

деляются протекающими при его осуществлении фазовыми превращениями. Нормализация и одинарная термическая обработка являются разновидностями отжига II рода.

Закалку производят для увеличения твердости стали. Она может быть объемной (со сквозным прогревом изделий) и поверхностной. В зависимости от метода охлаждения различают закалку непрерывную, прерывистую, ступенчатую, изотермическую и др.

Для получения более равновесной структуры, обеспечивающей заданный комплекс свойств, применяют высокий, средний или низкий отпуск. К отпуску можно отнести и старение, под которым понимают нагрев закаленной стали, находящейся в неравновесном состоянии, для получения более стабильного состояния.

Иногда при термической обработке сочетают пластическую деформацию стали в аустенитном состоянии с закалкой. При этом формирование структуры закаленной стали происходит в условиях повышенной плотности дислокаций. Такую обработку называют термомеханической (ТМО). На практике применяют высокотемпературную (ВТМО) и низкотемпературную (НТМО) термомеханическую обработку.

Широкое распространение на предприятиях получила химико-термическая обработка. Она осуществляется путем нагрева, выдержки и охлаждения стальных деталей в активных насыщающих средах (твердых, жидких и газообразных) при определенных температурных и временных условиях с последующей термической обработкой или без нее. Разновидностями химико-термической обработки являются цементация, азотирование, нитроцементация, борирование, хромирование, алитирование и др. Для увеличения твердости поверхности, износостойкости, задиростойкости, контактной выносливости и изгибной усталостной прочности применяют цементацию, азотирование, нитроцементацию; для повышения сопротивления абразивному изнашиванию — борирование и хромирование; для защиты поверхности деталей от коррозии при комнатной и повышенных температурах в различных агрессивных средах — алитирование, хромирование, сили-

цирование и др. Общая характеристика процессов термической, химико-термической и термомеханической обработки представлена в табл. III.4. При ее составлении учтены рекомендации отдела стандартизации СЭВ (РС 2256—69).

Библиографический список

- Бернштейн М. Л., Займовский В. А.* Структура и механические свойства металлов. М., «Металлургия», 1970. 472 с. с ил.
- Блантер М. Е.* Фазовые превращения при термической обработке стали. М., Металлургиздат, 1962. 268 с. с ил.
- Бокштейн С. З.* Строение и свойства металлических сплавов. М., «Металлургия», 1971. 496 с. с ил.
- Бунин К. П., Баранов А. А.* Металлография. М., «Металлургия», 1970. 253 с. с ил.
- Гудремон Э.* Специальные стали. Т. 1 и 2. Пер. с нем. М., «Металлургия», 1966. Т. 1—953 с. Т. 2—586 с. с ил.
- Гуляев А. П.* Термическая обработка стали. М., Машгиз, 1960. 496 с. с ил.
- Гуляев А. П.* Металловедение. М., «Металлургия», 1977. 647 с. с ил.
- Лахтин Ю. М., Леонтьева В. П.* Материаловедение. М., «Машиностроение», 1972. 511 с. с ил.
- Лахтин Ю. М.* Металловедение и термическая обработка металлов. М., «Металлургия», 1977. 407 с. с ил.
- Лившиц Б. Г.* Металлография. М., «Металлургия», 1971. 405 с. с ил.
- Материалы в машиностроении. Справочник. Т. 2. Под ред. И. В. Кудрявцева. М., «Машиностроение», 1967. 496 с. с ил.
- Новиков И. И.* Теория термической обработки металлов. М., «Металлургия», 1974. 400 с. с ил.
- Попов А. А., Попова А. Е.* Изотермические и термокинетические диаграммы распада переохлажденного аустенита. Москва—Свердловск, Машгиз, 1961. 430 с. с ил.
- Справочник металлста. Т. 2. Под ред. А. Г. Рахштадта и В. А. Брострема. М., «Машиностроение», 1976. 718 с. с ил.

Глава IV

СТАЛИ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

1. Предъявляемые требования

Стали для строительных конструкций и сооружений должны иметь определенное сочетание прочностных и пластических свойств, высокие показатели ударной вяз-

кости, сопротивления усталости и коррозионной стойкости, обладать хорошей свариваемостью, иметь низкую температуру перехода в хрупкое состояние.

Температурный уровень порога хладноломкости определяет не только поведение

металла во время работы агрегатов в условиях Крайнего Севера, но и надежность работы конструкций в обычных условиях (при комнатной и близких к ней температурах). К конструкциям, подвергающимся в процессе эксплуатации воздействию циклически изменяющихся нагрузок, предъявляются повышенные требования по сопротивлению усталости. Повышенное сопротивление усталости важно еще и потому, что с ростом характеристик прочности стали ее чувствительность к концентраторам напряжений увеличивается.

Одним из серьезных технологических требований, предъявляемых к материалу для строительных металлических конструкций, является свариваемость. Свариваемость стали существенно зависит от ее химического состава. Отрицательное влияние на свариваемость оказывает углерод. Поэтому содержание углерода в этих сталях не должно превышать 0,2%. Влияние других элементов, входящих в состав стали, на ее свариваемость удобно оценивать с помощью условного показателя — углеродного эквивалента:

$$C_{\text{эв}} = C + \frac{\text{Mn}}{6} + \frac{\text{Si}}{24} + \frac{\text{Ni}}{40} + \frac{\text{Cr}}{5} + \frac{\text{Mo}}{4} + \frac{\text{V}}{14} + \frac{\text{Cu}}{13} + \frac{\text{P}}{2} + 0,024\text{T},$$

где С, Мп, Si, Ni, Cr, Mo, V, Cu, P — содержание соответствующих элементов в стали, %; Т — толщина металла.

Углеродный эквивалент позволяет в первом приближении распределить стали по группам с учетом их свариваемости. Стали, углеродный эквивалент которых не превышает 0,25%, относятся к группе свариваемых без всяких ограничений. При больших величинах $C_{\text{эв}}$ следует производить дополнительную оценку свариваемости стали для определения оптимальных условий сварки. В высокопрочных низколегированных сталях $C_{\text{эв}}$ может изменяться в пределах от 0,1 до 1%. Как правило, определение углеродного эквивалента используют для оценки общей свариваемости стали в сочетании с такими, более конкретными показателями свойств сварного соединения, как чувствительность к образованию трещин, пластичность, хладостойкость околосварной зоны, склонность стали к разупрочнению при сварке.

Немаловажная роль при изготовлении металлических конструкций принадлежит и таким технологическим свойствам стали, как способность к резке, правке, гибке, изготовлению отверстий без появления трещин и надрывов.

Получить комплекс свойств стали, удовлетворяющий перечисленным требованиям, не так просто вследствие того, что:

1) отношение предела текучести к временному сопротивлению разрыву с повышением характеристик прочности увеличивается, а значит, надежность сварной конструкции понижается;

2) при повышении прочности обычно уменьшается пластичность, а следовательно,

и способность материала к холодной деформации;

3) рост характеристик прочности вызывает снижение ударной вязкости, а следовательно, и надежности конструкции (увеличивает склонность к хрупкому разрушению);

4) повышение прочности приводит к относительному снижению сопротивления усталости конструкции.

В настоящее время разработаны стали, а также методы их упрочняющей обработки и сварки, обеспечивающие удовлетворительную конструктивную прочность металлических конструкций. Повышению надежности металлических конструкций способствовало и создание более совершенных методов их расчета на прочность, учитывающих влияние низких температур, концентраторов напряжений, остаточных напряжений, деформаций и др.

2. Углеродистые стали

Из углеродистых сталей для изготовления строительных конструкций наиболее часто применяют углеродистые стали обыкновенного качества. Их химический состав и механические свойства регламентируются ГОСТ 380—71. Поставляют сталь этого типа в виде сортового проката (ГОСТ 2590—71, ГОСТ 2591—71), уголков (ГОСТ 8509—72, ГОСТ 8510—72), швеллеров (ГОСТ 8240—72), балок двутавровых (ГОСТ 8239—72), листа тонкого (ГОСТ 19903—74), листа толстого (ГОСТ 19903—74), полосы (ГОСТ 103—67), ленты (ГОСТ 6009—74), фасонного проката (ГОСТ 19771—74, ГОСТ 8278—75, ГОСТ 8281—69, ГОСТ 8282—76, ГОСТ 8283—67), арматуры для железобетонных конструкций (ГОСТ 5781—75), труб (ГОСТ 8731—74, ГОСТ 8734—75, ГОСТ 10705—63, ГОСТ 10706—63), профилей для вагоностроения (ГОСТ 5267—63).

В зависимости от назначения и гарантируемых характеристик сталь обыкновенного качества поставляют по одной из трех групп: А, Б или В. Сталь группы А применяют в том случае, если изделия у потребителя не подвергают тепловой обработке (ковке, штамповке, термической обработке, сварке и др.). При этом изделия сохраняют свойства, полученные у поставщика. При поставке стали по группе А регламентируются механические свойства; химический состав не регламентируется, но указывается в сертификате. Сталь группы Б у потребителя подвергают горячей обработке; при этом механические свойства изделий меняются. Режимы обработки и уровень получаемых свойств зависят от химического состава стали. Поэтому при поставке стали по группе Б регламентируют ее химический состав. В том случае, если при изготовлении конструкций и деталей машин применяют сварку, поставщик гарантирует потребителю и химический состав, и механические свойства стали (группа В). Это связано с тем, что для назначения режима сварки нужно знать химический состав стали; свойства участков вне зоны термического влияния сварки сохраняются на уровне, достигнутом у поставщика.

В зависимости от степени раскисления сталь каждой группы изготавливают кипя-

Таблица IV.1
Нормируемые показатели для углеродистой стали обыкновенного качества

Группа стали	Категория стали	Марки стали всех степеней раскисления и с повышенным содержанием марганца	σ_B	σ_T	δ	Изгиб в холодном состоянии	Химический состав		Ударная вязкость		
							C, Mn, Si, S, P, As, N	Cr, Ni, Cu	при температуре, °C		после механического старения
									+20	-20	
А	1	Ст0—Ст6	+	—	+	—	—	—	—	—	—
	2	Ст0—Ст6	+	—	+	+	—	—	—	—	—
	3	Ст2—Ст6	+	+	+	+	—	—	—	—	—
Б	1	БСт0—БСт6	—	—	—	—	+	—	—	—	—
	2	БСт1—БСт6	—	—	—	—	+	+	—	—	—
В	1	ВСт1—ВСт5	+	—	+	+	+	+	—	—	—
	2	ВСт2—ВСт5	+	+	+	+	+	+	—	—	—
	3	ВСт3—ВСт4	+	+	+	+	+	+	+	—	—
	4	ВСт3	+	+	+	+	+	+	—	+	—
	5	ВСт3	+	+	+	+	+	+	—	+	+
	6	ВСт3	+	+	+	+	+	+	—	—	+

Примечания: 1. Для стали марки БСт0 нормируется только содержание углерода, фосфора и серы.

2. Для стали марки Ст0 изгиб в холодном состоянии не нормируется.

3. Сталь категорий 3—6 выпускается полуспокойной и спокойной. Допускается изготовление кипящей стали марок ВСт3 и ВСт4 категории 3; при этом нормы ударной вязкости при температуре +20°С принимаются такими же, как для спокойной и полуспокойной стали марок ВСт3 и ВСт4.

4. Знаком «+» обозначены нормируемые показатели, знаком «—» — ненормируемые.

Таблица IV.2
Химический состав, %, стали группы Б по плавочному анализу

Марка стали	C	Si	Mn
БСт0	≤0,23	—	—
БСт1кп	0,06—0,12	≤0,05	0,25—0,50
БСт1пс		0,05—0,17	0,25—0,50
БСт1сп	0,12—0,30	0,12—0,30	0,25—0,50
БСт1Гпс		≤0,15	0,7—1,1
БСт2кп	0,09—0,15	≤0,07	0,25—0,50
БСт2пс		0,05—0,17	0,25—0,50
БСт2сп	0,12—0,30	0,12—0,30	0,25—0,50
БСт2Гпс		≤0,15	0,7—1,1
БСт3кп	0,14—0,22	≤0,07	0,3—0,6
БСт3пс		0,05—0,17	0,4—0,65
БСт3сп	0,12—0,30	0,12—0,30	0,4—0,65
БСт3Гпс		≤0,15	0,8—1,1
БСт4кп	0,18—0,27	≤0,07	0,4—0,7
БСт4пс		0,05—0,17	0,4—0,7
БСт4сп	0,12—0,30	0,12—0,30	0,4—0,7
БСт4Гпс		≤0,15	0,8—1,2
БСт5пс	0,28—0,37	0,05—0,17	0,5—0,8
БСт5сп	0,28—0,37	0,15—0,35	0,5—0,8
БСт5Гпс	0,22—0,30	≤0,15	0,8—1,2
БСт6пс	0,38—0,49	0,05—0,17	0,5—0,8
БСт6сп		0,15—0,35	0,5—0,8

Примечания: 1. В стали БСт0 не должно быть более 0,07% Р и 0,06% S; в остальных сталях — не более 0,04% Р и 0,05% S.

