

М. Г. Афонькин, В. Б. Звягин

ПРОИЗВОДСТВО ЗАГОТОВОК в машиностроении



ПОЛИТЕХНИКА

Электронный аналог печатного издания: Афонькин М. Г., Звягин В. Б. Производство заготовок в машиностроении. — 2-е изд., доп. и перераб. СПб. : Политехника, 2007. — 380 с. : ил.

УДК 62.412
ББК 34.51
А94



ПОЛИТЕХНИКА
ИЗДАТЕЛЬСТВО
Санкт-Петербург 2011

www.polytechnics.ru

Афонькин, М. Г., Звягин, В. Б.
А94 Производство заготовок в машиностроении. — 2-е изд., доп. и перераб. СПб. : Политехника, 2011. — 380 с. : ил.
ISBN 978-5-7325-0622-8

Второе издание книги содержит современные представления о выборе рационального способа получения заготовок для деталей машиностроения. Рассмотрены технологические особенности получения заготовок, обеспечивающие их высокое качество при минимальных затратах. Отдельно представлены основные принципы повышения технологичности деталей для различных способов получения заготовок. Рассмотрено влияние технологических свойств металлов и сплавов на качество и экономичность получаемых деталей. В отдельной главе изложены основные принципы повышения эффективности мелкосерийного производства заготовок.

Содержащиеся в книге данные, математическая постановка и алгоритмы решения некоторых задач могут быть использованы при формализации знаний для разработки систем автоматизированного проектирования технологических процессов в заготовительном производстве.

Книга предназначена для инженерно-технических работников машиностроительных предприятий, занимающихся разработкой технологических процессов в заготовительном производстве и механической обработке, а также полезна для студентов высших учебных заведений, аспирантов и учащихся средних профессиональных образовательных учреждений машиностроительных и металлургических специальностей.

УДК 62.412
ББК 34.51

ISBN 978-5-7325-0622-8

© Издательство «Политехника», 2011

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ КО ВТОРОМУ ИЗДАНИЮ	4
Глава 1. МАТЕРИАЛЫ В СОВРЕМЕННОМ МАШИНОСТРОЕНИИ	6
1.1. Требования, предъявляемые к литейным сплавам	7
1.2. Материалы, применяемые при обработке давлением	39
1.3. Материалы в сварочном производстве	47
1.4. Материалы специального машиностроения	51
Глава 2. СПОСОБЫ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ЗАГОТОВОК	65
2.1. Особенности формирования литых заготовок	66
2.2. Способы получения литых заготовок	71
2.3. Способы получения заготовок обработкой давлением	102
2.4. Специальные способы получения заготовок	150
Глава 3. ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ ДЕТАЛЕЙ	178
3.1. Технологические требования к конструкции литых деталей ..	181
3.2. Технологические требования к конструкции деталей, получае- мых обработкой давлением	207
3.3. Технологические требования к упрочняющей обработке деталей машин	217
3.4. Формализация понятия «технологичность детали»	232
Глава 4. ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНОГО СПОСОБА ПОЛУЧЕНИЯ ЗА- ГОТОВКИ	241
4.1. Факторы, влияющие на себестоимость производства заготовок в машиностроении	242
4.2. Основные положения к выбору рациональной заготовки ..	246
4.3. Основные положения к выбору способа литья	252
4.4. Основные положения к выбору способа обработки давлением ..	260
4.5. Техничко-экономический сравнительный анализ	268
4.6. Приближенные методы оценки технико-экономических показа- телей	279
4.7. Формализация задачи выбора рационального способа получения заготовки	285
Глава 5. ОСОБЕННОСТИ МЕЛКОСЕРИЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА ЗАГОТОВОК	296
5.1. Основы технико-экономического обоснования приоритетных на- правлений технического перевооружения и реконструкции заго- товительного производства	297
5.2. Основы структурно-факторного анализа технологического про- цесса при выборе способа получения заготовки	322
5.3. Методика определения материала штампа для мелкосерийного производства штамповок	330
5.4. Формализация определения положения плоскости разъема штампа	433
5.5. Концепция автоматизированного проектирования горячештам- пованных поковок в мелкосерийном производстве	349
ПРИЛОЖЕНИЕ 1	357
ПРИЛОЖЕНИЕ 2	366
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	378

МАТЕРИАЛЫ В СОВРЕМЕННОМ МАШИНОСТРОЕНИИ

Развитие материалов с давних времен определялось многообразием способов их переработки, которое обусловлено разнообразными требованиями, предъявляемыми потребителем. Связь между уровнем технологии получения и обработки материала и создаваемой техникой в настоящее время стала еще более тесной.

Достижения ученых и даже филигранная работа инженерного корпуса конструкторов могут быть сведены на нет отступлением от технологических процессов изготовления узлов конструкций и условий их эксплуатации. Выполнение требований по обоснованному выбору конструкционных материалов, оптимальному проектированию и конструированию, строгому соблюдению технологических процессов изготовления полуфабрикатов и изделий из них, как известно, определяется законами общества. В этом случае качество общественной продукции не должно зависеть от субъективных моментов, «застойных» явлений, «опережающих» направлений и других негативных факторов.

