

СРЕДНЕЕ  
ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ  
ОБРАЗОВАНИЕ

В. В. ОВЧИННИКОВ

# СПРАВОЧНИК СВАРЩИКА

Справочное издание

*Рекомендовано для освоения профессий  
из списка ТОП-50 наиболее востребованных на рынке труда,  
новых и перспективных профессий*

**BOOK.ru**  
ЧИТАТЬ ONLINE 

КНОРУС • МОСКВА • 2025

УДК 621.7(03)  
ББК 31.2я2  
О-35

**Рецензент**

Д.А. Козлов, зам. генерального директора ООО «НПО „Источник“», канд. техн. наук

**Овчинников, Виктор Васильевич.**

**О-35** Справочник сварщика : справочное издание / В.В. Овчинников. — Москва : КНОРУС, 2025. — 272 с. — (Среднее профессиональное образование).

**ISBN 978-5-406-14375-9**

Охватывает практически все принципиальные аспекты сварки плавлением и давлением. Большое внимание уделено подготовке деталей к сварке; особенностям технологии ручной сварки покрытыми электродами, сварки плавящимся и неплавящимся электродом в защитных газах, сварке под флюсом; причинам возникновения дефектов в сварных соединениях и мерам, предупреждающим появление дефектов. Приведены сведения о специальных методах ручной и автоматической электросварки. Рассмотрены перспективные методы соединения материалов, такие как электронно-лучевая, лазерная, плазменная сварка и трещионная сварка алюминиевых сплавов. Обобщен практический опыт и передовые технологии ведущих фирм Швеции, Австралии, Италии в области сварки, а также институтов сварки России и США. Материал изложен согласно действующим нормативным документам и правилам аттестации сварщиков.

Соответствует ФГОС СПО последнего поколения.

**Рекомендовано для освоения профессий из списка ТОП-50 наиболее востребованных на рынке труда, новых и перспективных профессий.**

*Для учащихся учреждений СПО.*

УДК 621.7(03)  
ББК 31.2я2

Овчинников Виктор Васильевич

**СПРАВОЧНИК СВАРЩИКА**

Изд. № 705258. Формат 60×84/8. Гарнитура «NewtonС».  
Усл. печ. л. 17,0. Уч.-изд. л. 13,31. Тираж 500 (2-й завод 31–60) экз.

ООО «Издательство «КноРус».  
117218, г. Москва, ул. Кедрова, д. 14, корп. 2.  
Тел.: +7 (495) 741-46-28.  
E-mail: welcome@knorus.ru www.knorus.ru

Отпечатано в полном соответствии с качеством  
предоставленных материалов в ООО «Фотоэксперт».  
109316, г. Москва, Волгоградский проспект, д. 42, корп. 5,  
эт. 1, пом. I, ком. 6.3-23Н

ISBN 978-5-406-14375-9

© Овчинников В.В., 2025  
© ООО «Издательство «КноРус», 2025

# ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>Предисловие</b> . . . . .	5
<b>Список принятых обозначений и сокращений</b> . . . . .	6
<b>Глава 1. Свариваемые материалы и свариваемость</b> . . . . .	8
1.1. Углеродистые стали . . . . .	8
1.2. Легированные стали . . . . .	11
1.3. Чугуны . . . . .	17
1.4. Медь и ее сплавы . . . . .	17
1.5. Никель и его сплавы . . . . .	26
1.6. Алюминий и его сплавы . . . . .	27
1.7. Магний и его сплавы . . . . .	33
1.8. Титан и титановые сплавы . . . . .	35
<b>Глава 2. Материалы для сварки</b> . . . . .	38
2.1. Сварочная проволока . . . . .	38
2.2. Электроды для ручной дуговой сварки . . . . .	48
2.3. Флюсы для дуговой автоматической, полуавтоматической, ручной, газовой и электрошлаковой сварки . . . . .	63
2.4. Вольфрамовые электроды для дуговой сварки . . . . .	67
2.5. Защитные газы для дуговой сварки . . . . .	68
2.6. Материалы электродов для машин электрической контактной сварки . . . . .	69
<b>Глава 3. Ручная дуговая сварка</b> . . . . .	70
3.1. Схема процесса и режимы ручной дуговой сварки покрытыми электродами . . . . .	70
3.2. Схема процесса и режимы сварки самозащитными порошковыми проволоками . . . . .	73
3.3. Состав поста для сварки покрытыми электродами . . . . .	74
3.4. Сварочные трансформаторы . . . . .	74
3.5. Выпрямители для ручной дуговой сварки . . . . .	76
3.6. Электрододержатели . . . . .	78
<b>Глава 4. Автоматическая сварка под флюсом</b> . . . . .	81
4.1. Схема процесса сварки под флюсом . . . . .	81
4.2. Режимы сварки сталей под флюсом . . . . .	83
4.3. Оборудование для сварки под флюсом . . . . .	91
<b>Глава 5. Электрошлаковая сварка</b> . . . . .	95
5.1. Схема процесса электрошлаковой сварки . . . . .	95
5.2. Режимы ЭШС конструкционных материалов . . . . .	99
5.3. Оборудование для электрошлаковой сварки . . . . .	102
<b>Глава 6. Дуговая сварка в защитном газе</b> . . . . .	103
6.1. Сущность процесса сварки и его преимущества . . . . .	103
6.2. Сварка плавящимся электродом в защитном газе . . . . .	105
6.2.1. Схема процесса (GMAW-процесс) . . . . .	105
6.2.2. Режимы сварки плавящимся электродом . . . . .	108
6.3. Сварка неплавящимся вольфрамовым электродом в защитном газе . . . . .	113
6.3.1. Схема процесса сварки неплавящимся электродом . . . . .	113
6.3.2. Режимы дуговой сварки вольфрамовым электродом в защитных газах . . . . .	116
6.4. Оборудование для сварки плавящимся электродом в защитных газах . . . . .	121
6.5. Оборудование для сварки неплавящимся электродом . . . . .	126
6.6. Источники питания для дуговой сварки в защитных газах . . . . .	129

---

6.7. Газовая аппаратура . . . . .	130
6.8. Специальное оборудование для сварки в защитных газах . . . . .	132
6.9. Специальные методы дуговой сварки в защитных газах . . . . .	134
<b>Глава 7. Плазменная сварка и резка . . . . .</b>	<b>142</b>
7.1. Основные схемы плазменной сварки . . . . .	142
7.2. Режимы плазменной и микроплазменной сварки . . . . .	145
7.3. Плазменная резка . . . . .	149
7.4. Режущие плазмотроны . . . . .	153
7.5. Оборудование для плазменной резки . . . . .	156
<b>Глава 8. Контактная сварка . . . . .</b>	<b>164</b>
8.1. Основные способы контактной сварки . . . . .	164
8.2. Сварочные электроды . . . . .	165
8.3. Образование соединения при контактной сварке . . . . .	167
8.4. Режимы контактной сварки . . . . .	168
8.5. Оборудование для контактной сварки . . . . .	179
<b>Глава 9. Газовая сварка и кислородная резка металлов . . . . .</b>	<b>189</b>
9.1. Газовая сварка . . . . .	189
9.2. Кислородная резка . . . . .	198
9.3. Оборудование для газовой сварки и кислородной резки . . . . .	203
<b>Глава 10. Сварка трением . . . . .</b>	<b>221</b>
10.1. Традиционная сварка трением . . . . .	221
10.2. Оборудование для сварки трением . . . . .	227
10.3. Сварка трением с перемешиванием . . . . .	228
10.4. Оборудование для сварки трением с перемешиванием . . . . .	235
<b>Глава 11. Лучевые способы сварки . . . . .</b>	<b>236</b>
11.1. Электронно-лучевая сварка . . . . .	236
11.2. Электронно-лучевые сварочные установки . . . . .	243
11.3. Лазерная сварка . . . . .	248
11.4. Лазерная резка . . . . .	257
11.5. Оборудование для лазерной сварки и резки . . . . .	260
11.6. Гидроабразивная резка . . . . .	269
<b>Список литературы . . . . .</b>	<b>271</b>

