

Г. И. Макаров

**РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ
НЕФТЕГАЗОВОГО ПРОФИЛЯ**

Учебник

Москва Вологда
«Инфра-Инженерия»
2021

УДК 621.79
ББК 34.641
М15

Р е ц е н з е н т :

доктор технических наук, профессор, профессор кафедры сооружения
и ремонта газонефтепроводов и хранилищ РГУ нефти и газа (НИУ)
им. И. М. Губкина *Иванцова Светлана Георгиевна*

Макаров, Г. И.

М15 Расчет и проектирование сварных конструкций нефтегазового
профиля : учебник / Г. И. Макаров. – Москва ; Вологда : Инфра-
Инженерия, 2021. – 344 с. : ил., табл.
ISBN 978-5-9729-0638-3

Изложена теория расчета и проектирования сварных конструкций
нефтегазового профиля. Показаны все виды расчетов сварных конструкций –
на прочность, жесткость, выносливость, устойчивость, сопротивляемость
разрушению и т. п. Рассмотрены вопросы концентрации напряжений в свар-
ных соединениях, образования сварочных напряжений и деформаций после
сварки, трещиностойкости и сопротивляемости распространению протяжен-
ных разрушений в трубопроводах. Дана методология расчета и проектирова-
ния основных типов элементов сварных конструкций. Приведены примеры
расчетов.

Для студентов машиностроительных направлений подготовки. Может
быть полезно специалистам в области сварки.

УДК 621.79
ББК 34.641

ISBN 978-5-9729-0638-3

© Г. И. Макаров, 2021
© Издательство «Инфра-Инженерия», 2021
© Оформление. Издательство «Инфра-Инженерия», 2021

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	7
ГЛАВА 1. МАТЕРИАЛЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЯХ И СООРУЖЕНИЯХ НЕФТЕГАЗОВОГО КОМПЛЕКСА	9
1.1. Стали и цветные сплавы	9
1.2. Сортамент	21
Контрольные вопросы	38
ГЛАВА 2. ОСНОВНЫЕ ТИПЫ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ И ВИДЫ СВАРНЫХ ШВОВ	39
2.1. Соединения, выполненные сваркой плавлением	39
2.1.1. Общие понятия и определения	39
2.1.2. Соединения, выполненные дуговой сваркой	41
2.1.3. Соединения при электрошлаковой сварке	50
2.2. Соединения, выполненные контактной сваркой	51
2.3. Соединения, выполненные специальными способами сварки	57
2.3.1. Сварка трением	57
2.3.2. Высокочастотная сварка	58
2.3.3. Электронно-лучевая сварка	59
2.3.4. Лазерная сварка	60
2.4. Соединения при сварке пластмасс	60
2.4.1. Сварка нагревательным элементом	60
2.4.2. Ультразвуковая сварка	61
2.5. Обозначения сварных соединений на чертежах	62
Контрольные вопросы	66
ГЛАВА 3. КОНЦЕНТРАЦИЯ НАПРЯЖЕНИЙ В СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЯХ	67
3.1. Причины возникновения концентрации напряжений	67
3.2. Распределение напряжений в стыковых швах	70
3.3. Распределение напряжений в лобовых швах	71
3.4. Распределение напряжений во фланговых швах и в соединениях с накладками	73

3.5. Распределение напряжений в соединениях, выполненных контактной сваркой.....	77
Контрольные вопросы	80

ГЛАВА 4. ОСНОВЫ РАСЧЕТА СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ И СООРУЖЕНИЙ НА ПРОЧНОСТЬ ПРИ СТАТИЧЕСКИХ И ПЕРЕМЕННЫХ НАГРУЗКАХ С УЧЕТОМ СПЕЦИФИКИ РАБОТЫ ОБЪЕКТОВ НЕФТЕГАЗОВОГО ПРОФИЛЯ.....	82
4.1. Принципы расчета сварных конструкций и сооружений	82
4.2. Соединения, работающие на изгиб и сложное сопротивление	87
4.3. Сопротивление усталости сварных соединений	104
4.3.1. Прочность основного металла при переменных нагрузках.....	105
4.3.2. Прочность сварных соединений из стали при переменных нагрузках	113
4.3.3. Методы повышения сопротивления усталости сварных соединений.....	117
4.3.4. Расчет сварных соединений, работающих при переменных нагрузках	119
Контрольные вопросы	125

ГЛАВА 5. СОБСТВЕННЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ И ДЕФОРМАЦИИ ПРИ СВАРКЕ.....	127
5.1. Понятие о собственных напряжениях и их классификация	127
5.2. Деформации и напряжения при неравномерном нагреве и остывании	131
5.3. Сварочные напряжения и деформации	140
5.4. Определение деформаций конструкций балочного типа.....	151
5.5. Экспериментальные методы определения сварочных напряжений. ..	162
5.6. Методы снижения остаточных напряжений и деформаций.	164
Контрольные вопросы	167

ГЛАВА 6. РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ СВАРНЫХ БАЛОК	169
6.1. Сведения о балках, схема расчета	169
6.2. Расчет балок на прочность и жесткость.....	171
6.2.1. Определение расчетных усилий в балках с помощью линий влияния	171

6.2.2. Определение требуемой высоты сечения балки из условия жесткости и условия наименьшего веса	176
6.2.3. Подбор сечения балки	180
6.2.4. Проверка максимальных напряжений в опасных точках сечения	181
6.3. Общая устойчивость балок	183
6.4. Местная устойчивость балки и расстановка ребер жесткости	186
6.5. Сварные соединения балок	189
6.5.1. Расчет поясных швов	189
6.5.2. Стыки балок	191
6.6. Опорные части балок	192
6.7. Пример расчета и проектирования сварной балки	194
Контрольные вопросы	202
ГЛАВА 7. РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ СВАРНЫХ СТОЕК	204
7.1. Сведения о стойках, типы поперечных сечений	204
7.2. Расчет прочности и устойчивости стоек со сплошными и составными поперечными сечениями	206
7.2.1. Расчет стоек со сплошными поперечными сечениями при центральном сжатии	206
7.2.2. Расчет стоек со сплошными поперечными сечениями при эксцентрическом сжатии	209
7.2.3. Расчет стоек с составными поперечными сечениями	213
7.3. Соединительные элементы стоек	215
7.4. Базы и оголовки стоек	218
7.5. Пример расчета и проектирования сварной стойки	220
Контрольные вопросы	229
ГЛАВА 8. РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ СВАРНЫХ ФЕРМ	231
8.1. Понятие о фермах	231
8.2. Элементы строительной механики стержневых систем	234
8.2.1. Геометрическая неизменяемость и статическая определимость	234
8.2.2. Определение расчетных усилий в стержнях ферм	236
8.3. Подбор сечений растянутых и сжатых элементов ферм	248
8.4. Узлы ферм	251