Если это будет выполняться, то явление «деградации свойств металла в конструкции» потеряет свой смысл. Разве только недостаточная изученность отдельных явлений или недостаточно глубокое их понимание может повлиять на работоспособность материалов в конструкциях и их преждевременное разрушение.

Отметим еще одну особенность рационального конструирования в постоянно усложняющихся условиях эксплуатации новой техники.

Было время, когда новые стали и сплавы разрабатывались вообще, в надежде на будущее их использование. Затем стало правилом, что новый материал разрабатывался применительно к новым условиям его работы (например, создание конструкционных материалов для оболочек ТВЭЛов, корпусных конструкций судов и т. п.). Сейчас в ряде случаев стало необходимым разрабатывать конструкцию ответственного узла или элементы конструкции одновременно с разработкой новых материалов, т. е. физику и конструктору необходимо работать в тесном контакте с металловедом и технологом.

Создание новых материалов и разработка передовых технологий не только позволяет уменьшить массу машин,

приборов и конструкций, но дает возможность создать новые, не имеющие аналогов механизмы.

Научно-техническая революция и появление таких новых отраслей техники, как ракетостроение, энергетика, управление термоядерными процессами, освоение космоса, физика высоких энергий также обязаны прогрессу в области материаловедения.

Для обоснованного выбора конструктор должен иметь отчетливое представление о возможностях, которыми располагают современные материалы и технологии.

Из многообразия свойств материалов при конструировании деталей основное внимание обычно уделяется прочности и жесткости, вязкости и пластичности, жаропрочности и хладостойкости, коррозионной стойкости, снижению массы конструкции.

Различают физические, химические, технологические и механические свойства материалов.

Физические свойства определяют поведение материалов в тепловых, гравитационных, электромагнитных и радиационных полях. К физическим свойствам относятся плотность, теплоемкость, температура плавления, термическое расширение, магнитные характеристики, теплопроводность, электропроводность.

Под химическими свойствами понимают способность материалов вступать в химическое взаимодействие с другими веществами, сопротивляемость окислению, проникновению газов и химически активных веществ. Типичным примером химического взаимодействия металла и среды является коррозия.

Технологические свойства металлов и сплавов определяют их способность подвергаться выплавке, деформации в горячем и холодном состояниях, обработке резанием, термической обработке, сварке.

Целесообразность применения тех или иных материалов определяется не только их конструктивными свойствами, но и экономичностью, что в значительной степени зависит от технологических свойств.

1.1. Требования, предъявляемые к литейным сплавам

На стоимость отливок большое влияние оказывают не только химический состав материала, но и его технологические свойства, т. е. способность точно воспроизводить очер-

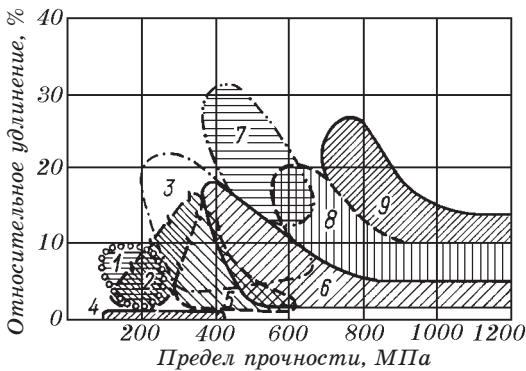


Рис. 1.1. Механические свойства литейных сплавов [47]:

1 — оловянная бронза; 2 — алюминиевые сплавы; 3 — безоловянные латуни и бронзы; 4 — серый чугун; 5 — ковкий чугун; 6 — высокопрочный чугун; 7 — углеродистая сталь; 8 — легированная сталь; 9 — титановые сплавы

тания формы, не образовывать усадочной и газовой пористости, раковин.

Кроме того, требования к технологическим свойствам литейных сплавов могут изменяться в зависимости от способа получения отливки. Поэтому целесообразно дать краткое описание литейных сплавов и требований к ним.

К металлам и сплавам, используемым при изготовлении от-

ливок, предъявляются следующие требования:

1) состав их должен обеспечивать получение в отливке заданных физико-механических и физико-химических свойств; свойства и структура должны быть стабильными в течение всего срока эксплуатации отливки (на рис. 1.1 отражены соотношения между прочностью и пластичностью основных литейных сплавов);

2) они должны обладать хорошими литейными свойствами (высокой жидкотекучестью, небольшой усадкой, низкой склонностью к образованию трещин и поглощению газов, герметичностью), хорошо свариваться;

3) должны легко обрабатываться режущим инструментом;

4) не должны быть токсичными и вредными для производства;

5) необходимо, чтобы они обеспечивали технологичность в условиях производства и были экономичными, содержали дешевые, недефицитные элементы.