2. Содержание хрома, никеля и меди во всех сталях, кроме БСт0, не должно превышать 0,3% каждого; содержание мышьяка не должно превышать 0,08%; содержание хрома, никеля, меди и мышьяка в стали БСт0 не регламентируется.

щей (кп), полуспокойной (пс) и спокойной (сп). В зависимости от нормируемых показателей сталь каждой группы подразделяют на категории (табл. IV.1): группа А — категории 1—3; группа Б — категории 1,2; группа В — категории 1—6.

Химический состав углеродистых сталей обыкновенного качества приведен в табл. IV.2. По химическому составу сталь группы В должна соответствовать маркам, указанным для группы Б, за исключением нижнего предела по содержанию углерода. Отклонение от нижнего предела по содержанию углерода не является браковочным признаком. Верхний предел содержания марганца допускается на 0,2% выше приведенного в табл. IV.2 для всех марок стали, кроме марок ВСт1Гпс, ВСт2Гпс, ВСт3Гпс, ВСт4Гпс и ВСт5Гпс. В стали марки ВСт3сп категорий 4—6, раскисленной алюминием, остаточное количество алюминия должно быть не меньше 0,02%.

Из сталей, приведенных в табл. IV.2, стали марок Ст5 и Ст6 для изготовления металлических конструкций применяют редко.

Механические свойства углеродистой стали обыкновенного качества группы А при испытании на растяжение и изгиб приведены в табл. IV.3, в которую также включены расчетные наиболее вероятные значения предела выносливости σ_{-1} , вычисленные по σ_B и σ_T по формулам: $\sigma_{-1} = 0,29\sigma_B + 7,92$; $\sigma_{-1} = 0,45\sigma_T + 9,54$.

В табл. IV.4 указана ударная вязкость некоторых марок углеродистой стали обыкновенного качества при испытаниях в различных условиях, а в табл. IV.5 — влияние температуры испытания на механические

Т а б л и ц а IV.3
Механические свойства стали группы А в горячекатаном состоянии

Марка стали	σ_B , кгс/мм ²	σ_T , кгс/мм ² , для толщин, мм				δ , %, для толщин, мм			Диаметр оправки при изгибе на 180° для толщин а до 20 мм	σ_{-1} , кгс/мм ² , определенный расчетом по		
		≤20	20—40	40—100	>100	≤20	20—40	>40		σ_B	σ_T	
		не менее										
Ст0	≥31	—	—	—	—	22	22	20	2а	≥17	—	
Ст1кп	31—40	—	—	—	—	35	34	32		Без оправки	17—19	—
Ст1пс, Ст1сп	32—42	—	—	—	—	34	33	31			17—20	—
Ст2кп	33—42	22	21	20	19	33	32	30	18—20		18—19	
Ст2пс, Ст2сп	34—44	23	22	21	20	32	31	29	0,5а	18—21	18—19	
Ст3кп	37—47	24	23	22	20	27	26	24		19—22	18—20	
Ст3пс, Ст3сп	38—49	25	24	23	21	26	25	23		19—22	19—21	
Ст3Гпс	38—50	25	24	23	21	26	25	23	2а	19—23	19—21	
Ст4кп	41—52	26	25	24	23	25	24	22		20—23	20—21	
Ст4пс, Ст4сп	42—54	27	26	25	24	24	23	21		20—24	20—22	
Ст4Гпс	42—55	27	26	25	24	24	23	21	3а	20—24	20—22	
Ст5пс, Ст5сп	50—64	29	28	27	26	20	19	17		23—27	22—23	
Ст5Гпс	46—60	29	28	27	26	20	19	17		22—25	21—23	
Ст6пс, Ст6сп	≥60	32	31	30	30	15	14	12	—	≥25	23—24	

Примечания: 1. Допускается превышение верхнего предела временного сопротивления на 3 кгс/мм² при условии выполнения остальных норм, а при согласии заказчика — без ограничения верхнего предела.

2. Для листовой и широкополосовой стали всех толщин и фасонной стали толщиной свыше 20 мм значение предела текучести допускается на 1 кгс/мм² ниже.

3. Для листовой стали толщиной 8—4 мм допускается снижение относительного удлинения на 1% на каждый миллиметр уменьшения толщины.

4. Допускается уменьшение относительного удлинения для листовой, широкополосовой и фасонной стали всех толщин на 1%.

5. Для изгиба на 180° при толщине металла более 20 мм диаметр оправки увеличивают на толщину образца.

Т а б л и ц а IV.4

Ударная вязкость некоторых марок углеродистой стали обыкновенного качества

Марка стали	Вид проката	Расположение образца относительно проката	Толщина, мм	a_K , кгс·м/см ²		
				при температуре, °С		после механического старения
				+20	—20	
ВСт3пс, ВСт3сп	Листовой	Поперек	5—9	8	4	4
			10—25	7	3	3
			26—40	5	—	—
	Широкополосовой	Вдоль	5—9	10	5	5
			10—25	8	3	3
			26—40	7	—	—
Сортовой и фасонный	»	5—9	11	5	5	
		10—25	10	3	3	
		26—40	9	—	—	
ВСт3Гпс	Листовой	Поперек	5—9	8	4	4
			10—30	7	3	3
			31—40	5	—	—
	Широкополосовой	Вдоль	5—9	10	5	5
			10—30	8	3	3
			31—40	7	—	—
Сортовой и фасонный	»	5—9	11	5	5	
		10—30	10	3	3	
		31—40	9	—	—	
ВСт4пс, ВСт4сп	Листовой	Поперек	5—9	7	—	—
			10—25	6	—	—
			26—40	4	—	—
	Сортовой и фасонный	Вдоль	5—9	10	—	—
			10—25	9	—	—
			26—40	7	—	—

Примечание. Знак «—» означает, что испытания проката на ударную вязкость не производят.

Таблица IV.5

Механические свойства некоторых марок горячекатаной углеродистой стали обыкновенного качества в зависимости от температуры испытаний

Марка стали	Температура испытания, °С	σ_T , кгс/мм ²	σ_B , кгс/мм ²	δ , %	ψ , %	$a_{\text{н}}$, кгс/см ² ХМ/см ²	Марка стали	Температура испытания, °С	σ_T , кгс/мм ²	σ_B , кгс/мм ²	δ , %	ψ , %	$a_{\text{н}}$, кгс/см ² ХМ/см ²
Ст1	20	19	31	35	77	6	Ст4	20	32	50	28	58	8
	100	20	31	18	75	15		100	34	51	18	57	9
	200	21	40	16	65	14		200	33	57	14	44	10
	300	11	30	24	68	13		300	20	55	22	57	10
	400	10	28	31	77	12		400	17	47	25	65	7
	450	10	24	33	78	9		450	16	40	25	67	5
	500	8	20	33	78	9		500	15	34	28	70	5
	550	6	15	41	85	8		550	11	25	33	76	5
600	5	11	48	90	10	600	7	16	44	84	8		
Ст3	20	24	40	33	68	11	Ст5	20	33	55	25	52	6
	100	22	38	21	65	13		100	31	52	20	58	7
	200	25	48	16	55	13		200	31	59	14	59	8
	300	15	44	26	62	12		300	21	59	21	52	7
	400	13	36	31	71	9		400	19	51	23	64	6
	450	13	31	30	72	7		450	18	43	24	65	5
	500	11	21	30	75	7		500	15	36	24	70	4
	550	8	19	34	79	7		550	12	30	26	70	4
600	6	14	42	87	8	600	8	20	35	82	8		

Таблица IV.6

Технологические свойства горячекатаной углеродистой стали обыкновенного качества

Марка стали	Свариваемость	Способ сварки	Обрабатываемость резанием	
			свойства металла	коэффициент обрабатываемости K_D (материал реза)
Ст0	Неограниченная	РДС, АДС (под флюсом и газовой защитой), ЭШС и КТС	НВ115—126, $\sigma_B=47$ кгс/мм ²	2,1 (твердый сплав); 1,65 (быстрорежущая сталь)
Ст2кп, Ст2пс, Ст2сп	»	РДС, АДС (под флюсом и газовой защитой), ЭШС и КТС. Для толщины >36 мм рекомендуется подогрев и последующая термическая обработка	НВ137	1,8 (твердый сплав); 1,6 (быстрорежущая сталь)
Ст3кп, Ст3пс, Ст3сп, Ст3Гпс	»	То же	НВ124, $\sigma_B=41$ кгс/мм ²	То же
Ст5пс, Ст5сп, Ст6пс, Ст6сп	Ограниченная	РДС, АДС (под флюсом и газовой защитой). Рекомендуется подогрев и последующая термическая обработка	НВ158, $\sigma_B=65$ кгс/мм ²	1,2 (твердый сплав и быстрорежущая сталь)

Примечания: 1. Указанные стали не склонны к отпускной хрупкости и не флокеночувствительны.

2. Обозначения способов сварки: РДС — ручная дуговая; АДС — автоматическая дуговая; ЭШС — электрошлаковая; КТС — контактная.

3. Обрабатываемость стали резанием определена для условий получистового точения без охлаждения по чистому металлу резцами, оснащенными пластинками из твердых сплавов и быстрорежущей стали при постоянной глубине резания, подаче и главном угле в плане резцов. Обрабатываемость оценивали по скорости резания, соответствующей 60-минутной стойкости резцов, и определяли коэффициентом K_D по отношению к эталонной стали. За эталонную сталь принимали сталь 45 при $\sigma_B=65$ кгс/мм² и НВ179, скорость резания которой принята за единицу.

Т а б л и ц а IV.7

Режимы термической обработки и нормы механических свойств поковок из углеродистой стали обыкновенного качества

Марка стали	Сечение поковки, мм	Термическая обработка	Температура, °С	Механические свойства***			
				σ_B , кгс/мм ²	δ , %	ψ , %	НВ (не более)
Ст1	—	Нормализация	920—970	—	—	—	110
Ст2			910—960	—	—	—	116
Ст3	< 200	»	900—950	38—50	36—50	58—65	131
Ст4			880—930	—	—	—	143
Ст5			850—900	50—64	23—29	45—56	170
Ст6	< 300	Отжиг (ниже 500°С — охлаждение на воздухе) Высокий отпуск	840—880	65	23	42	179
			620—650	65	23	42	197
	< 400	Отжиг Высокий отпуск	830—860	69	19	36	—
			620—640	60	27	52	—
	< 220	Закалка в воде и отпуск Закалка в масле и отпуск	840—860, 600—640	68—83*	18—23	50—57	—
			840—860, 580—620	71—87**	17—24	46—54	—

* $\sigma_T = 40 \div 54$ кгс/мм²; $a_H = 4 \div 6,5$ кгс·м/см².** $\sigma_T = 40 \div 54$ кгс/мм²; $a_H = 3,5 \div 5,5$ кгс·м/см².

*** При отсутствии пределов даны приблизительные цифры.

Т а б л и ц а IV.8

Области применения углеродистой стали обыкновенного качества

Марка стали	Назначение
Ст0, БСт0	Нерасчитываемые неответственные элементы сварных и несварных конструкций и неответственные детали: настилы, арматура, ограждения, лестничные марши, подкладки, шайбы, кожухи, обшивки и др.
Ст1, БСт1	Связевые соединения, требующие высокой вязкости и низкой твердости, анкерные болты, жесткие связи, неответственная арматура и др.
Ст2сп, Ст2пс, Ст2кп	Элементы сварных конструкций неответственного назначения, оконные и фонарные переплеты, заклепки, анкерные болты. После цементации и нитроцементации — для неответственных деталей, работающих на трение с незначительной нагрузкой
Ст3сп, Ст3пс, БСт3сп, БСт3пс, ВСт3сп, ВСт3пс, ВСт3кп, ВСт3пс	В горячекатаном состоянии — для строительных и других рассчитываемых конструкций в виде сортового, фасонного и листового проката, подвергаемых сварке: балки, фермы, обечайки, днища, конструкции кранов, корпуса судов и аппаратов, работающих под давлением, каркасы паровых котлов; неответственные валики, оси, втулки, вкладыши, рычаги, гайки, шайбы, серьги, хомуты и другие детали, не подвергающиеся термической обработке. Цементируемые и дцанируемые детали, от которых требуются высокая твердость поверхности и невысокая прочность сердцевин: валики, поршневые пальцы, толкатели, шестерни, червяки и др.
БСт4сп, БСт4пс, БСт4кп, Ст4сп, Ст4пс, ВСт4сп, ВСт4пс	В горячекатаном состоянии — в сварных, клепаных и болтовых конструкциях из сортового, фасонного и листового проката; для малонагруженных деталей: валов, осей, шестерен, втулок, вкладышей, рычагов, гаек, шайб, серег, хомутов, червяков и других деталей — в улучшенном состоянии и без термической обработки. Цементируемые и дцанируемые детали, от которых требуется высокая твердость поверхности и невысокая прочность сердцевин: валики, поршневые пальцы, упоры, толкатели, шестерни, червяки и т. д.
БСт5сп, БСт5пс, ВСт5сп	Детали машин, подвергаемые воздействию небольших напряжений: болты, гайки, валы, оси, крюки, звездочки, рычаги, тяги, арматура, серьги рессор, упоры подшипников и другие детали в горячекатаном и термически обработанном состоянии
Ст6сп, Ст6пс	Детали повышенной прочности: оси, валы, клинья, тяги, фланцы, стяжные кольца, пальцы траков, бабы молотов, шпиндели, ломы строительные и др.