## ПРЕДИСЛОВИЕ

На сегодняшний день сварка стала одним из наиболее распространенных технологических процессов. Трудно назвать какой-либо другой процесс, который развивался бы с такой же интенсивностью, а по разнообразию и объемам применения был бы сравним со сваркой. Решение множества важнейших технических проблем современности неразрывно связано с необходимостью получения сварных соединений, способных работать в различных условиях, в том числе и экстремальных.

Конечным продуктом сварочного производства являются сварные конструкции. Общие объемы производства сварных конструкций в мире составляют сотни миллионов тонн в год. Создание экономичных, надежных и долговечных сварных конструкций, работающих на земле и под водой, при нормальных, высоких и криогенных температурах, в агрессивных средах и при интенсивном радиационном облучении, в различных экстремальных условиях эксплуатации, является важной научно-технической проблемой.

Сварка предоставляет широкие возможности для оптимизации конструктивных решений, снижения трудоемкости изготовления конструкций и использования рациональных типов конструктивных элементов, позволяющих существенно уменьшить металлоемкость. Сварку как один из видов получения неразъемных соединений широко применяют в различных отраслях техники. За последние 20 лет разработаны и освоены новые и специальные методы сварки, которые внесли коренные изменения в технологию изготовления машин, механизмов, приборов и сооружений. Поэтому есть основания полагать, что и в XXI в. сварка по-прежнему будет интенсивно развиваться. Несомненно, сварка плавлением останется основой сварочного производства.

Дуговая сварка — самый распространенный способ сварки плавлением, широко используемый во всех областях техники. Она позволяет создавать конструкции, отличающиеся высокой технологичностью, обеспечивает короткие сроки изготовления, ремонта, восстановления и модернизации конструкций при большой экономии труда и металла. Повышение качества и работоспособности сварных конструкций неразрывно связано с совершенствованием такого важного и трудоемкого процесса, как неразрушающий контроль качества сварных соединений.

Непрерывное развитие техники и технологии сварочного производства требует систематического улучшения профессиональной подготовки сварщиков и специалистов сварочного производства, повышения их производственной квалификации и уровня теоретических знаний. Однако специалисту сварочного производства нелегко найти книгу, дающую ответ на интересующие его вопросы по специальности, особенно касающиеся «тонкостей» производства. В большинстве случаев обширная литература по оборудованию и технологии дуговой сварки, представленная на рынке, не содержит на них ответов. В результате уровень знаний специалиста часто ограничен сведениями из нормативных документов и собственного опыта.

В предлагаемом справочном пособии автор пытается ответить на максимально возможное число вопросов, возникающих как у учащихся средних профессиональных учебных заведений, так и у специалистов сварочного производства при выполнении различных видов сварки и изготовлении сварных конструкций широкой номенклатуры.

В книгу включена лишь часть огромного количества справочных данных, имеющих в литературе. Дополнительную информацию можно найти в публикациях, перечисленных в конце книги. На отборе справочных сведений, несомненно, сказались представления автора о том, что более всего необходимо читателям для практической работы. Это отбор порой сопряжен с серьезными затруднениями и в ряде случаев не бесспорен. Автор с благодарностью примет советы и предложения по содержанию данного справочного пособия.

## СПИСОК ПРИНЯТЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ И СОКРАЩЕНИЙ

$a$	— ширина нахлестки
$b$	— зазор между свариваемыми частями
$b_p$	— ширина контактной поверхности ролика
$B_\varepsilon$	— ширина электрода машины контактной роликовой сварки
$B_{\varepsilon_{рп}}$	— ширина рабочей поверхности электрода машины контактной роликовой сварки
$c$	— притупление кромки
$d_{п}$	— диаметр электродной проволоки
$d_{пп}$	— диаметр присадочной проволоки
$d_{ст}$	— диаметр стержня
$d_\varepsilon$	— диаметр электрода
$d_c$	— диаметр сопла
$D_\varepsilon$	— диаметр электрода машины для контактной сварки
$D_{\varepsilon_{кп}}$	— диаметр контактной поверхности электрода машины контактной сварки
$d_{я}$	— диаметр ядра при контактной точечной сварке
$H$	— раствор электродов контактной машины, мм
$HB$	— твердость по Бриннелю
$HRC$	— твердость по Роквеллу
$HV$	— твердость по Виккерсу
$I_{max}$	— максимальное значение тока, которое обеспечивает сварочная установка
$I_d$	— ток дуги
$I_{св}$	— сила сварочного тока при дуговых методах сварки
$I_{то}$	— сила тока при термической обработке сварной точки в электродах контактной машины
$j$	— плотность тока
$KCU$	— ударная вязкость, определенная на образцах U-образным надрезом
$KCV$	— ударная вязкость, определенная на образцах V-образным надрезом
$n$	— расстояние от кромки до оси ряда сварных точек
$P_k$	— ковочное усилие
$P_{св}$	— усилие сжатия электродов при контактной сварке
$Q_B$	— расход воздуха при плазменной резке
$Q_3$	— расход защитного газа
$Q_{30} (Q_{осш})$	— расход защитного газа для защиты обратной стороны шва
$Q_{п}$	— расход плазмообразующего газа
$R_{сф}$	— радиус сферы электрода машины контактной точечной сварки
$s$	— шаг между точками при контактной точечной сварке
$s_{min}$	— минимальный шаг между точками при контактной точечной сварке
$t$	— длительность воздействия лазерного луча на деталь
$t_{и}$	— длительность импульса тока
$t_{н}$	— время нагрева
$t_{п}$	— длительность паузы
$t_{опл}$	— длительность цикла при стыковой сварке оплавлением
$t_{св}$	— длительность цикла при контактной сварке
$t_{то}$	— длительность цикла термической обработки точки в электродах контактной машины
$U_d$	— напряжение на плазменной дуге
$U_{св}$	— напряжение на сварочной дуге
$U_{xx}$	— напряжение холостого хода источника питания дуги
$V_{ос}$	— скорость осадки

