в нем превращений.

Изменение плотности различных металлов в процессе пластической деформации наблюдали и в других работах, причем максимальное уменьшение плотности достигало 1%. Изменение плотности такого порядка связано с появлением в металле определенного количества несплошностей - субмикротрещин. В.Н. Гриднев и другие исследовали изменение плотности алюминия и меди при волочении. Плотность меди при деформации до 50÷60% увеличивалась, а плотность алюминия не изменялась и была равна примерно 2,7 г/см³.

Закономерности изменения плотности металлов при обработке давлением подробно рассмотрены в работах В.А. Скуднова. Установлено, что с увеличением степени деформации конструкционных материалов их плотность может измениться в любую сторону (как увеличиваться, так и уменьшаться), что обусловливается природой материала, предысторией обработки (термической, пластической и др.), показателем деформационного состояния и т.д.

А.М. Паршин также отмечает неоднозначность зависимости изменения плотности металлических материалов от степени их обжатия.

Влияние структуры и свойств поверхностных слоев на коррозионно-усталостное разрушение металлов

Еще И.А. Одинг в свое время указывал, что при циклическом нагружении в поверхностных слоях металла все процессы, связанные с собиранием вакансий и зарождением усталостных трещин, идут с опережением и вся структурная повреждаемость концентрируется у поверхности. Этим представлениям соответствует обнаруженная (например, В.Ф. Терентьевым) в приповерхностном слое значительная большая плотность дислокаций других повреждений при усталостном испытании материалов. Роль характера повреждаемости поверхности металла возрастает при коррозионной усталости.

Качество поверхности материала определяется ее шероховатостью (микрорегеометрией), характеризуемой либо средним арифметическим отклонением профиля (R_a , мкм), либо высотой неровностей (R_z , мкм). Анализ профилограмм поверхности образцов, деформированных различными методами, показал (Э.М. Радецкая), что способ деформации влияет не только на высоту пиков микронеровностей, но и их число на единицу длины, а истинная поверхность даже исходного (циклически ненагруженного) материала заметно превосходит видимую (габаритную) поверхность образца. Кроме шероховатости, степени наклепа и остаточных микронапряжений к параметрам качества поверхностного слоя относятся: параметры кристаллической решетки, плотность дислокаций

и концентрация вакансий; размеры блоков, фрагментов и их взаимная разориентировка; микронапряжения и напряжения 3-го рода (В.М. Сорокин, А.М. Сулима и др.).

Характеристика состояния поверхностного слоя металла обусловлена суммарным воздействием на него механических, тепловых и физико-механических факторов на предварительных и окончательных операциях технологической обработки, а также особым энергетическим состоянием атомов поверхности, следствием чего является наличие высокого уровня свободной поверхностной энергии и большая адсорбционная активность. На реальной металлической поликристаллической поверхности основными дефектами (помимо тех, которые обусловлены выходом дислокации) являются следы выхода границ зерен, поверхностная энергия которых составляет примерно четверть поверхностной энергии твердой фазы. Методом автономной микроскопии А.Г. Атанасянцем установлено, что границы между зернами являются слоем смещенных атомов, ширина которого имеет порядок $2\div 3$ межатомных расстояний.

Поверхность металла обладает повышенной химической активностью и в реальных условиях неизбежно адсорбирует атомы элементов окружающей среды, покрываясь слоями адсорбированных газов, паров воды и жиров. Слой жира достигает нескольких сот микрометров, пленка водяных паров составляет $50\div 100$ молекулярных слоев. Жировые пленки прочно связаны с поверхностью металла и трудно удаляются механическими и химическими средствами. Воздействие внешней среды приводит к образованию на поверхности металла различных соединений, прежде всего различных оксидов. Толщина наружной пленки в металлах равна примерно $20\div 100$ Å ($10\div 20$ молекулярных слоев).

Пластическая деформация повышает как термодинамическую возможность образования оксида на поверхности металла, так и скорость этого процесса, при этом строение и скорость возникновения пассивирующей пленки на металле тесно связаны с состоянием поверхности. Возрастание плотности активных мест на поверхности деформированного материала способствует появлению большого количества зародышей оксида, рост которых приводит к более быстрому образованию сплошной пассивирующей пленки, чем на поверхности недеформированного металла (Л.И. Гурский, В.А. Зеленин).

Рентгенографические исследования показывают (А.Г. Атанасянц), что энергия искривления кристаллической решетки при пластической деформации металла распределяется по объему очень неравномерно: около 99% остаточной энергии деформации сосредотачивается в тонких слоях возле плоскостей сдвига, охватывающих лишь $2\div 3\%$ общего числа атомов. Здесь искривление решетки, создающей локальную концентрацию напряжений, чрезвычайно велико, и энергия деформации достигает $20\div 40$ кДж/моль, что превращает зону возле дислокаций и плоскостей сдвига в наиболее активные места при взаимодей-

ствии металла с внешней средой. Это приводит к смещению равновесного потенциала в отрицательную сторону.

Так, электродный потенциал отожженного Армко-железа после деформации растяжением в области выхода плоскостей скольжения на поверхность зерна на 20 мВ отрицательнее, чем потенциал области этого же зерна, свободной от линий скольжения.

Л.И. Гурским и В.А. Зелениным с учетом данных работы С.Д. Чебана было получено выражение, связывающее сдвиг равновесного электродного потенциала $\Delta\phi$ с изменением плотности дислокаций и прочих дефектов в поверхностном слое деформированного металла:

$$\Delta\phi = - R \cdot T / (Z \cdot F) \ln(\rho' / \rho),$$

где R – газовая постоянная; T – абсолютная температура; Z – валентность; F – число Фарадея; ρ' и ρ – плотность дислокаций в поверхностном слое деформированного и недеформированного металла соответственно.

Усталостное нагружение металлов в коррозионной среде приводит к более интенсивному, чем на воздухе, росту плотности дислокаций с более сложным их взаимодействием. Работами школы П.А.Ребиндера было показано, что в результате адсорбции поверхностно-активных компонентов на внешней поверхности металла облегчается сдвигообразование и число сдвигов в поверхностных зернах возрастает.

Предшествующие образованию усталостных трещин в коррозионной среде процессы сдвигообразования, выхода дислокаций и других повреждений на поверхность материала приводят к смещению общего электродного потенциала в сторону отрицательных значений.

Таким образом, влияние предварительной пластической деформации на зарождение коррозионно-усталостных процессов связано не с усилением общей коррозии, а со значительным увеличением электрохимической неоднородности поверхности металла, вызванной повышением ее повреждаемости, упрочнением и ростом локальных напряжений, приводящих к избирательному растворению материала на участках повышенной активности.

При этом с ростом степени предварительной равномерной деформации величина показателя A уменьшается тем в большей мере, чем выше скорость деформации и ниже э.д.у. материала, чему соответствует снижение концентрации локальных напряжений и повышение релаксационной способности материала.

Следовательно, равномерная пластическая деформация, приводящая к уменьшению величины показателя степени деформационного упрочнения, должна снижать чувствительность деформированных металлических материалов к влиянию коррозионной среды за счет нивелирования электрохимической активности поверхности, контактирующей со средой.

5.8.2. Сравнительная оценка долговечности в коррозионной среде и на воздухе деформированных конструкционных материалов кузова

Ранее было показано, что коррозионно-усталостное разрушение развивается, как правило, из нескольких очагов и инициируется повреждением поверхности, возникновением на ней локальных очагов коррозии на участках термодинамической неустойчивости.

Вероятность разрушения при циклическом нагружении в коррозионной среде конструкционных материалов, согласно теории влияния на конечный результат конкуренции одновременно происходящих явлений, определяется вероятностью возникновения и увеличения числа дефектов в процессе коррозионной усталости и уменьшения их вследствие релаксационных процессов

Вероятность появления коррозионно-усталостных повреждений поверхности металла соответствует уравнению

$$dP = P \cdot \xi \cdot \Delta \varepsilon_a \cdot \gamma \cdot \frac{1}{\Delta m/S}, \quad (5.1)$$

где $P = 1/N$ – вероятность коррозионно-усталостного разрушения, соответствующего числу циклов N (по Т. Екобори); $\Delta \varepsilon_a$ – истинная амплитуда пластической деформации; ξ – коэффициент, учитывающий влияние коррозионной среды на зарождение микротрещин в процессе усталости; γ – плотность металла при циклическом нагружении (кг/м^3); $\Delta m/S$ – учитывает образование на поверхности металла $S(\text{м}^2)$ оксидных пленок, увеличивающих массу на Δm (кг). Вследствие пассивации защитный слой обладает более высокой коррозионной стойкостью по сравнению с основным металлом; $d\Pi$ — изменение скорости проникновения коррозии вглубь металла с учетом повреждаемости в процессе циклического нагружения, м/с.

На основании анализа явления коэффициент ξ можно представить в виде функции:

$$\xi = K_\sigma \cdot t_c,$$

где t_c – время воздействия коррозии при циклическом нагружении, с; K_σ – коэффициент концентрации напряжений (его роль обусловлена тем, что коррозионные повреждения начинаются в местах повышенной концентрации напряжений).

Учитывая множественное образование коррозионных трещин по всей поверхности опасного сечения образца при коррозионной усталости, их роль как концентраторов напряжений снижается по сравнению с выносливостью на воздухе. Однако незначительному изменению K_σ (от 1 до 2) соответствует большое изменение коэффициента концентрации деформаций – K_ε изменяется от 2 до 5 –

(Н.А. Махутов), а следовательно, максимальных местных упругопластических деформаций.

Согласно Н.А. Махутову,

$$K_{\sigma} = K_{\varepsilon}^A,$$

где A – показатель степени в уравнении кривой деформационного упрочнения при статическом нагружении.

При пластической деформации, отличной от равномерной ($\varepsilon \neq \varepsilon_p$), наблюдается большее, чем при ε_p , усиление электрохимической гетерогенности материала, анодные процессы локализуются по месту концентрации напряжений.

Л.Д. Соколовым с сотрудниками установлено, что большая неравномерность пластической деформации наблюдается при малых степенях деформации, локализирующихся в узких и редких полосах скольжения, а также в момент образования и развития шейки образца, особенно для материалов с низким показателем деформационного упрочнения A .

Влияние на величину показателя A химического состава, предварительной пластической обработки, размера зерна, температуры и скорости испытания рассматривается в работе В.А. Крохи.

Показатель глубинной коррозии I или величина проникновения коррозии в местах повреждений (Д.Г. Туфанов):

$$\dot{I} = \frac{V_c}{\gamma} \quad \text{или} \quad d\dot{I} = \frac{V_c}{\gamma^2} d\gamma, \text{ м/с}, \quad (5.2)$$

где V_c – скорость коррозии материала при наличии пластической деформации кг/(м²с).

Скорость протекания коррозионных процессов пластически деформированных материалов описывается уравнением:

$$V_c = V_{co} \cdot e^{\frac{Z \cdot F(\varphi_o \pm \varphi_{\varepsilon})}{R \cdot T}}, \quad (5.3)$$

где V_{co} – некоторая начальная скорость коррозии материала (константа); Z – валентность металла в ионизированном состоянии; F – число Фарадея (96485,3 Кл/моль); R – универсальная газовая постоянная (8,314 Дж/[град·моль]); T – термодинамическая (абсолютная) температура, К; φ_o – стационарный электродный потенциал материала в конкретной среде, В; $\Delta\varphi_{\varepsilon}$ – смещение (изменение) электродного потенциала под действием пластической деформации металла, (наибольший вклад в разблагораживание вносят структурные несовершенства металла), В.

Многочисленные исследования влияния пластической деформации на смещение потенциала и скорость анодного растворения показали, что с ростом степени деформации стационарный потенциал металла смещается, как правило, в отрицательную сторону. Деформированный материал легче окисляется, чем

отожженный. Основной причиной сдвига потенциала у деформированного металла является увеличение микроискажений кристаллической решетки, приводящих к повышению энергии поверхностного слоя.

Плотность тока пассивации и сдвиг стационарного потенциала $\Delta\varphi_\varepsilon$ увеличивается в катодную область обратно пропорционально количеству (соответственно, плотности) дефектов поверхности металлических материалов.

В частности Атанасянцем А.Г. установлено, что с ростом степени предварительной деформации до $\varepsilon = 20\%$ стандартный потенциал металла смещается в катодную область на величину, определяемую уравнением

$$\Delta\varphi_\varepsilon = (R \cdot T / Z \cdot F) \cdot \ln \rho' / \rho,$$

где ρ' – плотность дислокации в поверхностном слое деформированного металла; ρ – плотность дислокации в поверхностном слое отожденного металла.

Таким образом, пластическая деформация повышает как термодинамическую возможность образования оксидных слоев на поверхности металла, так и скорость этого процесса.

В то же время величина и знак смещения стандартного потенциала в определенной степени зависят от режима предварительного деформирования металлических материалов, например, по данным Л.И. Гурского и В.А. Зеленина с ростом степени деформации при дробной холодной прокатке (в отличие от прокатки за один проход) наблюдается повышение величины электродного потенциала, что связывается с возникновением прочной защитной оксидной пленки на поверхности за счет когерента связанных параметров решетки окисла и текстурированного металла, более высокой термодинамической устойчивостью поверхностного слоя вследствие образования мелкоблочной и высокодисперсной структуры, препятствующей образованию активных коррозионных микропар на поверхности металлических материалов.

В связи с тем, что время пассивации металлов в нейтральных средах типа морской воды больше времени полуцикла при циклическом нагружении, «разблагораживание» электродного потенциала φ должно плавно нарастать в соответствии с уровнем накопленной пластической деформации.

Таким образом, при знакопеременном нагружении образца интегральный электродный потенциал его поверхности (до появления на ней трещин) в процессе нагружения будет плавно становиться более отрицательным (О.И. Стеклов).