Примечания: 1. Стали марок Ст3, Ст4 и др. для строительных конструкций применяют в соответствии с требованиями СНиП II-V.3—72.

2. Кляпные стали применяют для малонагруженных и несущих элементов сварных и несварных конструкций.

3. В настоящее время на металлургических заводах внедряют технологию термического упрочнения фасонных прокатных профилей из низкоуглеродистой стали.

свойства. Технологические свойства этих сталей приведены в табл. IV.6, а режимы термической обработки и свойства изготовленных из них поковок — в табл. IV.7. Области применения углеродистых сталей обычного качества представлены в табл. IV.8. Свойства этих сталей можно существенно повысить термической обработкой. Применяют следующие технологические схемы термической обработки прокатных изделий из строительной стали: термическое упрочнение в потоке прокатного стана (с реализацией эффекта высокотемпературной термомеханической обработки), улучшение (закалка с высоким отпуском с отдельного нагрева) и нормализацию. Помимо этого, для формирования высоких механических свойств в процессе прокатки и последующего охлаждения металла используют контролируемую прокатку.

Выбор технологической схемы термической обработки определяется многими факторами. Опыт показывает, что наиболее рациональным видом упрочняющей термической обработки проката является улучшение (закалка и отпуск или самоотпуск). Этим способом можно повысить прочность прокатных изделий в 1,5—2 раза, а по пределу текучести, по которому обычно ведут расчеты прочности конструкций, даже в три раза. Достоинством упрочнения в потоке прокатного стана является возможность использования тепла прокатного нагрева, которое теряется бесполезно при охлаждении проката на воздухе. При этом сохраняется топливо, которое необходимо было бы израсходовать на повторный нагрев проката под термическую обработку. Кроме того, отпадают большие капитальные затраты на сооружение нагревательных печей, специального здания для них, на оборудование, связанное с работой печей, и соответствующие эксплуатационные и транспортные расходы. При упрочнении в потоке прокатного стана представляется возможность использовать эффект высокотемпературной термомеханической обработки (ВТМО), если интенсивное охлаждение начинается вскоре после выхода металла из прокатного стана.

В настоящее время термическая обработка листового и сортового проката из углеродистой стали обычного качества и низколегированной стали получила определенное распространение на металлургических заводах.

В соответствии с ГОСТ 14637—79 металлургические заводы поставляют термически упрочненную сталь марки ВСтГ следующего химического состава, %: 0,09—0,22 С; 0,4—0,65 Мп; $\leq 0,045$ S; $\leq 0,055$ P. Содержание кремния в стали марки ВСтГкп не превышает 0,07%; в стали марки ВСтТпс — 0,05—0,15%, в стали марки ВСтТсп — 0,12—0,3%. Механические свойства листов толщиной 10—40 мм из стали марки ВСтГ должны быть не ниже следующих значений: σ_B — 44 кгс/мм²; σ_T — 30 кгс/мм²; δ — 16%; a_K при температуре минус 40°С — 3 кгс·м/см²; a_K после механического старения при комнатной температуре — 3 кгс·м/см².

Иногда металлические конструкции изготавливают из качественных углеродистых

сталей (с содержанием углерода $< 0,2\%$), поставляемых по ГОСТ 1050—74. Однако качественные углеродистые стали значительно более широко применяют для изготовления деталей машин. Поэтому их состав, свойства и назначение будут рассмотрены в соответствующем разделе справочника (см. гл. V).

3. Низколегированные стали

Низколегированные стали широко применяют в горячекатаном состоянии или после термической обработки для изготовления трубопроводов, сварных конструкций в вагоностроении, металлургическом и горном машиностроении, в строительстве, на транспорте и в других отраслях. Как правило, в этих сталях содержится не более 0,2% С и до 2—3% легирующих элементов. Низколегированные стали ненамного дороже углеродистых, но обладают рядом важных преимуществ: более высокими пределом текучести и пределом прочности, пониженной склонностью к механическому старению, повышенной хладостойкостью, хорошей свариваемостью, лучшей коррозионной стойкостью и износостойкостью. Свойства низколегированной стали (предел прочности, ударная вязкость, износостойкость и др.) можно существенно повысить термической обработкой (закалкой и отпуском); более целесообразно термическую обработку низколегированной стали осуществлять с прокатного нагрева. Одним из недостатков низколегированных сталей является повышенная чувствительность к концентрации напряжений.

В последние годы начинают применять высокопрочные бесперлитные и малоперлитные низколегированные стали с весьма низким содержанием углерода, серы и фосфора, благодаря чему достигаются хорошая свариваемость, высокая ударная вязкость и низкий порог хладноломкости. Высокая прочность стали в этом случае обеспечивается благодаря микролегированию ниобием, ванадием и титаном и применению контролируемой прокатки при изготовлении.

Низколегированную голстолистовую и широкополосовую универсальную и рулонную сталь поставляют в соответствии с ГОСТ 19282—73, а круглую, квадратную, полосовую и фасонную — с ГОСТ 19281—73. Малоперлитные и бесперлитные стали изготавливают по техническим условиям. Химический состав низколегированных сталей приведен в табл. IV.9, а их механические свойства (в толстолистовом, сортовом и фасонном исполнении) — в табл. IV.10 и IV.11. Сталь поставляют горячекатаной и термически обработанной. В зависимости от нормируемых характеристик установлено 15 категорий поставки этих сталей (табл. IV.12). В качестве примера на рис. IV.1—IV.3 показано влияние некоторых технологических и эксплуатационных факторов на механические свойства стали 15ХСНД.

Помимо низколегированных сталей, поставляемых в соответствии с ГОСТ 19282—73 и ГОСТ 19281—73, ряд низколегированных строительных сталей высокой прочности поставляют по техническим условиям.

Т а б л и ц а IV.9

Химический состав низколегированных сталей, %

Марка стали	C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu	V	Другие элементы	
09Г2	≤0,12	0,17—0,38	1,4—1,8	≤0,3	≤0,3	≤0,3	—	—	
09Г2Д	≤0,12	0,17—0,37	1,4—1,8			0,15—0,3	—	—	
14Г2 12ГС* 16ГС* 17ГС* 17Г1С*	0,12—0,18 0,09—0,15 0,12—0,18 0,14—0,2 0,15—0,2	0,17—0,37 0,5—0,8 0,4—0,7 0,4—0,6 0,4—0,6	1,2—1,6 0,8—1,2 0,9—1,2 1,0—1,4 1,15—1,6			≤0,3	— — — — —	— — — — —	
09Г2С 09Г2СД 10Г2С1 10Г2С1Д	≤0,12	0,5—0,8 0,5—0,8 0,8—1,1 0,8—1,1	1,3—1,7 1,3—1,7 1,3—1,65 1,3—1,65			0,15—0,3 ≤0,3 0,15—0,3	— — —	— — —	
15ГФ 15ГФД 15Г2СФ 15Г2СФД	0,12—0,18	0,17—0,37 0,17—0,37 0,4—0,7 0,4—0,7	0,9—1,2 0,9—1,2 1,3—1,7 1,3—1,7			≤0,3	≤0,3 0,15—0,3 ≤0,3 0,15—0,3	0,05—0,12 0,05—0,12 0,05—0,1 0,05—0,1	— — — —
14Г2АФ* 14Г2АФД*	0,12—0,18 0,12—0,18	0,3—0,6	1,2—1,6 1,2—1,6			≤0,4	≤0,3 0,15—0,3	0,07—0,12 0,07—0,12	0,015—0,025 N
16Г2АФ* 16Г2АФД*	0,14—0,2 0,14—0,2		1,3—1,7					≤0,3 0,15—0,3	
18Г2АФпс 18Г2АФДпс*	0,14—0,22 0,14—0,22	≤0,17 ≤0,17	1,2—1,6			≤0,3	≤0,3 0,15—0,3	0,08—0,15 0,08—0,15	0,015—0,03 N 0,015—0,03 N
10Г2Б 10Г2БД	≤0,12	0,17—0,37						≤0,3 0,15—0,3	— —
14ХГС* 10ХСНД 15ХСНД 15Г2АФДпс* 10ХНДП	0,11—0,16 ≤0,12 0,12—0,18 0,12—0,18 ≤0,12	0,4—0,7 0,8—1,1 0,4—0,7 ≤0,17 0,17—0,37	0,9—1,3 0,5—0,8 0,4—0,7 1,2—1,6 0,3—0,6			0,5—0,8 0,6—0,9 0,6—0,9 ≤0,3 0,5—0,8	≤0,3 0,5—0,8 0,3—0,6 ≤0,3 0,3—0,6	≤0,3 0,4—0,6 0,2—0,4 0,2—0,4 0,3—0,5	— — — 0,08—0,15 —

П р и м е ч а н и я: 1. Содержание фосфора в стали должно быть не более 0,035% (за исключением стали марки 10ХНДП), серы — не более 0,04%.
2. В стали 10Г2С1Д допускается снижение содержания кремния до 0,7%.

* Стали, применяемые только для изготовления листового проката, остальные—для изготовления листового, сортового и фасонного проката.

Т а б л и ц а IV.10
Механические свойства толстолистовой и широкополосовой универсальной низколегированной стали

Марка стали	Толщина проката, мм	σ_B , кгс/мм ²	σ_T , кгс/мм ²	δ_5 , %	σ_H , кгс·м/см ² , при температуре, °С		
					+20	-40	-70
не менее							
09Г2, 09Г2Д	4		31		—	—	—
	5—9		31		—	3,5	—
	10—20	45	31	21	—	3,0	—
	21—32		30		—	4,0	—
14Г2	4	47	34		—	—	—
	5—9	47	34		—	3,5	—
	10—20	46	33	21	—	3,0	—
	21—32	46	33		—	3,0	—
12ГС	4				—	—	—
	5—9	47	32	26	—	—	—
	10				—	—	—
16ГС	4	50	33		—	—	—
	5—9	50	33		6	4	3
	10—20	49	32		6	3	2,5
	21—32	48	30	21	6	3	2,5
	33—60	47	29		6	3	2,5
	61—160	46	28		6	3	2,5
17ГС	4	52	35		—	—	—
	5—9	52	35	23	—	4,5	—
	10—20	50	34		—	3,5	—
17Г1С	4		36		—	—	—
	5—9	52	36	23	—	4,5	—
	10—20		35		—	4	—
09Г2С, 09Г2СД	4	50	35		—	—	—
	5—9	50	35		6,5	4	3,5
	10—20	48	33		6	3,5	3
	21—32	47	31	21	6	3,5	3
	33—60	46	29		6	3,5	3
	61—80	45	28		6	3,5	3
15ГФ, 15ГФД	81—160	44	27		6	3,5	3
	4	52	38		—	—	—
	5—9	52	38	21	—	4	—
	10—20	52	36		—	3	—
	21—32	48	34		—	3	—
10Г2С1, 10Г2С1Д	4	50	36		—	—	—
	5—9	50	35		6,5	4	3
	10—20	49	34	21	6	3	2,5
	21—32	48	33		6	3	2,5
	32—60	45	33		6	3	2,5
	61—80	44	30		6	3	2,5
	81—100	44	30		6	3	2,5
15Г2СФ, 15Г2СФД	5—9	56			—	4	—
	10—20	56	40	18	—	3,5	—
	21—32	56			—	3,5	—
14Г2АФ, 14Г2АФД	4	55			—	—	—
	5—9	55			—	4,5	3,5
	10—32	55	40	20	—	4	3
	33—50	55			—	4	3
16Г2АФ, 16Г2АФД	4	60	45		—	—	—
	5—9	60	45		—	4,5	3
	10—32	60	45	20	—	4	3
	33—50	58	42		—	4	3
18Г2АФпс, 18Г2АФДпс	4				—	—	—
	5—9				—	4,5	3,5
	10—20	60	45	19	—	4	3
	21—32				—	4	3

Марка стали	Толщина проката, мм	$\sigma_{в'}$ кгс/мм ²	$\sigma_{т'}$ кгс/мм ²	$\delta_5, \%$	$a_{н'}$, кгс·м/см ² , при температуре, °С		
					+20	-40	-70
не менее							
10Г2Б, 10Г2БД	4	52	38	21	—	—	—
	5—9				—	4	—
	10				—	3	—
14ХГС	4	50	35	22	—	—	—
	5—9				—	4	—
	10				—	3,5	—
10ХСНД	4	54	40	19	—	—	—
	5—9	54			—	5	3,5
	10—15	54			—	4	3
	16—32	54			—	5	3
	33—40	52			—	5	3
15ХСНД	4	50	35	21	—	—	—
	5—9				—	4	3
	10—20				—	3	3
	21—32				—	3	3
15Г2АФДпс	4	55	40	19	—	—	—
	5—9				—	4,5	3,5
	10—20				—	4	3
	21—32				—	4	3
10ХНДП	4	48	35	20	—	—	—
	5—9				—	4	—

Примечания: 1. Ударная вязкость при температуре -20°C должна быть не ниже норм, установленных для температуры -40°C , а ударная вязкость при температуре -50 – -60°C — не ниже норм, установленных для температуры -70°C .