$V_{\text{опл}}$	— скорость оплавления
$V_{\text{опл. ос}}$	— скорость оплавления перед осадкой
$V_{\text{п}}$	— скорость подачи проволоки
$V_{\text{р}}$	— скорость резки
$V_{\text{св}}$	— скорость сварки
$V_{\text{ср. опл}}$	— средняя скорость оплавления
$\alpha$	— угол разделки кромок
$\beta_{\text{ац}}$	— коэффициент замены ацетилена при газовой сварке
$\beta$	— угол скоса кромки
$\Delta_{\text{н}}$	— осадка нагрева
$\Delta_{\Sigma}$	— суммарный припуск на осадку
$\Delta_{\text{бт}}$	— припуск длины детали на оплавление без тока при стыковой сварке
$\Delta_{\text{оп}}$	— припуск длины детали на оплавление при стыковой сварке
$\Delta_{\text{т}}$	— припуск длины детали на оплавление под током при стыковой сварке
$\delta$	— толщина свариваемого или разрезаемого металла
$\delta_5$	— относительное удлинение
$\sigma_{\text{в}}$	— предел прочности при растяжении
$\sigma_{0,2}$	— условный предел текучести при растяжении
$\psi$	— относительное сужение при растяжении
$\omega$	— частота вращения детали
$B$	— вылет электродов контактной машины, мм
ЗТВ	— зона термического влияния
ЛТК	— лазерный технологический комплекс
МТВ	— машина контактной сварки на постоянном (выпрямленном) токе
МТВР	— машина контактной сварки на постоянном (выпрямленном) токе с радиальным ходом электродов
МТК	— конденсаторная машина контактной точечной сварки
ОКГ	— оптический квантовый генератор
ПВ	— продолжительность включения оборудования
УЧПУ	— установки с числовым программным управлением
ФКУ	— фотокопировальное устройство
ШВП	— шаговое включение перемещения
ЭШС	— электрошлаковая сварка

## СВАРИВАЕМЫЕ МАТЕРИАЛЫ И СВАРИВАЕМОСТЬ

### 1.1. Углеродистые стали

*Конструкционные* стали разделяются на углеродистые, строительные, цементируемые, улучшаемые, высокопрочные, рессорно-пружинные, подшипниковые, износостойкие, судостроительные, для пищевой промышленности.

Основную массу углеродистых сталей составляют стали обыкновенного качества (ГОСТ 380—94), качественные конструкционные стали (ГОСТ 1050—88), повышенной обрабатываемости резанием (ГОСТ 1414—75), инструментальные (ГОСТ 1435—90) и стали для отливок (ГОСТ 977—88).

*Автоматные* стали, изготовленные по ГОСТ 1414—75, применяют для массового изготовления крепежа на станках-автоматах. Основное требование к ним — хорошая обрабатываемость резанием — выполняется за счет увеличения содержания серы и фосфора до 0,1...0,2%, а также добавления селена и свинца. Маркируются автоматные стали буквой А и двумя цифрами, показывающими среднее содержание углерода в сотых долях процента: А12, А20, А30. При введении свинца в количестве 0,15...0,3% автоматные стали маркируются буквами АС и цифрами, показывающими среднее содержание углерода в сотых долях процента: АС11, АС14.

*Углеродистые конструкционные* стали делятся на два класса: обыкновенного качества и качественные стали. В зависимости от условий и степени раскисления различают следующие виды сталей.

*Спокойные стали* — стали, получаемые полным раскислением металла в печи, а затем в ковше. Эти стали содержат минимальное количество закиси железа, что обеспечивает «спокойное» застывание металла в изложнице, происходящее с уменьшением объема. В верхней части слитка образуются усадочная раковина и околоусадочная рыхлость, удаляемые отрезкой или отрубкой при прокатке.

*Кипящие стали* полностью не раскислены и поэтому до затвердевания содержат повышенное количество FeO. При застывании в изложнице закись железа FeO реагирует с углеродом металла, образуя CO. Пузырьки CO, выделяясь в металле, создают впечатление, что он кипит. В слитке кипящей стали образуется большое количество газовых пузырей, в результате чего практически отсутствует усадочная раковина. Если пузырьки имеют чистые неокисленные стенки, то они завариваются при горячей прокатке. Кипящие стали более дешевы, так как при их производстве отходы минимальны. По сравнению со спокойной и полуспокойной сталью они больше склонны к старению и хладноломкости и хуже свариваются. Но вместе с тем кипящие стали обладают высокой пластичностью и хорошо принимают вытяжку в холодном состоянии.

*Полуспокойные стали* — это стали промежуточного типа. Они получают все более широкое применение.

В маркировку кипящей стали добавляют буквы «кп», полуспокойной — «пс», спокойной — «сп».

**Стали обыкновенного качества.** Они наиболее дешевые, поскольку в процессе выплавки меньше очищаются от вредных примесей и содержат больше серы и фосфора. Кроме того, их отливают в крупные слитки, поэтому в них значительно развита ликвация (неравномерное распределение легирующих элементов и примесей) и они нередко содержат большое количество неметаллических включений.

В зависимости от назначения и гарантируемых свойств стали обыкновенного качества делятся на три группы.

Группа А — стали, которые поставляются по механическим свойствам без уточнения их химического состава (табл. 1.1). Стали этой группы обозначаются буквами «Ст» (сталь) и цифрами 1, 2, 3, ..., 6. Чем больше число, тем больше содержание углерода, а следовательно, выше прочность и ниже пла-



стичность. Эти стали предназначены для использования в состоянии поставки без последующей обработки давлением или термической обработки, поскольку их химический состав, определяющий режимы обработки, может сильно колебаться.

Таблица 1.1

**Регламентируемые характеристики сталей группы А (ГОСТ 380—94)**

Категория стали	Марка стали	$\sigma_B$	$\delta_5$	Изгиб в холодном состоянии	$\sigma_T$ или $\sigma_{0,2}$
1	Ст0...Ст6	+	+	—	—
2	Ст0...Ст6	+	+	+	—
3	Ст3...Ст6	+	+	+	+

**Примечание.** «+» — характеристика регламентируется; «—» — не регламентируется.

Группа Б включает стали, которые поставляются с гарантируемым химическим составом. В обозначении марки стали этой группы впереди ставится буква Б.

Группа В включает стали повышенного качества, которые поставляются с гарантированными химическим составом и механическими свойствами (табл. 1.2). В обозначение марки данной группы вводится буква «В». Выплаваются следующие марки сталей группы В: ВСт2, ВСт3, ВСт4, ВСт5.

Таблица 1.2

**Регламентируемые характеристики сталей группы В (ГОСТ 380—94)**

Категория стали	Марка стали	$\sigma_B$	$\delta$	$\sigma_{0,2}$	КСУ		
					+20 °С	–20 °С	После механического старения
1	ВСт1...ВСт5	+	+	—	—	—	—
2	ВСт2...ВСт5	+	+	+	—	—	—
3	ВСт3...ВСт4	+	+	+	+	—	—
4	ВСт3	+	+	+	—	+	—
5	ВСт3	+	+	+	—	+	+
6	ВСт3	+	+	+	—	—	+

**Примечания:** 1. «+» — характеристика регламентируется; «—» — не регламентируется.

2. Химический состав всех категорий стали группы В регламентируется.

3. Изгиб в холодном состоянии всех категорий стали группы В регламентируется.

Сварные конструкции изготовляют из спокойных и полуспокойных сталей группы В. Для сталей, предназначенных для сварных конструкций, важна малая чувствительность к термическому старению, а для сталей, подвергаемых холодной правке и гибке, — малая склонность к деформационному старению.