8.5. Примеры расчета и проектирования конструкции сварной фермы....	254
Контрольные вопросы	283
ГЛАВА 9. РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ НЕФТЕГАЗОВЫХ	
СООРУЖЕНИЙ ОБОЛОЧКОВОГО ТИПА	285
9.1. Классификация сооружений оболочкового типа.....	285
9.2. Стальные вертикальные цилиндрические резервуары.....	286
9.3. Цистерны и сферические резервуары	291
9.4. Трубопроводы.....	295
Контрольные вопросы	300
ГЛАВА 10. РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ СВАРНЫХ ДЕТАЛЕЙ	
МАШИН	301
10.1. Примеры сварных деталей машин	301
10.2. Сварные барабаны лебедок грузоподъемных машин	303
10.3. Сварные корпуса редукторов.....	306
10.4. Сварные рамы и станины	307
10.5. Зубчатые колеса, шестерни, шкивы	309
Контрольные вопросы	312
ГЛАВА 11. ТРЕЩИНОСТОЙКОСТЬ НЕФТЕГАЗОВЫХ СВАРНЫХ	
КОНСТРУКЦИЙ И СООРУЖЕНИЙ.....	313
11.1. Сопротивление разрушению сварных конструкций и сооружений.....	313
11.2. Основные положения и критерии механики разрушения.....	314
11.3. Протяженные разрушения магистральных газопроводов	323
Контрольные вопросы	340
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	341

ВВЕДЕНИЕ

Расчет и проектирование сварных конструкций нефтегазового профиля имеют свою специфику в виду особых условий эксплуатации объектов нефтегазового комплекса. Расчеты сварных конструкций и сооружений нефтегазового профиля на прочность, жесткость, выносливость, устойчивость, трещиностойкость, сопротивляемость разрушению и т. п. выполняют по расчетным сопротивлениям в соответствии со строительными нормами и правилами в отличие от машиностроительных конструкций, которые рассчитывают по допускаемым напряжениям.

За последние десятилетия сильно изменились рабочие параметры многих нефтегазовых объектов: вертикальных стальных цилиндрических резервуаров, сосудов давления, магистральных трубопроводов. Стремление увеличить производительность перекачки продукта по магистральным трубопроводам (при ограничении максимальных диаметров труб: 1220 мм для нефтепроводов и 1420 мм для газопроводов) привело к росту величины номинального рабочего давления с 5,4–7,4 МПа до значений 9,8–14,0 МПа. При таких высоких значениях рабочего давления использование листового проката трубных сталей прежних классов прочности К52–К55 потребовало бы увеличения толщины стенки труб до 35–40 мм. Увеличение металлоемкости конструкций (в том числе соединительных деталей, задвижек, арматуры и т. п.) осложнило бы технологию сварки кольцевых монтажных стыков, а также потребовало бы разработки принципиально нового парка техники и оборудования для выполнения строительных и сварочно-монтажных работ. В настоящее время при строительстве магистральных трубопроводов нового поколения применяют трубы повышенных классов прочности: К56, К60, К65 и К70, использование которых позволяет ограничить толщину стенки труб значениями 27–30 мм.

Помимо высокой прочности листовой прокат трубных сталей должен обладать высоким уровнем пластических и вязкостных свойств во всем диапазоне температур эксплуатации трубопровода, что необходимо для обеспечения статической трещиностойкости металла и сварных соединений (предотвращения развития трещин от дефектов всех типов), а также обеспечения сопротивляемости магистральных газопроводов распространению протяженных разрушений. Обеспечение сочетания высоких значений прочностных характеристик: предела текучести и временного сопротивления, и характеристик вязкости разрушения: коэффициента интенсивности напряжений и пластического раскрытия у вершины

трещины, является сложной технологической задачей, и относится к приоритетным направлениям научных исследований в области создания высокопрочных и высоковязких труб нового поколения. Как известно, традиционные способы повышения прочности стали за счет увеличения процентного содержания углерода не позволяют существенно повысить прочностные характеристики металлопроката без одновременного снижения пластичности и вязкости разрушения. За последние годы в металлургической отрасли были освоены другие способы достижения высокой прочности листового проката трубных сталей с сохранением высокой пластичности и вязкости разрушения, в частности за счет применения упрочняющей термообработки листа в процессе прокатки (так называемые, стали «контролируемой прокатки» с ускоренным охлаждением). Для того чтобы увеличить «лимит» на легирующие добавки, необходимые для достижения эффекта упрочняющей термообработки, и при этом не превысить нормативные значения показателей свариваемости (эквивалент углерода и параметр стойкости против растрескивания), процентное содержание углерода в стали пришлось понизить до 0,07–0,09 %.

Ограничение процентного содержания углерода обеспечивает сохранение запаса пластичности и вязкости разрушения, а проведение термообработки листа в процессе прокатки позволяет получить высокую прочность листового проката. Такая технология производства трубных сталей обеспечивает сочетание высоких значений показателей прочности, пластичности и вязкости разрушения, как основного металла труб, так и их сварных соединений.

Помимо традиционных разделов, касающихся методов расчета и проектирования сварных конструкций нефтегазового профиля, учебник содержит дополнительный раздел по методам оценки статической и динамической трещиностойкости конструкций оболочкового типа (сосудов давления). Отдельно представлен новый метод расчета магистральных газопроводов на сопротивляемость протяженным разрушениям и процедура подтверждения соответствия труб по нормируемому значению величины пластического раскрытия у вершины трещины в зависимости от диаметра и толщины стенки труб, рабочего давления газа, класса прочности труб, категории участка газопровода и способу прокладки.

Учебник предназначен для студентов высших учебных заведений нефтегазового профиля. При подготовке учебника использован многолетний опыт автора преподавания соответствующих дисциплин на кафедрах сварки МВТУ им. Н. Э. Баумана и РГУ нефти и газа (НИУ) им. И. М. Губкина.

ГЛАВА 1. МАТЕРИАЛЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЯХ И СООРУЖЕНИЯХ НЕФТЕГАЗОВОГО КОМПЛЕКСА

1.1. Стали и цветные сплавы

Для изготовления сварных конструкций применяют различные виды стального проката углеродистых и легированных конструкционных сталей. В строительных конструкциях чаще всего применяют низкоуглеродистые стали обыкновенного качества, в трубопроводном транспорте – углеродистые качественные и низколегированные конструкционные стали. В сварных конструкциях и сооружениях нефтегазового комплекса применяют также коррозионно-стойкие (нержавеющие) стали, а также цветные сплавы на основе алюминия и титана.

Углеродистые стали обыкновенного качества выпускают по Межгосударственному стандарту ГОСТ 380-2005. В табл. 1.1 приведен перечень марок сталей и их химический состав. В обозначении марки стали буквы «Ст» обозначают «Сталь», цифры – условный номер марки стали в зависимости от химического состава. Степень раскисления стали определяется буквами: «кп» – кипящая, «пс» – полуспокойная, «сп» – спокойная. Буква «Г» указывает на повышенное содержание марганца. Для всех марок стали (кроме марки Ст0) ограничения по содержанию вредных примесей составляют: серы – не более 0,050 %, фосфора – не более 0,040 %.