2. Ударную вязкость определяют при температуре, указываемой в заказе.

Таблица IV.11

Механические свойства сортовой и фасонной низколегированной стали

Марка стали	Толщина проката, мм	$\sigma_{в'}$ кгс/мм ²	$\sigma_{т'}$ кгс/мм ²	$\delta_5, \%$	$a_{н'}$, кгс·м/см ² , при температуре, °С		
					+20	-40	-70
не менее							
09Г2, 9Г2Д	4	45	31	21	—	—	—
	5—9	45	31		—	4	3
	10—20	45	31		—	3	3
	21—32	45	30		—	3	—
14Г2	4	47	34	21	—	—	—
	5—9	47	34		—	3,5	3,5
	10—20	46	33		—	3	3
	21—32	46	33		—	3	—
09Г2С, 09Г2СД	4	50	35	21	—	—	—
	5—9	50	35		6,5	4	3,5
	10—20	48	33		6	3,5	3
	21—32	47	31		6	3,5	—
	33—60	46	29		6	3,5	—
	61—80	45	28		6	3,5	—
	81—160	44	27		6	3,5	—
10Г2С1, 10Г2С1Д	4	50	36	21	—	—	—
	5—9	50	35		6,5	4	3
	10—20	49	34		6	3	2,5
	21—32	48	33		6	3	—
	33—60	46	33		6	3	—
	61—80	44	30		6	3	—
	81—100	44	30		6	3	—

Марка стали	Толщина проката, мм	σ_B , кгс/мм ²	σ_T , кгс/мм ²	δ_b , %	a_n , кгс·м/см ² , при температуре, °С		
					+20	-40	-70
не менее							
15ГФ,	4	52	38		—	—	—
15ГФД	5—9	52	38	21	—	4	—
	10—20	49	35		—	3	—
	21—32	47	33		—	3	—
15Г2СФ,	4				—	—	—
15Г2СФД	5—9	56	40	18	—	4	—
	10—20				—	3,5	—
10Г2Б,	4				—	—	—
10Г2БД	5—9	52	38	21	—	4	—
	10				—	3	—
10ХСНД	4				—	—	—
	5—9	54	40	19	—	5	—
	10—15				—	4	—
15ХСНД	4				—	—	—
	5—9	50	35	21	—	4	3,5
	10—20	50	35		—	3	3
	21—32	48	33		—	3	—
10ХНДП	4				—	—	—
	5—9	48	35	20	—	4	—

Примечания: 1. Значение ударной вязкости при +20° С после механического старения должно быть не менее 3 кгс·м/см².

2. Для фасонных профилей толщиной 8 мм (швеллер), 11 мм (оалка) и 20 мм (угловая сталь) из стали марок 09Г2, 09Г2С, 10Г2С1, 10ХСНД и 15ХСНД категория 6 дополнительно определяет ударную вязкость при температуре -40° С.

Т а б л и ц а IV.12
Нормируемые характеристики низколегированной стали

Нормируемые характеристики	Категория														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Механические свойства при растяжении и изгиб в холодном состоянии	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Химический состав	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Ударная вязкость при температуре, °С:															
+20	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
-20	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
-40	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
-50	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
-60	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
-70	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Ударная вязкость после механического старения при температуре, °С:															
+20	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
-20	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
-40	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
-50	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
-60	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
-70	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Ударная вязкость после механического старения	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

Примечания: 1. Знак «+» означает нормируемую характеристику, знак «-» — ненормируемую.

2. Химический состав определяют для стали всех категорий.

3. Сталь категорий 1—6 и 10—12 выпускают без термической обработки, сталь категорий 7—9 и 13—15 — в термически обработанном состоянии (после нормализации или закалки с отпуском). Допускается изготовление стали категорий 1—6 и 10—12 в термически обработанном состоянии.

4. Листы из стали марок 14ХГС, 17Г1С, 14Г2АФ, 14Г2АФД, 16Г2АФ, 16Г2АФД, 15Г2АФДпс и 18Г2АФДпс всех толщин, из стали марок 09Г2, 09Г2Д, 10Г2С1 и 10Г2С1Д толщиной более 20 мм, марки 10ХСНД толщиной более 15 мм категорий 4—15 выпускаются в нормализованном или улучшенном состоянии (вид термической обработки выбирает изготовитель). При условии обеспечения механических свойств допускается изготовление сталей без термической обработки. Свариваемость стали обеспечивается технологией ее изготовления и химическим составом. Ударная вязкость листовой и универсальной стали при температуре +20° С после механического старения должна быть не менее 3 кгс·м/см².

Таблица IV.13

Химический состав, %, низколегированной стали высокой прочности, поставляемой по техническим условиям

Марка стали*	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	V	B
12Г2СМФ	0,09—0,15	1,2—1,6	0,4—0,7	—	—	0,15—0,25	0,07—0,15	—
14ГСМФР***	0,12—0,17	1,0—1,4	0,8—1,4	—	—	0,1—0,2	0,07—0,15	0,003
14ХМНДФР**	0,10—0,17	0,6—0,9	0,17—0,37	0,4—0,7	0,7—1,0	0,45—0,55	0,05—0,1	0,002—0,006
14Х2ГМР**	0,10—0,17	0,9—1,2	0,17—0,37	1,4—1,7	До 0,30	0,45—0,55	До 0,03	0,002—0,006
15ГСХМР**	0,12—0,18	1,25—1,55	0,4—0,7	0,5—0,6	» 0,30	0,2—0,26	» 0,3	0,003
15ХГ2СФМР***	0,12—0,18	1,5—1,8	0,4—0,7	0,4—0,7	0,4—0,7	0,15—0,25	0,05—0,10	0,002—0,006
12ХГ2СМФ***	0,09—0,12	1,2—1,6	0,4—0,7	0,5—0,8	—	0,15—0,25	0,07—0,15	—
14ХГСНМФР**	0,12—0,17	0,8—1,2	0,6—0,9	До 0,4	0,6—0,9	0,1—0,2	До 0,07	0,003
15ХГ2СФР***	0,12—0,18	1,5—1,8	0,4—0,7	0,4—0,7	—	—	0,07—0,15	0,002—0,006

* Содержание серы и фосфора не превышает 0,035% каждого

** Содержание меди в сталях 14Х2ГМР и 15ГСХМР до 0,30, в стали 14ХМНДФР 0,15—0,40, а в стали 14ХГСНМФР до 0,6%.

*** Выплавлены опытно-промышленные плавки.

Таблица IV.14

Механические свойства низколегированной стали высокой прочности

Марка стали	Толщина проката, мм	σ_T , кгс/мм ²	σ_B , кгс/мм ²	δ_5 , %	α_H^{**} , кгс·м/см ²
		не менее			
12Г2СМФ	8—30	60	70	13	—
14ГСМФР*	8—40	60	70	12	3,0
14ХМНДФР	4—60	60	70	14	4,0
14Х2ГМР	4—50	60	70	14	4,0
15ГСХМР	8—32	60	70	14	4,0
15ХГ2СФМР*	8—32	70	85	12	4,0
12ХГ2СМФ*	8—30	75	80	10	—
14ХГСНФР	8—40	60	70	12	—
15ХГ2СФР*	8—32	60	70	14	—

* Выплавлены опытно-промышленные плавки

** Ударную вязкость определяли на поперечных образцах при температуре —40° С.

Таблица IV.15

Механические свойства стали 14Х2ГМР после различной термической обработки

Термическая обработка	σ_B , кгс/мм ²	σ_T , кгс/мм ²	δ_5 , %	ψ , %
Закалка в воде	123/73	106/66	8/10	60/80
Закалка в масле	118/72	105/63	10/13	61/73
Нормализация	96/71	73/60	13/11	68/73

Примечание В числителе указаны механические свойства после закалки и нормализации без отпуска, в знаменателе — то же и отпуск при 650° С.

Т а б л и ц а IV.16

Изменение механических свойств стали 14Х2ГМР после улучшения (закалка в воде+отпуск при 650° С) при понижении температуры испытания

Параметры	Температура испытания, °С				Параметры	Температура испытания, °С			
	+20	-20	-60	-100		+20	-20	-60	-100
σ_B , кгс/мм ²	73	79	83	88	δ_5 , %	10,0	11,5	13	13
σ_T , кгс/мм ²	66	73	74	80	ψ , %	80	78	73	69

Т а б л и ц а IV.17

Влияние температуры испытания на ударную вязкость и ее составляющие для стали 14Х2ГМР

Ударная вязкость, кгс·м/см ²	Температура испытания, °С				
	+20	-10	-40	-70	-100
a_H	6,25/6,5	6,5/6,25	6,0/6,0	4,7/3,9	3,8/3,2
a_3	2,25/2,5	2,4/2,15	2,2/3,9	3,7/2,9	2,8/2,7
a_p	4,0/4,0	4,1/4,1	3,8/2,1	1,0/1,0	1,0/0,5

Пр и м е ч а н и я: 1. В числителе приведены значения параметров после закалки и отпуска образцов при 650° С, в знаменателе — после нормализации и отпуска при 650° С.

2. a_3 — работа зарождения; a_p — работа распространения трещины.

Т а б л и ц а IV.18

Механические свойства стали 14Х2ГМР после ВТМО

Термическая обработка	σ_B , кгс/мм ²	σ_T , кгс/мм ²	δ_5 , %	ψ , %
	не менее			
Контрольная закалка	126	102	10	48
ВТМО, охлаждение в воде	133	115	9	37
Контрольная закалка и отпуск при 650° С	84	79	14	52
ВТМО, охлаждение в воде и отпуск при 650° С	93	90	14	49

Т а б л и ц а IV.19

Влияние закалки с прокатного нагрева (ВТМО) на ударную вязкость стали 14Х2ГМР (образцы вырезаны вдоль направления прокатки)

Температура испытания, °С	a_H , кгс·м/см ²	
	контрольная закалка	ВТМО, охлаждение в воде
+20	7,0/12,4	7,9/14,5
-10	6,8/11,2	6,0/14,2
-40	5,2/7,9	4,4/11,8
-70	2,1/7,9	4,2/7,5
-100	1,3/13	2,2/5,9

Пр и м е ч а н и е. В числителе приведены данные после указанной термообработки, в знаменателе — после той же обработки и отпуска при 650° С.

Их химический состав приведен в табл. IV.13, а механические свойства — в табл. IV.14. В табл. IV.15—IV.17 показаны свойства одной из этих сталей (14Х2ГМР) после различных видов термической обработки, а в табл. IV.18 и IV.19 — после термомеханической обработки. Видно, что наиболее вы-

твление хрупкому разрушению во всем интервале отрицательных температур. На рис. IV.4 показана зависимость свойств некоторых марок низколегированной стали от режимов упрочнения.