Стали повышенного качества (группа В) имеют специализированное назначение (мосто- и судостроение, сельскохозяйственное машиностроение) и нередко поступают по особым техническим условиям.

**Качественные машиностроительные углеродистые стали.** Эти стали выплавляют кислородно-конверторным способом в мартеновских или электропечах. В зависимости от степени раскисления они могут быть спокойными или кипящими. Качественные стали выплавляют с соблюдением более строгих условий в отношении состава шихты и ведения плавки и разливки. К сталям этой группы предъявляются более высокие требования относительно состава: меньшее допустимое содержание углерода, серы ( $\leq 0,04\%$ ) и фосфора ( $\leq 0,035...0,04\%$ ), неметаллических включений, макро- и микро-структуры.

Качественные углеродистые стали маркируют цифрами 08, 10, 15, 20, ..., 85, которые указывают среднее содержание углерода в сотых долях процента (табл. 1.3). Низкоуглеродистые стали 08, 08кп, 10, 10кп имеют невысокую прочность и высокую пластичность (табл. 1.4). Эти стали без термической обработки применяют для малонагруженных деталей (прокладок, шайб, капотов тракторов, змеевиков),

элементов сварных конструкций, штампованных изделий. Штампуемость стали тем хуже, чем больше в ней углерода. Кремний, повышая предел текучести, ухудшает штампуемость, особенно способность принимать вытяжку. Поэтому для холодной штамповки, особенно для вытяжки, более широко используют холоднокатаные кипящие стали 08кп, 08Фкп (легирована ванадием).

Стали 15, 20, 20кп, 25 применяют без термической обработки или в нормализованном виде. Они поступают в виде проката, поковок, труб, листов, ленты и проволоки и предназначаются для менее ответственных деталей. Эти стали хорошо свариваются; кроме того, их используют и для цементируемых деталей, работающих на износ и не испытывающих высоких нагрузок.

Стали с содержанием углерода до 0,25% относятся к низкоуглеродистым, с содержанием 0,26...0,45% — к среднеуглеродистым. К высокоуглеродистым относятся стали, содержащие 0,45...0,75% углерода. Они отличаются плохой свариваемостью и их не применяют для изготовления сварных конструкций. Температурная область применения углеродистых сталей  $-40...+425\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Сталь обыкновенного качества поставляют без термообработки в горячекатаном состоянии. Изготовленные из нее конструкции обычно не подвергают последующей термообработке.

*Углеродистая инструментальная сталь* выпускается 16 марок. Буква «У» означает — сталь углеродистая инструментальная, цифры — содержание углерода в десятых долях процента, буква «Г» — сталь с повышенным содержанием марганца (около 0,5%). Буква «А» означает, что сталь высококачественная, т.е. более чистая по сере, фосфору и содержанию случайных примесей. Сталь поставляют в отожженном состоянии (см. табл. 1.1).

*Стали для отливок* маркируют по содержанию углерода так же, как качественные конструкционные стали, но в конце маркировки стали добавляют букву «Л».

Таблица 1.3

Химический состав некоторых углеродистых конструкционных сталей, %

Марка стали	ГОСТ	C	Mn	Si
Ст1кп	380—94	0,06...0,12	0,25...0,50	$\leq 0,05$
Ст1пс		0,06...0,12		0,05...0,15
Ст1сп		0,06...0,12		0,15...0,30
Ст2кп		0,09...0,15		$\leq 0,05$
Ст2пс		0,09...0,15	0,05...0,15	
Ст2сп		0,09...0,15	0,15...0,30	
Ст3пс		1050—88	0,14...0,22	0,40...0,65
Ст3сп	0,14...0,22		0,15...0,30	
10	1050—88	0,07...0,14	0,35...0,65	0,17...0,37
15		0,12...0,19		0,17...0,37
20		0,17...0,24		0,17...0,37
15Г	4543—71	0,12...0,19	0,70...1,00	0,17...0,37
20Г		0,17...0,24		0,17...0,37
35Г		0,32...0,40		0,17...0,37
12К	5520—79	0,08...0,16	0,40...0,70	0,17...0,37
15К		0,12...0,20	0,35...0,65	0,15...0,30
20К		0,16...0,24	$\leq 0,65$	0,15...0,30
22К		0,19...0,26	1,00	0,17...0,40
Ст3С	5521—86	0,14...0,22	0,35...0,60	0,12...0,35

**Примечания:** 1. Массовая доля хрома, никеля и меди в сталях марок Ст1, Ст2 и Ст3 различной выплавки должна быть не более 0,30% каждого элемента, серы не более 0,050%, фосфора не более 0,70%.

2. Для проката из стали марок Ст3кп, Ст3пс, Ст3сп, предназначенного для сварных конструкций, отклонение по содержанию углерода в сторону его увеличения не допускается.

Таблица 1.4

## Механические свойства некоторых марок углеродистой стали в холодном состоянии

Марка стали	Временное сопротивление $\sigma_b$ , МПа	Предел текучести $\sigma_{02}$ (МПа) для толщин, мм				Относительное удлинение $\delta_5$ (%), для толщин, мм		
		<20	20...40	40...100	>100	<20	20...40	>40
Ст1кп	310...400	—	—	—	—	35	34	32
Ст1пс	320...420	—	—	—	—	34	33	31
Ст2кп	330...420	220	210	200	190	33	32	30
Ст2пс	340...440	230	220	210	200	32	31	29
Ст3кп	370...470	240	230	220	200	27	26	24
Ст3сп	380...490	250	240	230	210	26	25	23
Ст3пс	380...500	250	240	230	210	26	25	23
10	330	205	—	—	—	31	—	—
15	370	225	—	—	—	27	—	—
15Г	410	245	—	—	—	26	—	—
20Г	450	280	—	—	—	24	—	—
35Г	570	340	—	—	—	18	—	—

**Примечание.** Для сталей марок 10, 15, 20, 15Г и 20Г механические свойства определены на образцах из нормализованных заготовок.

В зависимости от характеристики технологической свариваемости стали подразделяют на группы (табл. 1.5).

Таблица 1.5

## Группы технологической свариваемости сталей

Группа	Оценка свариваемости	Характеристика свариваемости
I	Хорошая	Сварные соединения высокого качества получают без применения особых приемов
II	Удовлетворительная	Для получения высококачественных сварных соединений необходимы строгое соблюдение режимов сварки, специальные присадочные материалы, нормальные температурные условия, в некоторых случаях — подогрев, проковка швов, термообработка
III	Ограниченная	Для получения высококачественного сварного соединения необходимы дополнительные операции: подогрев, предварительная или последующая термическая обработка, проковка швов и др.
IV	Плохая	Швы склонны к образованию трещин, и при сварке необходим подогрев. Последующая термообработка обязательна. Качество сварных соединений пониженное. Стали этой группы не применяют для изготовления сварных конструкций

## 1.2. Легированные стали

*Легированными* называются стали, содержащие специально введенные элементы. Марганец считается легирующим элементом при содержании его в сталях более 0,7%, а кремний свыше 0,4%.