После подстановок получаем:

$$dP_l = -P \cdot k_\varepsilon^A \cdot V_{c_0} \cdot e^{-\frac{Z \cdot F(\varphi_0 \pm \Delta\varphi_\varepsilon)}{R \cdot T}} \cdot \Delta\varepsilon_a \cdot \frac{1}{\Delta m/S} \cdot t_c \cdot \frac{d\gamma}{\gamma} \quad (5.4)$$

Так как процесс релаксации уменьшает действие локальных концентраторов напряжений при знакопеременном нагружении, то вероятность появления трещин снижается на величину:

$$dP_2 = P \cdot V \cdot dt, \quad (5.5)$$

где V – скорость разупрочняющих процессов, оцениваемая уравнением Аррениуса:

$$V = v_0 \cdot \exp[-U(\sigma) / k \cdot T], \quad (5.6)$$

где v_0 – частотная характеристика материала (множитель); $U(\sigma)$ – энергия активации процесса разупрочнения, зависящая от напряжения, Дж; k – постоянная Больцмана ($1,3806 \cdot 10^{-23}$ Дж/К); T – абсолютная температура, К;

$$dt = \frac{d\Pi}{\omega \cdot \Pi}, \quad \text{тогда} \quad dP_2 = \frac{P \cdot V}{\omega} \cdot \frac{d\Pi}{\Pi}. \quad (5.7)$$

Таким образом, итоговое выражение вероятности уменьшения поврежденности, количества дефектов и усталостных микротрещин вследствие релаксации принимает вид

$$dP_2 = -\frac{v_0}{\omega} \cdot e^{-\frac{U(\sigma)}{k \cdot T}} \cdot \frac{d\gamma}{\gamma}. \quad (5.8)$$

С учетом $P_\varepsilon = 1/N_\varepsilon$ (вероятность коррозионно-усталостного разрушения пластически деформированных материалов за N_ε циклов, по Т. Екобори) и времени циклического нагружения $t = 1/\omega$, после подстановок и преобразований получаем

$$\ln \frac{N_\varepsilon}{N_{\varepsilon c}} = t \cdot \left(\frac{1}{\Delta m / S} \cdot k_\varepsilon^{A_\varepsilon} \cdot V_{c_0} \cdot e^{-\frac{Z \cdot F \cdot (\varphi_0 \pm \Delta \varphi_\varepsilon)}{R \cdot T}} \cdot \Delta \varepsilon_a \cdot \omega \cdot t_c - v_0 \cdot e^{-\frac{U(\sigma)}{k \cdot T}} \right) \cdot \ln \frac{\gamma_\varepsilon}{\gamma_{\varepsilon c}}$$

Анализ полученного уравнения показывает, что отношение циклической долговечности на воздухе к долговечности в коррозионной среде предварительно деформированных металлических материалов уменьшается:

- с сокращением времени циклического нагружения t ;
- понижением величины показателя упрочнения A_ε (уменьшается с ростом степени равномерной предварительной пластической деформации, а у металлов с одинаковой кристаллической решеткой – с ростом э.д.у.);
- понижением неравномерности деформации, усиливающейся при степенях, отличных от ε_p ;
- увеличением значения электродного потенциала поверхности металла ($\varphi_0 \pm \Delta \varphi_\varepsilon$);

- понижением температуры циклического нагружения T и истинной амплитуды пластической деформации $\Delta\epsilon_a$;
- уменьшением частоты циклического нагружения ω и времени коррозионного воздействия t_c ;
- понижением энтальпии активации процесса разупрочнения $U(\sigma)$;
- увеличением относительного изменения массы металла за счет образования пассивированного слоя и изменения истинной геометрической протяженности профиля поверхности $\Delta m/S$;
- понижением величины отношения плотностей материала при циклическом нагружении на воздухе и в коррозионной среде $\gamma_\epsilon/\gamma_{\epsilon c}$, зависящих от характера дефектности материала.

Величина отношения $N_\epsilon/N_{\epsilon c}$ возрастает с уменьшением плотности $\gamma_{\epsilon c}$, обусловленной характером поврежденности материалов под воздействием циклических нагрузок и коррозионной среды.

Следовательно, эффект степени предварительной пластической деформации на отношение долговечности $N_\epsilon/N_{\epsilon c}$ (эффект снижения долговечности в коррозионной среде) при адекватных условиях фактически оценивается двумя параметрами: смещением стандартного электродного потенциала $\pm \Delta\phi$ и показателем упрочнения A_ϵ материала после его пластической обработки, что согласуется с ранее сделанными выводами.

Рост степени равномерной предварительной деформации обычно уменьшает величину показателя упрочнения и сдвигает равновесный электродный потенциал в отрицательную сторону. Например, по данным Л.И. Гурского и В.А. Зеленина, смещение потенциала $\Delta\phi$ достигает 7 мВ у меди М1 и 36 мВ – у стали 08кп. А так как эти параметры имеют однонаправленное действие, то при прочих равных условиях чувствительность деформированных металлических материалов к коррозионно-усталостному разрушению можно оценивать по изменению величины показателя степени деформационного упрочнения при статическом нагружении.

При этом снижение величины показателя A_ϵ в результате предварительной пластической обработки материала в области равномерных деформаций должно обуславливать повышение сопротивления коррозионно-усталостному разрушению, а величина отношения $N_{\epsilon c}/N_\epsilon$ – возрастать вследствие увеличения коррозионной долговечности $N_{\epsilon c}$.

Следовательно, согласно полученному аналитическому уравнению, эффект влияния структуры и свойств после пластической деформации на относительные изменения циклической долговечности металлов и сплавов в коррозионной среде по сравнению с долговечностью на воздухе ($N_{\epsilon c}/N_\epsilon$) при прочих равных условиях можно оценивать по величине показателя A деформационного упрочнения при статическом нагружении: снижению в результате пластической

обработки величины A_ε должно соответствовать повышению относительной коррозионной долговечности ($N_{\varepsilon c}/N_\varepsilon$).

5.8.3. Сопротивление коррозионно-усталостному разрушению материалов

Анализ результатов экспериментов показывает, что корреляция параметров усталостного разрушения металлических материалов при циклическом нагружении в коррозионной среде с пределом текучести $\sigma_{0,2}$ и прочности σ_B отсутствует.

Например, с ростом степени предварительной деформации до 29% пределы прочности и текучести горячекатаных сталей 07ГСЮФТ и 08ГСЮТ, холоднокатаной стали 08кп и алюминиевого сплава Д19АТ повышаются. Однако ограниченный предел коррозионной выносливости σ_{RC} на базе 10^5 циклов возрастает у сталей 07ГСЮФТ и 08ГСЮТ, но снижается у стали 08кп и сплава Д19АТ, а отношения $\sigma_{RC\varepsilon} / \sigma_{B\varepsilon}$ и $\sigma_{RC\varepsilon} / \sigma_{0,2\varepsilon}$ ($\sigma_{RC\varepsilon}$, $\sigma_{B\varepsilon}$, и $\sigma_{0,2\varepsilon}$ – ограниченный предел коррозионной выносливости, пределы прочности и текучести деформированного материала, соответственно) изменяются неоднозначно.

Эффект пластического деформирования на сопротивление коррозионной усталости сталей 20Х13 и 14Х17Н2 мартенситного класса оказывается различным при высоких и низких амплитудах напряжений, хотя σ_B и $\sigma_{0,2}$ с ростом степени деформации увеличиваются. На базе испытания 10^5 циклов величина отношений $\sigma_{RC\varepsilon} / \sigma_{B\varepsilon}$ и $\sigma_{RC\varepsilon} / \sigma_{0,2\varepsilon}$ после деформации да 25% уменьшается.

Для закаленной и высокоотпущенной стали 40Х с ростом предварительной деформации до 22% монотонно повышаются пределы прочности и текучести, а отношения $\sigma_{RC\varepsilon} / \sigma_{B\varepsilon}$ и $\sigma_{RC\varepsilon} / \sigma_{0,2\varepsilon}$ изменяются неоднозначно.

Отжиг холоднокатаных меди М1 и латуни Л63 способствует более значительному снижению долговечности в коррозионной среде (например, в 2,6 раза у М1 при $\sigma_a = 200$ МПа и в 1,2 раза у Л63 при $\sigma_a = 300$ МПа), чем пределов прочности и текучести (соответственно в 1,3 и 2,0 раза у М1 и в 1,1 и 1,9 раза у Л63).

Предварительная деформация до 25% увеличивает коррозионную долговечность холоднокатаной латуни Л63 с $3,44 \cdot 10^4$ до $1,04 \cdot 10^5$ циклов ($\sigma_a = 300$ МПа), то есть в 3,0 раза, а σ_B и $\sigma_{0,2}$ – лишь в 1,3 раза (с 411 до 537 МПа) соответственно.

Зависимость эффекта предварительной пластической деформации на изменение ограниченного предела выносливости на базе 10^6 циклов от величины отношения $\sigma_B / \sigma_{0,2}$ для материалов в термообработанном состоянии аппроксимируется уравнением (Г.П. Гусякова)

$$\sigma_{RC\varepsilon} / \sigma_{RN} = 0.445 \cdot \exp(0,65 \cdot \sigma_B / \sigma_{0,2}), \quad r = 0,75.$$

Из него следует, что при отношении $\sigma_B / \sigma_{0,2} < 1,5$ предварительное деформирование способствует снижению сопротивления материалов усталостному разрушению на воздухе. В условиях коррозионной усталости корреляции $\sigma_{RC\varepsilon} / \sigma_{RN}$ с $\sigma_B / \sigma_{0,2}$ не наблюдается.

На практике иногда используются коэффициенты $\sigma_{RC} / \sigma_{RN}$ и N_c/N (N_c – коррозионная долговечность). Полученные опытные данные показывают, что с ростом степени предварительной деформации величины отношений $\sigma_{RC\varepsilon} / \sigma_{RN\varepsilon}$ и $N_{c\varepsilon} / N_\varepsilon$ изменяются неоднозначно, в то время как $\sigma_{B\varepsilon}$ и $\sigma_{0,2\varepsilon}$ возрастают, то есть взаимосвязи между этими параметрами не обнаруживается.

Однако экспериментально установлена зависимость (рис. 5.10) относительного изменения долговечности материалов в среде 3%-ного водного раствора морской соли $N_{c\varepsilon} / N_\varepsilon$ от изменения их способности к деформационному упрочнению при статическом нагружении под воздействием пластической обработки, подтверждающая сделанные теоретические выводы.

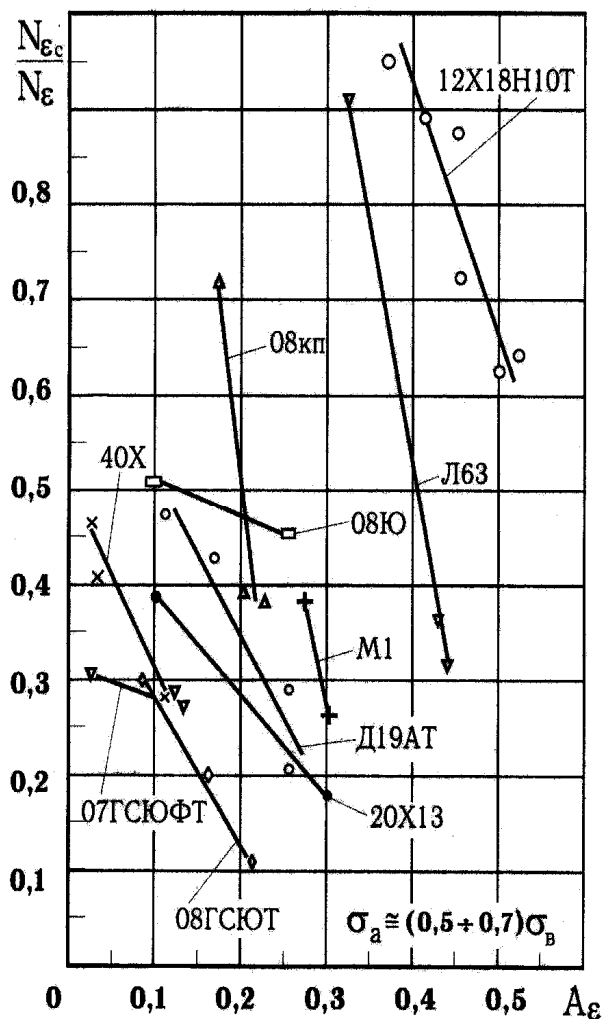


Рис. 5.10. Зависимость относительной коррозионной долговечности сплавов от изменения их способности к деформационному упрочнению при статическом нагружении после предварительной пластической обработки

6. НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ В КУЗОВОСТРОЕНИИ

6.1. Применение пластмасс в кузовостроении

Применение пластмасс в кузовостроении началась с 1953 года, когда фирма *General Motors* выпустила серию (315 шт.) легковых автомобилей *Chevrolet Corvette* со стеклопластиковыми кузовами. В СССР экспериментальные работы с пластмассовыми (стеклопластик) кузовами велись с 1958 года: ЗИЛ изготовил опытный образец спортивного легкового автомобиля ЗИЛ-112/4; несколько позже в НАМИ сделали гоночный автомобиль НАМИ-041М, в МВТУ им. Н.Э. Баумана – экспериментальный легковой автомобиль общего назначения; в 1963 году НАМИ построил экспериментальную пластмассовую кабину для автомобиля "Урал-375", предназначенного для эксплуатации на Крайнем Севере, при температурах наружного воздуха до 213 К (-60 °С), а в 1970 году совместно с РАФом – микроавтобус с бескаркасным пластиковым кузовом. Дело не ограничилось экспериментальными конструкциями: с 1964 года началось мелкосерийное производство стеклопластиковых кабин для четырехосных автомобилей БАЗ-135, а также многоосных МАЗ и КЗКТ, разработанных по заказу Министерства обороны.

Однако пластмассовые кузова и кабины на коммерческих АТС не получили широкого распространения – мешали высокая стоимость пластмассовых материалов, отсутствие технологических процессов и оборудования, обеспечивающих то качество деталей и изделий, которое необходимо при массовом или крупносерийном производстве. Поэтому пластмассовые кузова и кабины применяли тогда, когда, во-первых, автомобиль выпускали в небольших количествах, следовательно, нужно было делать дорогостоящие штампы для изготовления панелей из металла; во-вторых, машину требовалось поддерживать длительное время в рабочем состоянии с минимальными эксплуатационными затратами.

В последнее время замена металла пластмассами в автомобилестроении вызвала настоящий бум. За эти годы были отработаны технологии массового производства деталей из пластика, сами же пластмассы по своим свойствам стали удовлетворять, а во многом и превосходить требования, предъявляемые к металлам. В частности, эти технологии и материалы в два-три раза сокращают трудоемкость изготовления кузовов и кабин; значительно снижают массу панелей, значит, и собственную массу автомобиля (например, сегодня вполне реально сконструировать высокопрочный пластиковый кузов, который на 25–30% легче алюминиевого и на 50–60% – стального); в четыре раза повышают спо-

способность кузова поглощать энергию удара при столкновениях, при слабых ударах полностью исключают повреждения эластичных пластмассовых панелей; значительно повышают долговечность панелей и кузовов, поскольку не подвергаются коррозии; исключают потребность в антикоррозийной обработке и покраске (окрашиваются в массу); делают ненужными сложные и дорогостоящие сварочные комплексы; позволяют использовать модульный принцип конструирования кузовов и кабин, следовательно, увеличить число моделей и модификаций ("мультиформ") автомобилей и обеспечить быструю их смену на рынке; улучшают приспособленность кузовов к утилизации и степень рециклирования материалов после списания автомобилей.

В Германии в течение 20 лет занималась крупносерийным выпуском легкового автомобиля с пластиковым кузовом – этот автомобиль "Трабант", состоящий из штампованного металлического каркаса с наружными панелями из пластика (дуропласт), которые были дешевле стальных штампованных из листа.