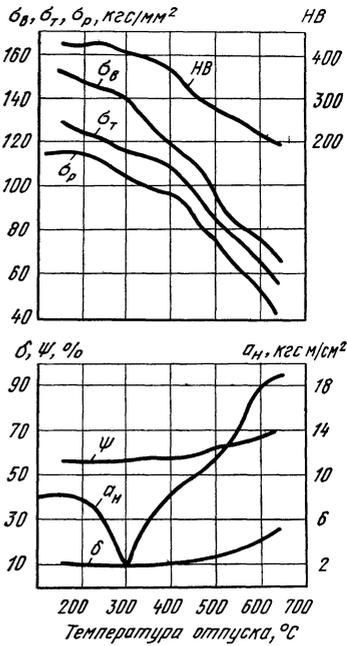


Рис. IV.1. Зависимость механических свойств стали марки 15ХСНД от температуры отпуска. Закалка с 900° С в воде

сокие механические свойства стали 14Х2ГМР обеспечиваются в результате ВТМО и высокого отпуска. Помимо этого, за счет такой обработки уменьшается чувствительность стали к остроте надреза, возрастает сопро-

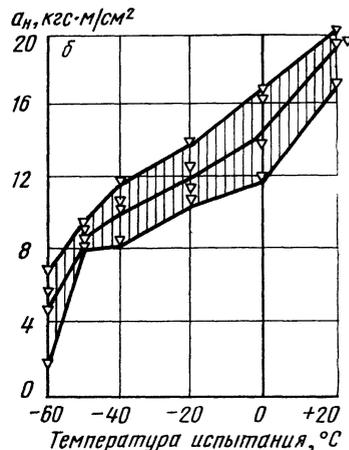
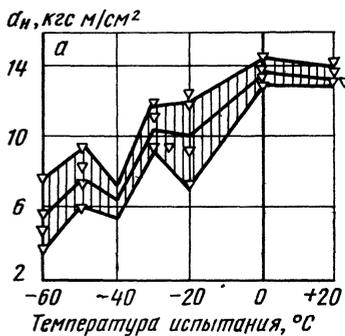


Рис IV.2 Влияние температуры испытания на ударную вязкость стали марки 15ХСНД

а — лист толщиной 12 мм; б — уголок 200×200×16 мм

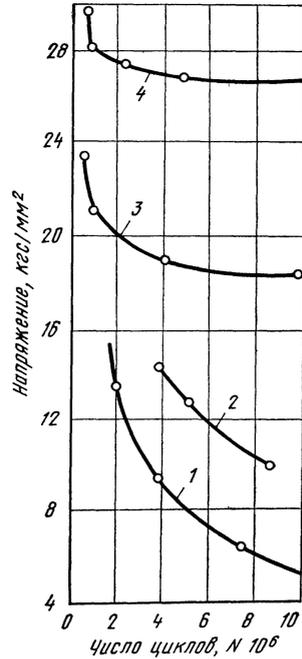


Рис. IV.3. Предел выносливости стали марок 15ХСНД и Ст3 в среде 3%-ного раствора NaCl (1 — Ст3; 2 — 15ХСНД) и в обычных условиях (3 — Ст3; 4 — 15ХСНД)

Ряд марок низколегированной и углеродистой стали широко применяется для изготовления машин и сооружений для северных районов страны. Основное требование к таким сталям — малая чувствительность к хрупкому разрушению

На склонность стали к хрупкому разрушению влияют в основном ее химический состав, величина зерна и микроструктура. Большинство легирующих элементов (Ni, Mn, Cr и др.) при небольшом их содержании

полнения рекомендуется применять модифицирование малыми добавками алюминия, титана, ванадия при выплавке и раскисление с добавкой повышенного по сравнению с обычным количеством алюминия, снижать

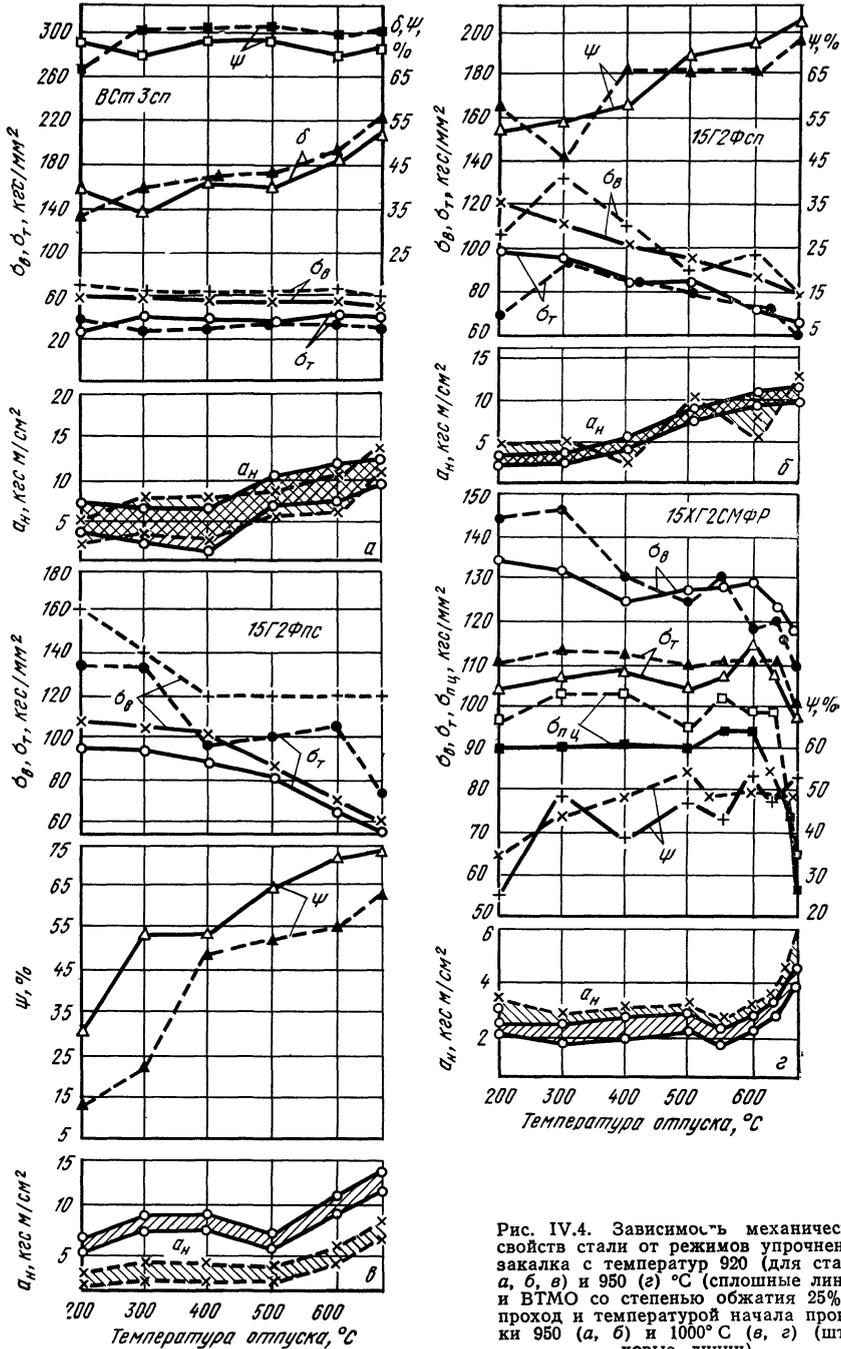


Рис. IV.4. Зависимость механических свойств стали от режимов упрочнения: закалка с температур 920 (для сталей а, б, в) и 950 (з) °С (сплошные линии) и ВТМО со степенью обжатия 25% за проход и температурой начала прокатки 950 (а, б) и 1000°С (в, з) (штриховые линии)

понижает порог хладноломкости стали. Вредные примеси (S, P, N, O, As) повышают порог хладноломкости. Мелкозернистые стали менее чувствительны к хрупким разрушениям; поэтому для сталей северного

температуру обработки давлением и проводить термическую обработку горячекатаного металла и зоны шва сварных соединений. Применение кипящей стали, поставляемой по ГОСТ 380—71*, для сварных конструк-

Таблица IV.20

Химический состав, %, некоторых котельных сталей

Марка стали	C	Si	Mn	P	S
				не более	
12К	0,08—0,16	0,17—0,37	0,40—0,70	0,040	0,040
15К	0,12—0,20	0,15—0,30	0,35—0,65	0,040	0,040
16К	0,12—0,20	0,17—0,37	0,45—0,75	0,040	0,040
18К	0,14—0,22	0,17—0,37	0,55—0,85	0,040	0,040
20К	0,16—0,24	0,15—0,30	0,35—0,65	0,040	0,040

Таблица IV.21

Химический состав, %, стали для мостостроения

Марка стали	C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu
16Д	0,1—0,18	0,12—0,25	0,4—0,7	≤0,3	≤0,3	0,2—0,35
10Г2С1Д	≤0,12	0,8—1,1	1,3—1,65	≤0,3	≤0,3	0,2—0,35
15ХСНД	0,12—0,18	0,4—0,7	0,4—0,7	0,6—0,9	0,3—0,6	0,2—0,4
10ХСНД	≤0,12	0,8—1,1	0,5—0,8	0,6—0,9	0,5—0,8	0,4—0,6

Примечания: 1. В стали марки 16Д фосфора не более 0,035%, серы 0,04%, в остальных — содержание серы и фосфора не должно превышать 0,035% каждого элемента. 2. При использовании указанных сталей для мостовых конструкций северного исполнения содержание серы не более 0,03%, фосфора не более 0,025%.

Таблица IV.22

Механические свойства стали для мостостроения

Марка стали	Толщина, мм	σ_B , кгс/мм ²	σ_T , кгс/мм ²	δ_5 , %	a_H , кгс·м/см ² , при температуре, °С		
					—40	—60	—70
					категория стали		
					1	2	3
не менее							
16Д	≤20	38—52	24	26	—	—	—
	21—40	38—52	23	26	—	—	—
	41—60	38—52	22	26	—	—	—
10Г2С1Д	8—10	50—70	35	21	3	3	2,5
	11—20	50—70	35	21	3	2,5	2,5
	21—32	50—70	35	21	3	2,5	2,5
	33—60	48—68	34	21	3	2,5	2,5
15ХСНД	8—32	50—70	35	21	3	3	3
	33—50	48—68	34	19	—	3	3
10ХСНД	8—15	54—70	40	19	4	3	3
	16—32	54—68	40	19	—	3	3
	33—40	52—66	40	19	—	3	3

Примечания: 1. Ударная вязкость стали марки 16Д всех толщин при температуре —20°С и после механического старения при температуре 20°С должна быть: листовой >3,5 кгс·м/см²; сортовой, широкополосовой и фасонной стали >4 кгс·м/см². 2. Ударная вязкость стали марок 10Г2С1Д, 15ХСНД и 10ХСНД всех толщин категорий 1 и 2 после механического старения при температуре 20°С и категории 3 после механического старения при температуре —20°С должна быть >3 кгс·м/см². 3. Сталь марки 16Д толщиной до 25 мм испытывается на загиб в холодном состоянии до параллельности сторон без оправки, свыше 25 мм — вокруг оправки с $d=a$ (d — диаметр оправки, мм; a — толщина образца, мм). Сталь марок 10Г2С1Д, 15ХСНД и 10ХСНД испытывается на загиб вокруг оправки $d=2a$.

ций северных районов страны не рекомендуется. Для литых деталей несущих конструкций, подлежащих сварке, следует применять стальное литье 20Л ($\leq 0,22\% \text{ C}$) группы III по ГОСТ 977—75 или низколегированное литье ($\leq 0,2\% \text{ C}$).

4. Стали для мостостроения и котлостроения

Углеродистую и низколегированную сталь для мостостроения изготавливают в соответствии с ГОСТ 6713—75* с гарантируемой свариваемостью, а для котлостроения и сосудов, работающих под давлением, — в соответствии с ГОСТ 5520—79 (стали марок 12К, 15К, 16К, 18К и 20К) и ГОСТ 19282—73 (стали марок 16ГС, 09Г2С, 16Г2С1). Сталь марок 10Г2С1Д, 15ХСНД и 10ХСНД в зависимости от вида термической обработки выпускают трех категорий: 1 — без термической обработки; 2 — в нормализованном состоянии; 3 — в термически улучшенном состоянии (после закалки и высокого отпуска). Категория указывается после наименования марки. При отсутствии указаний поставляется сталь категории 1. Химический состав углеродистой стали для котлостроения (барбанов, днищ, обечаек и других деталей паровых котлов, работающих при давлении до 60 кгс/см² и температуре до 450°С) представлен в табл. IV.20. В табл. IV.21 приведен химический состав сталей для мостостроения, а в табл. IV.22 — их механические свойства.

5. Выбор стали для металлических конструкций

Марки стали для изготовления металлических конструкций выбирают в соответствии со СНиП II-V.3—72 («Стальные конструкции. Нормы проектирования». М., 1974), в котором обобщены результаты многочисленных исследований. Все стали, применяемые для металлических конструкций, в зависимости от механических свойств при растяжении делят по прочности на условные классы:

С38/23, С44/29, С46/33, С52/40, С60/45, С70/60, С85/75 (табл. IV.23). Цифры в индексе класса обозначают: числитель — минимальная величина временного сопротивления разрыву, знаменатель — минимальная величина предела текучести.

При установлении областей рационального применения стали различных классов и марок необходимо учитывать ряд условий, которым должны отвечать принимаемые типы сталей (например, вид сооружения или элемента конструкции, условия эксплуатации и расчетные температуры, характер и величины действующих нагрузок, особенности конструктивной формы, технологичность изготовления и т. д.), а также экономическую эффективность выбираемой стали. Основные указания по применению стали для металлических конструкций зданий и сооружений в соответствии со СНиП II-V.3—72 представлены в табл. IV.24.

В зависимости от ответственности и условий эксплуатации все конструкции разбивают на 9 групп:

Группа I. Сварные конструкции, работающие в особо тяжелых условиях и подвергающиеся непосредственному воздействию динамических или вибрационных нагрузок (балки рабочих площадок главных зданий мартеновских и конверторных цехов; элементы конструкций бункерных и разгрузочных эстакад, непосредственно воспринимающие нагрузку от подвижных составов; подкрановые балки; фасонки стропильных и подстропильных ферм и т. п.).

Группа II. Сварные конструкции, находящиеся под непосредственным воздействием динамических или вибрационных нагрузок, кроме перечисленных в группе I (пролетные строения наклонных мостов доменных печей, пролетные строения и опоры транспортных галерей и т. п.).