Удовлетворение перечисленных выше требований является трудной, а в условиях реального производства подчас невыполнимой задачей. Поэтому при выборе сплава следует руководствоваться одним или группой требований, которым подчиняются другие, второстепенные для данных условий.

Прежде всего, литейные сплавы должны удовлетворять эксплуатационным требованиям, т. е. обладать достаточными прочностью, твердостью, пластичностью, малой хрупко-

стью, высокой ударной вязкостью. Если это необходимо, то и особыми физическими и физико-механическими свойствами — электропроводностью, магнитной проницаемостью, жаростойкостью и т. п. Это вынуждает применять большое число различных сплавов. В основные ГОСТы входят около 300 литейных сплавов, кроме того, в различных ведомственных справочниках насчитывается еще около 450 литейных сплавов.

Наибольшее количество фасонных отливок для различных областей промышленности изготавливают из сплавов на основе железа (стали и чугуны), меди (бронзы и латуни), алюминия, магния и титана. В некоторых областях промышленности используют сплавы на основе никеля, цинка, кобальта, свинца и олова.

Однако не все сплавы в одинаковой степени пригодны для получения фасонных отливок. Из одних сплавов (серого чугуна, оловянистой бронзы, силуминов) можно достаточно легко получить сложные тонкостенные отливки, из других сплавов (титановых, латуней, легированных сталей) получение отливок сопряжено с большими трудностями. Возможность получения доброкачественных тонкостенных отливок, сложных по форме, крупногабаритных, без раковин, трещин и других литейных дефектов предопределяется литейными свойствами сплавов.

Жидкотекучесть — способность металлов и сплавов в жидком состоянии заполнять форму и воспроизводить в отливке ее очертания. Природа жидкотекучести очень сложна и зависит от многих факторов, которые можно разделить на следующие группы.

К первой группе относятся факторы, связанные со строением и свойствами металлов в жидком состоянии (природа сплава, вязкость, теплоемкость, теплопроводность и т. д.). Особенно высокой жидкотекучестью обладают силумины, чугуны, безоловянные бронзы. Из этих сплавов можно получать очень сложные, тонкостенные отливки. Средней жидкотекучестью обладают сплавы алюминия с медью и магнием, оловянные бронзы, углеродистые и среднелегированные стали. Пониженная жидкотекучесть наблюдается у магниевых сплавов.

Ко второй группе относятся факторы, определяемые условием заливки, подводом жидкого металла к форме, т. е. технологическим процессом литья.

К третьей группе относятся факторы, определяемые способом получения отливок. Так, при литье под дав-

лением и при центробежном литье жидкотекучесть повышается за счет принудительного заполнения формы. Она повышается и при литье по выплавляемым моделям, так как металл заливается в горячую форму. Жидкотекучесть падает при литье в металлические формы в силу более интенсивного теплообмена между заливаемым металлом и более холодной формой.

Склонность к поглощению газов — способность литейных сплавов поглощать газы, которые являются вредными примесями и приводят к браку по газовой пористости в отливках. В значительной степени на образование газовой пористости влияет материал формы: чем выше газопроницаемость формы, тем меньше образуются подобные дефекты в отливках. В этом отношении более склонны к образованию газовой пористости способы, использующие металлические формы (литье под давлением, литье в кокиль и др.).

Усадка — уменьшение линейных и объемных размеров отливки при ее затвердевании и охлаждении. Усадка зависит от химического состава сплава, температуры расплава, материала формы и конструкции отливки. Чем больше усадка, тем больше вероятность получения дефектов усадочно-го происхождения: пор, раковин, горячих и холодных трещин, коробления и внутренних напряжений.

При выборе технологического процесса литья, при конструировании литой детали обязательно следует учитывать склонность данного сплава к усадке. Чем больше усадка сплава, тем жестче требования к конструкции литой детали, особенно к наличию тепловых узлов (массивных частей отливки), толщине стенок и сопряжению элементов отливки. Отливки из сплавов, склонных к большой усадке, не рекомендуется изготавливать в металлических формах, которые обладают низкой податливостью, так как это может привести к короблению отливок, возникновению внутренних напряжений и трещин.

Ликвация — неоднородность сплава по химическому составу в различных частях отливки. Ликвация возрастает при увеличении в сплаве содержания примесей, имеющих большую плотность (вольфрам, молибден) или низкую температуру плавления (сера, фосфор). Различают ликвацию зональную, когда различные части отливки имеют различный химический состав, и внутрикристаллитную (дендритную), когда неоднородность химического состава наблюдается в каждом зерне. Зональная ликвация наиболее опасна, так как ее нельзя устранить термической обработкой. Чем

больше объем отливки и медленнее охлаждение, тем больше вероятность образования зональной ликвации.

Характерным для зональной ликвации является то, что наружные участки и тонкие стенки отливки, охлаждаемые в первую очередь, содержат меньше ликвируемых элементов, чем застывающие позже массивные части. Не рекомендуется применять сплавы, склонные к повышенной ликвации, для центробежного литья.