С дальнейшим развитием производства автомобилей доля пластмассы непрерывно возрастает. Так, если сразу после Второй мировой войны масса пластмассовых деталей в автомобиле составляла 2–5 кг, а номенклатура пластмасс-единицы, то в настоящее время первый параметр повысился до 10–15%, а второй – до 60% (полипропилены, АБС, полиуретаны, поликарбонаты, полиамиды, стеклопластики, анилоны и др.). Естественно, то же самое произошло и с номенклатурой деталей из пластмасс. Сегодня из них изготавливаются крупногабаритные пластмассовые наружные панели и детали оперения, кузовов, кабин и их интерьеров; передние и задние бамперы; спойлеры; антикрылья; борта кузовов пикапов; крыши легких фургонов; передние и задние маски автобусов, надколесные ниши, крышки складных верхов кабриолетов и др.

Сформировались и успешно работают фирмы, специализирующиеся на изготовлении наружных и внутренних пластмассовых панелей и других автомобильных деталей из пластмассы. Например, такая из не самых крупных американских фирм, как *Venture*, в 2000 году довела объем продаж пластмассовой продукции до 2 млрд долл. (29% продукции она поставляет фирме *General Motors*, 39% – *Ford*, 18% – *Daimler-Chrysler* и 11% на экспорт). Многие западные автомобилестроительные фирмы создают конструкции и осваивают в серийном производстве полностью пластмассовые кузова с панелями, наклеиваемыми на металлический пространственный каркас (*Fiat Ecobasic*, *Chrysler SSU* и др.), а квадрициклы (четырёхколесные мотосредства с кузовами автомобильного типа) известных французских фирм "Микрокар". "Аиксам". "Липси", итальянской "Казалини" изготавливаются только с пластмассовыми кузовами. Выпускаются также бескаркасные клееные кузова ("монокок") для обычных и спортивных автомобилей.

Развитию конструкций пластмассовых кузовов способствует и то, что в последние годы наметилась четкая тенденция опережающего роста цен на ме-

таллы, применяемые в автомобилях, по сравнению с ценами на пластмассы, и специалисты ожидают, что стоимости кузовов из металла и пластмасс сравняются, т.е. рентабельным станет выпуск крупных серий автомобилей с пластмассовыми кузовами. Тем более, что для производства пластмасс требуется сравнительно меньше теплоносителей и электроэнергии, цены на которые тоже постоянно растут.

При производстве пластмассовых автомобильных кузовных панелей в настоящее время используют материалы главным образом двух типов: – терморективные (на основе эпоксидных, фенольных и ненасыщенных полиэфирных смол, содержащих добавки и наполнители) и термопластичные (например, Noryl GTX, АБС + ПК, отечественный материал анилон на основе капролактама, который в России выпускается в больших количествах, и др.). Причем вторые – предпочтительнее, поскольку отслужившие срок изделия можно подвергать утилизации для повторных двух-, трехкратных переработок в новые пластмассовые изделия, тогда как первые к повторному использованию не пригодны.

Что касается технологий процессов производства пластмассовых панелей, то их разработано достаточно много, и многие из них специализированы на определенные объемы выпуска.

Так, технология контактного формования, при которой пропитанные связующей терморективной смолой слои стеклоткани один за другим вручную укладываются в матрицу, предназначена для производства небольших (5–7 тыс. шт./год) партий автомобилей, а также запасных частей (крылья, капоты, крышки багажников и т. п.): напыление на форму с помощью пульверизатора терморективной смолы, смешанной с рубленым стекловолокном, – при выпуске до 7–10 тыс.; *RTM*-технология, при которой изделия формируются из терморективной смолы, подаваемой в закрытую разъемную подогреваемую пресс-форму, под давлением до 1 МПа (10 кгс/см²), – 10 тыс.; прессование деталей из терморективных малоусадочных листовых препрегов, представляющих собой полуфабрикаты из нескольких слоев стекловолокна, пропитанного полиэфирными смолами в обогреваемых стальных пресс-формах – для серий 50–150 тыс.; реакционно-инжекционное формование панелей из термопластичного анилона, выпускаемого гродненским ОАО «АЗОТ», в пресс-формах на специальных установках фирмы "Краусс-Марфей" – для серий 50–150 тыс.; вакуумное формование панелей из листовых термопластов, при котором нужна только одна недорогая половина деревянной, стеклопластиковой или алюминиевой формы, – для серий 10–60 тыс. шт./год; литье из термопластов (например, Noryl GTX) под давлением в стальных пресс-формах на термопластавтоматах – для массового производства деталей.

Необходимые предпосылки для широкого применения пластмасс в кузовном производстве имеются не только за рубежом, но и в России. Например, метод контактного формования уже широко используется при изготовлении

небольших партий изделий. Освоено массовое производство бамперов и панелей приборов для легковых автомобилей, В Тольятти и Санкт-Петербурге созданы достаточные производственные мощности по вакуумному формованию пластмассовых панелей из листового материала, которые могут быть использованы для крупносерийного производства наружных панелей. В Белоруссии, с которой Россия сохранила тесные производственные связи, гродненский «АЗОТ» делает крупногабаритные детали из анилона по *RTM*-технологии. На российском рынке есть достаточно широкий и доступный набор эффективных и надежных материалов для склеивания пластмассовых панелей, приклеивания их к металлическому каркасу, вклейки стекол, ремонта поврежденных панелей и т. л. Есть и отработанные конструкции. Типичный пример – созданный в ОАО "АСМ-холдинг" легковой автомобиль (проект "Мишка") с металлическим каркасом и клееными пластмассовыми наружными панелями.

Таким образом, анализ отечественного и зарубежного опыта по созданию конструкций автотранспортных средств с пластмассовыми кузовами, результатов их эксплуатации в различных дорожно-климатических условиях и последующей утилизации доказывает: в ближайшие 10–15 лет пластические массы займут лидирующее место в автомобилестроении (табл. 6.1). Для нашей страны это будет очень выгодно. Дело в том, что автомобильная промышленность России за годы перехода к рыночной экономике практически прекратила научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы как на заводах, так и в отрасли в целом. В результате отечественные АТС по своему техническому уровню отстают от современных зарубежных аналогов, и чтобы добиться их конкурентоспособности по отношению к последним потребуется, как минимум, 20 лет. И то лишь при условии, что отрасль станет приоритетной как для инвесторов, так и для государства. Использование же новых прогрессивных материалов, компонентов и технологий может резко ускорить темпы сокращения отставания.

Этими новыми материалами и технологиями в первую очередь должны воспользоваться предприятия, выпускающие автомобильную технику с объемом производства каждой модели до 60–70 тыс. шт./год, не имеющие хорошей инструментальной базы для организации производства новых и модернизированных моделей из традиционных материалов и длительное время изготавливающие одни и те же машины. Например, УАЗ, для которого давно назрела необходимость замены всего модельного ряда АТС, производимых в течение более 30 лет, в том числе по заказам Минобороны. Постановка на производство новых моделей, созданных по традиционным канонам, – дело для автозавода крайне сложное, так как он не располагает мощным штампоинструментальным производством для проведения подготовки выпуска новых автомобилей в сжатые сроки. "Узким" местом остается также окрасочное производство, особенно с точки зрения обеспечения качества окраски. Финансовое положение завода

тоже не позволяет ему быстро решить все эти проблемы и вывести продукцию на конкурентоспособный уровень, тем более, если использовать традиционные методы.

Таблица 6.1

Объемы применения пластмасс в автостроении

Рост использования пластических материалов в автомобильной промышленности, тыс. тонн			
Страны	1980г.	1990г.	2000г.
США	660	1800	2200
Европа	600	1600	2000

Для объемов выпуска УАЗом основных моделей легковых и грузовых автомобилей и автобусов, составляющих 17–35 тыс. шт./год, наиболее целесообразным решением может стать переход на модульную конструкцию кузовов и кабин с применением окрашенных в массу пластмассовых панелей.

Это позволит значительно сократить инвестиции на оборудование и оснастку, уменьшить сроки освоения новых моделей. Появится возможность без больших затрат средств и времени гибко реагировать на изменяющиеся запросы Министерства обороны, российского и зарубежного рынков.

Кроме автомобилей УАЗ, применение пластмасс в кузовостроении вполне реально и на ряде автомобилей других автозаводов. Например, при создании новых моделей или модификаций ГАЗа, модернизации выпускаемых здесь семейств автомобилей ГАЗель" и "Соболь"; модернизации семейства "Бычков" на ЗИЛе и др. При освоении новых моделей легковых автомобилей или модернизации выпускаемых целесообразно смелее ориентироваться на пластмассы – даже при массовом производстве таких деталей, как крылья и их брызговики, облицовка радиатора, капот, крышка багажника, задняя дверь кузова и многие другие, то есть идти в том же направлении, что и фирмы США. Европы, Японии. В автобусостроении – это пластмассовые передние и задние маски кузова, багажные люки, многие детали внутреннего интерьера на автобусах всех типов, пластмассовые крыши – на особо малых и малых автобусах.

Полимерные материалы в кузовостроении

Долгое время прогресс в автомобилестроении был непосредственно связан с успехами металлургии. И хотя эта связь остается в силе и поныне, доля полимерных материалов в конструкции автомобиля непрерывно растет и составляет сейчас около 12% от общего веса автомобиля среднего класса. Из пластмасс изготавливаются не только детали салона (панели приборов, рулевые колеса, обивка дверей, боковин, крыши и пола), но и наружные панели кузова (крылья, капоты, крышки багажника), а также внешние декоративные элементы (бампера, спойлеры, решетки радиатора).

Постоянный рост мирового парка автомобилей ведет к значительному

увеличению абсолютного объема используемых полимерных материалов. В связи с тем, что сектор автомобилестроения является одним из ведущих, исследования, направленные на расширение использования пластмасс и композитов, проводятся всеми крупнейшими производителями автомобилей (*VW/Audi, DaimlerChrysler, GM, Ford, Renault* и другими).

Таблица 6.2

Основные характеристики смол, применяемых в автомобилестроении

1	2	3	4	5		6
				Ориентировочная стоимость комплекта, млн руб.	оснастки основного оборудования	
Технологический процесс	Применяемые материалы	Время изготовления детали, мин	Рентабельный выпуск, тыс. шт./год			Примечание
Контактное формование	Терморезистивная смола + стеклоткань	120-150	5-7	0.05-0,08	0.2-0.25	Затруднена утилизация
Напыление	Терморезистивная смола + рубленое стекловолокно	110-130	6-10	0,05-0,08	0,25-0,4	То же
RTM-технология	Терморезистивная смола+стеклоткань	До 10	До 10	15-20	80-100	
Прессование	Малоусадочный препрег (<i>SMC</i>)	2,5-3	40-150	30-40	80-100	
Реакционноинжекционное формование	Анилон	2,5—4	30-140	15-20	200-300	Возможно рециклирование
Вакуумное формование	Листы из АБС и поликарбоната	4-6	20-100	0,1-0,5	40-50	То же
Литье под давлением	<i>Noryl GTX</i> , стеклонеполненный полиамид, полипропилен	1,5-2	60-250	60-80	400-500	

Основными достоинствами полимеров являются коррозионная стойкость, малый вес, повышенная стойкость к образованию вмятин, эффективное шумопоглощение и экономические преимущества, благодаря возможности объединения нескольких элементов в одной детали.

К недостаткам следует отнести высокую стоимость полимерных материалов и трудность повторной переработки деталей из них. Следует отметить, что эти недостатки относятся, в основном, к термореактивным полимерам – эпоксидным, фенольным полиэфирным смолам, прессматериалам, стекло-, угле- и органопластикам.

Термопластичные полимерные материалы в значительной степени свободны от указанных недостатков, поскольку бракованные и отслужившие свой срок детали после измельчения высокоскоростными способами, в том числе на оборудовании для обработки металлов, могут перерабатываться для повторного использования.

Нарастающая тенденция замены металла на полимерные материалы обуславливает острую конкуренцию между используемыми термопластами на основе полипропилена (ПП) и традиционными пластмассами – полистирол (ПС), пенополиуретан (ППУ), поливинилхлорид (ПВХ), АБС-пластики, компаунды ПС/АБС. Использование ПП позволяет уменьшить вес и снизить на 15-20% стоимость изготовленных из него компонентов автомобиля, облегчить повторную переработку, ввести модульное изготовление различных агрегатов и расширяет возможности для внедрения новых дизайнерских решений.

Содержание изделий из полипропилена в четырех новых моделях, появившихся в 1999 году на европейском рынке, составило (в % по отношению к общему содержанию пластмасс): *VW Passat* – 41%, *Mercedes A-Klasse* – 47%, *Seat Arosa* – 47%, *Ford Ka* – 52%. Доля других термопластичных полимеров значительно ниже. Содержание ППУ в данных моделях составило порядка 8-14%, АБС – 4-15%, ПЭ – 3-11%, ПВХ – 0-7%. Расширению сферы использования ПП способствуют и принятые в Европе и США меры, направленные на вытеснение ПВХ в обивке салона другими материалами.

Полипропилен находит все большее распространение при изготовлении бамперов. В настоящее время более 80% выпускаемых в мире бамперов выполнены из термопластичного полиолефина (ТПО). Данный материал обеспечивает снижение веса бампера при хорошем соотношении цены/качества. Характерной особенностью современных бамперных систем является интегрирование с корпусом машины и повторение ее контура в единой цветовой гамме. Как результат, автопроизводители стремятся уменьшить зазор между бампером и корпусом (концепция «нулевого зазора»). Если в качестве материала для бампера используется термопласт, он должен иметь низкий коэффициент термического расширения и в то же время быть устойчивым к механическим деформациям.

Эти требования могут быть в полной мере удовлетворены при использовании упроченных тальком смесей ПП с этиленпропиленовым каучуком.

В РХТУ им. Д.И. Менделеева интенсивно ведутся работы по разработке новых полимерных материалов, которые могут найти широкое использование для создания деталей автомобиля. Данные работы проводятся в нескольких направлениях.

Одним из новых направлений по применению полипропилена является получение листового штампуемого стеклопластика на основе модифицированного полипропилена. Такого типа комбинированные термопласты технологичны, обладают способностью к окончательной отделке, как и традиционные материалы, но масса выполненных из них элементов кузовов автомобилей меньше.

Технология изготовления материала на основе полипропиленового листа со стеклонаполнителем проста. Заготовка нагревается до определенной температуры, затем как можно быстрее переносится в пресс-форму и штампуется в фасонное изделие на быстродействующем прессе, в котором необходимое давление достигается через 5–10 сек после загрузки заготовки. Давление штамповки зависит от сложности конфигурации и размера изделий, но в целом оно не велико.

Отходы, получаемые по данной технологии из стеклоармированного полипропилена можно пускать на повторную переработку в изделия методом литья под давлением.