Таблица 1.1

**Марки и химический состав углеродистых сталей обыкновенного качества
(ГОСТ 380-2005)**

Марка стали	Массовая доля химических элементов, %		
	Углерод	Марганец	Кремний
Ст0	Не более 0,23	–	–
Ст1кп	0,06–0,12	0,25–0,50	Не более 0,05
Ст1пс	0,06–0,12	0,25–0,50	0,05–0,15
Ст1сп	0,06–0,12	0,25–0,50	0,15–0,30
Ст2кп	0,09–0,15	0,25–0,50	Не более 0,05
Ст2пс	0,09–0,15	0,25–0,50	0,05–0,15
Ст2сп	0,09–0,15	0,25–0,50	0,15–0,30
Ст3кп	0,14–0,22	0,30–0,60	Не более 0,05
Ст3пс	0,14–0,22	0,40–0,65	0,05–0,15

Окончание таблицы 1.1

Марка стали	Массовая доля химических элементов, %		
	Углерод	Марганец	Кремний
Ст3сп	0,14–0,22	0,40–0,65	0,15–0,30
Ст3Гпс	0,14–0,22	0,80–1,10	Не более 0,15
Ст3Гсп	0,14–0,20	0,80–1,10	0,15–0,30
Ст4кп	0,18–0,27	0,40–0,70	Не более 0,05
Ст4пс	0,18–0,27	0,40–0,70	0,05–0,15
Ст4сп	0,18–0,27	0,40–0,70	0,15–0,30
Ст5пс	0,28–0,37	0,50–0,80	0,05–0,15
Ст5сп	0,28–0,37	0,50–0,80	0,15–0,30
Ст5Гпс	0,22–0,30	0,80–1,20	Не более 0,15
Ст6пс	0,38–0,49	0,50–0,80	0,05–0,15
Ст6сп	0,38–0,49	0,50–0,80	0,15–0,30

Углеродистые качественные нелегированные конструкционные стали выпускают по Межгосударственному стандарту ГОСТ 1050-2013. В табл. 1.2 приведены перечень марок сталей и их химический состав. Цифры в обозначении марки стали примерно соответствуют содержанию углерода в сотых долях процента. Степень раскисления стали определяется буквами: «кп» – кипящая, «пс» – полуспокойная, без индекса – спокойная. Для всех марок стали ограничения по содержанию вредных примесей составляют: серы – не более 0,040 %, фосфора – не более 0,035 %.

ГОСТ 1050-2013 регламентирует также механические свойства проката из углеродистой качественной нелегированной конструкционной стали. В табл. 1.3 приведены нормативные значения механических характеристик проката в нормализованном состоянии: характеристики прочности (предел текучести и временное сопротивление) и пластичности (относительное удлинение и относительное поперечное сужение). Как видно из табл. 1.2–1.3, с увеличением содержания углерода в стали повышается прочность, и снижается пластичность.

Таблица 1.2

Марки и химический состав углеродистых качественных нелегированных конструкционных сталей (ГОСТ 1050-2013)

Марка стали	Массовая доля химических элементов, %			
	Углерод	Марганец	Кремний	Хром, не более
05кп	Не более 0,06	Не более 0,40	Не более 0,03	0,10
08кп	0,05–0,12	0,25–0,50	Не более 0,03	0,10

Окончание таблицы 1.2

Марка стали	Массовая доля химических элементов, %			
	Углерод	Марганец	Кремний	Хром, не более
08пс	0,05–0,11	0,35–0,65	0,05–0,17	0,10
08	0,05–0,12	0,35–0,65	0,17–0,37	0,10
10кп	0,07–0,14	0,25–0,50	Не более 0,07	0,15
10пс	0,07–0,14	0,35–0,65	0,05–0,17	0,15
10	0,07–0,14	0,35–0,65	0,17–0,37	0,15
11кп	0,05–0,12	0,30–0,50	Не более 0,06	0,15
15кп	0,12–0,19	0,25–0,50	Не более 0,07	0,25
15пс	0,12–0,19	0,35–0,65	0,05–0,17	0,25
15	0,12–0,19	0,35–0,65	0,17–0,37	0,25
18кп	0,12–0,20	0,30–0,50	Не более 0,06	0,15
20кп	0,17–0,24	0,25–0,50	Не более 0,07	0,25
20пс	0,17–0,24	0,35–0,65	0,05–0,17	0,25
20	0,17–0,24	0,35–0,65	0,17–0,37	0,25
25	0,22–0,30	0,50–0,80	0,17–0,37	0,25
30	0,27–0,35	0,50–0,80	0,17–0,37	0,25
35	0,32–0,40	0,50–0,80	0,17–0,37	0,25
40	0,37–0,45	0,50–0,80	0,17–0,37	0,25
45	0,42–0,50	0,50–0,80	0,17–0,37	0,25
50	0,47–0,55	0,50–0,80	0,17–0,37	0,25
55	0,52–0,60	0,50–0,80	0,17–0,37	0,25
58	0,55–0,63	Не более 0,20	0,10–0,30	0,15
60	0,57–0,65	0,50–0,80	0,17–0,37	0,25

Таблица 1.3

**Механические свойства проката из углеродистой качественной нелегированной
конструкционной стали (ГОСТ 1050-2013)**

Марка стали	Механические свойства, не менее			
	σ_T , МПа	σ_B , МПа	δ_5 , %	ψ_5 , %
08	196	320	33	60
10	205	330	31	55
15	225	370	27	55
20	245	410	25	55
25	275	450	23	50
30	295	490	21	50
35	315	530	20	45
40	335	570	19	45
45	355	600	16	40

Марка стали	Механические свойства, не менее			
	σ_T , МПа	σ_B , МПа	δ_5 , %	ψ_5 , %
50	375	630	14	40
55	380	650	13	35
58	315	600	12	28
60	400	680	12	35

Легированные стали обладают повышенной прочностью по сравнению с углеродистыми сталями. В сварных конструкциях и сооружениях нефтегазового комплекса используют, в основном, низколегированные конструкционные стали.

Обозначение марок легированных сталей состоит из сочетания букв и цифр, обозначающих химический состав стали. В соответствии с ГОСТ 4543-2016 принято обозначать: хром – Х, никель – Н, марганец – Г, кремний – С, молибден – М, вольфрам – В, титан – Т, ванадий – Ф, алюминий – Ю, медь – Д, ниобий – Б, бор – Р, кобальт – К, азот – А, селен – Е, цирконий – Ц, фосфор – П, углерод – У. Цифра, стоящая после буквы, указывает на примерное содержание легирующего элемента в целых единицах процентов. Если цифра после буквы отсутствует, то содержание легирующего элемента составляет до 1,5 %. Две цифры в начале обозначения марки легированной конструкционной стали показывают примерное содержание углерода в сотых долях процента. Буква А в конце обозначения марки стали обозначает «высококачественная сталь». Например, высококачественная сталь 30ХГСА содержит: 0,28–0,34 % С; 0,80–1,10 % Cr; 0,80–1,10 % Mn; 0,9–1,2 % Si. В табл. 1.4 представлены по группам марки и химический состав некоторых низколегированных конструкционных сталей по ГОСТ 4543-2016.

Для всех марок низколегированной конструкционной стали ограничения по содержанию вредных примесей составляют: для качественных сталей – серы не более 0,035 %, фосфора не более 0,035 %; для высококачественных сталей – серы не более 0,025 %, фосфора не более 0,025 %; для особовысококачественных сталей – серы не более 0,015 %, фосфора не более 0,025 %. Стали легируют таким образом, чтобы повышение временного сопротивления и предела текучести сопровождалось сохранением достаточного запаса пластичности и ударной вязкости.