Сильно ликвируют сплавы, компоненты которых не растворимы друг в друге и не образуют ни химических соединений, ни эвтектических смесей (например, свинцовистая бронза). Неметаллические включения в затвердевшем сплаве нарушают сплошность и единообразие его структуры, являются концентраторами напряжений. Некоторые неметаллические включения могут понижать химическую стойкость сплавов, образуя с основным металлом гальванические пары. Наличие неметаллических включений понижает механические свойства отливок.

Кроме перечисленных свойств литейные сплавы должны обладать хорошей **свариваемостью**, так как многие литейные дефекты могут быть исправлены путем заварки.

Таким образом, при конструировании литой детали, выборе способа получения отливки особое внимание следует обращать на литейные свойства сплава, без учета которых даже при самом совершенном технологическом процессе литья получить отливку без литейных дефектов невозможно.

Значение технологических свойств литейных сплавов очень велико и должно быть учтено при выборе материала детали при изготовлении ее из отливки. Во всех случаях, при прочих равных условиях, следует отдавать предпочтение сплавам с лучшими литейными свойствами. Ниже будут рассмотрены свойства и области применения основных литейных сплавов.

Чугун является наиболее распространенным материалом для изготовления фасонных отливок. Чугунные отливки по массе составляют около 80 % от общего числа отливок. Широкое распространение чугуна получил благодаря хорошим технологическим свойствам и относительной дешевизне по сравнению с другими литейными сплавами. Область применения чугуна все больше расширяется вследствие непрерывного повышения его прочностных и технологических характеристик, а также разработки чугунов новых марок со специальными физическими и механическими свойствами.

Основным компонентом, оказывающим существенное влияние на свойства чугуна, является углерод. При этом имеет значение не только общее содержание углерода, но и форма, в которой он содержится в чугуне: в виде графита (серый чугун) или цементита (белый чугун).

Серый чугун — наиболее дешевый литейный сплав. Обладает сравнительно высокими механическими свойствами, относительно низкой температурой плавления и очень хорошими литейными свойствами. Жидкотекучесть серого чугуна значительно превышает жидкотекучесть стали. Размер усадки колеблется от 0,9 до 1,3 %, что является существенным фактором, обуславливающим получение качественных отливок, без усадочных раковин, трещин, коробления и других дефектов.

Серый чугун малочувствителен к надрезам, выточкам, буртикам и другим концентраторам напряжений. Это объясняется наличием графитовых включений, которые уже как бы являются внутренними «надрезами», и добавление к ним новых наружных надрезов мало отражается на снижении прочности. Серый чугун обладает способностью рассеивать вибрационные колебания при переменных нагрузках, поэтому детали станин металлорежущих станков, детали дизелей, компрессоров отливают из серого чугуна, а не из стали. Использовать серый чугун для деталей машин, подвергающихся ударным нагрузкам, нельзя, так как он хрупок и обладает низкой пластичностью. Недостатком серого чугуна как литейного сплава является отбел поверхности, особенно при литье в металлические формы.

На механические свойства серого чугуна (табл. 1.1) основное влияние оказывают количество, форма и распределение графитовых включений и прочность основной металлической массы.

Серые чугуны подразделяют на две группы: конструкционные чугуны и чугуны со специальными свойствами. Отливки из конструкционных чугунов используют главным образом для деталей машин (до 80 % всех производимых чугунных отливок).

Потребителями чугунного литья являются такие отрасли промышленности, как автомобильная, тракторная, сельскохозяйственная, машино-, станкостроение и др. Качество отливок этой группы определяется механическими свойствами чугуна. Отливки малой или средней прочности (предел прочности до 200–250 МПа) изготавливают из простых чугунов, отливки повышенной прочности — из низколегированных и модифицированных (табл. 1.2).

Таблица 1.1

Химический состав и механические свойства отливок из серого чугуна

Марка	Массовое содержание элементов, %					σ_B , МПа	σ_H , МПа	Твердость НВ	
	C	Si	Mn	P	S			МПа	кгс/мм ²
				не более					
СЧ10	3,5–3,7	2,2–2,6	0,5–0,8	0,3	0,15	98	274	1402–2246	143–229
СЧ15	3,5–3,7	2,0–2,4	0,5–0,8	0,2	0,15	147	314	1599–2246	163–229
СЧ18	3,4–3,6	1,9–2,3	0,5–0,7	0,2	0,15	176	358	1668–2246	170–229
СЧ20	3,3–3,5	1,4–2,2	0,7–1,0	0,2	0,15	196	392	1668–2364	170–241
СЧ24	3,2–3,4	1,4–2,2	0,7–1,0	0,2	0,15	235	481	1668–2364	170–241
СЧ25	3,2–3,4	1,4–2,2	0,7–1,0	0,2	0,15	245	451	1766–2452	180–250
СЧ30	3,0–3,2	1,0–1,3	0,7–1,0	0,2	0,12	294	490	1775–2501	181–256
СЧ35	2,9–3,0	1,0–1,1	0,7–1,1	0,2	0,12	343	539	1932–2638	197–269
СЧ40	2,5–2,7	2,5–2,9	0,2–0,4	0,02	0,02	392	588	2030–2795	207–285
СЧ45	2,2–2,4	2,5–2,9	0,2–0,4	0,02	0,02	441	637	2246–2835	229–289