Таблица 6.3

**Физико-механические свойства стеклоармированного
модифицированного полипропилена**

Показатели		Стеклоармированный модифицированный полипропилен	Полиэфирный стеклопластик
Плотность, кг/м ³		1240	1800
Разрушающее напряжение, МПа	при растяжении	180–190	80–90
	при статическом изгибе	Не разрушается	120–180
Максимальное напряжение при статическом изгибе, МПа		75	-
Ударная вязкость, кДж/м ²		Не разрушается	70–100
Модуль упругости при растяжении, МПа		9000	8500
Поглощение за 24 часа, %	Воды	0,3	0,5
	Бензина	0,9	0,02
	Масла	0,1	0,2

Необходимо отметить, что цикл формования автомобильных деталей из стеклоармированного модифицированного полипропилена в десять раз короче, чем из полиэфирного стеклопластика. Детали, полученные из нового материала методом штамповки, имеют небольшую технологическую усадку после формования (0,2%), малую разнотолщинность ($\pm 0,1 \div 0,2$ мм), не подвержены короблению; длительное воздействие воды и агрессивных жидкостей, циклически меняющихся температур и солнечной радиации существенного влияния на свойства выполненных из него деталей не оказывают. Он стоек также в отношении воздействия знакопеременных нагрузок (табл. 6.3).

Интересным направлением исследований является создание облегченных конструкции на базе термопластов, армированных органическими волокнами.

Изделия из стеклонаполненных термопластичных полимеров, получаемые литьем под давлением, имеют ряд существенных недостатков: малую эластичность, низкую ударную прочность, переработка их сопровождается значительным измельчением армирующих волокон, а также абразивным износом оборудования.

Стекловолокно как армирующий материал имеет высокую плотность и низкую адгезию к связующим, вследствие этого – высокий вес изделий, неполное использование прочности волокна, невысокая водостойкость, расслаивание изделий и т.п. затрудняют применение стеклоармированных термопластов (табл. 6.4).

Таблица 6.4

Физико-механические свойства армированных полиамидов

Композиция	Разрушающее напряжение при растяжении, МПа	Разрушающее напряжение при изгибе, МПа	Ударная вязкость с надрезом, кДж/м ²
Полиамид - 6	50,0	40,0	6,4
Полиамид – 6 + полиамидное волокно	85,4	80	9,9
Полиамид - 610	73,0	82	4,2
Полиамид – 610 + 20 вес.% стекловолокно	104,5	124,0	4,0
Полиамид – 610 + 20 вес.% полиамидного волокна	92,0	100,0	8,0

Композитные материалы

Кроме того, в РХТУ им. Д.И. Менделеева созданы новые материалы на основе полиамидов и высокопрочных термостойких органических волокон, которые при правильном выборе имеют ряд преимуществ перед стекловолокном: хорошее смачивание полимерами, высокая прочность связи с матрицей, мень-

шая склонность к измельчению. Поскольку плотность органических волокон значительно меньше стеклянных, значения удельной прочности и жесткости новых материалов возрастают. Композиты включают в себя элементы листовых материалов из пластмассы металла и пористый наполнитель. Ранее они назывались материалы с наполнителем, а в дальнейшем – композиционные материалы, или просто композиты. Их особенности заключаются в высокой прочности и жесткости конструкции при крайне низкой плотности что послужило их широкому внедрению в авиации и космонавтике. Важным преимуществом композитов является технология изготовления, аналогичная производству всех пластмассовых деталей, – применение форм и матриц для заполнения пластичным сырьем или массой, не требует дорогого штамповочного оборудования. Очевидно, что и в автомобилестроении этот материал уже находит широкое применение. Кроме того, большие остаточные удлинения при разрушающей нагрузке позволят повысить пассивную безопасность автомобиля.

Рассмотрим некоторые примеры применения композитов на автомобиле. В последнее время ряд фирм успешно разработывает технологию массового производства пластмассовых кузовных панелей. Специалисты *DaimlerChrysler* разработали способ внедрения особым образом переплетенных между собой прочных нитей прямо в литьевую форму, так что они оказываются внутри панели и служат своеобразным каркасом. Затем полученные детали (от 4 до 12 сборочных единиц) склеиваются в единое целое. В общей сложности на изготовление окрашенного кузова уходит 6,5 часов, тогда как общепринятой нормой для металлического аналога считается 19 часов при использовании 80–120 сборочных единиц.

Новая технология получила название *LIMBT* (технология больших формованных деталей кузова). Научиться делать такие отливки удалось далеко не сразу. Большая литьевая машина, изготовленная фирмой *Husky*, развивает усилие 8 000, но и сама весит более 900 т. Расплавленная масса полиэтилентерефталата (ПЭТ), из которого, кстати, делаются пластиковые бутылки, впрыскивается в форму под большим давлением, обтекая многочисленные подогреваемые «перемычки», препятствующие преждевременному остыванию. Через две минуты половинки пресс-формы массой по 200 т разъединяются, освобождая готовую деталь для дальнейшего остывания уже на воздухе. Потом в свободном состоянии детали принимают окончательные форму и размер. Конструкторам удалось внести специальные поправки в размеры формы, обеспечивающие конечную точность детали $\pm 0,5$ мм. Далее детали гигантским манипулятором переносятся на специальный кондуктор, где края «половинок» кузова обрабатываются клеем и сжимаются на 2-3 минуты. Получаемый клеевой шов практически незаметен, чему помогают специальные выштамповки, маскирующие его.

Сегодня по технологии *LIMBT* изготавливается пробная партия жестких крыш для джипа *Wrangler*. Они состоят всего из двух деталей, вместо обычных

пяти, весят на 30% меньше и стоят на 10% дешевле, что уже подтверждает реализуемость всего проекта. Речь идет о начатой в 1994 году разработке небольшого автомобиля для китайского рынка. Он так и назывался сначала - *CCV (China Concept Vehicle)*. Но потом выяснилось, что новая технология пригодна и для изготовления полноразмерных автомобилей, и та же аббревиатура зазвучала по-новому: *Composite Concept Vehicle*. И вот что показательно: несмотря на огромные размеры литьевых машин и пресс-форм, общая стоимость организации производства кузовов по технологии *LIMBT* в десять раз меньше, чем производство стального кузова. Хотя требуются большие и дорогие штампы, однако не надо ни сварочного, ни гальванического производства.

В 2000 году *DaimlerChrysler* представил концепткар *Dodge ESX3*, изготовленный по технологии *LIMBT*. Несущая система кузова *Dodge ESX3* состоит всего из 12 полимерных деталей, вместо более чем ста металлических панелей в обычном кузове. Низкая стоимость и малая масса материалов дали возможность снизить вес и цену гибридной силовой установки, которая включает 3-цилиндровый, 1,5-литровый, дизельный двигатель с генератором и электродвигатель мощностью 15 кВт. Вес полимерного кузова снижен на 46%, а стоимость производства – на 15% в сравнении с металлическими аналогами, при этом средний расход топлива составляет 3,27 л/100 км.

Сложился стереотип, будто применение крупных деталей кузова из пластмассы целесообразно лишь для мелкосерийного производства автомобилей. Однако, по утверждению руководителя отдела пластмасс фирмы *General Electric*, полимерные материалы могут быть экономически эффективны и для кузовов массового производства, если учитывать совокупные производственные затраты. Примером тому служат автомобили *Renault Megane, Scenic, Clio 2, Mercedes-Benz A-Klasse, Rover Freelander, VW New Beetle*, все крылья которых изготовлены из пластмассы *Noryl GTX*.

Установлено, что наружные панели кузовов (капоты, крылья) значительно быстрее изготавливать штамповкой из листовой стали, чем формованием из пластмассы. Однако для получения стальных панелей требуемой формы нужны несколько технологических операций. Поэтому при расчете себестоимости необходимо учитывать все эти операции, то есть время изготовления и капитальные затраты на оборудование и оснастку. Оснастка для изготовления крупных кузовных деталей из пластмассы стоит от 1 до 2 млн долл., тогда как затраты на изготовление аналогичных автомобильных деталей из стали могут достигать

3–6 млн долл. в зависимости от сложности формы детали. В некоторых случаях оснастка стоит еще дороже. Стоимость оснастки для изготовления крыльев автомобиля *New Beetle* могла бы составить 7–8 млн долл., в случае их штамповки из стального листа. Недостатком панелей кузова из пластмассы является то, что они плохо выдерживают высокие температуры (205°C) в камерах для нанесения

первичных покрытий на «черный» кузов. Поэтому пластмассовые панели монтируют на кузов после его первоначальной горячей электрофорезной обработки, но до нанесения слоев грунта и краски или окрашивают отдельно от стального корпуса кузова, после чего монтируют на корпус. Это требует применения различных технологических процессов для разных материалов, что приводит к удорожанию производства. С целью устранения этого недостатка концерном *General Electric* разработан и поставляется на рынок новый сорт пластмассы *Noryl GTX*, способный выдерживать температуру технологического процесса нанесения покрытия 205°C.

6.2. Стекло в кузове автомобиля

Прежде всего стекла автомобиля совместно с другими деталями формируют внешний вид кузова и всего автомобиля. При этом высокое качество стекла придает кузову отличительные свойства изысканности и принадлежности его к элитным моделям. В то же время дробные блики от неровного стекла резко ухудшают внешний вид автомобиля, несмотря на другие его положительные особенности и свойства.

Установка стекол образует вместе с кузовом замкнутую конструкцию, которая изолирует внутреннее пространство салона от окружающей среды и помогает создать в нем благоприятный микроклимат и уют, необходимый для длительного путешествия и управления автомобилем. В то же время стекла позволяют наблюдать окружающую местность и дорожную обстановку, а также создают условия, необходимые для эффективного управления автомобилем.

Стекла вместе со всем кузовом и наружным оборудованием определяют аэродинамику автомобиля, которая влияет на тягово-скоростные свойства, устойчивость, управляемость и некоторые другие свойства, а также способствует эффективной работе системы вентиляции.

Вместе с тем, стекла значительно влияют на теплообмен пассажирского салона и внешней среды за счет теплоизлучения. Это приводит к перегреву салона при длительных стоянках автомобиля на солнце и переохлаждению – при стоянке в ночное время. Для борьбы с этим неприятным явлением используется система отопления и вентиляции, что требует дополнительных затрат энергии. Уменьшение теплообмена через окна возможно за счет применения тонированных стекол. Однако это приводит к снижению прозрачности стекол и ухудшает их светопропускаемость.

Общеизвестны хрупкость стекол и их низкая прочность, которые даже в условиях движения по дороге противостоят действию различных нагрузок от силы ветра, инерционных нагрузок, а также ударов от дорожной крошки и мелких камней. В условиях длительной эксплуатации не удается избежать аварийных ситуаций, при которых, как правило, страдает остекление кузова и фары

автомобиля. Но более опасным фактором при этом является травмирование водителя и пассажиров, в том числе и осколками стекла. Иногда это сопровождается выпадением людей из кабины и салона автомобиля через окна, что также является недопустимым, так как увеличивает степень травмирования людей.

Для повышения защитных свойств автомобильного стекла применяют многослойные стекла (триплекс) с промежуточным слоем из специальной пластмассы, которая выполняет роль связующего между слоями стекла и исключает отделение одного слоя от другого. Теперь даже при разрушении всего пакета не происходит образования длинных открытых кромок стекла, которые наиболее опасны, а вместо них образуется множество мелких крошек стекла приклеенных к пленке. При этом проем окна остается закрытым самой пленкой триплекса, которая удерживает пассажира от выпадения из салона. Необходимо отметить важное свойство триплекса, которое заключается в том, что при ударе трещины образуются преимущественно в зоне удара и сохраняется видимость на других участках стекла. Этим триплекс отличается от закаленного стекла, которое почти в два раза прочнее обычного стекла, но при разрушении теряет видимость по всей площади и делает невозможным дальнейшее управление автомобилем, который еще продолжает двигаться.

Необходимо отметить также влияние стекол на жесткость и прочность кузова. Проведенные ранее исследования показали, что, несмотря на низкую прочность самого стекла, его влияние достаточно заметно и заключается в том, что установка стекол в кузов легкового автомобиля уменьшает его деформации на 20–25% при использовании резинового уплотнителя и на 35–45% – при установке на клей (при действии эксплуатационных, а не аварийных нагрузок). При этом степень влияния возрастает с уменьшением класса автомобиля. В настоящее время выпускаются следующие типы автостекол.

Однослойные стекла проходят термическую обработку – закалку (постепенный нагрев и быстрое охлаждение), поэтому их называют закаленными (сталинит). Термообработка стекла обеспечивает его разрушение (например, в случае аварии) на небольшие осколки с неострыми краями. Закаленные стекла обладают повышенной механической прочностью, и в официальных документах их называют упрочненными. В этих стеклах в процессе эксплуатации могут образовываться микротрещины под действием высоких нагрузок или резких ударов. Со временем это может привести (довольно редко) к неожиданному разрушению ("взрыву") стекла. Резкий перепад температур в процессе закалки вызывает появление зон концентрации механических напряжений в стекле. Даже несильный удар по этим областям, если они расположены по торцам, может привести к полному разрушению сталинита. На современных автомобилях такие стекла используются в дверях, заднем проеме и т. д., но не изготавливаются в качестве лобовых стекол.

Многослойные стекла (триплекс), состоящие из нескольких слоев и склеивающих их прозрачных полимеров (в официальной документации такие изделия именуют ламинированными, от лат. *lamina* – полоска, пластинка). На автомобилях применяют трехслойные изделия: два стекла и слой полимера. Их принято называть триплекс (от лат. *triplex* – тройной). При разрушении осколки удерживаются связующей пленкой, предотвращая ранения. Разбитое многослойное автостекло может сохранить обзорность, достаточную для движения к месту стоянки или ремонта. Оно устойчиво к образованию сквозных отверстий и предохраняет людей, находящихся в салоне, от предметов, летящих из-под колес впереди идущего транспорта. Стандартами предусмотрена обязательная установка триплекса в качестве ветрового в переднее окно автомобиля. Вклеенный триплекс в случае аварии предотвращает выпадение пассажиров, не пристегнутых ремнями, из салона. Для повышения безопасности и снижения уровня шума на дорогих моделях автомобилей триплекс применяется также для дверей, заднего проема кузова и т.д.

Остекление "бронированных" автомобилей представляет собой пакет из нескольких стекол (некоторые могут быть закаленными) и полимерных пленок между ними. Их свойства приведены в приложении 4.

Тонированные стекла в автомобиле используется для улучшения внешнего вида автомобиля. Кроме того, тонировка снижает прохождение видимой части солнечного спектра, делая трудно различимыми людей, находящихся в салоне, и его содержимое (например, забытую сумку). Однако одновременно оно и ухудшает видимость и контрастность окружающей обстановки. Этот эффект наиболее отрицательно проявляется в сумерках, когда водитель еще не осознает, что хуже различает дорогу, предметы и не принимает соответствующих мер (не снижает скорость и т. д.). Кроме того, тонирование задерживает несколько большую часть (на 3–4%) ультрафиолетового излучения солнца (нетонированные "останавливают" 90–95% ультрафиолета), предотвращая его воздействие на водителя и пассажиров, а также выгорание обивки салона, окрашенной натуральными красителями.

Тонирование может задерживать (в зависимости от химического состава красителей) инфракрасное излучение солнца, предотвращая нагревание салона и выгорание его элементов, окрашенных синтетическими красителями, а также сильнее нагревается солнцем, поэтому зимой (в солнечный день) тонированные стекла меньше подвержены замерзанию и запотеванию.