Таблица 1.4

**Марки и химический состав некоторых низколегированных конструкционных сталей различных групп
(ГОСТ 4543-2016)**

Группа стали	Марка стали	Массовая доля химических элементов, %							
		Углерод	Кремний	Марганец	Хром	Никель	Молибден	Титан	Ванадий
Хромистая	40X	0,36–0,44	0,17–0,37	0,50–0,80	0,80–1,10	–	–	–	–
	45X	0,41–0,49	0,17–0,37	0,50–0,80	0,80–1,10	–	–	–	–
Марганцовистая	15Г	0,12–0,19	0,17–0,37	0,70–1,00	–	–	–	–	–
	10Г2	0,07–0,15	0,17–0,37	1,20–1,60	–	–	–	–	–
Хромомарганцевая	30ХГТ	0,24–0,32	0,17–0,37	0,80–1,10	1,00–1,30	–	–	0,03–0,09	–
Хромо-молибденовая	30ХМА	0,26–0,33	0,17–0,37	0,40–0,70	0,80–1,10	–	0,15–0,25	–	–
Хромованадиевая	40ХФА	0,37–0,44	0,17–0,37	0,50–0,80	0,80–1,10	–	–	–	0,10–0,18
Хромоникелевая	20ХН	0,17–0,23	0,17–0,37	0,40–0,70	0,45–0,75	1,0–1,4	–	–	–
	12ХН2	0,09–0,16	0,17–0,37	0,30–0,60	0,60–0,90	1,5–1,9	–	–	–
Хромокремне-марганцевая	30ХГСА	0,28–0,34	0,90–1,20	0,80–1,10	0,80–1,10	–	–	–	–

Таблица 1.5

**Механические характеристики металлопроката из некоторых низколегированных конструкционных сталей различных групп
после термообработки (ГОСТ 4543-2016)**

Группа стали	Марка стали	σ_T , МПа	σ_B , МПа	δ_5 , %	ψ_5 , %	КСУ, МДж/м ²
Хромистая	40Х	785	980	10	45	0,6
	45Х	835	1030	9	45	0,5
Марганцовистая	15Г	245	410	26	55	–
	10Г2	245	420	22	50	–
Хромомарганцевая	30ХГТ	1275	1470	9	40	0,6
Хромо-молибденовая	30ХМА	735	930	12	50	0,9
Хромованадиевая	40ХФА	735	880	10	50	0,9
Хромоникелевая	20ХН	590	780	14	50	0,8
	12ХН2	590	780	12	50	0,9
Хромокремне-марганцевая	30ХГСА	835	1080	10	45	0,5

Таблица 1.6

Механические характеристики проката из некоторых конструкционных коррозионно-стойких сталей (ГОСТ 5949-2018)

Класс стали	Марка стали по ГОСТ 5632-2014	σ_T , МПа ¹	σ_B , МПа	δ_5 , %	ψ_5 , %	Температура эксплуатации
Коррозионностойкая (нержавеющая) обыкновенная	08X18H10T	196	490	40	55	—
	08X18H12T	210	520	43	55	
	12X18H9	196	490	45	55	
	12X18H10E	196	750	35	55	
Коррозионностойкая (нержавеющая) жаропрочная криогенная	08X18H10	196	470	40	55	–196°÷600 °С
	08X18H12B	180	500	40	55	–253°÷600 °С
	12X18H9T	196	540	40	55	–196°÷600 °С
	12X18H10T	196	510	40	55	–269°÷600 °С
	12X18H12T	196	540	40	55	–196°÷600 °С

¹ В тех случаях, когда при испытании образца на растяжение на диаграмме нет ярко выраженной площадки текучести, допускается определять условный (технический) предел текучести ($\sigma_{0,2}$), соответствующий остаточной деформации 0,2 %.

Таблица 1.7

Марки и химический состав некоторых конструкционных алюминиевых сплавов различных систем легирования (ГОСТ 4784-2019)

Система легирования	Марка сплава	Массовая доля химических элементов, %										
		Кремний	Железо	Медь	Марганец	Магний	Хром	Цинк	Титан	Никель	Цирконий	
Алюминий – медь – магний	Д1	0,20–0,8	0,7	3,5–4,8	0,40–1,0	0,40–0,8	0,10	0,3	0,15	–	0,05	
	Д16	0,50	0,50	3,8–4,9	0,30–0,9	1,2–1,8	0,10	0,25	0,15	–	0,05	
	Д18	0,5	0,5	2,2–3,0	0,20	0,20–0,5	0,10	0,1	–	–	–	
Алюминий – марганец	АМц	0,6	0,7	0,2	1,0–1,5	0,2	–	0,10	0,1	–	–	
	Д12	0,30	0,7	0,25	1,0–1,5	0,8–1,3	–	0,25	–	–	–	
Алюминий – магний ¹	АМг2	0,40	0,50	0,15	0,1–0,6	1,8–2,6	0,05	0,15	0,15	–	–	
	АМг3	0,5–0,8	0,5	0,1	0,3–0,6	3,2–3,8	0,05	0,2	0,1	–	–	
	АМг5	0,5	0,5	0,1	0,3–0,8	4,8–5,8	–	0,2	0,10	–	–	
	АМг6	0,4	0,4	0,1	0,5–0,8	5,8–6,8	–	0,2	0,10	–	–	
Алюминий – цинк – магний	В95	0,5	0,5	1,4–2,0	0,2–0,6	1,8–2,8	0,25	7,0	0,05	0,1	–	
	В95–1	1,5	1,0	1,0–3,0	0,2–0,8	0,6–2,6	0,25	2,0	0,05	0,2	0,15	
	В95–2	1,5	0,9	1,0–3,0	0,2–0,8	1,0–2,8	0,25	6,5	0,05	0,2	0,10	

¹ Для сплавов марок АМг5 и АМг6 содержание бериллия 0,0002–0,005 %.

Низколегированные стали общего назначения часто поставляют в термически обработанном состоянии. Термообработка путем закалки и последующего отпуска приводит к повышению характеристик прочности в сочетании с хорошей пластичностью и ударной вязкостью. В табл. 1.5 приведены механические характеристики металлопроката из некоторых низколегированных конструкционных сталей различных групп после термообработки по ГОСТ 4543-2016.

Помимо низколегированных конструкционных сталей общего назначения в нефтегазовой отрасли широко применяют конструкционные коррозионно-стойкие стали специального назначения. В табл. 1.6 даны примеры таких сталей по ГОСТ 5632-2014, и приведены значения механических характеристик металлопроката по ГОСТ 5949-2018. Указанные коррозионно-стойкие стали относятся к группе хромоникелевых сталей аустенитного класса.

В промышленности наряду с применением различных марок сталей широкое распространение получили цветные сплавы на основе алюминия и титана. Особые свойства этих сплавов (меньшая плотность и более высокая коррозионная стойкость, чем у сталей общего назначения) предопределили их использование в авиации, судостроении, машиностроении, на предприятиях нефтяной и газовой промышленности. В табл. 1.7 приведены обозначения и химический состав некоторых конструкционных алюминиевых сплавов различных систем легирования по Межгосударственному стандарту ГОСТ 4784-2019.

В табл. 1.8 представлены механические свойства листового проката (плит) из некоторых алюминиевых сплавов в соответствии с Межгосударственным стандартом ГОСТ 17232-99.

Наибольшее распространение получили алюминиевые сплавы, легированные магнием. В качестве характерного примера можно привести алюминиевый сплав марки АМг6, обладающий хорошей свариваемостью. Прочность листового проката из этого сплава находится на уровне прочности металлопроката из углеродистых сталей, а плотность – почти в 3 раза меньше.

В табл. 1.9 приведены обозначения и химический состав некоторых деформируемых титановых сплавов по ГОСТ 19807-91. В табл. 1.10 представлены механические свойства листового проката из титановых сплавов высокой отделки поверхности в соответствии с Межгосударственным стандартом ГОСТ 22178-76.

Титановые сплавы, легированные алюминием, обладают высокой коррозионной стойкостью и хорошими механическими свойствами. Их широко используют в авиастроении и судостроении, а также в нефтяном и химическом машиностроении. Прочность листового проката из титановых сплавов высокой отделки поверхности после специальной термообработки существенно превышает прочность проката из углеродистых сталей, а плотность – почти в 2 раза меньше.