Для получения однородных и повышенных механических свойств отливок из чугунов марок СЧ20, СЧ25, СЧ30, СЧ35 и СЧ40, а также для предотвращения отбела чугуна модифицируют. Хотя модифицирование чугуна и уменьшает его склонность к отбеливанию, для каждой марки существуют минимальные толщины стенок отливок, получаемые без структуросвободного цементита (рис. 1.2).

Для получения отливок со специальными свойствами используют такие свойства чугуна, как термо-, рост- и жаростойкость, коррозионная стойкость, специальные электромагнитные свойства. В большинстве случаев такие отливки изготавливают из низко- и среднелегированных чугунов.

Характеристика и примеры применения отливок из серого чугуна

Марка	Характеристика	Примеры применения
СЧ10	Неответственное литье, которому предъявляется главным образом требование легкости обработки, а не прочности	Плиты, грузы, корыта, крышки, кожухи, основания с привертными направляющими
СЧ15	Малоответственное литье с толщиной стенки 8–15 мм; невысокие требования к износостойкости	Детали сложной конструкции при недопустимости большого коробления и невозможности проведения их старения; маховики, шкивы, поршневые кольца, арматура, сосуды, работающие под давлением; тонкостенные отливки с развитыми габаритными размерами небольшой массы; детали весов, текстильных, печатных, швейных, счетных и других машин
СЧ18	Ответственное литье с толщиной стенки 8–25 мм	Основания станков, детали корпусов, крупные шкивы, зубчатые колеса, блоки цилиндров, поршни и поршневые кольца. Детали, подвергающиеся средним напряжениям и давлениям
СЧ20	Ответственное литье с толщиной стенки 10–30 мм; детали, требующие значительной прочности и работающие при температуре до 300 °С	Корпуса, блоки цилиндров, зубчатые колеса, станины с направляющими большинства металлорежущих станков, диски сцепления, тормозные барабаны
СЧ24	Ответственное литье с толщиной стенки 20–40 мм; детали, работающие при температуре до 300 °С	Блоки автомобильных цилиндров, гильзы двигателей, поршни, тяжелонагруженные зубчатые колеса, кокильные формы
СЧ25	Ответственное сложное литье с толщиной стенки 20–60 мм; детали, работающие при температуре до 300 °С	Корпуса насосов и гидроприводов, поршни и гильзы дизелей и бесклапанных двигателей, цилиндры и головки дизелей, рамы, штампы для холодной вытяжки и другие детали, работающие под высоким давлением; блоки цилиндров, головки блоков, гильзы автомобилей и тракторов, станины

Марка	Характеристика	Примеры применения
СЧ30	Ответственное высоконагруженное литье с толщиной стенки 20–100 мм; детали, работающее при температуре до 300 °С	Цилиндры и крышки паровых машин, малые коленчатые валы; клапаны и кулачки распределительных механизмов, зубчатые колеса; цепные звездочки, тормозные барабаны, муфты, диски сцепления, клапаны, поршневые кольца; станины ножниц и прессов, блоки и плиты многошпиндельных станков, станины интенсивно нагруженных станков
СЧ35	Ответственное тяжело нагруженное литье с толщиной стенки более 20 мм	Крупные толстостенные втулки, зубчатые колеса, крупные коленчатые валы; цепные звездочки, зубчатые и червячные колеса, тормозные барабаны, муфты, диски сцепления, клапаны, поршневые кольца

Ковкий чугун (табл. 1.3) в основном является конструкционным материалом, используемым для изготовления мелких тонкостенных отливок (толщина стенок не более 40–50 мм) для сельскохозяйственных машин, автомобилей, тракторов, арматуры, фитингов и других деталей массового производства. Особенно целесообразно применение ковкого чугуна в случае, если деталь трудно отлить из стали, а получить ее обработкой давлением слишком дорого. Благодаря хлопьевидной форме графита ковкий чугун отличается высокими прочностью и пластичностью, занимая промежуточное положение между серым чугуном и сталью.

В зависимости от состава и микроструктуры металлической основы ковкий чугун делят на два класса: ферритный и перлитный.