Трехслойное остекление может иметь цветную соединительную пленку. Стойкость к появлению царапин при таком виде тонирования довольно высокая, такая же, как и у нетонированных стекол. Обычно светопропускание таких стекол составляет 95%.

Тонированные напылением стекла обладают невысокой устойчивостью к появлению царапин, но этот вид тонировки позволяет изготовить остекление,

не пропускающее инфракрасные и ультрафиолетовые лучи и практически не ухудшающие видимость.

Тонирование пленками является наиболее простым видом, с точки зрения технологии, и применимо к любому виду стекол. Качественные пленки могут задерживать ультрафиолет и инфракрасные лучи. Производимые последнее время тонировочные пленки обладают достаточно высокой устойчивостью к царапинам. Стандартами ограничена степень тонирования автомобильных стекол и установлено светопропускание ветрового стекла не менее 80% и не менее 65% заднего и боковых стекол.

Свойства стекла

При нагреве стекло плавится в некотором температурном интервале, который зависит от состава. Механические свойства стекла характеризуются высоким сопротивлением сжатию (500–2000 МПа), низким пределом прочности при растяжении (30–90 МПа) и изгибе (50–150 МПа). Модуль упругости высокий (45–100 МПа), коэффициент Пуассона равен 0,184–0,26. Твердость по шкале Мооса равна 5–7 единицам. Ударная вязкость стекла низкая (1,5–2,5 кДж/м²), оно хрупкое, более высокие механические характеристики имеют стекла бесщелочного состава и кварцевые. Важнейшими специфическими свойствами стекол являются их **оптические свойства**: светопрозрачность, отражение, рассеяние, поглощение и преломление света. Обычное неокрашенное листовое стекло пропускает до 90%, отражает 8% и поглощает 1% видимого и частично инфракрасного света. Ультрафиолетовое излучение поглощает полностью. Механическая прочность и термостойкость стекла могут быть повышены путем закалки с температур, выше температуры стеклования и термического упрочнения, путем образования на поверхности полимерной пленки.

6.3. Стеклокристаллические материалы

Ситаллы, или стеклокристаллические материалы, получают на основе неорганических стекол путем их полной или частичной управляемой кристаллизации. Термин «ситаллы» образован от слов: стекло и кристалл. От неорганических стекол они отличаются кристаллическим строением, а от керамических материалов – более зернистой и однородной микрокристаллической структурой. Ситаллы получают путем плавления стекольной шихты специального состава с добавкой катализаторов, которые, в свою очередь, имеют кристаллическую решетку и при определенных условиях образуют центры кристаллизации, и охлаждения расплава до пластического состояния и формования из него изделий методами стекольной технологии и последующей ситаллизацией. Ситалловые изделия получают также порошковым методом спекания.

Ситаллы подразделяются на фото-, термо- и шлакоситаллы. В отличие от обычного стекла, свойства которого определяются в основном его химическим

составом, для ситаллов решающее значение имеет структура и фазовый состав. Причина ценных свойств ситаллов заключается в их исключительной мелкозернистости, почти идеальной поликристаллической структуре. Свойства ситаллов изотропны. В них совершенно отсутствует вязкая пористость. Усадка материала при его переработке незначительна. Большая абразивная стойкость делает их малочувствительными к поверхностным дефектам. Плотность ситаллов лежит в пределах 2400–2950 кг/м³, прочность при изгибе – 70–350 МПа, временное сопротивление – 112–161 МПа, сопротивление сжатию – 7000–2000 МПа. Модуль упругости 84–141 ГПа. Прочность ситаллов зависит от температуры. Твердость их близка к твердости закаленной стали ($V = 7000\text{--}10500$ МПа). Они весьма износостойки ($f_{\text{тр}} = 0,07 - 0,19$). Коэффициент линейного расширения лежит в пределах ($7\text{--}300 \cdot 10^{-7} \text{ c}^{-1}$). По теплопроводности ситаллы в результате повышенной плотности превосходят стекла. Термостойкость высокая $t = 50 - 900^{\circ}\text{C}$. Применение ситаллов определяется их свойствами.

Поликарбонат – материал будущего для изготовления **автостекол**. Полимерный материал позволит воплотить в реальность разнообразие форм и дизайна окон новых моделей автомобилей, что ограничивалось использованием стекла. Дополнительным преимуществом использования поликарбоната является его легкость: стекло из полимера вдвое легче аналогичного стеклянного. Технология *Exatec 500* заключается в усовершенствованном процессе литья под давлением больших стекол, в результате которого достигаются оптимальные оптические свойства материала. Специальное плазменное покрытие поликарбоната, являющееся частью технологии, позволяет значительно улучшить стойкость к царапанию стекла автомобиля.

Поликарбонат обладает высокой термостойкостью, шумоизоляционными свойствами, высокой прозрачностью, химической устойчивостью. Его ударопрочность в 250 раз превышает ударопрочность обычного стекла и почти в 50 раз – ударопрочность органического стекла. Он легкий, устойчив к огню и ультрафиолету, термопластичен и удобен при установке. Его свойства мало зависят от изменений температуры, а критические температуры, при которых этот материал становится хрупким, находятся вне диапазона возможных температур эксплуатации. Применение поликарбоната на 40% снижает вес остекления автомобиля. Одним из важных свойств поликарбоната является его низкая теплопроводность. Прозрачное и небьющееся автостекло из поликарбоната на автомобиле не только не пропустит вредное УФ-излучение, но и поможет сэкономить на отоплении салона – поликарбонат сравним по теплопроводности со стеклопакетами. Прекрасные теплоизоляционные свойства сокращают расход энергии на 30%, по сравнению с традиционным остеклением. В краш-тестах все окна из поликарбоната, установленные в испытательных транспортных средствах, оставались неповрежденными. Это очень важно для безопасности пассажиров, так что количество человеческих жертв при авариях сократится.

Следующий вид автомобильных стекол – это стекла с различными видами покрытий. Одно из назначений стекол с покрытием – регулирование спектрального пропускания стекла с целью его декорирования, а также получения различных светофильтров, пропускающих или поглощающих световые колебания. Такие стекла получают различными способами: окрашивание в массу, нанесение на стекло покрытий пиролитическим методом (твердое покрытие), вакуумное нанесение покрытий на стекло (мягкое покрытие). Стекла, окрашенные в массу, как правило, являются теплопоглощающими. При нанесении на стекло покрытий можно получить стекла низкоэмиссионные (энергосберегающие), солнцезащитные, отражающие и др. Кроме стекол с покрытием, можно получить аналогичные по свойствам стекла с защитными пленками, которые имеют избирательные спектры пропускания. Стекло, окрашенное в массу, получают добавлением в стекломассу различных красителей, которые и придают стеклу определенный оттенок. Наиболее часто используют синий, зеленый, серый, бронзовый цвет с оттенками от темного до светлого. Как указывалось ранее, стекла могут быть как с твердым покрытием, так и с мягким. Стекла с твердым покрытием являются влагостойкими, химически стойкими, устойчивы к абразивному истиранию, что позволяет их применять как в ветровых стеклах, так и в прочих видах стекол автомобиля (боковые, задние). Стекла с мягким покрытием не имеют такой химической стойкости, не устойчивы к абразивному истиранию, поэтому их рекомендуется использовать только в составе ветровых стекол и покрытием внутрь многослойного стекла.

Солнцезащитные покрытия предназначены для защиты салона автомобиля от проникновения избыточных солнечных лучей. Отражающие покрытия предназначены для придания стеклам зеркального эффекта и имеют высокий коэффициент отражения видимого света. Низкоэмиссионные покрытия предназначены для снижения коэффициента эмиссии у стекла, что позволяет снизить потери тепла через остекление. Нередко в качестве прочих стекол в автомобилях используют шумозащитные стекла. Шумозащитные стекла представляют собой многослойное стекло (триплекс) с использованием специального полимера, гасящего звуковые волны. Кроме перечисленных специальных видов стекол, также при остеклении автомобиля могут применяться стеклопакеты. Стеклопакеты представляют собой объемные изделия, состоящие из двух или трех плоских листов стекла, соединенных между собой по контуру с помощью дистанционных элементов и герметиков, образующих герметически замкнутое пространство (камеры), заполненное газом. Применение стеклопакетов позволяет снизить потери тепла из салона автомобиля, улучшить звукоизоляцию. С применением специальных видов стекол улучшаются эстетические свойства и повышается комфортабельность автомобиля, при этом остаются высокие требования к светопропусканию стекол для наземного транспорта.

Специальные виды автомобильных стекол

Стекла, которые применяются в автомобилях, уже несут в себе защитную функцию. Это ветровые или закаленные стекла, которые прочнее, чем обычное листовое стекло. Пулестойкие стекла применяются там, где необходимо защитить пассажиров от возможных нападений, – инкассаторские автомобили, защита важных персон. Толщина пулестойких стекол колеблется от 19 до 60 мм, в зависимости от вида применяемого оружия. В соответствии с требованиями ГОСТ Р 51136-98 "Стекла защитные многослойные. Общие технические условия" пулестойкие стекла подразделяются на классы защиты в зависимости от средства поражения и характеристики поражающего элемента. Сразу хочется отметить, что класс защиты должен быть указан в маркировке автомобильного стекла. Пулестойкие и взрывобезопасные автомобильные стекла толщиной до 60 мм имеют большой вес вследствие большого количества слоев стекла (см. прил. 4). Для существенного снижения веса автомобильных стекол можно использовать химически упрочненное стекло, что позволит снизить вес стекла в три раза.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Автомобили. Основы проектирования: учеб. пособие для вузов / М.С. Высоцкий [и др.]; под ред. М.С. Высоцкого. – Минск: Вышэйш. шк., 1987. – 152 с.
2. Грузовые автомобили / М.С. Высоцкий, Ю.Ю. Беленький, Л.Х. Гилелес и др.; под ред. В.В. Осепчугова. – М.: Машиностроение, 1979. – 384 с.
3. **Горячев, Д.В.** Технология изготовления автомобильных кузовов / Д.В. Горячев [и др.]; под ред. Д.В. Горячева. – М.: Машиностроение, 1979. – 352 с.
4. **Горяинова, А.В.** Стеклопластики в машиностроении / А.В. Горяинова. – М.: Машиностроение, 1962. – 215 с.
5. **Долматовский, Ю.А.** Основы конструирования автомобильных кузовов / Ю.А. Долматовский. – М.: Машгиз, 1962. – 318 с.
6. **Кац, А.М.** Автомобильные кузова / А.М. Кац. – М.: Транспорт, 1972. – 117 с.
7. **Кравец, В.Н.** Проектирование автомобиля: учеб пособие / В.Н. Кравец. – 2-е изд., перераб. и доп.; Нижегород. политехн. ин-т. Н. – Новгород, 1992. – 230 с.
8. **Кравец, В.Н.** Законодательные и потребительские требования к автомобилям: учеб. пособие / В.Н. Кравец, Е.В. Горынин; Нижегород. гос. техн. ун-т. – Н. Новгород, 2000. – 400 с.
9. **Кудрявцев, С.М.** Оценка свойств легкового автомобиля: учеб пособие / С.М. Кудрявцев; Нижегород. гос. техн. ун-т. – Н. Новгород, 2005. – 137 с.
10. **Масино, М.А.** Автомобильные материалы / М.А. Масино [и др.]. – М.: Транспорт, 1979. – 288 с.
11. **Михайловский, Е.В.** Аэродинамика автомобиля / Е.В. Михайловский. – М.: Машиностроение, 1979. – 384 с.
12. **Осепчугов, В.В.** Автобусы / В.В. Осепчугов. – М.: Машиностроение, 1971. – 312 с.
13. **Островцев, А.Н.** Основы проектирования автомобилей: учеб. пособие / А.Н. Островцев. – М.: Машиностроение, 1968. – 225 с.
14. **Павловский, Я.** Автомобильные кузова / Я.Павловский. – М.: Машиностроение, 1977. – 544 с.
15. **Панин, В.Ф.** Конструкции с наполнителем: справочник / В.Ф. Панин, Ю.А. Гладков. – М.: Машиностроение, 1991. – 272 с.
16. **Песков, В.И.** Основы эргономики и дизайна автомобиля: учеб пособие / В.И. Песков; Нижегород. гос. техн. ун-т. – Н. Новгород, 2004. – 400 с.

17. **Родионов, В.Ф.** Проектирование легковых автомобилей / В.Ф. Родионов, Б.М. Фиттерман; под ред. В.В. Осепчугова. – М.: Машиностроение, 1980. – 479 с.
18. Стеклопластики в машиностроении. – М.: Машиностроение, 1962. – 215 с.
19. **Штробель, В.К.** Современный автомобильный кузов: [пер. с нем.] / Штробель В.К. – М.: Машиностроение, 1984. – 175 с.
20. **Пачурин, Г.В.** Повышение коррозионной долговечности и эксплуатационной надежности изделий из деформационно-упрочненных металлических материалов: учеб. пособие для студентов вузов / Г.В. Пачурин; НГТУ. – Н. Новгород, 2005. – 132 с.
21. **Пачурин, Г.П.** Оптимизация режимов технологической обработки с целью повышения сопротивления коррозионно-усталостному разрушению металлических материалов / Г.П. Пачурин, Г.В. Гусякова. – Нижний Новгород.: ВСНТО 1991. – 72 с.
22. **Пачурин, Г.В.** Теоретические основы повышения эксплуатационной долговечности штампованных металлоизделий: учеб. пособие / Г.В. Пачурин [и др.]; Нижегород. гос. техн. ун-т. – Н. Новгород, 2005. – 139 с.
23. **Проскуряков, В.Б.** Динамика и прочность рам и корпусов транспортных машин / В.Б. Проскуряков. – Ленинград: Машиностроение, 1972. – 230 с.
24. **Гусякова, Г.П.** Пластическая обработка металлов и сварных соединений с целью повышения долговечности изделий / Г.П. Гусякова. – Горький: ВСНТО. 1987. – 52 с.
25. **Гусякова, Г.П.** Повышение долговечности автомобильных металлических материалов / Гусякова [и др.]. – Нижний Новгород: ВСНТО Машпром, 1991. – 64 с.
26. Механические свойства редких металлов / Л.Д. Соколов, В.А. Скуднов, В.М. Соленов и др. - М.: Metallurgy, 1972. 288 с.
27. **Похмурский, В.И.** Коррозионная усталость металлов / В.И. Похмурский. – М.: Metallurgy, 1985. – 207 с.
28. Циклические деформации и усталость металлов. В 2-х томах / под ред. В.Т. Трощенко. – Киев: Наукова думка, 1985. Т. 1. – 215 с. Т. 2. – 222 с.
29. **Терентьев, В.Ф.** Усталость металлических материалов / В.Ф. Терентьев. – М.: Наука, 2002. – 248 с.
30. **Терентьев, В.Ф.** Усталостная прочность металлов и сплавов / В.Ф. Терентьев. – М.: Интермет Инжиниринг, 2002. – 288 с.
31. **Романов, О.Н.** Механика коррозионного разрушения конструкционных сплавов / О.Н. Романов, Г.Н. Никифорчин. – М.: Metallurgy, 1986. – 294 с.
32. **Скуднов, В.А.** Предельные пластические деформации металлов / В.А. Скуднов. – М.: Metallurgy, 1989. – 176 с.
33. **Екобори, Т.** Физика и механика разрушения и прочности твердых тел / Т. Екобори. – М.: Metallurgy, 1971. – 264 с.