Группа III. Сварные конструкции перекрытий и покрытий (фермы, за исключением фасонки, ригели рам, главные балки перекрытий и т. п.).

Группа IV. Сварные конструкции, не подвергающиеся непосредственному воздействию подвижных или вибрационных нагрузок (колонны, стойки, прогоны покрытий, опор-

Т а б л и ц а IV.23

Механические свойства при растяжении сталей различных классов для строительных металлических конструкций

Класс стали	σ_B , кгс/мм ²	σ_T^* , кгс/мм ²	δ_5 , %
	не менее		
С38/23	38	23	25
С44/29	44	29	21
С46/33	46	33	21
С52/40	52	40	19
С60/50	60	50	16
С70/60	70	60	12
С85/75	85	75	10

* При отсутствии выраженной площадки текучести за предел текучести принимается напряжение, соответствующее остаточному относительному удлинению 0,2% ($\sigma_{0,2}$).

Таблица IV.24

Указания по применению стали для металлических конструкций различных групп

Расчетная температура, °С	Класс стали	Марка стали	Толщина листового, сортового и фасонного проката, мм	ГОСТ или ТУ на поставку	Требуемая ударная вязкость, кгс м/см ² , не менее			
					при температуре, °С			После механического старения
					-20	-40	-70	
1	2	3	4	5	6	7	8	9

Группа I

≥ -40	C38/23	ВСт3Гпс5	5—9	ГОСТ 380—71	4	—	—	4
			10—30	ГОСТ 380—71	3	—	—	3
		ВСт3сп5	5—9	ГОСТ 380—71	4	—	—	4
			10—25	ГОСТ 380—71	3	—	—	3
		16Д	26—40	ГОСТ 6713—75	3,5	—	—	3,5
	C44/29	ВСтТсп	10—25	ГОСТ 14637—79	—	3	—	3
		09Г2С	21—32	ГОСТ 19281—73	—	3,5	—	—
			33—60	ГОСТ 19281—73	—	3,5	—	—
	C46/33	09Г2С	5—9	ГОСТ 19281—73	—	4	3,5	—
			10—20	ГОСТ 19281—73	—	3,5	3	—
		10Г2С1	5—9	ГОСТ 19281—73	—	4	3	—
		10Г2С1Д	10—32	ГОСТ 19281—73	—	3	—	—
	15ХСНД	5—9	ГОСТ 19281—73	—	4	3,5	—	
		10—32	ГОСТ 19281—73	—	3	—	—	
C46/33	14Г2*	5—9	ГОСТ 19281—73	—	3,5	3,5	—	
		10—32	ГОСТ 19281—73	—	3	3	—	
C52/40	10Г2С1**	10—32	ГОСТ 19281—73	—	3	2,5	—	
		10ХСНД	5—9	ГОСТ 19281—73	—	5	3,5	—
		10—15	ГОСТ 19281—73	—	4	3	—	
-40 > > t ≥ -65	C44/29	09Г2С	21—60	ГОСТ 19281—73	—	3,5	—	—
		C46/33	09Г2С	5—9	ГОСТ 19281—73	—	—	3,5
			10—20	ГОСТ 19281—73	—	3,5	3	3
	C52/40	10Г2С1**	10—32	ГОСТ 19281—73	—	3	—	3
		10ХСНД	5—15	ГОСТ 19281—73	—	4	3	3

Группа II

≥ -30	C38/23	ВСт3пс6	5—10	ГОСТ 380—71	—	—	—	3
		ВСт3Гпс5	11—30	ГОСТ 380—71	3	—	—	3
		ВСт3сп5	11—25	ГОСТ 380—71	3	—	—	3
		09Г2С	80—160	ГОСТ 19281—73	—	3,5	—	3
	C44/29	ВСтТсп	10—25	ГОСТ 14637—79	—	3	—	3
			5—9	ГОСТ 19281—73	—	3,5	3,5	3
	C46/33	14Г2	10—32	ГОСТ 19281—73	—	3	3	3
			10Г2С1	5—9	ГОСТ 19281—73	—	4	3
		10Г2С1Д	10—32	ГОСТ 19281—73	—	3	2,5	3
		15ХСНД	5—9	ГОСТ 19281—73	—	4	3	3
			10—32	ГОСТ 19281—73	—	3	—	3
	C52/40	10Г2С1**	10—32	ГОСТ 19281—73	—	3	—	3
10ХСНД			5—9	ГОСТ 19281—73	—	5	3,5	3
C52/40	10ХСНД	10—15	ГОСТ 19281—73	—	4	3	3	
		14Г2АФ	4—50	ТУ 14-1-1175—74	—	4	3	4
C60/45	15Г2АФДпс	10—32	ГОСТ 19282—73	—	4	3	3	
		15ХСНД**	10—32	ГОСТ 19281—73	—	3	3	3
	16Г2АФ	4—50	ТУ 14-1-1175—74	—	4	3	4	
	18Г2АФпс	4—32	ГОСТ 19282—73	—	4	3	3	
	15Г2СФ**	5—32	ГОСТ 19282—73	—	3,5	—	3	
-30 > > t ≥ -40	C38/23	ВСт3пс6	5—10	ГОСТ 380—71	—	—	—	3
		ВСт3пс5	11—30	ГОСТ 380—71	3	—	—	3
ВСт3сп5		11—25	ГОСТ 380—71	3	—	—	3	
	C44/29	ВСтТсп	10—25	ГОСТ 14637—79	—	3	—	3
C46/33		14Г2	5—9	ГОСТ 19281—73	—	3,5	3,5	3
			10—32	ГОСТ 19281—73	—	3	—	3
		10Г2С1	5—9	ГОСТ 19281—73	—	4	—	3

Расчетная температура, °С	Класс стали	Марка стали	Толщина листового, сортового и фасонного проката, мм	ГОСТ или ТУ на поставку	Требуемая ударная вязкость, кгс м/см ² , не менее				
					при температуре, °С			после механического старения	
					-20	-40	-70		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	
-40 > t ≥ -65	C52/40	10Г2С1Д	10—32	ГОСТ 19281—73	—	3	—	3	
		15ХСНД	5—9	ГОСТ 19281—73	—	4	3,5	3	
		10Г2С1**	10—32	ГОСТ 19281—73	—	3	—	—	3
			10—32	ГОСТ 19281—73	—	3	—	—	3
			5—9	ГОСТ 19282—73	—	5	3,5	—	3
			10—15	ГОСТ 19282—73	—	4	3	—	3
		C60/45	16—40	ГОСТ 19282—73	—	5	3	—	3
			4—50	ТУ 14-1-1175—74	—	4	—	—	4
			10—32	ГОСТ 19282—73	—	4	—	—	3
			15ХСНД**	10—32	ГОСТ 19281—73	—	4	3,5	3
	16Г2АФ		5—50	ТУ 14-1-1175—74	—	4	3	4	
	18Г2АФпс		5—32	ГОСТ 19282—73	—	4	3	3	
	C38/23	15Г2СФ**	5—32	ГОСТ 19282—73	—	4	—	3	
		09Г2С	80—160	ГОСТ 19281—73	—	3,5	3	3	
		09Г2С	21—60	ГОСТ 19281—73	—	3,5	3	3	
		09Г2С	5—9	ГОСТ 19281—73	—	4	3,5	3	
	C44/29 C46/33	C38/23	09Г2С	10—20	ГОСТ 19281—73	—	3,5	3	3
			09Г2С	5—9	ГОСТ 19281—73	—	4	3	3
		C44/29 C46/33	10Г2С1	5—9	ГОСТ 19281—73	—	4	3	3
			10Г2С1Д	10—60	ГОСТ 19281—73	—	3	2,5	3
15ХСНД			4—32	ГОСТ 19281—73	—	3	3	3	
10Г2С1**			10—32	ГОСТ 19281—73	—	3	3	3	
10ХСНД			10—40	ГОСТ 19282—73	—	5	3	3	

Группа III

≥ -30 > t ≥ -40	C38/23	ВСт3пс6	5—9	ГОСТ 380—71	—	—	—	4
		10—25	ГОСТ 380—71	—	—	—	—	3
	C44/29	ВСт3Гпс5	10—30	ГОСТ 380—71	3	—	—	3
		ВСтТпс	10—25	ГОСТ 14637—79	—	3	—	—
	C46/33	14Г2	5—9	ГОСТ 19281—73	—	3,5	3,5	—
		10—32	ГОСТ 19281—73	—	3	—	—	—
	C52/40	10Г2С1**	10—32	ГОСТ 19281—73	—	3	—	—
		14Г2АФ	4—50	ТУ 14-1-1175—74	—	4	3	—
		15Г2АФДпс	10—32	ГОСТ 19282—73	—	4	3	—
		15Г2СФ	5—32	ГОСТ 19282—73	—	3,5	—	—
	C60/45	15ХСНД**	10—32	ГОСТ 19281—73	—	3	—	—
		16Г2АФ	4—50	ТУ 14-1-1175—74	—	4	—	—
		18Г2АФпс	5—32	ГОСТ 19282—73	—	4	3	—
		15Г2СФ**	5—32	ГОСТ 19282—73	—	3,5	—	—
	C70/60	12Г2СМФ	10—32	ТУ 14-1-1308—75	—	3,5	—	—
		14Г2АФД	4—40	ТУ 14-1-1175—74	—	3	—	—
	C38/23	ВСт3пс6	5—10	ГОСТ 380—71	—	—	—	3
		ВСт3Гпс5	11—30	ГОСТ 380—71	3	—	—	3
		ВСт3сп5	11—25	ГОСТ 380—71	3	—	—	3
	C44/29	ВСтТпс	10—25	ГОСТ 14637—79	—	3	—	—
C46/33		14Г2	5—9	ГОСТ 19281—73	—	3,5	3,5	
C52/40	10Г2С1**	10—32	ГОСТ 19281—73	—	3	—	—	
	10Г2С1**	10—31	ГОСТ 19281—73	—	3	—	—	
C60/45	14Г2АФ	4—50	ТУ 14-1-1175—74	—	4	3	—	
	15Г2АФДпс	10—32	ГОСТ 19282—73	—	4	3	—	
	15Г2СФ	5—32	ГОСТ 19282—73	—	4	—	—	
	15ХСНД**	10—32	ГОСТ 19281—73	—	3	—	—	
C70/60	16Г2АФ	4—50	ТУ 14-1-1175—74	—	4	—	—	
	15Г2СФ**	5—32	ГОСТ 19282—73	—	5	—	—	
	18Г2АФпс	4—32	ГОСТ 19282—73	—	4	—	—	
	12Г2СМФ	10—32	ТУ 14-1-1308—75	—	3,5	—	—	
		14Г2АФД	4—50	ТУ 14-1-1175—74	—	3	—	

Расчетная температура, °С	Класс стали	Марка стали	Толщина листового, сортового и фасонного проката, мм	ГОСТ или ТУ на поставку	Требуемая ударная вязкость, кгс м/см ² , не менее				
					при температуре, °С			после охлаждения	
					-20	-40	-70		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	
-40 > t ≥ -65	C44/29	09Г2С	21—60	ГОСТ 19281—73	—	3,5	3	3	
		09Г2	5—9	ГОСТ 19281—73	—	4	3	3	
	C46/33	09Г2С	4—9	ГОСТ 19281—73	—	4	3,5	3	
		10Г2С1	10—20	ГОСТ 19281—73	—	3,5	3	3	
	C52/40	15ХСНД	5—9	ГОСТ 19281—73	—	4	3	3	
			10—60	ГОСТ 19281—73	—	3	2,5	3	
		10Г2С1**	4—32	ГОСТ 19281—73	—	—	3	3	3
			10—32	ГОСТ 19281—73	—	3	3	3	
		10ХСНД	10—40	ГОСТ 19282—73	—	3	3	3	
			10—40	ГОСТ 19282—73	—	5	3	3	