Ковкий чугун ферритного класса обладает повышенной пластичностью, сопротивляемостью ударным нагруз-

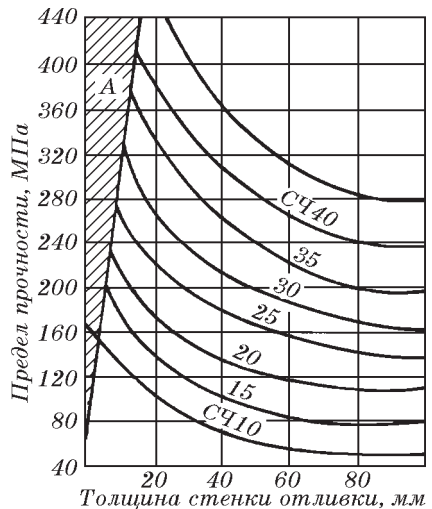


Рис. 1.2. Механические свойства чугунов в зависимости от толщины стенки отливок (А — область отбела)

Химический состав и механические свойства некоторых ковких чугунов

Марка	Способ выплавки	Массовое содержание элементов, %							$\sigma_{\text{в}}$, МПа	δ , %	Твердость НВ	
		C	Si	C + Si	Mn	P	S	Cr			МПа	кгс/мм ²
Ф е р р и т н ы й к л а с с												
КЧ30-6	Вагранка	2,6-2,9	1,0-0,6	3,7-4,2	0,4-0,6	0,18	0,20	0,08	294	6	981-1599	
КЧ35-10		2,5-2,8	1,1-1,3	3,6-4,0	0,3-0,6	0,12	0,20	0,06	333	10	981-1599	
КЧ37-12		Электропечь	2,4-2,7	1,2-1,4	3,6-4,0	0,2-0,4	0,12	0,06	0,06	362	12	1079-1599
П е р л и т н ы й к л а с с												
КЧ45-7	Вагранка	2,5-2,8	1,1-1,3	3,6-3,9	0,3-1,0	0,10	0,20	0,08	441	7	1471-2030	
КЧ65-3	Электропечь	2,4-2,7	1,2-1,4	3,6-3,9	0,3-1,0	0,10	0,06	0,08	637	3	2079-2638	

кам и однородностью механических свойств по сечению отливок. Для ковкого чугуна перлитного класса характерны высокие прочность и износостойкость, средняя пластичность, хорошие антифрикционные свойства. Однако ковкий чугун обладает более низкими литейными свойствами, чем серый, в частности пониженной жидкотекучестью, большей усадкой и повышенной склонностью к трещинообразованию.

Высокопрочный чугун с шаровидной формой графита широко используется как конструкционный материал в современном машиностроении (табл. 1.4, 1.5).

По литейным свойствам высокопрочные чугуны приближаются к сталям, т. е. имеют пониженную жидкотекучесть, повышенную усадку, а следовательно, повышенную склонность к образованию дефектов литейного происхождения. Себестоимость отливок из высокопрочного чугуна с шаровидным графитом в среднем на 25 % ниже себестоимости отливок из углеродистой стали и в три-четыре раза ниже себестоимости стальных

Химический состав высокопрочных чугунов с шаровидным графитом

Марка	Массовое содержание элементов, %												S	Cu	
	C						Si								Mn
	Толщина стенки отливки, мм														
До 50	Св. 50 до 100	Св. 100	До 10	Св. 10 до 30	Св. 30 до 50	Св. 50 до 100	Св. 100	До 10	Св. 10 до 30	Св. 30 до 50	Св. 50 до 100	Св. 100	Не более		
ВЧ38-17				2,4-2,7	1,9-2,2	1,6-1,9	1,3-1,7	0,8-1,5							
ВЧ42-12				2,1-2,7	1,8-2,2	1,5-1,9	1,2-1,7	0,5-1,5							
ВЧ45-5				2,4-2,7	1,9-2,2	1,6-1,9	1,3-1,7	0,5-1,5							
ВЧ50-7	3,3-3,6	3,0-3,3	2,7-3,2	2,2-2,7	1,8-2,2	1,5-1,9	1,2-1,7	0,8-1,5						0,02	
ВЧ50-2				2,0-2,7	1,7-2,8	1,4-1,9	1,1-1,7	0,6-1,5							
ВЧ60-2				2,4-2,8	2,4-2,8	2,2-2,6	2,2-2,6	—							0,3
ВЧ70-2	—	3,2-3,6	—	—	—	—	2,6-2,9	—						0,15	0,4
ВЧ80-2	3,2-3,6	—	—	2,6-2,9	2,6-2,8	2,6-2,9	—	—							0,6
ВЧ100-2	—	—	—	3,4-3,8	3,4-3,8	—	—	—						0,01	—
ВЧ120-2	—	—	—	—	—	—	—	—							—

Примечание. Для марок ВЧ100-2, ВЧ120-2 содержание никеля не более 0,8 %; для всех марок — фосфора не более 0,1 %.