34. **Терентьев, В.Ф.** Усталость металлических материалов: учеб. пособие / В.Ф. Терентьев. – Воронеж. Воронеж, техн. ун-т, 2000. – 60 с.
35. **Степнов, М.Н.** Усталость легких конструкционных сплавов / М.Н. Степнов, Е.В. Гиацингов. – М.: Машиностроение, 1973. – 320 с.
36. А.с. 920456 СССР. Устройство для испытаний на усталость при изгибе вращающегося образца / Пачурин Г.В., Гусякова Г.П. // Открытия. Изобретения. 1982. №14. С. 158.
37. **Бережницкая, М.Ф.** Распределение остаточных макронапряжений, возникающих при комбинированных методах упрочнения / М.Ф. Бережницкая [и др.] // ФХММ. 1995. Т. 1. № 3. С. 111-114.
38. **Кроха, В.А.** Упрочнение металлов при холодной пластической деформации: справочник / В.А. Кроха. – М.: Машиностроение, 1980. – 160 с.
39. **Бережницкая, М.Ф.** Коррозионная усталость конструкционных сталей и их сварных соединений в морской воде / М.Ф. Бережницкая [и др.] // ФХММ. 1993. Т. 29. № 1. С. 129-131.
40. **Гурский, Л.И.** Структура и кинетика взаимодействия металла с окисляющими средами / Л.И. Гурский, В.А. Зеленин. – М.: Наука и техника, 1982. – 192 с.
41. **Туфанов, Д.Г.** Коррозионная стойкость нержавеющей сталей, сплавов и чистых металлов: справочник / Д.Г. Туфанов. – М.: Metallurgy, 1982. – 352 с.
42. **Атанасянц, А.Г.** Анодное поведение металлов: учеб. пособие для вузов / А.Г. Атанасянц. – М.: Metallurgy, 1989. – 151 с.


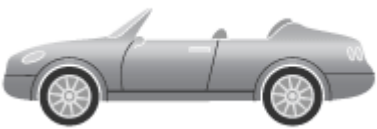



ПРИЛОЖЕНИЯ

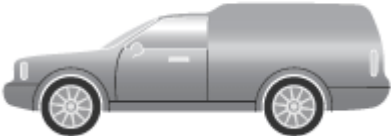


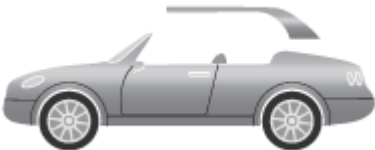

Приложение 1

Таблица П 1.1

Основные типы кузовов легковых автомобилей
(USA – Соединенные Штаты Америки, GB – Великобритания,
F – Франция, D – Германия, I – Италия)

<p><i>Седан</i></p>  <p>(USA — Sedan, GB — Saloon, F — Berline, D — Limousine, I — Berlina)</p>	<p>Трехобъемный пассажирский кузов с двумя или четырьмя (шестью) боковыми дверями</p>
<p><i>Купе</i></p>  <p>(Coupe, Gran Turismo)</p>	<p>Двух- или трехобъемный пассажирский кузов с двумя боковыми дверями и со стесненными посадочными размерами задних сидений</p>
<p><i>Хардтоп-седан</i></p>  <p>(Hardtop Sedan, Sport Sedan)</p>	<p>Кузов седан (трехобъемный) без средней боковой стойки при опущенных боковых стеклах</p>
<p><i>Хардтоп-купе</i></p>  <p>(Hardtop Coupe)</p>	<p>Кузов купе (двух-, трехобъемный) без средней боковой стойки при опущенных боковых стеклах</p>
<p><i>Фастбек</i></p>  <p>(Fastback, D — Fliessheck)</p>	<p>Двухобъемный пассажирский кузов с двумя или четырьмя дверями и плавно спускающейся назад крышей</p>

<p><i>Лимузин</i></p>  <p>(D — Pullman)</p>	<p>Пассажирский кузов, имеющий перегородку с открывающимся окном за первым рядом сидений</p>
<p><i>Ландо</i></p>  <p>(Landaulet, Landaulette)</p>	<p>Пассажирский кузов с открывающейся частью крыши над задними рядами сидений</p>
<p><i>Кабриолет</i></p>  <p>(Cabriolet)</p>	<p>Пассажирский кузов с мягким складывающимся тентом и опускающимися боковыми окнами.</p>
<p><i>Фэтон</i></p>  <p>(Phaeton, Convertible)</p>	<p>Пассажирский кузов с мягким складывающимся тентом и со съёмными боковыми окнами</p>
<p><i>Фэтон-универсал</i></p>  <p>(D — Universal Mehrzweck Fahrzeug)</p>	<p>Грузопассажирский кузов, предназначенный для перевозки пассажиров или грузов, с мягким складывающимся или съёмным тентом и со съёмными боковыми окнами (надставками дверей)</p>
<p><i>Бескапотный кузов</i></p> 	<p>Однообъемный пассажирский кузов, центр рулевого колеса которого находится перед передней осью автомобиля</p>

<p><i>Фургон</i></p>  <p>(USA, GB — Van, D — Kastenwagen, F — Fourgonette)</p>	<p>Закрытый кузов с перегородкой, отделяющей помещение для водителя от помещения для перевозки грузов</p>
<p><i>Комби</i></p>  <p>(Hatchback, D — Heckklappenlimousine)</p>	<p>Двухобъемный кузов, имеющий заднюю дверь, предназначенный для перевозки пассажиров или грузов (при сложенных задних сиденьях)</p>
<p><i>Универсал</i></p>  <p>(USA — Station Wagon, GB — Estate car, F — Break, D — Kombi, I — Giardinera)</p>	<p>Двухобъемный кузов с задней дверью, имеющий постоянное грузовое помещение, не отделенное от пассажирского салона стационарной перегородкой (задние ряды сидений – складывающиеся)</p>
<p><i>Кабриолет-хардтоп</i></p>  <p>(Hardtop Cabriolet)</p>	<p>Пассажирский кузов со съемной жесткой крышей</p>
<p><i>Родстер</i></p>  <p>(Roadster, Spider)</p>	<p>Пассажирский двухместный кузов со складывающимся мягким тентом</p>

<p><i>Брогам</i></p>  <p>(Brougham, Coupe de Ville)</p>	<p>Пассажирский кузов с открывающейся частью крыши над передним рядом сидений</p>
<p><i>Тарга</i></p>  <p>(Targa)</p>	<p>Пассажирский кузов со съёмной средней частью крыши</p>
<p><i>Пикап</i></p>  <p>(Pick-up)</p>	<p>Грузопассажирский кузов с открытой платформой для перевозки грузов и кабиной водителя, отделенной от грузовой платформы стационарной перегородкой</p>

Приложение 2

Таблица П 2.1

Механические свойства при статическом растяжении конструкционных материалов после различных режимов технологической обработки

Материал	Режим обработки	σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	ψ / δ , %	A
1	2	3	4	5	6
Сталь 20X13	Закалка с 1030°C, масло; отпуск 600 – 640°C	742	660	—	0,13
Сталь 20X13	Растяжение 5%	806	778	—	0,06
Сталь 20X13	Растяжение 13%	778	742	—	0,01
Сталь 20X13	Растяжение 25%	858	795	—	0,01
Сталь 14X17H2	Закалка с 1030°C, масло; отпуск 620 – 660°C	902	714	—	0,20
Сталь 14X17H2	Растяжение 5%	910	794	—	0,13
Сталь 14X17H2	Растяжение 13%	954	913	—	0,11
Сталь 14X17H2	Растяжение 25%	1160	990	—	0,11
Сталь 40X	Закалка с 860°C, масло; отпуск 550°C, 2 ч	660	326	60/16	0,20
Сталь 40X	Растяжение 5%	698	597	60/11	0,01
Сталь 40X	Растяжение 13%	760	718	63/10	0,04
Сталь 40X	Растяжение 29%	838	807	57/9	0,03
Сталь 40X	Нитроцементация, закалка в масло, отпуск 180°C	1515	1415	—/0,2	0,14
Сталь 40X	Термообработка, правка	1490	1370	—/0,37	—
Сталь 40X	Термообработка, обработка дробью, правка	1508	1382	—/0,42	—
Сталь 40X	Термообработка, правка, обработка дробью	1583	1380	—/0,52	—
Сталь 35ХГСА	Закалка с 860°C, масло; отпуск 425°C	1468	1254	—/10,8	0,07
Сталь 35ХГСА	Термообработка, правка	1468	1269	—/11,9	—
Сталь 35ХГСА	Термообработка, правка, обдувка дробью	1457	1251	—/11,5	—
Сталь 15X	Катаная	634	330	72/14	0,25
Сталь 15X	Растяжение 5%	660	563	70/12	0,03
Сталь 15X	Растяжение 13%	802	694	52/9	0,11
Сталь 15X	Растяжение 29%	910	891	41/6	0,04
Сталь А12	Катаная	866	720	73/15	0,15
Сталь А12	Растяжение 10%	972	895	58/6	0,06

1	2	3	4	5	6
Сталь А12	Растяжение 20%	987	937	53/5,5	0,04
Сталь А12	Растяжение 30%	1140	1083	46/4	0,03
Сталь 08кп	Холоднокатаная	390	256	84/41	0,16
Сталь 08кп	Растяжение 2,5%	375	190	83/40,7	0,20
Сталь 08кп	Растяжение 11%	377	174	81/40,6	0,22
Сталь 08кп	Растяжение 15%	394	192	78/29	0,24
Сталь 08кп	Растяжение 17%	400	182	79/21	0,22
Сталь 08кп	Растяжение 21%	407	190	77/10	0,20
Сталь 07ГСЮФТ	Горячекатаная	440	306	48/18	0,16
Сталь 07ГСЮФТ	Растяжение 5%	471	433	44/14	0,12
Сталь 07ГСЮФТ	Растяжение 17%	545	532	33/3	0,11
Сталь 07ГСЮФТ	Растяжение 29%	547	532	30/1,6	0,02
Сталь 08ГСЮТ	Горячекатаная	461	250	48/26	0,21
Сталь 08ГСЮТ	Растяжение 5%	457	398	46/15	0,16
Сталь 08ГСЮТ	Растяжение 17%	499	466	41/9	0,07
Сталь 08ГСЮТ	Растяжение 29%	551	537	33/1	0,02
Сталь 08Ю	Холоднокатаная	294	163	50/30	0,25
Сталь 08Ю	Растяжение 3%	313	230	49/26	0,16
Сталь 08Ю	Растяжение 10%	315	271	48/17	0,10
Сталь 08Ю	Растяжение 20%	345	286	35/7	0,07
Сталь 08Ю	Растяжение 30%	397	343	29/3	0,09
Сталь 12Х18Н10Т	Холоднокатаная	742	400	—	0,41
Сталь 12Х18Н10Т	Растяжение 5%	778	560	—	0,30
Сталь 12Х18Н10Т	Растяжение 13%	871	800	—	0,21
Сталь 12Х18Н10Т	Растяжение 25%	966	955	—	0,12
Сталь 20ХН2М	Цементация, закалка в масло, отпуск 180°С	1450	1190	—/0,85	0,15
Сталь 20ХН2М	Термообработка, правка	1410	1220	—/0,58	—
Сталь 20ХН2М	Термообработка, обработка дробью, правка	1378	1215	—/0,58	—
Сталь 20ХН2М	Термообработка, правка, обработка дробью	1385	1238	—/0,49	—
Сталь 40	Закалка с 830°С в масло; отпуск 450°С	600	340	48/32	0,06

1	2	3	4	5	6
Сталь 40	Нитроцементация, закалка	—	—	—	0,13
Сталь ВНС-2М	Закалка $960 \pm 10^\circ\text{C}$, воздух, старение $450 \pm 5^\circ\text{C}$, воздух	1316	1288	—/9	0,02
Сталь ВНС-2М	Горячекатаная, нормализованная	1090	970	—/6	0,05
Сталь ЭИ878-М1	Закалка 1050°C , воздух	800	515	—/54	0,35

Таблица П 2.2

Механические свойства при статическом растяжении образцов из нержавеющей стали 12Х18Н10Т после различных видов технологической обработки

№ п/п	Режим обработки	σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	A_1	A_2
1	2	3	4	5	6	7
1	Исходное состояние (нормализация, без сварки)	759	384	58,8	0,143	0,361
2	Сварка, термообработка (нагрев 975°C , выдержка 2 мин, охлаждение 50° в мин), упрочнение пучком проволоки)	718	447	43,7	0,208	0,375
3	Сварка, термообработка, термоправка	703	367	40,4	0,259	0,461
4	Сварка, термоправка (975°C)	680	272	33,4	0,381	0,516
5	Сварка, термоупрочнение пучком проволоки (975°C)	730	355	35,1	0,146	0,408
6	Сварка, дробеструйная обработка с 2 сторон (стальной литой шарик 0,5–1 мм, 4 мин, давление воздуха $P=0,4$ МПа)	712	478	23,5	0,142	0,444
7	Сварка, термообработка	718	371	40,8	0,458	0,458
8	Сварка, дробеструйное упрочнение с 2 сторон (дробь 3 мм, 5 мин, давление воздуха $P=0,4$ МПа)	681	398	31,6	0,134	0,471
9	Сварка, термоправка, дробеструйная обработка с 2 сторон (по режиму п.6)	708	490	29,5	0,139	0,344
10	Сварка, упрочнение пучком проволоки с 1 стороны	670	447	25,9	0,195	0,313
11	Сварка, термоправка, дробеструйная обработка с 1 сторон (по режиму п.6)	680	442	25,6	0,166	0,411
12	Сварка, ультразвуковая кавитация в щелочной среде (среда – раствор ОП 7,2%, $50 - 60^\circ\text{C}$; частота 30000 Гц; 20 – 30 мин)	698	407	30,9	0,145	0,430
13	Сварка, упрочнение микрошариками с 1 стороны (шарики 0,02 – 0,2 мм; 3 мин)	690	372	29,1	0,242	0,500
14	Сварка, упрочнение микрошариками с 2 стороны (шарики 0,02 – 0,2 мм; 3 мин)	697	339	35,0	0,289	0,505