Таблица 1.8

Механические свойства листового проката (плит) из некоторых алюминиевых сплавов (ГОСТ 17232-99)

Марка сплава	Толщина проката, мм ¹	Механические свойства, не менее		
		σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %
Д1	11–25	370	215	11,0
	25–40	365	215	8,0
	40–70	345	195	6,0
	70–80	315	195	5,0
Д16	11–25	420	275	7,0
	25–40	390	255	5,0
	40–70	370	245	4,0
	70–80	345	245	3,0
АМц	11–25	120	–	15,0
	25–80	110	–	12,0
АМг2	11–25	175	–	7,0
	25–80	155	–	6,0
АМг3	11–25	185	69	12,0
	25–80	165	59	11,0
АМг5	11–25	265	120	13,0
	25–80	255	110	12,0
АМг6	11–25	305	145	11,0
	25–50	295	135	6,0
	50–80	275	130	4,0
В95	11–25	490	410	4,0
	25–40	490	410	3,0
	40–50	470	390	2,0

¹ Направление вырезки образцов – поперек проката. Образцы листового проката из сплавов Д1, Д16 и В95 испытаны после термообработки (закалка и старение).

Таблица 1.9

Марки и химический состав некоторых деформируемых титановых сплавов (ГОСТ 19807-91)

Марка сплава	Массовая доля химических элементов, % ¹									
	Алюминий	Ванадий	Молибден	Цирконий	Марганец	Олово	Кремний	Железо	Кислород	Водород
BT1-00	–	–	–	–	–	–	0,08	0,15	0,10	0,008
BT1-0	–	–	–	–	–	–	0,10	0,25	0,20	0,010
OT4-0	0,4–1,4	–	–	0,30	0,5–1,3	–	0,12	0,30	0,15	0,012
OT4-1	1,5–2,5	–	–	0,30	0,7–2,0	–	0,12	0,30	0,15	0,012
OT4	3,5–5,0	–	–	0,30	0,8–2,0	–	0,12	0,30	0,15	0,012
BT5	4,5–6,2	1,2	0,8	0,30	–	–	0,12	0,30	0,20	0,015
BT5-1	4,3–6,0	1,0	–	0,30	–	2,0–3,0	0,12	0,30	0,15	0,015
BT6	5,3–6,8	3,5–5,3	–	0,30	–	–	0,10	0,60	0,20	0,015
BT6C	5,3–6,5	3,5–4,5	–	0,30	–	–	0,15	0,25	0,15	0,015
BT8	5,8–7,0	–	2,8–3,8	0,50	–	–	0,20–0,40	0,30	0,15	0,015
BT9	5,8–7,0	–	2,8–3,8	1,0–2,0	–	–	0,20–0,35	0,25	0,15	0,015
BT14	3,5–6,3	0,9–1,9	2,5–3,8	0,30	–	–	0,15	0,25	0,15	0,015
BT20	5,5–7,0	0,8–2,5	0,5–2,0	1,5–2,5	–	–	0,15	0,25	0,15	0,015

¹ Массовая доля азота – до 0,05 %, углерода – до 0,10 %.

Таблица 1.10

**Механические свойства листового проката из титановых сплавов высокой отделки
поверхности (ГОСТ 22178-76)**

Марка сплава	Состояние материала	Толщина проката, мм	σ_B , МПа	δ , %, не менее	
BT1-00	Отожженное и правленое или отожженное с последующей прогладкой и правкой	0,3–1,8	295–440	30	
		1,8–6,0	295–440	30	
		6,0–10,5	295–440	20	
BT1-0		0,3–0,4	375–540	25	
		0,4–1,8	375–540	30	
		1,8–6,0	375–540	25	
		6,0–10,5	375–540	20	
OT4-0		0,3–0,4	490–635	25	
		0,4–1,8	490–635	30	
		1,8–6,0	490–635	25	
	6,0–10,5	490–635	20		
OT4-1	0,3–0,7	590–785	25		
	0,7–1,8	590–785	20		
	1,8–6,0	590–785	15		
	6,0–10,5	590–785	13		
OT4	0,5–1,0	685–885	20		
	1,0–1,8	685–885	15		
	1,8–10,5	685–885	12		
BT5-1	0,8–1,2	735–930	15		
	1,2–1,8	735–930	12		
	1,8–6,0	735–930	10		
	6,0–10,5	735–930	8		
BT6	Отожженное	1,0–10,5	885–1080	8	
BT6C	Отожженное	1,0–6,0	835–980	12	
		6,0–10,5	835–980	10	
	Закаленное и состаренное	1,0–10,5	Не менее 1030	8	
		BT14	Отожженное	0,8–5,0	885–1050
5,0–10,5	835–1050	8			
Закаленное и состаренное	0,8–1,5	Не менее 1080		5	
	1,5–5,0	Не менее 1180		6	
	5,0–7,0	Не менее 1080		4	
	7,0–10,5	Не менее 1100		4	
BT20	Отожженное	0,8–1,8		930–1130	12
		1,8–4,0		930–1180	10
		4,0–10,5	930–1180	8	

1.2. Сортамент

Сварные конструкции изготавливают из проката, отливок, поковок и штампованных элементов. Наиболее часто для изготовления сварных конструкций применяют различные виды проката. Различают прокат: *листовой, сортовой и фасонный*.

Листовой горячекатаный прокат выпускают в соответствии с Межгосударственным стандартом ГОСТ 19903-2015.

Толстолистовой прокат из горячекатаной углеродистой стали обыкновенного качества по ГОСТ 14637-89 изготавливают в виде листов толщиной 4–160 мм и в виде рулонов толщиной 4–12 мм. В зависимости от нормируемых характеристик прокат подразделяют на категории: 1, 2, 3, 4, 5, 6. Для обозначения категории к обозначению марки проката добавляется номер категории, например: Ст4сп3, Ст3сп5 и т. д. В табл. 1.11 дана классификация категорий толстолистового проката из углеродистой стали обыкновенного качества в зависимости от нормируемых характеристик по ГОСТ 14637-89. В прокате, предназначенном для изготовления сварных конструкций, массовая доля углерода не должна превышать 0,22 %. Прокат категорий 1–5 поставляют в горячекатаном состоянии, прокат категории 6 – в упрочненном состоянии. Для обеспечения требуемых характеристик проката всех категорий 1–6 может применяться термическая обработка.

В табл. 1.12 представлены механические свойства толстолистового проката из углеродистой стали обыкновенного качества категорий 1–5 по ГОСТ 14637-89. Для проката категории 6 в диапазоне толщин 10–40 мм регламентированы следующие механические свойства: $\sigma_B = 430$ МПа, $\sigma_T = 295$ МПа, $\delta_5 = 16$ %. В табл. 1.13 приведены нормы ударной вязкости **KCU** толстолистового проката из углеродистой стали обыкновенного качества категорий 3–5 по ГОСТ 14637-89. Для проката категории 6 в диапазоне толщин 10–40 мм установлены следующие нормы ударной вязкости **KCU**: 0,4 МДж/м² при температуре минус 40 °С; 0,3 МДж/м² – после механического старения. Для проката категорий 5 и 6 ГОСТ 14637-89 регламентирует также нормы ударной вязкости **KCV**.

В табл. 1.14 приведены нормы ударной вязкости **KCV** для толстолистового проката из углеродистой стали обыкновенного качества категорий 5–6 по ГОСТ 14637-89.