Группа IV

≥ -30	C38/23	ВСт3кп2	4—30	ГОСТ 380—71	—	—	—	—	
			31—40	ГОСТ 380—71	—	—	—	—	
41—160			ГОСТ 380—71	—	—	—	—		
-30 > t ≥ -40	C44/29	ВСтГ	10—40	ГОСТ 14637—79	—	—	—	—	
			5—9	ГОСТ 19281—73	—	3,5	3,5	—	
	C46/33	14Г2	10—32	ГОСТ 19281—73	—	3	—	—	
			4—50	ТУ 14-1-1175—74	—	4	—	—	
	C52/40	10Г2С1**	10—32	ГОСТ 19281—73	—	3	—	—	
			14Г2АФ	4—50	ТУ 14-1-1175—74	—	4	—	—
			15Г2АФДпс	10—32	ГОСТ 19282—73	—	4	—	—
	C60/45	15Г2СФ	5—32	ГОСТ 19282—73	—	3,5	—	—	
			16Г2АФ	4—50	ТУ 14-1-1175—74	—	4	3	—
			15Г2СФ**	5—32	ГОСТ 19282—73	—	4	—	—
C70/60	18Г2АФпс	4—32	ГОСТ 19282—73	—	4	3	—		
		12Г2СМФ	10—32	ТУ 14-1-1308—75	—	3,5	—	—	
		14Г2АФД	4—50	ТУ 14-1-1175—74	—	3	—	—	
-40 > t ≥ -50	C38/23	ВСт3пс6	5—9	ГОСТ 380—71	—	—	—	4	
			10—25	ГОСТ 380—71	—	—	—	3	
	C44/29	ВСт3пс5	10—30	ГОСТ 380—71	3	—	—	3	
			10—25	ГОСТ 14637—79	—	3	—	—	
	C46/33	14Г2	5—9	ГОСТ 19281—73	—	3,5	3,5	—	
			10—32	ГОСТ 19281—73	—	3	—	—	
	C52/40	10Г2С1**	10—32	ГОСТ 19281—73	—	3	—	—	
			14Г2АФ	4—50	ТУ 14-1-1175—74	—	4	—	—
			15Г2АФДпс	10—32	ГОСТ 19282—73	—	4	3	—
	C60/45	15Г2СФ	5—32	ГОСТ 19282—73	—	3	—	—	
16Г2АФ			4—50	ТУ 14-1-1175—74	—	4	—	—	
18Г2АФпс			4—32	ГОСТ 19282—73	—	4	—	—	
C70/60	15Г2СФ**	5—32	ГОСТ 19282—73	—	4	—	—		
		12Г2СМФ	10—25	ТУ 14-1-1308—75	—	3,5	—	—	
		14Г2АФД	4—50	ТУ 14-1-1175—74	—	3	—	—	
-40 > t ≥ -50	C38/23	09Г2С	61—160	ГОСТ 19281—73	—	3,5	—	—	
			5—9	ГОСТ 14637—79	—	4	—	—	
	C44/29	ВСтТсп	10—25	ГОСТ 19281—73	—	3	—	—	
			5—9	ГОСТ 19281—73	—	4	3	3	
	C46/33	09Г2С	10—20	ГОСТ 19281—73	—	3	3	—	
			21—32	ГОСТ 19281—73	—	3	—	—	
			21—32	ГОСТ 19281—73	—	3,5	—	—	
	C46/33	10Г2С1	33—60	ГОСТ 19281—73	—	3,5	—	—	
			61—100	ГОСТ 19281—73	—	—	3	—	
			5—9	ГОСТ 19281—73	—	4	3,5	—	
C52/40	10Г2С1**	10—20	ГОСТ 19281—73	—	3,5	3	—		
		10—60	ГОСТ 19281—73	—	3	3	—		
		10—32	ГОСТ 19281—73	—	3	3	—		
-50 > t ≥ -65	C44/29	09Г2С	21—60	ГОСТ 19281—73	—	3,5	3	—	
			5—9	ГОСТ 19281—73	—	4	3,5	—	
	C46/33	09Г2С	10—20	ГОСТ 19281—73	—	3,5	3	—	

Расчетная температура	Класс стали	Марка стали	Толщина листового, сортового и фасонного проката, мм	ГОСТ или ТУ на поставку	Требуемая ударная вязкость, кгс·м/см ² , не менее				
					при температуре, °С			после механического старения	
					-20	-40	-70		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	
	C52/40	10Г2С1	5-9	ГОСТ 19281-73	—	4	3	—	
			10-60	ГОСТ 19281-73	—	3	2,5	—	
		15ХСНД	4-32	ГОСТ 19281-73	—	3	3	—	
		10Г2С1**	10-32	ГОСТ 19281-73	—	3	3	—	
		10ХСНД	10-40	ГОСТ 19282-73	—	4	3	—	
<i>Группы V и VI</i>									
≥	C38/23	ВСтЗкп2	4-30	ГОСТ 380-71	—	—	—	—	
-40	C38/23	ВСтЗсп5	5-9	ГОСТ 380-71	4	—	—	4	
-40 >				10-30	ГОСТ 380-71	3	—	—	3
> t ≥	C38/23	ВСтЗГпс5	5-9	ГОСТ 380-71	4	—	—	4	
-65				10-30	ГОСТ 380-71	3	—	—	3
<i>Группа VII</i>									
≥	C38/23	ВСтЗпс6	5-9	ГОСТ 380-71	—	—	—	4	
-40				10-25	ГОСТ 380-71	—	—	—	3
	C44/29	ВСтЗГпс5	10-30	ГОСТ 380-71	3	—	—	3	
				10-25	ГОСТ 14637-79	—	3	—	—
	C44/29	09Г2	5-9	ГОСТ 19281-73	—	4	3	—	
				10-20	ГОСТ 19281-73	—	3	3	—
	C46/33	14Г2	21-32	ГОСТ 19281-73	—	3	—	—	
				5-9	ГОСТ 19281-73	—	3,5	3,5	—
			10-32	ГОСТ 19281-73	—	3	—	—	
	C52/40	10Г2С1**	10-32	ГОСТ 19281-73	—	3	—	—	
-40 >	C44/29	ВСтЗсп	10-25	ГОСТ 14637-79	—	3	—	3	
> t ≥				5-9	ГОСТ 19281-73	—	4	3	3
-65		09Г2	10-20	ГОСТ 19281-73	—	3	3	3	
	C46/33	09Г2С	21-32	ГОСТ 19281-73	—	3	—	—	
				14Г2	5-9	ГОСТ 19281-73	—	3,5	3,5
			10-32	ГОСТ 19281-73	—	3	3	3	
	C52/40	10Г2С1	5-9	ГОСТ 19281-73	—	4	3	3	
				10-32	ГОСТ 19281-73	—	3	—	3
		10Г2С1**	10-30	ГОСТ 19281-73	—	3	3	3	
<i>Группа VIII</i>									
≥	C38/23	ВСтЗкп2	4-30	ГОСТ 380-71	—	—	—	—	
-40	C44/29	ВСтЗкп	10-25	ГОСТ 14637-79	—	3	—	—	
	C46/33	14Г2	5-9	ГОСТ 19281-73	—	3,5	3,5	—	
			10-32	ГОСТ 19281-73	—	3	3	—	
	C52/40	10Г2С1**	10-32	ГОСТ 19281-73	—	3	—	—	
-40 >	C44/29	ВСтЗсп	10-25	ГОСТ 14637-79	—	3	—	3	
> t ≥				5-9	ГОСТ 19281-73	—	4	—	3
-65		09Г2	10-20	ГОСТ 19281-73	—	3	—	3	
		09Г2С	21-32	ГОСТ 19281-73	—	3,5	—	3	
	C46/33	14Г2	5-9	ГОСТ 19281-73	—	3,5	3,5	3	
				10-32	ГОСТ 19281-73	—	3	3	3
		10Г2С1	5-9	ГОСТ 19281-73	—	4	3	3	
			10-32	ГОСТ 19281-73	—	3	—	3	
	C52/40	10Г2С1**	10-32	ГОСТ 19281-73	—	3	3	3	

Расчетная температура, °С	Класс стали	Марка стали	Толщина листового, сортового и фасонного проката, мм	ГОСТ или ТУ на поставку	Требуемая ударная вязкость, кгс·м/см ² , не менее			
					при температуре, °С			после охлаждения, °С
					—20	—40	—70	
1	2	3	4	5	6	7	8	9

Группа IX

$t \geq -40$	C38/23	ВСтЗкп2	≤ 30	ГОСТ 380—71	—	—	—	—
$-40 >$	C38/23	ВСтЗсп5	5—9	ГОСТ 380—71	4	—	—	4
			10—25	ГОСТ 380—71	3	—	—	3
$t \geq -65$		ВСтЗГпс5	5—9	ГОСТ 380—71	4	—	—	4
			10—30	ГОСТ 380—71	3	—	—	3

Примечания: 1. Указания настоящей таблицы не распространяются на стальные конструкции специальных сооружений: магистральных и технологических трубопроводов, резервуаров специального назначения (для хранения нефтепродуктов и др.), кожухов доменных печей и воздухонагревателей, мачт и башен сооружений связи, опор линий электропередачи, опор контактных сетей и т. п. Марки сталей для этих конструкций устанавливаются СНиП или специальными руководствами.

2. За расчетную температуру принимается:

а) при возведении конструкций в районах с расчетной температурой наружного воздуха -40°C и выше — температура, при которой конструкции эксплуатируются;

б) при возведении конструкций в районах с расчетной температурой наружного воздуха ниже -40°C — температура данного района.

3. За температуру наружного воздуха района принимается средняя температура наиболее холодной пятидневки согласно указаниям главы СНиП по строительной климатологии и геофизике.

4. За толщину, указанную в графе 4, для двутавров и швеллеров принимается толщина стенки.

5. Прочерк (—) в таблице означает, что гарантия по ударной вязкости при данной температуре или после механического старения не требуется.

6. При толщинах проката ≤ 4 мм приведенные в таблице марки стали применяются без требований по ударной вязкости.

* Не применяется нигде, кроме фасонек ферм.

** Сталь термоупрочненная.

ные плиты; конструкции, поддерживающие технологическое оборудование и трубопроводы; сварные балки, бункера).

Группа V. Конструкции I—IV групп, монтируемые при расчетной температуре ниже -40°C и эксплуатируемые в отапливаемых помещениях.

Группа VI. Вспомогательные конструкции зданий и сооружений (связи, элементы факверка, лестницы, площадки, опоры светильников и т. п.) и слабнонагруженные конструкции и элементы с напряжением менее 0,4 расчетного сопротивления.

Группа VII. Конструкции, относящиеся к группам I—III, при выполнении их клепаными.

Группа VIII. Конструкции, относящиеся к группе IV, при выполнении их клепаными, а также элементы конструкций, не имеющие сварных соединений.

Группа IX. Конструкции, относящиеся к группе VI, не имеющие сварных соединений.

Выбор марок стали в пределах каждой группы и каждого диапазона расчетных температур производится на основании технико-экономического расчета. При соответствующем технико-экономическом обосновании стали марок, рекомендуемых для конструкций группы I, допускается применять для конструкций всех последующих групп при соответствующих диапазонах расчетных температур. При этом характеристика ударной

вязкости должна соответствовать требованиям к стали для данной группы конструкций при данных расчетных температурах. Стали марок, применяемых при низких расчетных температурах, могут быть использованы в той же группе конструкций при более высоких расчетных температурах.

Приведенные рекомендации по применению стали для стальных конструкций имеют несколько общий характер и позволяют выбрать сталь в основном в зависимости от условий эксплуатации, расчетных температур, наличия сварных и клепаных соединений. Проведенные исследования позволили конкретизировать классы и марки сталей для определенного вида конструкций. Условные классы прочности и марки стали, применяемые для изготовления ряда конструкций, представлены в табл. IV.25.

6. Арматурные стали

При современных методах строительства основным строительным материалом является сборный железобетон. Железобетонные конструкции изготавливают на заводах и в готовом виде монтируют на строительных площадках. Железобетон представляет собой строительный материал, в котором выгодно сочетается совместная работа бетона и стали. В зависимости от способа армирования

Т а б л и ц а IV.25

Условные классы прочности и стали, применяемые для изготовления ряда металлических конструкций

Наименование конструкций	Условные классы прочности	Марки стали	
		горячекатаная	горячекатаная или термически упрочненная
Пояса ферм из уголков, колонны горна доменной печи	C46/33—C60/45	14Г2, 09Г2С, 16Г2АФ, 18Г2АФпс	10Г2С1, 15Г2СФ, 15ГФ
Решетки	C38/23	ВСт3пс, 18Гпс	—
Пояса ферм из труб, гнутых и гнутосварных профилей	C46/33—C70/60	14Г2, 09Г2С	15Г2СФ, 16Г2АФ, 18Г2АФпс, 15ГФ, 14ГСМФР, 15ХГ2СМФР, 12Г2СМФ, 14Х2ГМР
Пояса подкрановых балок	C46/33—C60/45	10Г2С1, 14Г2	16Г2АФ, 15Г2СФ, 15ГФ
Стенки подкрановых балок	C38/23—C52/40	ВСт3сп, ВСт3пс, 10Г2С1, 14Г2	15ГФ, 15Г2СФ
Колонны	C46/33—C70/60	14Г2, 14ГСМФР	10Г2С1, 16Г2АФ, 15Г2СФ, 15Г2СМФР, 12Г2СМФ
Конструкции бетоновозных эстакад	C46/33—C52/40	10Г2С1, 14Г2	15ГФ, 15Г2СФ
Промышленные этажерки, каркасы больших котлов	C46/33—C60/45	10Г2С1, 14Г2	15ГФ, 15Г2СФ
Кожухи воздухонагревателей и пылеуловителей	C46/33—C60/45	10Г2С1, 14Г2, 15ХСНД, 10ХСНД	15Г2АФ
Кожухи доменных печей	C46/33—C60/45	16Г2АФ	18Г2АФпс, 15Г2АФ
Резервуары, газгольдеры высоких давлений	C46/33—C70/60	09Г2С, 16Г2АФ, 10Г2С1	18Г2АФпс, 15Г2АФ, 12Г2СМФ, 14Х2ГМР
Высокие башенные конструкции	C46/33—C70/60	10Г2С1, 15ХСНД, 10ХСНД, 16Г2АФ	15Г2СФ, 12Г2СМФ, 14Х2ГМР
Башенные и укосные надшахтные копры, тяжело нагруженные колонны и балки	C46/33—C60/45	16Г2АФ	15Г2СФ, 18Г2АФпс
Сварные балки перекрытий шахтной механизированной крепи	C60/45—C70/60	16Г2АФ	15Г2АФ, 14ГСМФР, 14Х2ГМР, 12Г2СМФ
Металлоконструкции экскаваторов	C70/60—C85/75	—	14Х2ГМР, 12Г2СМФ, 15ХГ2СМФР
Мосты для автотранспорта	C46/33—C70/60	15ХСНД, 10ХСНД, 15Г2АФДпс, 16Г2АФ	14Х2ГМР