Окончание табл. П 2.2

1	2	3	4	5	6	7
15	Сварка, пневмодробеструйное упрочнение с 2 сторон (дробь 0,6–1,2 мм, 1 мин, давление воздуха P=0,2 МПа)	751	478	25,1	0,186	0,366
16	Сварка, пневмодробеструйное упрочнение с 2 сторон (дробь 0,6–1,2 мм, 1 мин, давление воздуха P=0,3 МПа)	722	478	23,7	0,186	0,366
17	Сварка, пневмодробеструйное упрочнение с 2 сторон (дробь 0,6–1,2 мм, 1 мин, давление воздуха P=0,4 МПа)	680	422	27,1	0,224	0,446
18	Сварка, упрочнение стальными щетками с 2 стороны	692	537	27,7	0,273	0,500
19	Сварка, дробеструйное упрочнение с 1 сторон (по режиму п.8)	681	408	35,0	0,201	0,323
20	Сварка	660	272	32,4	0,381	0,516
21	Сварка, пневмодинамическое упрочнение с 1 сторон (стальные шарики 3 мм, 1 мин, давление воздуха P=0,4 МПа)	683	396	45,2	0,134	0,472

Таблица П 2.3

Уравнения кривых усталости сталей после различных режимов технологической обработки (консольный изгиб плоских и консольный изгиб с вращением круглых образцов, соответственно с частотой 25 и 50 Гц)

Материал	Режим обработки	$\lg \sigma_a = -\operatorname{tg} \alpha_\omega \lg N + \lg \sigma_{a0}$ или $Y = -A X + B$
1	2	3
Сталь 20X13	Закалка, отпуск	$Y = -0,093 X + 3,085$
Сталь 20X13	Растяжение 5% со скоростью $1,1 \times 10^{-3} \text{ с}^{-1}$	$Y = -0,260 X + 3,732$
Сталь 20X13	Растяжение 13% со скоростью $1,1 \times 10^{-3} \text{ с}^{-1}$	$Y = -0,223 X + 3,603$
Сталь 20X13	Растяжение 25% со скоростью $1,1 \times 10^{-3} \text{ с}^{-1}$	$Y = -0,209 X + 3,549$
Сталь 20X13	Растяжение 25% со скоростью $5,6 \times 10^{-3} \text{ с}^{-1}$	$Y = -0,187 X + 3,531$
Сталь 20X13	Растяжение 25% со скоростью $2,8 \times 10^{-2} \text{ с}^{-1}$	$Y = -0,192 X + 3,552$
Сталь 14X17H2	Закалка, отпуск	$Y = -0,166 X + 3,425$
Сталь 14X17H2	Растяжение 5% со скоростью $1,1 \times 10^{-3} \text{ с}^{-1}$	$Y = -0,255 X + 3,705$
Сталь 14X17H2	Растяжение 13% со скоростью $1,1 \times 10^{-3} \text{ с}^{-1}$	$Y = -0,218 X + 3,564$
Сталь 14X17H2	Растяжение 25% со скоростью $1,1 \times 10^{-3} \text{ с}^{-1}$	$Y = -0,178 X + 3,474$
Сталь 14X17H2	Растяжение 25% со скоростью $5,6 \times 10^{-3} \text{ с}^{-1}$	$Y = -0,162 X + 3,436$
Сталь 14X17H2	Растяжение 25% со скоростью $2,8 \times 10^{-2} \text{ с}^{-1}$	$Y = -0,172 X + 3,480$
Сталь 12XH	Состояние поставки	$Y = -0,030 X + 2,742$
Сталь 12XH	Прокатка 60%	$Y = -0,072 X + 2,801$
Сталь 12XH	Прокатка 80%	$Y = -0,243 X + 3,903$
Сталь 40X	Закалка, отпуск	$Y = -0,200 X + 3,316$

1	2	3
Сталь 40Х	Растяжение 5% со скоростью $2 \times 10^{-2} \text{ с}^{-1}$	$Y = -0,211 X + 3,548$
Сталь 40Х	Растяжение 10% со скоростью $2 \times 10^{-2} \text{ с}^{-1}$	$Y = -0,177 X + 3,358$
Сталь 40Х	Растяжение 22% со скоростью $2 \times 10^{-2} \text{ с}^{-1}$	$Y = -0,221 X + 3,607$
Сталь 08кп	Холоднокатаная	$Y = -0,088 X + 3,025$
Сталь 08кп	Осадка 5% со скоростью 10^{-1} с^{-1}	$Y = -0,999 X + 3,066$
Сталь 08кп	Осадка 17% со скоростью 10^{-1} с^{-1}	$Y = -0,086 X + 3,005$
Сталь 08кп	Осадка 29% со скоростью 10^{-1} с^{-1}	$Y = -0,084 X + 2,980$
Сталь 08ГСЮТ	Горячекатаная	$Y = -0,096 X + 2,933$
Сталь 08ГСЮТ	Осадка 5% со скоростью 10^{-1} с^{-1}	$Y = -0,067 X + 2,812$
Сталь 08ГСЮТ	Осадка 17% со скоростью 10^{-1} с^{-1}	$Y = -0,089 X + 2,925$
Сталь 08ГСЮТ	Осадка 29% со скоростью 10^{-1} с^{-1}	$Y = -0,090 X + 2,943$
Сталь 07ГСЮФТ	Горячекатаная	$Y = -0,161 X + 3,258$
Сталь 07ГСЮФТ	Осадка 5% со скоростью 10^{-1} с^{-1}	$Y = -0,150 X + 3,240$
Сталь 07ГСЮФТ	Осадка 17% со скоростью 10^{-1} с^{-1}	$Y = -0,142 X + 3,207$
Сталь 07ГСЮФТ	Осадка 29% со скоростью 10^{-1} с^{-1}	$Y = -0,109 X + 3,067$
Сталь 08Ю	Холоднокатаная	$Y = -0,132 X + 2,921$
Сталь 08Ю	Осадка 12% со скоростью 10^{-1} с^{-1}	$Y = -0,134 X + 2,910$
Сталь ЭИ878-М1	Нормализация	$Y = -0,165 X + 3,360$
Сталь ЭИ878-М1	Осадка 5% со скоростью 10^2 с^{-1}	$Y = -0,149 X + 3,330$
Сталь ЭИ878-М1	Осадка 10,5% со скоростью 10^2 с^{-1}	$Y = -0,130 X + 3,330$
Сталь ЭИ878-М1	Осадка 10,5% со скоростью $8 \times 10^{-2} \text{ с}^{-1}$	$Y = -0,160 X + 3,431$
Сталь ЭИ878-М1	Осадка 22% со скоростью 10^2 с^{-1}	$Y = -0,130 X + 3,423$
Сталь ЭИ878-М1	Осадка 22% со скоростью $8 \times 10^{-2} \text{ с}^{-1}$	$Y = -0,214 X + 3,714$
Сталь ЭИ878-М1	Осадка 36% со скоростью 10^2 с^{-1}	$Y = -0,191 X + 3,796$
Сталь 12Х18Н10Т	Холоднокатаная	$Y = -0,116 X + 3,141$
Сталь 12Х18Н10Т	Растяжение 2% со скоростью $2 \times 10^{-3} \text{ с}^{-1}$	$Y = -0,152 X + 3,272$
Сталь 12Х18Н10Т	Растяжение 5% со скоростью $2 \times 10^{-3} \text{ с}^{-1}$	$Y = -0,194 X + 3,484$
Сталь 12Х18Н10Т	Растяжение 13% со скоростью $2 \times 10^{-3} \text{ с}^{-1}$	$Y = -0,147 X + 3,254$
Сталь 12Х18Н10Т	Растяжение 25% со скоростью $2 \times 10^{-3} \text{ с}^{-1}$	$Y = -0,138 X + 3,170$
Сталь 12Х18Н9Т	Нормализация	$Y = -0,084 X + 2,890$
Сталь 12Х18Н9Т	Растяжение 10% со скоростью 10^{-3} с^{-1}	$Y = -0,067 X + 2,870$
Сталь 12Х18Н9Т	Растяжение 20% со скоростью 10^{-3} с^{-1}	$Y = -0,060 X + 2,940$
Сталь 12Х18Н9Т	Растяжение 30% со скоростью 10^{-3} с^{-1}	$Y = -0,055 X + 2,970$

Таблица П 2.4

Уравнения кривых усталости сталей при испытании на воздухе и в коррозионной среде (3%-ный водный раствор соли)

Материал	Предварительная деформация			Среда испытания	$\lg \sigma_a = -\text{tg } \alpha_0 \lg N + \lg \sigma_{a0}$ или $Y = -A X + B$
	схема	степень, %	скорость, с^{-1}		
1	2	3	4	5	6
Сталь 20Х13	—	Исх. сост. (ИС) (закалка, отпуск)	—	Воздух	$Y = -0,0925 X + 3,0852$

1	2	3	4	5	6
Сталь 20Х13	—	ИС (закалка, отпуск)	—	Раствор	$Y = -0,1513 X + 3,3122$
Сталь 20Х13	Растяжение	25	$5,6 \times 10^{-3}$	Воздух	$Y = -0,1868 X + 3,5305$
Сталь 20Х13	Растяжение	25	$5,6 \times 10^{-3}$	Раствор	$Y = -0,2189 X + 3,6090$
Сталь 14Х17Н2	—	ИС (закалка, отпуск)	—	Воздух	$Y = -0,1656 X + 3,4250$
Сталь 14Х17Н2	—	ИС (закалка, отпуск)	—	Раствор	$Y = -0,1797 X + 3,4890$
Сталь 14Х17Н2	Растяжение	25	$5,6 \times 10^{-3}$	Воздух	$Y = -0,1624 X + 3,4359$
Сталь 14Х17Н2	Растяжение	25	$5,6 \times 10^{-3}$	раствор	$Y = -0,2077 X + 3,6025$
Сталь 08кп	—	ИС (х/к)	—	Воздух	$Y = -0,0884 X + 3,0247$
Сталь 08кп	—	ИС (х/к)	—	Раствор	$Y = -0,1011 X + 3,0659$
Сталь 08кп	Осадка	5	10^{-1}	Воздух	$Y = -0,9990 X + 3,0661$
Сталь 08кп	Осадка	5	10^{-1}	Раствор	$Y = -0,0880 X + 3,0101$
Сталь 08кп	Осадка	17	10^{-1}	Воздух	$Y = -0,0859 X + 3,0051$
Сталь 08кп	Осадка	17	10^{-1}	Раствор	$Y = -0,1062 X + 3,0550$
Сталь 08кп	Осадка	29	10^{-1}	Воздух	$Y = -0,0838 X + 2,9802$
Сталь 08кп	Осадка	29	10^{-1}	Раствор	$Y = -0,1220 X + 3,1020$
Сталь 08ГСЮТ	—	ИС (г/к)	10^{-1}	Воздух	$Y = -0,0957 X + 2,9330$
Сталь 08ГСЮТ	—	ИС (г/к)	—	Раствор	$Y = -0,1620 X + 3,1501$
Сталь 08ГСЮТ	Осадка	5	10^{-1}	Воздух	$Y = -0,0671 X + 2,8124$
Сталь 08ГСЮТ	Осадка	5	10^{-1}	Раствор	$Y = -0,1151 X + 2,9762$
Сталь 08ГСЮТ	Осадка	17	10^{-1}	Воздух	$Y = -0,0890 X + 2,9249$
Сталь 08ГСЮТ	Осадка	17	10^{-1}	Раствор	$Y = -0,1162 X + 2,9899$
Сталь 08ГСЮТ	Осадка	29	10^{-1}	Воздух	$Y = -0,0903 X + 2,9431$
Сталь 08ГСЮТ	Осадка	29	10^{-1}	Раствор	$Y = -0,1020 X + 2,9311$
Сталь 07ГСЮФТ	—	ИС (г/к)	—	Воздух	$Y = -0,1610 X + 3,2578$
Сталь 07ГСЮФТ	—	ИС (г/к)	—	Раствор	$Y = -0,2250 X + 3,4887$
Сталь 07ГСЮФТ	Осадка	5	10^{-1}	Воздух	$Y = -0,1504 X + 3,2401$

1	2	3	4	5	6
Сталь 07ГСЮФТ	Осадка	5	10^{-1}	Раствор	$Y = -0,1731 X + 3,2489$
Сталь 07ГСЮФТ	Осадка	17	10^{-1}	Воздух	$Y = -0,1422 X + 3,2072$
Сталь 07ГСЮФТ	Осадка	17	10^{-1}	Раствор	$Y = -0,1939 X + 3,3348$
Сталь 07ГСЮФТ	Осадка	29	10^{-1}	Воздух	$Y = -0,1089 X + 3,0668$
Сталь 07ГСЮФТ	Осадка	29	10^{-1}	Раствор	$Y = -0,1630 X + 3,2291$
Сталь 40Х	—	ИС (закалка, отпуск)	—	Воздух	$Y = -0,2001 X + 3,3162$
Сталь 40Х	—	ИС (закалка, отпуск)	—	Раствор	$Y = -0,2331 X + 3,5838$
Сталь 40Х	Растяжение	5	2×10^{-2}	Воздух	$Y = -0,2110 X + 3,5479$
Сталь 40Х	Растяжение	5	2×10^{-2}	Раствор	$Y = -0,2832 X + 3,7512$
Сталь 40Х	Растяжение	10	2×10^{-2}	Воздух	$Y = -0,1771 X + 3,3582$
Сталь 40Х	Растяжение	10	2×10^{-2}	Раствор	$Y = -0,2839 X + 3,7841$
Сталь 40Х	Растяжение	22	2×10^{-2}	Воздух	$Y = -0,2208 X + 3,6073$
Сталь 40Х	Растяжение	22	2×10^{-2}	Раствор	$Y = -0,2833 X + 3,8327$
Сталь 08Ю	—	ИС (х/к)	—	Воздух	$Y = -0,132 X + 2,921$
Сталь 08Ю	—	ИС (х/к)	—	Раствор	$Y = -0,159 X + 3,016$
Сталь 08Ю	Осадка	12	10^{-1}	Воздух	$Y = -0,134 X + 2,910$
Сталь 08Ю	Осадка	12	10^{-1}	Раствор	$Y = -0,171 X + 3,068$

Таблица П 2.5

**Результаты статистического анализа вероятностных кривых распределения циклической долговечности сталей
после различных режимов технологической обработки**