Таблица 1.5

Механические свойства высокопрочного чугуна с шаровидным графитом

Марка	σ_B	σ_T	δ , %	Твердость НВ	
	МПа, не менее			МПа	кгс/мм ²
ВЧ38-17	373	235	17	1373–1668	140–170
ВЧ42-12	412	274	12	1373–1962	140–200
ВЧ45-5	441	333	5	1570–2158	160–220
ВЧ50-7	490	343	7	1678–2364	171–241
ВЧ50-2	490	343	2	1766–2550	180–260
ВЧ60-2	600	393	2	1962–2747	200–280
ВЧ70-2	686	441	2	2246–2943	229–300
ВЧ80-2	784	490	2	2453–3237	250–330
ВЧ100-2	981	686	2	2649–3532	270–360
ВЧ120-2	1177	882	2	2963–3728	302–380

поковок. Однако тонна отливок из высокопрочного чугуна на 20 % дороже тонны отливок из серого чугуна, поэтому заменять серый чугун на высокопрочный целесообразно лишь в том случае, если при этом уменьшается масса детали или увеличивается срок ее службы. В табл. 1.6 приведено изменение оптовых цен на некоторые массовые группы отливок из различных чугунов.

Из высокопрочного чугуна с шаровидным графитом отливают ответственные тяжело нагруженные и толстостенные детали: крупные коленчатые валы, шестерни, прокатные валки и другие детали прокатного и кузнечно-прессового оборудования, работающие в условиях ударных нагрузок. В настоящее время доказаны возможность и экономическая эффективность перевода ряда деталей, изготавливаемых из стальных отливок и поковок, на отливки из высокопрочного чугуна.

Как известно, чугуны являются наиболее дешевыми литейными сплавами, обладающими высокими механическими и литейными свойствами, что делает их прекрасным материалом для литых заготовок машиностроительных деталей.

Сталь как литейный материал применяют для получения отливок деталей, которые наряду с высокой прочностью должны обладать хорошими пластическими свойствами, быть надежными и долговечными в эксплуатации. Чем

Изменение оптовых цен на отливки из чугуна

Марка	Масса отливки, кг	Группа сложности				
		1	2	3	4	5
СЧ10, СЧ15, СЧ18	10,0–16,0	1,00	1,23	1,48	1,76	2,09
	40,0–63,0	0,89	1,10	1,32	1,59	1,90
	630–1000	0,74	0,92	1,09	1,31	1,60
СЧ20, СЧ25, СЧ30	10,0–16,0	1,05	1,30	1,55	1,83	2,17
	40,0–63,0	0,94	1,17	1,39	1,66	1,97
	630–1000	0,79	0,99	1,16	1,39	1,67
ВЧ42-12, ВЧ45-5, ВЧ50-2, ВЧ60-2	10,0–16,0	1,23	1,49	1,77	2,07	2,43
	40,0–63,0	1,11	1,34	1,61	1,89	2,23
	630–1000	0,95	1,10	1,38	1,61	1,95
КЧ30-6, КЧ33-8, КЧ35-10, КЧ37-12, КЧ45-6, КЧ50-4, КЧ56-4, КЧ60-3, КЧ63-2	10,0–16,0	1,13	1,39	1,67	1,96	2,32
	40,0–63,0	1,02	1,27	1,51	1,79	2,12
	630–1000	0,88	1,08	1,27	1,51	1,82

ответственнее машина и тяжелее условия, в которых она работает, тем более значительна доля стальных отливок, идущих на ее изготовление.

Например, масса стальных литых деталей в экскаваторе составляет 45 %, в тепловозе — 50 %, в тепловой арматуре — 60 % от общей массы машины. Многие стали хорошо свариваются, что дает возможность изготавливать сложные сварно-литые конструкции. Стальные отливки без литейных дефектов (усадочных и газовых раковин, неметаллических включений, трещин и т. п.) после соответствующей термообработки не уступают по механическим свойствам поковкам.

Применительно к машиностроению литейные стали условно можно разделить на три группы: конструкционные (нелегированные и легированные), инструментальные и стали со специальными свойствами.

Из конструкционных сталей в основном изготавливают детали, испытывающие механические нагрузки — статические, динамические, вибрационные. Из инструментальных сталей изготавливают литой инструмент, из сталей со специальными свойствами (жаропрочные, жаро-, кислотостойкие, коррозионно-стойкие и т. д.) — детали, работающие

в различных агрессивных средах, при высоких температурах, в условиях сложных механических нагрузок.

Из **конструкционных нелегированных сталей** получают около 2/3 стальных фасонных отливок. По литейным свойствам эти стали уступают чугуну, но тем не менее из них можно изготавливать сложные отливки, разнообразные по конструкции, размерам, массе, толщине стенок для различных отраслей промышленности. После термической обработки литая конструкционная нелегированная сталь обладает высокими механическими свойствами (табл. 1.7).

Жидкотекучесть нелегированной конструкционной стали в среднем в два раза меньше жидкотекучести серых чугунов и определяется содержанием углерода в стали — по мере увеличения содержания углерода жидкотекучесть возрастает. Низкоуглеродистые стали марок 15Л и 20Л применяются обычно для изготовления несложных литых частей сварнолитых конструкций, так как эти стали обладают пониженной жидкотекучестью. Разнообразные по массе и конфигурации фасонные отливки для различных отраслей промышленности в основном изготавливают из среднеуглеродистых сталей марок 25Л, 30Л, 35Л, 40Л. Литейные свойства этих сталей выше, чем низкоуглеродистых.