Легирующие элементы, добавляемые в сталь, вступают во взаимодействие с железом и углеродом. В результате изменяются свойства стали: улучшаются ее механические характеристики, и, в частности, снижается порог хладноломкости. Это позволяет снизить массу конструкции.

Основную массу легированных сталей составляют: низколегированная (ГОСТ 19282—73, ГОСТ 19281—73), легированная конструкционная (ГОСТ 4543—71), теплоустойчивая (ГОСТ 20072—74)

и высоколегированные стали, а также жаростойкие и жаропрочные железоникелевые сплавы (ГОСТ 5632—72). Маркировка всех перечисленных сталей однотипная. Первые две цифры указывают содержание углерода в сотых долях процента, буквы — условные обозначения легирующих элементов, цифра после буквы — примерное содержание легирующего элемента, причем единица и меньшие значения не ставятся. Буква «А» в конце марки означает, что сталь высококачественная, т.е. с пониженным содержанием серы и фосфора. Условные обозначения легирующих элементов приведены в табл. 1.6.

Таблица 1.6

## Условные обозначения легирующих элементов в сталях

Элемент	N	Nb	W	Mn	Cu	Se	Co	Mo
Обозначение	А	Б	В	Г	Д	Е	К	М
Элемент	Ni	P	B	Si	Ti	V	Cr	Al
Обозначение	Н	П	Р	С	Т	Ф	Х	Ю

Все легированные стали спокойные; исключение составляют две марки низколегированной стали, выпускаемые полуспокойными. Строчные буквы «пс» в конце марки стали означают, что сталь полуспокойная.

В зависимости от набора регламентируемых характеристик низколегированные стали делятся на 15 категорий. Для всех категорий сталей регламентирован химический состав. Могут быть также регламентированы механические свойства при растяжении, изгиб в холодном состоянии и ударная вязкость при комнатной температуре, после механического старения и при следующих отрицательных температурах, °С: –20, –40, –50, –60, –70. Прочностные характеристики дифференцированы в зависимости от вида и толщины проката и марки стали.

Для обозначения сталей и сплавов, полученных специальными методами, в конце наименования марки добавляют через дефис буквы: ВД — вакуумно-дуговой переплав; Ш — электрошлаковый переплав; ВИ — вакуумно-индукционная выплавка.

Сплавы на железоникелевой и никелевой основах маркируются примерно аналогичным образом, но содержание углерода и легирующих элементов не указывается.

При производстве сварных конструкций широко применяют низкоуглеродистые низколегированные конструкционные стали (табл. 1.7 и 1.8). Суммарное содержание легирующих элементов в этих сталях обычно не превышает 4,0%, а углерода — 0,25%. Низколегированные стали в зависимости от вводимых в сталь легирующих элементов разделяют на марганцевые, кремнемарганцевые, хромокремненикелемедистые и т.д.

Таблица 1.7

## Химический состав некоторых низкоуглеродистых низколегированных конструкционных сталей, %

Марка стали	Химический состав, мас. %			
	C	Si	Mn	Прочие
Марганцевые				
09Г2	≤0,12	0,17...0,37	1,4...1,8	Cu ≤ 0,3
14Г2	0,12...0,18	0,17...0,37	1,2...1,6	Cr ≤ 0,3
18Г2	0,14...0,20	0,25...0,55	1,2...1,6	Ni ≤ 0,3
Кремнемарганцевые				
12ГС	0,09...0,15	0,5...0,8	0,8...1,2	Cu ≤ 0,3
16ГС	0,12...0,18	0,4...0,7	0,9...1,2	
17ГС	0,14...0,20	0,4...0,6	1,0...1,4	
092С	≤0,12	0,5...0,8	1,3...1,7	
10Г2С1	≤0,12	0,8...1,1	1,3...1,65	

Окончание

Марка стали	Химический состав, мас. %			
	C	Si	Mn	Прочие
Кремнемарганцовомедистая				
10Г2С1Д	≤0,12	0,8...1,1	1,3...1,65	Cu = 0,15...0,3; Ni ≤ 0,3; Cr ≤ 0,3
Марганцовованадиевая				
15ГФ	0,12...0,18	0,17...0,37	0,9...1,2	V = 0,05...0,10
Хромокремнемарганцовая				
14ХГС	0,11...0,16	0,4...0,7	0,9...1,3	Cr = 0,5...0,8; Ni ≤ 0,3; Cu ≤ 0,3
Хромокремненикелемедистая				
10ХСНД	≤0,12	0,8...1,1	0,5...0,8	Cr = 0,6...0,9; Ni = 0,5...0,8; Cu = 0,4...0,65
Хромокремненикелемедистая				
15ХСНД	0,12...0,18	0,4...0,7	0,4...0,7	Cr = 0,6...0,9; Ni = 0,3...0,6; Cu = 0,2...0,4

**Примечание.** Содержание серы и фосфора не более 0,035%.

Таблица 1.8

**Механические свойства некоторых низкоуглеродистых низколегированных  
конструкционных сталей в состоянии поставки**

Марка стали	Ударная вязкость при -40 °С, Дж/см <sup>2</sup>	σ <sub>в</sub> , МПа	σ <sub>02</sub> , МПа	δ <sub>5</sub> , %
		не менее		
09Г2	30	450	310	21
14Г2	34	470	340	21
18Г2	40	520	360	21
12ГС	—	470	320	26
16ГС	29	500	330	21
09Г2С	39	500	350	21
10Г2С1	40	520	380	21
15ГФ	39	520	380	21
14ХГС	39	500	350	22
10ХСНД	49	540	400	39
15ХСНД	39	500	350	39

**Примечание.** Прокат толщиной 4...10 мм.

Механические свойства, химический состав и некоторые характеристики различных марок стали приведены в табл. 1.9—1.21.

Таблица 1.9

**Химический состав низко- и среднелегированных закаливаемых сталей, применяемых в сварных конструкциях**

Марка стали	Массовая доля основных элементов, %						
	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	V
35ХМ	0,32...0,40	0,40...0,70	0,17...0,37	0,80...1,10	0,30	0,15...0,25	—
40ХГ	0,37...0,45	0,90...1,20	0,17...0,37	0,90...1,20	≤0,25	—	—
14Х2ГМ	0,13...0,18	0,80...1,10	0,17...0,37	1,40...1,70	≤0,25	0,40...0,55	—
30ХГТ	0,32...0,40	0,80...1,10	0,17...0,37	1,0...1,30	≤0,25	Ti 0,06...0,12	—
30ХГНА	0,28...0,35	0,60...0,90	0,17...0,37	0,90...1,20	0,30...0,60	—	—
30ХГСА	0,28...0,34	0,80...1,10	0,90...1,20	0,80...1,10	0,30	—	—
30ХН2МФА	0,27...0,34	0,30...0,60	0,17...0,37	0,60...0,90	2,0...2,40	0,20...0,30	0,10...0,18