Материал	Режим обработки	Условия испытаний		σ _a , МПа	lg N	S	v, %	
		Среда	Т, °С					
1	2	3	4	5	6	7	8	9
18. Сталь 20X13	Закалка, отпуск	Воздух	500	Консольный изгиб вращением, 50 Гц	400	4,036	0,230	5,6
19. — —	Растяжение 25% со скоростью $2,8 \times 10^{-2} \text{ с}^{-1}$	— —	500	— —	400	4,371	0,118	2,7
20. — —	Растяжение 5% со скоростью $1,1 \times 10^{-3} \text{ с}^{-1}$	— —	20	— —	399	4,255	0,173	4,1
21. Сталь 14X17H2	Закалка, отпуск	— —	20	— —	595	4,456	0,039	0,9
22. Сталь 35ХГСА	Закалка, высокий отпуск	— —	20	Чистый изгиб вращением, 50 Гц	490	5,075	0,088	1,7
23. — —	Термообработка, правка	— —	20	— —	490	4,844	0,072	1,5
24. — —	Термообработка, обдувка дробью, правка	— —	20	— —	490	4,750	0,251	5,3
25. — —	Термообработка, правка, обдувка дробью	— —	20	— —	490	5,250	0,202	3,9
26. Сталь 40	Закалка, низкий отпуск	— —	20	— —	451	5,290	0,010	0,2
27. — —	Термообработка, правка	— —	20	— —	451	5,250	0,080	1,5
28. — —	Закалка, высокий отпуск	— —	20	— —	451	5,217	0,035	0,6
29. — —	Термообработка, правка	— —	20	— —	451	5,070	0,111	2,2
30. — —	Нитроцементация с низким отпуском	— —	20	— —	805	5,134	0,366	7,1
31. — —	Термообработка, правка, обдувка дробью	— —	20	— —	805	5,767	0,335	5,8
32. Сталь 40X	Нитроцементация с низким отпуском	— —	20	— —	873	6,094	0,756	12,4

Продолжение табл. П 2.5

1	2	3	4	5	6	7	8	9
33. — —	Термообработка, правка	— —	20	— —	873	5,620	1,069	19,1
34. — —	Термообработка, обдувка дробью, правка	— —	20	— —	873	5,870	1,101	18,7
35. — —	Термообработка, правка, обдувка дробью	— —	20	— —	873	6,728	0,548	8,2
36. Сталь 20ХН2М	Цементация с низким отпускком	— —	20	— —	922	5,763	0,738	12,8
37. — —	Термообработка, правка	— —	20	— —	922	4,776	0,200	4,2
38. — —	Термообработка, обдувка дробью, правка	— —	20	— —	981	4,994	0,178	3,6
39. — —	Термообработка, правка, обдувка дробью	— —	20	— —	981	6,028	0,874	14,5
40. Сталь 12Х18Н10Т (сварка встык)	Нормализация	— —	20	Симметричный консольный изгиб, 25 Гц	420	3,272	0,072	2,2
41. — —	Нормализация, пневмодробеструйное упрочнение (ПДУ) с 2 сторон (дробь 0,6–1,2 мм, 1 мин, давление воздуха Р=0,4 МПа)	— —	20	— —	420	4,667	0,173	3,7
42. — —	Нормализация, растяжение 5% со скоростью $2 \times 10^{-3} \text{ с}^{-1}$	— —	20	— —	420	3,576	0,216	6,0
43. — —	Нормализация, растяжение 10% со скоростью $2 \times 10^{-3} \text{ с}^{-1}$	— —	20	— —	420	3,654	0,284	7,8
44. — —	Нормализация, растяжение 5% со скоростью $2 \times 10^{-3} \text{ с}^{-1}$, ПДУ с 2 сторон (дробь 0,6–1,2 мм, 1 мин, Р=0,4 Мпа)	— —	20	— —	420	4,992	0,320	6,4
45. — —	Растяжение 7–10% со скоростью $2 \times 10^{-3} \text{ с}^{-1}$	Раствор соли	20	— —	303	4,745	0,004	0,1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	
46.	— —	Нормализация, термоправка	— —	20	— —	294	3,855	0,179	4,6
47.	— —	Термоправка	— —	20	— —	390	3,802	0,194	5,1
48.	— —	Пневмодробеструйная обработка (ДСЛ) с 1 стороны	— —	20	— —	433	3,948	0,077	2,0
49.	— —	ПДУ с 1 стороны	— —	20	— —	372	3,978	0,270	6,8
50.	— —	Термоупрочнение пучком проволоки	— —	20	— —	415	3,946	0,071	1,8
51.	— —	Упрочнение микрошариками с 1 стороны	— —	20	— —	356	3,790	0,063	1,7
52.	Сталь ВНС-2М	Термообработка	Воздух	20	— —	750	4,141	0,091	2,2
53.	— —	Термообработка, пассивация	— —	20	— —	750	4,607	0,137	3,0
54.	— —	Осадка 5% со скоростью 10^2 с^{-1} , термообработка	— —	20	— —	750	4,280	0,045	1,1
55.	— —	Осадка 10% со скоростью 10^2 с^{-1} , термообработка	— —	20	— —	750	4,622	0,029	0,6
56.	— —	Осадка 22% со скоростью 10^2 с^{-1} , термообработка	— —	20	— —	750	4,646	0,077	1,7
57.	— —	Осадка 5% со скоростью $8 \times 10^2 \text{ с}^{-1}$, термообработка	— —	20	— —	750	4,260	0,119	2,8
58.	— —	Осадка 10% со скоростью $8 \times 10^2 \text{ с}^{-1}$, термообработка	— —	20	— —	750	4,416	0,283	6,4
59.	— —	Осадка 22% со скоростью $8 \times 10^2 \text{ с}^{-1}$, термообработка	— —	20	— —	750	4,613	0,383	8,3
60.	— —	Термообработка	— —	20	— —	850	3,717	0,063	1,7
61.	— —	Осадка 5% со скоростью 10^2 с^{-1} , термообработка	— —	20	— —	850	3,506	0,052	1,5
62.	— —	Осадка 10% со скоростью 10^2 с^{-1} , термообработка	— —	20	— —	850	3,833	0,041	1,1
63.	— —	Осадка 22% со скоростью 10^2 с^{-1} , термообработка	— —	20	— —	850	4,077	0,081	2,0
64.	— —	Осадка 5% со скоростью $8 \times 10^2 \text{ с}^{-1}$, термообработка	— —	20	— —	850	4,008	0,079	2,0
65.	— —	Осадка 10% со скоростью $8 \times 10^2 \text{ с}^{-1}$, термообработка	— —	20	— —	850	4,095	0,051	1,3
66.	Сталь СН-3М	Холоднокатаная	— —	20	— —	418	5,273	—	—
67.	— —	Холоднокатаная	Раствор соли	20	— —	418	5,150	0,258	5,0

Таблица П 3.1

Результаты статистического анализа вероятностных кривых распределения циклической долговечности
алюминиевых сплавов после различных режимов технологической обработки

Материал	Режим обработки	Условия испытаний		σ_a , МПа	lg N	S	v, %
		Среда	Схема нагружения				
1	2	3	4	5	6	7	8
10. Сплав Д19-АМ	Холоднокатаная	— —	Симметричный консольный изгиб, 25 Гц	150	3,780	0,115	3,1
11. — —	Осадка 9% со скоростью $8 \times 10^{-2} \text{ с}^{-1}$, термообработка	— —	— —	150	4,445	0,184	4,1
12. — —	Осадка 18% со скоростью $8 \times 10^{-2} \text{ с}^{-1}$, термообработка	— —	— —	150	4,448	0,231	5,2
13. — —	Осадка 29% со скоростью $8 \times 10^{-2} \text{ с}^{-1}$, термообработка	— —	— —	150	4,636	0,055	1,2
14. — —	Осадка 40% со скоростью $8 \times 10^{-2} \text{ с}^{-1}$, термообработка	— —	— —	150	4,195	0,240	5,7
15. — —	Холоднокатаная	раствор соли	— —	150	3,708	0,081	2,2
16. — —	Осадка 9% со скоростью $8 \times 10^{-2} \text{ с}^{-1}$, термообработка	— —	— —	150	4,342	0,061	1,4
17. — —	Осадка 18% со скоростью $8 \times 10^{-2} \text{ с}^{-1}$, термообработка	— —	— —	150	4,393	0,109	2,5
18. — —	Осадка 29% со скоростью $8 \times 10^{-2} \text{ с}^{-1}$, термообработка	— —	— —	150	4,251	0,160	3,8
19. — —	Осадка 40% со скоростью $8 \times 10^{-2} \text{ с}^{-1}$, термообработка	— —	— —	150	4,065	0,149	3,7

Продолжение табл. П 3.1

1	2	3	4	5	6	7	8
20.	— — Осадка 9% со скоростью 10^2 с^{-1} , термообработка	— —	— —	150	4,419	0,201	4,6
21.	— — Осадка 20% со скоростью 10^2 с^{-1} , термообработка	— —	— —	150	4,233	0,152	3,6
22.	— — Осадка 45% со скоростью 10^2 с^{-1} , термообработка	— —	— —	150	4,090	0,240	5,8
23.	Сплав 01420Т Закалка (вырезка образцов вдоль волокон)	— —	— —	160	4,793	0,232	4,8
24.	— — Холоднокатаная (вырезка образцов вдоль волокон)	— —	— —	160	4,810	0,111	2,3
25.	— — Закалка, Осадка 9% со скоростью 10^2 с^{-1} , термообработка (образцы вдоль волокон)	— —	— —	160	4,189	0,155	3,7
26.	— — Закалка, Осадка 18% со скоростью 10^2 с^{-1} , термообработка (образцы вдоль волокон)	— —	— —	160	4,527	0,184	4,1
27.	— — Закалка, Осадка 29% со скоростью 10^2 с^{-1} , термообработка (образцы вдоль волокон)	— —	— —	160	4,404	0,103	2,3
28.	— — Холоднокатаная (вырезка образцов поперек волокон)	— —	— —	160	5,371	0,073	1,3
29.	— — Закалка, Осадка 9% со скоростью 10^2 с^{-1} , термообработка (образцы вдоль волокон)	— —	— —	210	3,328	0,186	5,6
30.	— — Закалка, Осадка 18% со скоростью 10^2 с^{-1} , термообработка (образцы вдоль волокон)	— —	— —	210	3,497	0,062	1,8
31.	— — Закалка, Осадка 29% со скоростью 10^2 с^{-1} , термообработка (образцы вдоль волокон)	— —	— —	210	3,557	0,151	4,3
32.	— — Закалка, Осадка 29% со скоростью 10^2 с^{-1} , термообработка (образцы поперек волокон)	— —	— —	210	4,275	0,030	0,7
33.	— — Закалка, Осадка 9% со скоростью $8 \times 10^2 \text{ с}^{-1}$, термообработка (образцы поперек волокон)	— —	— —	140	4,927	0,034	0,8

Окончание табл. 3.1

34.	— —	Закалка, Осадка 18% со скоростью $8 \times 10^{-2} \text{ с}^{-1}$, термообработка (образцы поперек волокон)	— —	— —	140	4,690	0,073	1,6
35.	— —	Закалка, Осадка 9% со скоростью $8 \times 10^{-2} \text{ с}^{-1}$, термообработка (образцы вдоль волокон)	— —	— —	140	4,643	0,028	0,6
27.	— —	Закалка, Осадка 18% со скоростью $8 \times 10^{-2} \text{ с}^{-1}$, термообработка (образцы вдоль волокон)	— —	— —	140	4,508	0,013	0,3
28.	— —	Закалка, Осадка 9% со скоростью $8 \times 10^{-2} \text{ с}^{-1}$, термообработка (образцы поперек волокон)	— —	— —	190	3,675	0,054	1,5
29	— —	Закалка, Осадка 18% со скоростью $8 \times 10^{-2} \text{ с}^{-1}$, термообработка (образцы поперек волокон)	— —	— —	190	3,744	0,133	3,6
30	— —	Холоднокатаная (вырезка образцов вдоль волокон)	раствор соли	— —	160	4,159	0,055	1,3
31	— —	Закалка, Осадка 18% со скоростью 10^2 с^{-1} , термообработка (образцы вдоль волокон)	— —	— —	160	3,634	0,025	0,7
32	— —	Закалка, Осадка 40% со скоростью 10^2 с^{-1} , термообработка (образцы вдоль волокон)	— —	— —	160	3,264	0,124	3,8
33	— —	Холоднокатаная (вырезка образцов поперек волокон)	— —	— —	160	4,156	0,165	4,0
34	— —	Закалка, Осадка 9% со скоростью $8 \times 10^{-2} \text{ с}^{-1}$, термообработка (образцы поперек волокон)	— —	— —	160	4,119	0,222	5,4
35	— —	Закалка, Осадка 18% со скоростью $8 \times 10^{-2} \text{ с}^{-1}$, термообработка (образцы поперек волокон)	— —	— —	160	4,053	0,180	4,5

Приложение 4
Таблица П 4.1

Стекла защитные многослойные. Общие технические условия

Класс защиты	Вид оружия	Наименование и индекс патрона	Характеристика пули			Дистанция обстрела, м
			Тип сердечника	Масса, г	Скорость, м/с	
1	Пистолет Макарова (ПМ)	9-мм пистолетный патрон 57-Н-181С с пулей Пст	стальной	5,9	305-325	5
	Револьвер типа "Наган"	7,62-мм револьверный патрон 57-Н-122 с пулей Р	свинцовый	6,8	275-295	5
2	Пистолет специальный малокалиберный ПСМ	5,45-мм пистолетный патрон 7Н7 с пулей Пст	стальной	2,5	310-335	5
	Пистолет Токарева (ТТ)	7,62 пистолетный патрон 57-Н-134С с пулей Пст	стальной	5,5	415-445	5
2а	Охотничье ружье 12-го калибра	18,5-мм охотничий патрон	свинцовый	35,0	390-410	5
3	Автомат АК-74	5,45-мм патрон 7Н6 с пулей ПС	стальной термо-упрочненный	3,5	890-910	5-10
	Автомат АКМ	7,62-мм патрон 57-Н-231 с пулей ПС	стальной нетермо-упрочненный	7,9	710-740	5-10
4	Автомат АК-74	5,45-мм патрон 7Н10 с пулей ПП	стальной термо-упрочненный	3,4	890-910	5-10
5	Винтовка СВД	7,62-мм патрон 57-Н-323С с пулей ЛПС	стальной нетермо-упрочненный	9,6	820-840	5-10
	Автомат АКМ	7,62-мм патрон 57-Н-231 с пулей ПС	стальной термо-упрочненный	7,9	710-740	5-10
5а	Автомат АКМ	7,62-мм патрон 57-БЗ-231 с пулей БЗ	специальный	7,4	720-750	5-10
6	Винтовка СВД	7,62-мм патрон СТ -М2	стальной термо-упрочнен.	9,6	820-840	5-10
6а	Винтовка СВД	7,62-мм патрон 7-БЗ-3 с пулей Б-32	специальный	10,4 0,1	820 20	5-10

Научное издание

**Кудрявцев Сергей Михайлович
Пачурин Герман Васильевич
Соловьев Дмитрий Владимирович
Власов Владимир Алексеевич**

**ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ,
ПРОИЗВОДСТВА И МАТЕРИАЛЫ КУЗОВА
СОВРЕМЕННОГО АВТОМОБИЛЯ**

Редактор Н.Н. Максимова
Технический редактор Т.П. Новикова

Подписано в печать 24.02.2010. Формат 60 × 84 ¹/₁₆.
Бумага офсетная. Печать офсетная. Усл. печ. л. 14,75.
Уч.-изд. л. 15. Тираж 150 экз. Заказ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексева
Типография НГТУ.

Адрес университета и полиграфического предприятия:
603950, Нижний Новгород, ул. Минина, 24.