Таблица 1.11

**Категории толстолистового проката из углеродистой стали обыкновенного качества в зависимости от нормируемых характеристик
(ГОСТ 14637-89)**

Категория	Нормируемая характеристика								Марки стали
	Химический состав	Механические свойства при растяжении и изгибе	Ударная вязкость						
			КСУ			КСV			
			При температуре			После старения	При температуре		
			+20 °С	-20 °С	-40 °С		0 °С	+20 °С	
1		+							Ст2кп, Ст2пс, Ст2сп, Ст3кп, Ст3пс, Ст3сп, Ст5пс, Ст5сп, Ст5Гпс
2	+	+							Ст3кп, Ст3пс, Ст3сп, Ст3Гпс, Ст3Гсп, Ст4пс, Ст4сп
3	+	+	+						Ст3пс, Ст3сп, Ст3Гпс, Ст3Гсп, Ст4пс, Ст4сп
4	+	+		+					Ст3пс, Ст3сп, Ст3Гпс, Ст3Гсп
5	+	+		+		+		+	
6	+	+			+	+	+		

Таблица 1.12

**Механические свойства толстолистного проката из углеродистой стали обыкновенного качества категорий 1–5
(ГОСТ 14637-89)**

Марка стали	σ_B , МПа	σ_T , МПа, для толщин, мм, не менее				δ_5 , %, для толщин, мм, не менее		
		до 20	20–40	40–100	св. 100	до 20	20–40	св. 40
Ст2кп	320–410	215	205	195	185	33	32	30
Ст2пс	330–430	225	215	205	195	32	31	29
Ст2сп	330–430	225	215	205	195	32	31	29
Ст3кп	360–460	235	225	215	195	27	26	24
Ст3пс	370–480	245	235	225	205	26	25	23
Ст3сп	370–480	245	235	225	205	26	25	23
Ст3Гпс	370–490	245	235	225	205	26	25	23
Ст3Гсп	390–570	255	245	–	–	23	24	–
Ст4пс	410–530	265	255	245	235	24	23	21
Ст4сп								
Ст5пс	490–630	285	275	265	255	20	19	17
Ст5сп	490–630							
Ст5Гпс	450–590							

Таблица 1.13

Ударная вязкость KCU толстолистового проката из углеродистой стали обыкновенного качества категорий 3–5 (ГОСТ 14637-89)

Марка стали	Толщина проката, мм	Ударная вязкость KCU, МДж/м ² , не менее		
		Температура испытания		После механического старения
		20 °С	–20 °С	
Ст3пс Ст3сп	5–9	0,8	0,4	0,4
	10–25	0,7	0,3	0,3
	26–40	0,5	–	–
Ст3Гпс	5–9	0,8	0,4	0,4
	10–30	0,7	0,3	0,3
	31–40	0,5	–	–
Ст3Гсп	5–9	0,8	0,4	0,4
	10–30	0,7	0,3	0,3
	31–40	0,5	0,3	0,3
Ст4пс Ст4сп	5–9	0,8	–	–
	10–25	0,6	–	–
	26–40	0,4	–	–

Таблица 1.14

Ударная вязкость KCV толстолистового проката из углеродистой стали обыкновенного качества категорий 5–6 (ГОСТ 14637-89)

Категория	Толщина проката, мм	Ударная вязкость KCV, МДж/м ² при температуре	
		20 °С	0 °С
5	5–20	3,5	–
	Св. 20	–	–
6	8–9	–	3,5
	10–20	–	3,1
	Св. 20	–	–

Толстолистовой и широкополосный прокат из конструкционной качественной стали в соответствии с Межгосударственным стандартом ГОСТ 1577-93 изготавливают в виде листов толщиной 4–160 мм, в виде рулонов толщиной 4–12 мм и в виде полос толщиной 6–60 мм. В табл. 1.15 представлены механические свойства толстолистового и широкополосного проката из конструкционной качественной стали в нормализованном состоянии по ГОСТ 1577-93.

Таблица 1.15

**Механические свойства толстолистового и широкополосного проката
из конструкционной качественной стали в нормализованном состоянии
(ГОСТ 1577-93)**

Марка стали	Толщина проката, мм	$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_B , МПа	δ_5 , %, не менее	
				Вдоль проката	Поперек проката
20	До 100	230	400–550	27	25
	100–160	210	380–520	25	23
25	До 16	260	420–570	25	23
	16–100	240	420–570	25	23
	100–160	220	400–550	23	21
30	До 16	280	450–630	23	21
	16–100	250	450–630	23	21
	100–160	230	430–610	21	19
35	До 16	300	480–670	21	19
	16–100	270	480–670	21	19
	100–160	245	460–650	19	17
40	До 16	320	530–720	19	17
	16–100	290	530–720	19	17
	100–160	260	510–700	17	15
45	До 16	340	580–770	17	15
	16–100	305	580–770	17	15
	100–160	275	560–750	15	13

Толстолистовой и широкополосный прокат из низколегированной стали изготавливают по ГОСТ 19282-2014. В табл. 1.16 представлены механические свойства толстолистового и широкополосного проката из низколегированной стали различных марок без термообработки в зависимости от толщины проката по ГОСТ 19282-2014.

Прокат из стали марок 14Г2, 10Г2С1, 10Г2С1Д, 09Г2С, 09Г2СД, 15Г2СФ и 15Г2СФД поставляют по требованию потребителя после закалки и отпуска. Механические свойства проката при этом способе поставки должны соответствовать требованиям, указанным в табл. 1.17.

Сортовой прокат – это сталь в виде круглых, квадратных и шестигранных прутков, а также полос.

Круглый горячекатаный стальной сортовой прокат выпускают в соответствии с Межгосударственным стандартом ГОСТ 2590-2006 по сортаменту диаметром 5–270 мм, а также диаметром 270–330 мм по согласованной с потребителем спецификации.

Таблица 1.16

**Механические свойства толстолистового и широкополосного проката
из низколегированной стали без термообработки
(ГОСТ 19282-2014)**

Марка стали	Толщина проката, мм	Механические свойства, не менее					
		σ_B , МПа	σ_T , МПа	δ_5 , %	КСУ, МДж/м ²		
					20 °С	-40 °С	-70 °С
09Г2 09Г2Д	До 5	440	305	21	–	–	–
	5–10	440	305	21	–	0,35	–
	10–20	440	305	21	–	0,30	–
	20–32	440	295	21	–	0,40	–
14Г2	До 5	460	335	21	–	–	–
	5–10	460	335	21	–	0,35	–
	10–20	450	325	21	–	0,30	–
	20–32	450	325	21	–	0,30	–
14Г2АФ 14Г2АФД	До 5	540	390	20	–	–	–
	5–10	540	390	20	–	0,45	0,35
	10–32	540	390	20	–	0,40	0,30
	32–50	540	390	20	–	0,40	0,30
12ГС	До 5	460	315	26	–	–	–
	5–10	460	315	26	–	–	–
16ГС	До 5	490	325	21	–	–	–
	5–10	490	325	21	0,60	0,40	0,30
	10–20	480	315	21	0,60	0,30	0,25
	20–32	470	295	21	0,60	0,30	0,25
	32–60	460	285	21	0,60	0,30	0,25
	60–100	450	275	21	0,60	0,30	0,25
17ГС	До 5	510	345	23	–	–	–
	5–10	510	345	23	–	0,45	–
	10–20	490	335	23	–	0,35	–
17Г1С	До 5	510	355	23	–	–	–
	5–10	510	355	23	–	0,45	–
	10–20	510	345	23	–	0,40	–
09Г2С 09Г2СД	До 5	490	345	21	–	–	–
	5–10	490	345	21	0,65	0,40	0,35
	10–20	470	325	21	0,60	0,35	0,30
	20–32	460	305	21	0,60	0,35	0,30
	32–60	450	285	21	0,60	0,35	0,30
	60–80	440	275	21	0,60	0,35	0,30
	80–160	430	265	21	0,60	0,35	0,30