Таблица 1.10

**Механические свойства некоторых низко- и среднелегированных закаливающихся сталей**

Марка стали	Вид термической обработки	Механические свойства				КСУ, Дж/см <sup>2</sup>
		$\sigma_B$ , МПа	$\sigma_{02}$ , МПа	$\delta$ , МПа	$\psi$ , МПа	
		Не менее				
35ХМ	Закалка при 850 °С, отпуск при 560 °С	950	850	12	45	80
40ХГ	Закалка при 840 °С, отпуск при 520 °С	1 000	850	9	45	60
30ХГТ	Закалка при 880 °С, отпуск при 200 °С	1 500	1 300	9	45	60
30ХГНА	Закалка при 880 °С, отпуск при 500 °С	1 100	850	10	45	70
30ХГСА	Изотермическая закалка при 880 °С в смеси калиевой и натриевой селитры при 280...310 °С. Затем охлаждение на воздухе	1 650	1 400	10	40	50
30ХН2МФА	Закалка, отпуск при 680 °С	900	800	10	40	90

Таблица 1.11

**Механические свойства некоторых марок сталей (не менее)**

Марка стали	$\delta$ , мм	$\sigma_{02}$ , МПа	$\sigma_B$ , МПа	$\delta_5$ , %	КСУ, Дж/см <sup>2</sup>	
					-40 °С	-70 °С
13ХГМРБ	10...50	590	690	14	39	29
14Х2ГМРБ	10...50	588	686	14	39	—
14Х2ГМРЛ	>40	588	686	14	34	—
14Х2ГМ	3...30	588	686	16	39	—
12Г2СМФАЮ	10...32	588	686	14	34	—
12ГН2МФАЮ	16...40	588	686	14	—	29
12ХГН2МФБАЮ	16...40	736	834	12	—	29
12ХГН2МФБДАЮ	20...40	785	883	15	—	29
12ХГН2МФДРА	4...20	980	1 078	10	29	—
14ХГН2МДАФБ	3...50	685	780	16	39	—
14ХГ2САФД	16...40	588	686	14	39	—
12ГН3МФАЮДР-СШ	4...40	685	780	16	78	59
12ХГН3МАФД-СШ	3...50	980	1 080	14	—	59
14ХГНМДАФБРТ	6...20	785	980	12	39	29

Таблица 1.12

**Предел длительной прочности жаропрочных сталей при различных температурах**

Марка стали	Предел длительной прочности $\sigma_{-1}$ , МПа, при температуре, °С					
	450	500	550	565	580	600
15ХМ	265	137	63	—	—	—
12Х1МФ	290	157	88	78	59	—
15Х1М1Ф	255	186	108	88	68	—
12Х2МФСР	320	218	144	115	88	68

Таблица 1.13

**Механические свойства высокохромистых мартенситных сталей**

Марка стали	$\sigma_{02}$ , МПа	$\sigma_B$ , МПа	$\delta_5$ , %	$\psi$ , %	КСУ, МДж/м <sup>2</sup>
	Не менее				
15X11МФ	490	690	15	55	0,6
15X12ВНМФ	590	740	15	45	0,6
18X11МНФБ	590...735	740	15	50	0,6
13X11Н2В2МФ	735	880	15	55	0,9
12X11В2МФ	392	588	18	—	—
10X12НД	500	650	14	30	0,3
06X12НЗД	500...700	700	14	30	0,5

Таблица 1.14

**Химический состав высокохромистых мартенситных сталей, мас. %**

Марка стали	C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Mo	V	Прочие
15X1ШФ	0,12...0,19	<0,5	<0,7	<0,025	<0,030	10,0... 11,5	—	0,6...0,8	0,25... 0,40	—
15X12ВНМФ	0,12...0,18	<0,4	0,5...0,9	<0,025	<0,030	11,0... 13,0	0,4...0,8	0,5...0,7	0,15... 0,30	W 0,7...1,1
18X11МНФБ	0,15...0,21	<0,6	0,6...1,0	<0,025	<0,030	10,0... 11,5	0,5...1,0	0,8...1,1	0,20... 0,40	Nb 0,20...0,45
13X11Н2В2МФ	0,10...0,16	<0,6	<0,6	<0,025	<0,030	10,5... 12,0	1,5...1,8	0,35...0,5	0,18... 0,30	W 1,6...2,0
12X11В2МФ	0,10...0,15	<0,50	0,50... 0,80	<0,025	<0,025	10,0... 12,0	0,6	0,6...0,9	0,15... 0,30	W 1,7...2,2
10X12НД	≤0,1	<0,30	<0,60	<0,025	<0,025	12,0... 13,5	2,8...3,2	0,8...1,1	—	Cu 0,8...1,0
06X12НЗД	<0,06	<0,30	<0,60	<0,025	<0,025	12,0... 13,5	2,8...3,2	—	—	Cu 0,8...1,1

Таблица 1.15

**Химический состав мартенситно-ферритных сталей, мас. %**

Марка стали	C	Si	Mn	S	P	Cr
08X13	<0,08	<0,80	<0,80	<0,025	<0,030	12,0...14,0
12X13	0,09...0,15	<0,80	<0,80	<0,025	<0,030	12,0...14,0
20X13	0,16...0,25	<0,80	<0,80	<0,025	<0,030	12,0...14,0
08X14МФ*	0,03...0,12	0,20...0,45	0,08...1,20	<0,025	<0,035	12,0...14,8
14X17Н2	0,11...0,17	<0,08	<0,08	<0,025	<0,030	16,0...18,0

\* 0,2...0,4% Mo; 0,15...0,30% V; 1,0...2,5% Ni.

Таблица 1.16

**Механические свойства мартенситно-ферритных сталей**

Марка стали	$\sigma_{02}$ , МПа	$\sigma_B$ , МПа	$\delta_5$ , %	$\psi$ , %	КСУ, Дж/см <sup>2</sup>
	не менее				
08X13	410	590	20	60	100
12X13	410	590	20	60	90
20X13	440	650	16	55	80
08X14МФ	300	450	22	—	—
14X17Н2	635	835	10	30	50

Таблица 1.17

**Химический состав некоторых марок хромистых ферритных сталей, мас. %**

Марка стали	C	Si	Mn	S	P	Cr	Ti	Прочие элементы
08X17T	<0,08	<0,8	<0,8	<0,025	<0,035	16,0...18,0	0,50...0,80	—
15X25T	<0,15	<1,0	<0,8	<0,025	<0,035	24,0...27,0	0,50...0,90	—
08X23C2Ю	<0,08	<1,5...1,8	0,4...0,7	<0,015	<0,03	22,0...24,0	—	Al 1,1...1,6

Таблица 1.18

**Механические свойства некоторых марок высоколегированных аустенитных и аустенитно-ферритных сталей и сплавов**

Марка стали	Термообработка	$\sigma_B$ , МПа	$\sigma_T$ , МПа	$\delta_5$ , %
08X18H10	Закалка при 1 050...1 100 °С, охлаждение на воздухе, в масле или воде	480	200	40
12X18H12T		550	200	40
10X17H13M2T		520	220	40
08X18H12Б		500	180	40
10X14П4Н4Т	Закалка при 1 000...1 080 °С, охлаждение на воздухе, в масле или воде	650	250	35
08X22H6T	Закалка при 950...1 050 °С, охлаждение на воздухе	550	350	25
08X21H6M2T	Закалка при 1 000...1 050 °С, охлаждение на воздухе	700	450	25
09X17H7Ю	Закалка при 1 030...1 070 °С, охлаждение на воздухе. Первый отпуск при 740...760 °С, повторный — при 550...600 °С, охлаждение на воздухе	850	700	10
20X23H18	Закалка при 1 050...1 100 °С, охлаждение на воздухе, в масле или воде	500	200	35
20X25H20C2		600	300	35
ХН78Т	Закалка при 980...1 020 °С, охлаждение на воздухе, в масле или воде	700	—	27,5
ХН67МВТЮ	Закалка при 1 200 °С, охлаждение на воздухе, старение 15 ч при 850 °С	1 000...1 100	550...750	20...30