Высокоуглеродистые стали марок 45Л, 50Л, 55Л применяют для изготовления износостойких деталей (зубчатых

Т а б л и ц а 1.7

**Механические свойства фасонных отливок
из конструкционной нелегированной стали после нормализации**

Марка	σ_B	$\sigma_{0,2}$	δ	ψ
	МПа		%	
15Л	400	200	24	35
20Л	420	220	22	35
25Л	450	240	19	30
30Л	480	260	17	30
35Л	500	280	15	25
40Л	530	300	14	25
45Л	550	320	12	20
50Л	580	340	11	20
55Л	600	350	10	18

колес, шестерен, барабанов, катков и т. п.). Эта группа сталей обладает относительно хорошей жидкотекучестью. Для них характерна высокая линейная усадка: у тонкостенных отливок сложной конфигурации усадка составляет 1,25–1,5 %, у толстостенных — 2,0–2,5 %. Увеличение содержания углерода снижает линейную усадку, что уменьшает опасность образования горячих трещин. С другой стороны, высокоуглеродистые стали обладают наибольшей склонностью к образованию холодных трещин.

Особенности литейных свойств **конструкционных нелегированных сталей** вызывают необходимость выполнения определенных требований при конструировании литых деталей.

Применение **конструкционных легированных сталей** является одним из путей увеличения надежности, долговечности изделий, снижения их массы. Низко- и среднелегированные стали по химическому составу можно разделить на следующие основные группы:

- марганцовистые стали марок 20ГЛ, 35ГЛ, 30ГСЛ, 20Г1ФЛ применяют для ответственных износостойких деталей железнодорожного транспорта;

- хромистые стали марок 32Х06Л, 40ХЛ используют для изготовления деталей, работающих в условиях абразивного изнашивания;

- хромомолибденовые стали марок 30ХМЛ, 35ХМЛ применяют для деталей паровых турбин, арматуры, трубопроводов;

- сложнолегированные стали марок 30ХНМЛ, 35ХГСЛ, 13ХНДФТЛ, 12ДХН1МФЛ используют для различных тяжело нагруженных деталей. Механические свойства этих сталей приведены в табл. 1.8.

Из сталей с особыми **физическими, химическими и механическими свойствами** (коррозионно-стойкие и жаропрочные стали) изготавливают детали специального назначения. **Коррозионно-стойкие стали** устойчивы к коррозии во влажной атмосфере, в речной воде, слабых органических средах. Наибольшее распространение получили стали марок 15Х13Л, 20Х13Л, 20Х15МЛ, 10Х14НДЛ. Из этих сталей отливают турбинные лопатки, различные клапаны, арматуру, товары народного потребления.

К **жаропрочным** сталям относятся, например, марки 20Х21Н46В8Л, 12Х18Н12М3ТЛ, 08Х17Н34В5Т3Ю2Л. Эти стали способны сопротивляться пластическим деформациям при высоких температурах (до 800–900 °С). Их применяют для изготовления деталей паровых и газовых турбин, котлов.

Таблица 1.8

**Механические свойства конструкционных легированных сталей
после термической обработки**

Марка	σ_B	$\sigma_{0,2}$	δ	ψ	KCV		Термическая обработка
	МПа		%		Дж/м ²	кгс · м/см ²	
	Не менее						
20ГЛ	550	280	18	25	490	5	Нормализация, отпуск
35ГЛ	600	350	14	30	490	5	
30ГСЛ	650	400	14	30	490	5	Закалка, отпуск
20Г1ФЛ	520	320	17	25	490	5	
20ФЛ	500	300	18	35	490	5	Нормализация, отпуск
30ХГСФЛ	600	400	15	25	344	3,5	
45ФЛ	700	500	12	20	292	3	Закалка, отпуск
32Х06Л	650	450	10	20	490	5	
40ХЛ	650	500	12	25	392	4	
35ХМЛ	700	550	12	25	392	4	
30ХНМЛ	700	550	12	20	292	3	Нормализация, отпуск
35ХГСЛ	800	600	10	20	392	4	
35НГМЛ	750	600	12	25	392	4	Закалка, отпуск
20ДХЛ	650	550	12	30	392	4	
20ХГСНДМЛ	650	500	12	20	392	4	
08ГДНФЛ	450	350	18	30	490	5	Нормализация, отпуск
13ХНДФТЛ	500	400	18	30	490	5	
12ДН2ФЛ	800	650	12	25	392	4	Закалка, отпуск
12ДНХ1МФЛ	1000	750	10	20	392	3	
23ХГС2МФЛ	1300	1100	6	25	392	4	
25Х2Г2ФЛ	1400	1200	5	25	392	4	

П р и м е ч а н и е. Механические свойства сталей могут изменяться в зависимости от применяемой термической обработки, что также предусмотрено ГОСТом.