Марка стали	Толщина проката, мм	Механические свойства, не менее					
		σ_B , МПа	σ_T , МПа	δ_5 , %	КСУ, МДж/м ²		
					20 °С	-40 °С	-70 °С
10Г2С1 10Г2С1Д	До 5	490	355	21	–	–	–
	5–10	490	345	21	0,65	0,40	0,30
	10–20	480	335	21	0,60	0,30	0,25
	20–32	470	325	21	0,60	0,30	0,25
	32–60	450	325	21	0,60	0,30	0,25
	60–80	430	295	21	0,60	0,30	0,25
	80–100	430	295	21	0,60	0,30	0,25
15ГФ 15ГФД	До 5	510	375	21	–	–	–
	5–10	510	375	21	–	0,40	–
	10–20	510	355	21	–	0,30	–
	20–32	470	335	21	–	0,30	–
15Г2СФ 15Г2СФД	5–10	550	390	18	–	0,40	–
	10–20	550	390	18	–	0,35	–
	20–32	550	390	18	–	0,35	–
16Г2АФ 16Г2АФД	До 5	590	440	20	–	–	–
	5–10	590	440	20	–	0,45	0,35
	10–32	590	440	20	–	0,40	0,30
	32–50	570	410	20	–	0,40	0,30
10Г2Б 10Г2БД	До 5	510	375	21	–	–	–
	5–10	510	375	21	–	0,40	–
12Г2Б	5–10	540	390	19	–	–	–
18Г2АФпс 18Г2АФДпс	До 5	590	440	19	–	–	–
	5–10	590	440	19	–	0,45	0,35
	10–32	590	440	19	–	0,40	0,30
	32–50	590	440	19	–	0,40	0,30
14ХГС	До 5	490	345	22	–	–	–
	5–10	490	345	22	–	0,40	–
10ХСНД	До 5	530	390	19	–	–	–
	5–10	530	390	19	–	0,50	0,35
	10–15	530	390	19	–	0,40	0,30
	15–32	530	390	19	–	0,50	0,30
	32–40	509	390	19	–	0,50	0,30
15ХСНД	До 5	490	345	21	–	–	–
	5–10	490	345	21	–	0,40	0,30
	10–20	490	345	21	–	0,30	0,30
	20–32	490	345	21	–	0,30	0,30
15Г2АФДпс	До 5	540	390	19	–	–	–
	5–10	540	390	19	–	0,45	0,35
	10–32	540	390	19	–	0,40	0,30

**Механические свойства толстолистового и широкополосного проката
из низколегированной стали после закалки и отпуска (ГОСТ 19282-2014)**

Марка стали	Толщина проката, мм	Механические свойства, не менее					
		σ_B , МПа	σ_T , МПа	δ_5 , %	КСУ, МДж/м ²		
					20 °С	-40 °С	-70 °С
14Г2	10–32	530	390	18	–	0,40	0,30
09Г2С, 09Г2СД	10–32	490	365	19	–	0,50	0,30
	32–60	450	315	21	–	0,50	0,30
10Г2С1, 10Г2С1Д	10–40	530	390	19	–	0,50	0,30
15Г2СФ, 15Г2СФД	10–32	590	440	17	–	0,40	0,30

Квадратный горячекатаный стальной сортовой прокат выпускают в соответствии с Межгосударственным стандартом ГОСТ 2591-2006 по сортаменту со стороной квадрата 6–200 мм. Прокат со стороной квадрата свыше 200 мм изготовляют по согласованной с потребителем спецификации.

Шестигранный горячекатаный стальной сортовой прокат выпускают в соответствии с Межгосударственным стандартом ГОСТ 2879-2006 по сортаменту диаметром вписанного круга 8–103 мм.

Полосовой горячекатаный стальной сортовой прокат выпускают в соответствии с Межгосударственным стандартом ГОСТ 103-2006 по сортаменту толщиной 4–80 мм и шириной 10–200 мм.

Фасонный прокат подразделяют на фасонные профили *общего* и *отраслевого* назначения. К профилям *общего* назначения относятся *двутавры, швеллеры, равнополочные и неравнополочные уголки*.

Стальные горячекатаные *двутавры* выпускают в соответствии с ГОСТ 8239-89 по сортаменту номеров профиля с 10 по 60. Цифры в обозначении номера двутавра указывают на значение высоты двутавра в сантиметрах. Стальные горячекатаные *швеллеры* выпускают в соответствии с ГОСТ 8240-97 по сортаменту номеров профиля с 5 по 40. Цифры в обозначении номера швеллера указывают на значение высоты швеллера в сантиметрах. Буква после цифр в обозначении номера швеллера определяет его серию по сортаменту: *У* – с уклоном внутренних граней полок, *П* – с параллельными гранями полок, *Э* – экономичные с параллельными гранями полок, *Л* – легкой серии с параллельными гранями полок, *С* – специальные.

Стальные горячекатаные *равнополочные уголки* выпускают в соответствии с Межгосударственным стандартом ГОСТ 8509-93 по сортаменту номеров профиля с 2 по 25. Цифры в обозначении номера равнополочного уголка указывают на значение ширины полок уголка в сантиметрах. Каждому номеру уголка соответствуют несколько различных значений толщины стенки полок. Максимальная толщина стенки составляет 35 мм, и соответствует наибольшему номеру уголка.

Стальные горячекатаные *неравнополочные уголки* выпускают в соответствии с ГОСТ 8510-93 по сортаменту номеров профиля с 2,5/1,6 по 20/12,5. Две цифры в обозначении номера неравнополочного уголка указывают на значения ширины двух полок уголка в сантиметрах. Каждому номеру уголка соответствуют несколько различных значений толщины стенки полок. Максимальная толщина стенки полки составляет 16 мм, и соответствует наибольшему номеру уголка.

К фасонным профилям *отраслевого* назначения относятся рельсы всех типов, бесшовные и сварные трубы различного профиля, штампованные, гнутые и прессованные профили, специальные двутавры с параллельными гранями полок, а также арматурный прокат периодического профиля.

Стальные горячекатаные *двутавры* с параллельными гранями полок выпускают в соответствии с ГОСТ Р 57837-2017 по сортаменту номеров профиля с 10 по 100. Цифры в обозначении номера двутавра соответствуют примерному значению высоты двутавра в сантиметрах. Буква после цифр в обозначении номера двутавра определяет его серию по сортаменту: *Б* – нормальные, *Ш* – широкополочные, *К* – колонные, *С* – свайные, *Д* – дополнительной серии. Каждому номеру двутавра соответствуют несколько различных значений толщины вертикальной стенки двутавра. Максимальная толщина вертикальной стенки двутавра составляет 23,0 мм, и соответствует наибольшим номерам двутавров серий *Ш* и *К*.

К фасонным профилям *отраслевого* назначения относятся стальные *гнутые равнополочные швеллеры*, которые выпускают в соответствии с ГОСТ 8278-83. Сортамент выпускаемых по ГОСТ 8278-83 гнутых швеллеров очень разнообразен. Гнутые швеллеры изготавливают из листов холоднокатаной, горячекатаной и рулонной стали обыкновенного качества, углеродистой качественной конструкционной и низколегированной стали толщиной 2–8 мм. Габаритные размеры швеллеров колеблются по высоте от 25 мм до 310 мм и по ширине от 26 мм до 160 мм.