Таблица 1.19

**Подогрев сталей перед сваркой**

Сталь	Рекомендуемый режим подогрева, °С
Низкоуглеродистая (до 0,22% С)	120...150 (на многослойных швах, при сварке толщин более 40 мм)
Среднеуглеродистая (0,23...0,45% С)	150...300
Высокоуглеродистая	300...450
Низколегированная	200...250
Легированная конструкционная	≤400
Теплоустойчивая	250...400
Жаропрочная аустенитная	без подогрева
Коррозионно-стойкая неаустенитного класса	≤400

Таблица 1.20

**Термообработка сталей после сварки**

Сталь	Ориентировочный режим термообработки, °С
Углеродистая	Отпуск при 650...670 °С для снятия сварочных напряжений, выравнивания структуры и механических свойств. В некоторых случаях (например, после ЭШС) нормализация при 920...940 °С с последующим отпуском



Окончание

Сталь	Ориентировочный режим термообработки, °С
Повышенной прочности (низколегированная)	Отпуск при 670...700 °С для снятия сварочных напряжений, выравнивания структуры и механических свойств
Легированная конструкционная	Отпуск или закалка с отпуском в зависимости от требований, предъявляемых к сварной конструкции
Теплоустойчивая: 15ХМ, 12Х1МФ, 20Х3МВФ	При толщине стенки более 10 мм отпуск при 700...730 °С, а при толщине 3,5 мм — отпуск при 720...740 °С
Жаропрочная и коррозионно-стойкая	Сварные соединения сталей аустенитного класса: стабилизация при 780...820 °С или аустенизация при 1 000...1 100 °С (нагрев в интервале 500...900 °С со скоростью менее 100 °С/ч) для снятия напряжений, выравнивания структуры и механических свойств. Сварные соединения стали мартенситного или ферритного класса — отпуск при 700...800 °С

Таблица 1.21

## Термообработка и свариваемость деталей из жаропрочных сплавов

Состояние деталей	Склонность к образованию трещин
Непосредственно перед сваркой детали упрочнены старением	В таком термическом состоянии детали не следует сваривать. Это приведет к сильному растрескиванию
Детали, подлежащие сварке, термообработаны на твердый раствор	Детали свариваются без трещин, если они термообработаны на твердый раствор
Перед сваркой детали термообработаны на твердый раствор при медленном нагреве	После сварки таких деталей наблюдается растрескивание. Медленный нагрев при термообработке на твердый раствор и медленное охлаждение недопустимы
После сварки детали упрочнены старением	Непосредственно после сварки детали упрочнять старением не следует. Это приведет к сильному растрескиванию. Перед старением сварные детали следует термообработать на твердый раствор, а затем упрочнить старением

### 1.3. Чугуны

Чугуны для отливок подразделяют на серые, ковкие и высокопрочные в зависимости от формы включений графита и условий его образования. Маркируют их по механическим свойствам.

Примеры марок: СЧ 20, КЧ 35-10, ВЧ 60-1,5, где буквы — шифр вида чугуна (СЧ — серый, КЧ — ковкий, ВЧ — высокопрочный, т.е. с шаровидным графитом); числа после букв — гарантируемое временное сопротивление, кгс/мм<sup>2</sup>, и относительное удлинение, % (у серых чугунов удлинение не регламентируют).

Свариваемость всех чугунов для отливок плохая. Исключением является только обезуглероженный ковкий чугун: после отжига он содержит 0,2...0,3% углерода, а включения графита в нем отсутствуют. Такой чугун используют для сварных конструкций: сварочные материалы — такие же, как и для углеродистых сталей.

### 1.4. Медь и ее сплавы

Медь — пластичный и тяжелый металл ( $\gamma = 8,94 \text{ г/см}^3$ ) с высокой теплопроводностью ( $\lambda = 0,923 \text{ кал/см} \cdot \text{с} \cdot \text{°С}$ ), низким электрическим сопротивлением ( $\rho = 1,68 \text{ мкОм} \cdot \text{см}$ ) и высокой коррозионной стойкостью, в том числе в морской воде. Это определяет широкое применение меди

в электротехнической и химической промышленности, в судостроении и криогенной технике, в приборостроении, металлургической промышленности и других отраслях производства. В сварных конструкциях медь используется в основном в виде листов, лент, полос, труб и проволоки.

Химический состав и маркировка меди регламентируются ГОСТ 859—78 (табл. 1.22). В зависимости от способа изготовления, определяющего чистоту меди по содержанию вредных примесей, она разделяется на четыре группы: бескислородную, катодную переплавленную, раскисленную и огневого рафинирования.

Марки и механические свойства меди (ГОСТ 859—78)

Таблица 1.22

Марка меди	Cu, % (не менее)	Допустимое содержание примесей, % (не более)							
		Pb	Bi	Sn	Sb	As	S	O <sub>2</sub>	P
Бескислородная									
M006	99,99	0,001	0,0005	0,001	0,002	0,001	0,002	0,001	0,0005
M06	99,97	0,003	0,0010	0,002	0,002	0,002	0,003	0,001	0,0020
M16	99,95	0,004	0,0010	0,002	0,002	0,002	0,004	0,001	0,0020
Катодная переплавленная									
M1y	99,90	0,004	0,0005	0,001	0,002	0,001	0,004	0,020	—
Раскисленная									
M1	99,90	0,005	0,0010	0,002	0,002	0,002	0,004	0,050	—
M1p	99,90	0,005	0,0010	0,002	0,002	0,002	0,004	0,010	0,0120
M1ф	99,90	0,005	0,0010	0,002	0,002	0,002	0,004	—	0,0600
M2p	99,70	0,010	0,0020	0,050	0,005	0,010	0,010	0,010	0,0600
M3p	99,50	0,030	0,0030	0,050	0,050	0,050	0,010	0,010	0,0600
Огневого рафинирования									
M2	99,70	0,010	0,0020	0,050	0,005	0,010	0,010	0,070	—
M3	99,50	0,050	0,0030	0,050	0,050	0,010	0,010	0,080	—

**Примечание.** Знак (—) означает, что эта примесь не нормируется.

Марки меди обозначаются буквой «М» (медь) и цифрами, относящимися к максимально допускаемому количеству вредных примесей в данной марке, но численно с ними не связанными, т.е. являющимися порядковыми номерами марок. С увеличением порядкового номера марки меди увеличивается максимально допустимое содержание примесей. Например, в марке М1 содержание меди должно быть не менее 99,9%, а сумма примесей — до 0,1%; в марке М3 содержание меди должно быть не менее 99,5%, а сумма примесей — до 0,5%. Кроме того, обозначения марок бескислородной и раскисленной меди дополнительно содержат буквы «б» (бескислородная) и «р» (раскисленная). Например, в марке М1 катодного перепада сумма примесей допускается до 0,1% (в том числе содержание кислорода до 0,05%), а в марке М1р (раскисленной) сумма примесей также допускается до 0,1%, однако содержание кислорода не должно превышать 0,01%, т.е. в 5 раз меньше (см. табл. 1.22). Это значительно улучшает свариваемость меди. Типичные механические свойства меди в различных состояниях приведены в табл. 1.23.