Т а б л и ц а IV.26

Механические свойства арматурной стали по классам

Класс арматурной стали	Диаметр стержня, мм	Марка стали	σ_T , кгс/мм ²	σ_B , кгс/мм ²	δ_5 , %	Испытание на загиб в холодном состоянии
A-I	6—40	Ст3кп3, Ст3сп3, ВСт3сп2	24	38	25	На 180°, $c=0,5 d$
A-II	6—18 10—40	ВСт3Гпс2 ВСт5сп2, ВСт5пс2	24 30	38 50	25 19	То же На 180°, $c=3 d$
Ac-II	40—80	18Г2С	30	50	19	То же
A-III	10—32	10ГТ *	30	45	25	На 180°, $c=1 d$
A-III	6—40	35ГС, 25Г2С	40	60	14	» 90°, $c=3 d$
A-IV	10—18	80С	60	90	6	» 45°, $c=5 d$
	10—22	20ХГ2Ц	60	90	6	То же
A-V	10—22	23Х2Г2Т	80	105	7	На 45°, $c=5 d$

Примечания: 1. Буквой c обозначена толщина оправки, буквой d — диаметр стержня.
 2. Ac-II — арматурная сталь класса A-II специального назначения.
 3. Арматурная сталь классов A-I, A-II, A-III, A-IV изготавливается без термической обработки, класса A-V — после низкотемпературного отпуска (250° С).
 4. Звездочкой отмечена сталь, ударная вязкость которой при температуре -60° С равна 5 кгс·м/см².

Т а б л и ц а IV.27

Химический состав, %, низколегированных арматурных сталей

Марка стали	С	Si	Mn	Cr	Ti	S	P
						не более	
10ГТ	До 0,13	0,45—0,65	1—1,4	До 0,3	0,015—0,03	0,04	0,03
18Г2С	0,14—0,23	0,6—0,9	1,2—1,6	До 0,3	—	0,045	0,04
35ГС	0,3—0,37	0,6—0,9	0,8—1,2	До 0,3	—	0,045	0,04
25Г2С	0,2—0,29	0,6—0,9	1,2—1,6	До 0,3	—	0,045	0,04
20ХГ2Ц	0,19—0,26	0,4—0,7	1,5—1,9	0,9—1,2	—	0,045	0,04
80С	0,74—0,82	0,6—1,0	0,5—0,9	До 0,3	0,015—0,03	0,045	0,04
23Х2Г2Т	0,19—0,26	0,4—0,7	1,4—1,7	1,35—1,7	0,02—0,08	0,04	0,035

Примечание. В стали всех марок, указанных в таблице, кроме стали 10ГТ, содержание никеля и меди не должно быть более 0,3% каждого элемента, а в стали 10ГТ — меди не более 0,3%, никеля — нет. Количество циркония в стали 20ХГ2Ц должно быть 0,05—0,14%. Количество алюминия в стали 23Х2Г2Т — 0,015—0,05%.

и состояния арматуры различают железобетонные изделия с обычным армированием и с предварительно напряженной арматурой. Предварительное напряжение арматуры предупреждает появление трещин в железобетоне, позволяет сократить расход арматуры, снизить массу железобетонных конструкций, придать им высокую жесткость и долговечность.

Основной характеристикой арматурной стали является предел текучести, по величине которого нормируют ее расчетные коэффициенты. Повышение предела текучести позволяет более рационально использовать сталь в железобетонных конструкциях и обеспечивает экономии металла и средств в строительстве.

Однако при повышении прочностных характеристик стали понижаются ее пластические свойства, оцениваемые величинами относительного удлинения и угла загиба при испытании на холодный загиб. Достаточная пластичность стали повышает надежность работы конструкций, проектируемых с уче-

том перераспределения усилий, предотвращает опасность их хрупкого разрушения и преждевременного исчерпания несущей способности. Повышение прочности горячекатаной арматурной стали может быть достигнуто увеличением содержания углерода и введением легирующих элементов. Изменять состав стали можно лишь в определенных пределах из опасения повысить склонность ее к хрупкому разрушению (особенно при низких температурах), резко снизить свариваемость, увеличить стоимость стали.

Поэтому предел текучести горячекатаной арматурной стали целесообразно повышать лишь до определенного предела (практически не выше 60 кгс/мм²). Дальнейшего увеличения прочностных свойств при сохранении достаточной пластичности достигают термической обработкой. Длительное время термическую обработку арматуры проводили электротермическим методом на заводах железобетонных изделий. В настоящее время основная часть термически упрочняемой арматуры подвергается термической обра-

Т а б л и ц а IV.28

Механические свойства арматурных стержней после термической обработки

Класс стержней	Минимальная температура электронгрева (контролируемая), °С	Номинальный диаметр стержня, мм	σ_B , кгс/мм ²	$\sigma_{0,2}$, кгс/мм ²	Относительное удлинение, %	
					δ_5	δ_D
Ат-IV	350	10—18 20—40	90	60	8 7	2
Ат-V	400	10—14 16—40	100	80	7 6	
Ат-VI	450	10—14 16—32	120	100	6 5	
Ат-VII	500	10—32	140	120	5	

не более

Примечание. Стержни испытывают на загиб на 45° в холодном состоянии вокруг оправки диаметром $5d$ (d — диаметр арматуры); δ — равномерное удлинение.

ботке непосредственно на металлургических заводах. При этом используется эффект ВТМО. Ряд арматурных сталей наряду с высокими прочностными и пластическими свойствами должен обладать определенным пределом выносливости, релаксационной стойкостью и сопротивлением коррозии.

В соответствии с ГОСТ 5781—75 сталь горячекатаную круглую гладкого и периодического профиля для армирования обычных и предварительно напряженных конструкций (стержневая арматурная сталь) в зависимости от механических свойств делят на пять классов (табл. IV.26). Стержни арматурной стали класса А-I должны выпускаться круглыми гладкими, стержни классов А-II, А-III, А-IV, А-V — периодического профиля. Каждому классу арматурной стали (А-II, А-III, А-IV, А-V) должен соответствовать определенный вид периодического профиля, установленный ГОСТ 5781—75. Химический состав арматурных углеродистых сталей должен соответствовать ГОСТ 380—71*, низколегированных сталей — нормам, приведенным в табл. IV.27.

Сталь стержневую арматурную, термически упрочненную, периодического профиля в соответствии с ГОСТ 10884—71 изготавливают из углеродистой и легированной стали. Арматурные стержни в зависимости от механических свойств подразделяют на классы (табл. IV.28); их выпускают с профилями, утвержденными для арматуры классов А-II и А-III по ГОСТ 5781—75. Концы стержней каждого класса должны быть окрашены: Ат-IV — белой, Ат-V — синей, Ат-VI — желтой и Ат-VII — зеленой краской. Концы стержней, не подвергавшихся термической обработке, должны быть отмечены красной краской.

Библиографический список

Бернштейн М. Л., Одесский П. Д. Механические свойства строительной стали. — «Сталь», 1975, № 8, с. 731—735 с ил.

Бень Т. Г., Кольцова А. П., Шишац-

кая Р. В. Экономическая эффективность термического упрочнения проката и труб. М., «Металлургия», 1974. 192 с. с ил.

Большаков В. И., Стародубов К. Ф., Тылкин М. А. Термическая обработка строительной стали повышенной прочности. М., «Металлургия», 1977. 200 с. с ил.

Высокопрочные арматурные стали. М., «Металлургия», 1966. 139 с. с ил. Авт.: А. П. Гуляев, А. С. Астафьев, М. А. Волкова и др.

Гладштейн Л. И., Литвиненко Д. А. Высокопрочная строительная сталь. М., «Металлургия», 1972. 240 с. с ил.

Голиков И. Н., Гольдштейн М. И., Мурзин И. И. Ванадий в стали. М., «Металлургия», 1968. 290 с. с ил.

Жербин М. М. Высокопрочные строительные стали. Киев, «Будивельник», 1974. 160 с. с ил.

Журавлев В. Н., Николаева О. И. Машиностроительные стали. Справочник. М., «Машиностроение», 1968. 332 с. с ил.

Касаткин Б. С., Мусияченко В. Ф. Низколегированные стали высокой прочности для сварных конструкций. Киев, «Техніка», 1970. 188 с. с ил.

Лихтарников Я. М. Металлические конструкции. Методы технико-экономического анализа при проектировании. М., Стройиздат, 1968. 264 с. с ил.

Марочник стали и сплавов. М., НИИмаш, 1971. 482 с. с ил.

Материалы в машиностроении. Справочник. Т. 2. Под ред. И. В. Кудрявцева. М., «Машиностроение», 1967. 496 с. с ил.

Мельников Н. П. Пути прогресса в области металлических конструкций. М., Стройиздат, 1974. 136 с. с ил.

Качество листа и режимы непрерывной прокатки. Алма-Ата, «Наука», 1974. 400 с. с ил. Авт.: П. И. Полухин, Д. Н. Заугольников, М. А. Тылкин и др.

Применение термически упрочненных и низколегированных сталей для объектов нефтяной и газовой промышленности. М., «Недра», 1977. 155 с. с ил. Авт.: Е. М. Куз-

мак, Н. Н. Кошелев, А. Н. Хакимов и др.

Сварка и резка в промышленном строительстве. Справочник монтажника. Под ред. Б. Д. Малышева. М., Стройиздат, 1977. 780 с. с ил.

Соколовский П. И. Арматурные стали. М., «Металлургия», 1964. 208 с. с ил.

Соколовский П. И. Малоуглеродистые и низколегированные стали. М., «Металлургия», 1966. 216 с. с ил.

Термическое упрочнение проката. М., «Металлургия», 1970. 367 с. с ил. Авт.:

К. Ф. Стародубов, И. Г. Узлов, В. Я. Савенков и др.

Справочник металлста. Т. 2. Под ред. А. Г. Рахштадта и В. А. Брострема. М., «Машиностроение», 1976. 718 с. с ил.

Труфяков В. И. Усталость сварных соединений. Киев, «Наукова думка», 1973. 215 с. с ил.

Упрочнение конструкционных сталей нитридами. М., «Металлургия», 1970. 222 с. с ил. Авт.: М. И. Гольдштейн, А. В. Гринь, Э. Э. Блюм, Л. М. Панфилова.

Глава V

МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

1. Цементуемые конструкционные стали

Выбор цементуемых сталей

Основным критерием выбора стали для цементуемых деталей должны служить механические свойства сердцевин, которые зависят от размера сечения заготовки и прокаливаемости. Даже при изменении размера поперечного сечения в узких пределах (5—25 мм) прочностные характеристики изменяются значительно.

С повышением содержания углерода и степени легированности прочность стали как при растяжении (табл. V.1), так и при статическом изгибе (табл. V.2) растет. То же относится и к статическому кручению. Если прочность заготовок малого сечения (5—10 мм) зависит главным образом от содержания углерода в стали, то с увеличением размера сечения решающую роль приобретает степень легированности стали.

Таблица V.1

Механические свойства сердцевин ложноцементованных* образцов при растяжении

Марка стали	σ_T , кгс/мм ²						a_H , кгс·м/см ²					
	при сечении заготовок, мм											
	5	15	20	25	35	50	10	15	20	25	35	50
15X	110	55	50	45	35	30	8	5	4	4	7	10
20X	125	65	60	55	50	40	9	5	3	5	8	11
18XГТ	130	80	60	55	—	—	7	5	6	6	—	—
30XГТ	145	95	80	75	70	60	6	7	6	6	6	5
12XН3А	110	80	75	65	—	—	16	15	16	19	—	—
12X2Н4А	110	100	90	85	—	—	10	10	13	16	—	—
30XН3А	150	145	140	120	110	85	7	6	5	5	6	8
18X2Н4ВА	125	120	115	115	110	95	9	8	7	9	10	11
25X2Н4ВА	145	140	135	130	130	130	7	7	6	6	7	7

* Режим: ложная цементация при 910° С — 9 ч, закалка с 810° С в масле, отпуск при 200° С — 1 ч.