Типичные механические свойства меди в различных состояниях

Таблица 1.23

Состояние	Механические свойства			
	$\sigma_T$ , МПа	$\sigma_B$ , МПа	$\delta_5$ , %	НВ
Литое	35	160	25	40
Горячедеформированное	95	240	45	50

Окончание

Состояние	Механические свойства			
	$\sigma_T$ , МПа	$\sigma_B$ , МПа	$\delta_5$ , %	НВ
Холоднодеформированное при деформации, %:				
10	190	270	38	80
20	270	320	15	105
90 (проволока)	400	450	3	125
Холоднодеформированное и отожженное	75	220	50	55

### Бронзы

*Бронзами* называются сплавы на основе меди, легированные алюминием, оловом, марганцем, железом и другими элементами. Бронзы разделяются на две основные группы:

- 1) безоловянные, которые не содержат олова в качестве легирующего элемента;
- 2) оловянные, в которых основным легирующим элементом является олово.

В свою очередь *безоловянные* бронзы в зависимости от основного легирующего элемента разделяются на алюминиевые, марганцевые, кремниевые, хромовые, бериллиевые и др.

Марки *деформируемых* бронз (ГОСТ 18175—78 — безоловянные бронзы и ГОСТ 5017—74 — оловянные бронзы) состоят из букв «Бр» (бронза), далее следуют начальные буквы русских названий легирующих элементов (табл. 1.24), после которых в той же последовательности указываются числа, обозначающие среднее содержание этих элементов в процентах по массе. Например, марка бронзы БрАМц9-2 означает, что эта бронза содержит в среднем 9% алюминия и 2% марганца; БрАЖНЮ-4-4 содержит 10% алюминия, 4% железа, 4% никеля, остальное — медь и примеси.

Таблица 1.24

Условные обозначения элементов в марках цветных металлов и сплавов

Наименование элемента	Обозначение	Наименование элемента	Обозначение
Алюминий	А	Никель	Н
Бериллий	Б	Олово	О
Бор	Бо	Свинец	С
Железо	Ж	Серебро	Ср
Кадмий	Кд	Сурьма	Су
Кремний	К	Титан	Т
Магний	Мг	Фосфор	Ф
Марганец	Мц	Хром	Х
Медь	М	Цинк	Ц
Мышьяк	Мш	Редкоземельные	Рз

Маркировка *литейных* бронз с 1980 г. изменена, чтобы отличать их от деформируемых бронз (ГОСТ 493—79 — безоловянные бронзы и ГОСТ 613—79 — оловянные бронзы): цифры, обозначающие среднее содержание каждого этого легирующего элемента, указываются сразу после буквы условного обозначения этого легирующего элемента, т.е. аналогично маркировке, принятой для высоколегированных сталей. Например, вместо прежнего обозначения бронзы марки БрОЦС3-12-5 установлено обозначение Бр3Ц12С5. Если бронза данной марки изготавливается как литейная, так и деформируемая, то в конце марки литейной бронзы указывается буква «Л». Например, деформируемая бронза обозначается БрАМц9-2, а литейная — БрА9Мц2Л.

Химический состав некоторых наиболее распространенных марок безоловянных бронз, обрабатываемых давлением (ГОСТ 18175—78) и литейных (ГОСТ 493—79), приведен в табл. 1.25, а механические свойства литейных безоловянных бронз с учетом способа литья — в табл. 1.26.

Таблица 1.25

## Химический состав некоторых марок безоловянных бронз, мас. % (ГОСТ 18175—78 и ГОСТ 493—79)

Марка бронзы	Основные элементы							Примеси (все- го не более)
	Al	Fe	Mn	Ni	Si	Pb	Cu	
<i>Бронзы, обрабатываемые давлением (ГОСТ 18175—78)</i>								
БрА5	4...6	—	—	—	—	—	Осталь- ное	1,1
БрА7	6...8	—	—	—	—	—		1,1
БрАМц9-2	8...10	—	1,5...2,5	—	—	—		1,5
БрАМц10-2	9...11	—	1,5...2,5	—	—	—		1,7
БрАЖ9-4	8...10	2...4	—	—	—	—		1,7
БрАЖМц10-3-1,5	9...11	2...4	1...2	—	—	—		0,7
БрАЖН10-4-4	9,5...11	3,5...5,5	—	3,5...5,5	—	—		0,6
БрАЖМц9-4-4-1	8,8...10	4...5	0,5...1,2	4...5	—	—		0,7
БрКМц3-1	—	—	1...1,5	—	2,7...3,5	—		1,0
БрМц5	—	—	4,5...5,5	—	—	—		0,9
<i>Бронзы литейные (ГОСТ 493—79)</i>								
БрА9Мц2Л	8...9,5	—	1,5...2,5	—	—	—	Осталь- ное	2,8
БрА10Мц2Л	9,6...11	—	1,5...2,5	—	—	—		2,8
БрА9Ж3Л	8...10,5	2...4	—	—	—	—		2,7
БрА10Ж3Мц2	9...11	2...4	1...3	—	—	—		1,0
БрА10Ж4Н4Л	9,5...11	3,5...5,5	—	3,5...5,5	—	—		1,5
БрА11Ж6Н6	10,5...11,5	5...6,5	—	5...6,5	—	—		1,5
БрАЖ4Н14Мц1	8,8...10	4...5	0,5...1,2	4...5	—	—		1,2
БрС30	—	—	—	—	—	27...31		0,9

Таблица 1.26

## Механические свойства и применение некоторых марок литейных безоловянных бронз (ГОСТ 493—79)

Марка		Спо- соб литья	$\sigma_b$ , МПа	$\delta_5$ , %	НВ, МПа	Применение
По ГОСТ 473—79	По ГОСТ 493—54					
БрА9Мц2Л	БрАМц9-2Л	К	392	20	784	Антифрикционные детали, арматуры, работающие в пресной воде, жидком топливе и в паре при температуре $\leq 250$ °С
БрА10Мц2Л	БрАМц10-2	К	490	12	1 078	То же
БрА9Ж3Л	БрАЖ9-4Л	К	490	12	980	Арматура, антифрикционные детали
БрА10Ж3Мц2	БрАЖМц10-3-1,5	К	490	12	1 176	То же
БрА10Ж4Н4Л	БрАЖН10-4-4Л	К	587	6	1 666	Детали химической и пищевой промышленности, а также детали, работающие при повышенных температурах
БрА11Ж6Н6	БрАЖН11-6-6	К	587	2	2 450	Арматура, антифрикционные детали
БрА9Ж4Н4Мц1	—	К	587	12	1 568	Арматура для морской воды
БрС30	БрС30	К	587	4	245	Антифрикционные детали

Примечание. К — литье в кокиль; П — литье в песчаную форму.