Свариваемый *арматурный* прокат периодического профиля для армирования железобетонных конструкций выпускают в соответствии с Национальным стандартом ГОСТ Р 52544-2006 в виде прутков или мотков. По способу производства свариваемый арматурный прокат подразделяют на два класса: А500С – горячекатаный и В500С – холоднодеформированный. Цифра в обозначении класса проката указывает на минимальное значение предела текучести в МПа. Буква С означает – свариваемый. Номинальный диаметр выпускаемого проката 4–40 мм.

К трубчатым профилям отраслевого назначения относятся стальные *квадратные трубы*, выпускаемые в соответствии с ГОСТ 8639-82, как трубы бесшовные горячедеформированные и холоднодеформированные, а также как трубы электросварные и электросварные холоднодеформированные. Толщина стенки профилей по сортаменту 1,0–14,0 мм, наружный размер квадрата сечения 10–180 мм.

Горячедеформированные стальные бесшовные трубы общего назначения выпускают по сортаменту ГОСТ 8732-78 наружным диаметром 20–550 мм и толщиной стенки 2,5–75 мм. В табл. 1.18 представлены механические свойства горячедеформированных стальных бесшовных труб применяемых марок сталей по ГОСТ 8731-87.

Холоднодеформированные стальные бесшовные трубы общего назначения выпускают по сортаменту ГОСТ 8734-75 наружным диаметром 5–250 мм и толщиной стенки 0,3–24 мм. В табл. 1.19 представлены механические свойства холоднодеформированных и теплодеформированных стальных бесшовных труб применяемых марок сталей по ГОСТ 8733-87.

Электросварные стальные прямошовные трубы общего назначения выпускают по сортаменту ГОСТ 10704-91 наружным диаметром 10–1420 мм и толщиной стенки 1,0–32 мм. Прямошовные электросварные стальные трубы диаметром 10–530 мм из углеродистой и низколегированной стали, применяемые для трубопроводов и сварных конструкций различного назначения, выпускают в соответствии с Межгосударственным стандартом ГОСТ 10705-80. Прямошовные электросварные стальные трубы общего назначения диаметром 426–1420 мм из углеродистой и низколегированной стали выпускают в соответствии с ГОСТ 10706-76. В табл. 1.20 представлены механические свойства прямошовных электросварных стальных труб общего назначения диаметром 426–1420 мм из углеродистой и низколегированной стали по ГОСТ 10706-76.

Таблица 1.18

**Механические свойства горячедеформированных стальных бесшовных труб
(ГОСТ 8731-87)**

Марка стали	Механические свойства				
	σ_B , МПа	σ_T , МПа	δ_5 , %	Твердость по Бринеллю ¹	
	Не менее			Диаметр отпечатка, мм, не менее	Число твердости НВ, не более
Ст2сп	343	216	24	–	–
Ст4сп	412	245	20	–	–
Ст5сп	490	274	17	–	–
Ст6сп	588	304	14	–	–
10	353	216	24	5,1	137
20	412	245	21	4,8	156
35	510	294	17	4,4	187
45	588	323	14	4,2	207
10Г2	421	265	21	4,3	197
20Х	431	–	16	–	–
40Х	657	–	9	3,7	269
30ХГСА	686	–	11	–	–
15ХМ	431	225	21	–	–
30ХМ	588	392	13	–	–
12ХН2	539	392	14	–	–

Таблица 1.19

Механические свойства холоднодеформированных и теплодеформированных стальных бесшовных труб (ГОСТ 8733-87)

Марка стали	Механические свойства				
	σ_B , МПа	σ_T , МПа	δ_5 , %	Твердость по Бринеллю ²	
	Не менее			Диаметр отпечатка, мм, не менее	Число твердости НВ, не более
10	343	206	24	5,1	137
20	412	245	21	4,8	156
35	510	294	17	4,4	187
45	589	323	14	4,2	207

¹ Твердость по Бринеллю регламентируется для толщины стенки свыше 10 мм.

² Твердость по Бринеллю регламентируется для толщины стенки свыше 10 мм.

Марка стали	Механические свойства				
	σ_B , МПа	σ_T , МПа	δ_5 , %	Твердость по Бринеллю ¹	
	Не менее			Диаметр отпечатка, мм, не менее	Число твердости НВ, не более
10Г2	422	245	22	4,3	197
15Х	412	–	19	4,5	179
20Х	431	–	17	4,5	179
40Х	618	–	14	4,1	217
30ХГСА	491	–	18	4,0	229
15ХМ	431	226	21	–	–

Таблица 1.20

Механические свойства прямошовных электросварных стальных труб общего назначения диаметром 426–1420 мм из углеродистой и низколегированной стали (ГОСТ 10706-76)

Марка стали	Толщина проката, мм	Механические свойства, не менее					
		σ_B , МПа	σ_T , МПа	δ_5 , %	КСУ, МДж/м ²²		
					20 °С	–20 °С	–40 °С
Ст3пс3, Ст3сп3	5–9	372	245	20	0,60	–	–
	9–25				0,50	–	–
	Св. 25				0,30	–	–
Ст3пс4, Ст3сп4	5–9	372	245	20	–	0,20	–
	9–25				–	0,15	–
	Св. 25				–	–	–
Низколегированная сталь	Все толщины	440	265	18	–	–	0,25

Трубы *специального* назначения выпускают по техническим условиям соответствующих отраслей промышленности. *Водогазопроводные* стальные трубы условным проходом 6–150 мм (с наружным диаметром 10,2–165,0 мм) толщиной стенки 1,8–5,5 мм выпускают по сортаменту ГОСТ 3262-75.

¹ Твердость по Бринеллю регламентируется для толщины стенки свыше 10 мм.

² Ударная вязкость основного металла труб из низколегированной стали при температуре минус 60 °С должна быть не менее 0,25 МДж/м².

Бесшовные стальные трубы для *нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности* в соответствии с Межгосударственным стандартом ГОСТ 550-75 изготавливают из качественных углеродистых и легированных сталей наружным диаметром 20,0–219 мм и толщиной стенки 2,0–25,0 мм. В табл. 1.21 представлены механические свойства металла труб для нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности после термообработки по ГОСТ 550-75.

Таблица 1.21

Механические свойства металла труб для нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности после термообработки (ГОСТ 550-75)

Виды труб	Марки стали	Механические свойства, не менее					Число твердости по Бринеллю HB, не более
		σ_B , МПа	σ_T , МПа	δ_5 , %	Ψ_5 , %	KCU, МДж/м ²	
Горячедеформированные	10	353	216	25	50	0,80	137
	20	431	255	22	50	0,80	156
	10Г2	421	265	21	50	1,20	197
	12МХ	412	245	21	45	0,70	156
	15Х5	392	216	24	50	1,00	170
	15Х5М	392	216	22	50	1,20	170
	15Х5ВФ	392	216	22	50	1,20	170
	12Х8ВФ	392	267	22	50	1,00	170
	1Х2М1	441	265	20	45	1,00	227
Холоднодеформированные и теплодеформированные	10	333	206	26	–	–	137
	20	412	245	23	–	–	156
	15Х5М	392	216	22	–	–	170
	12Х8	392	216	22	–	–	170

В *трубопроводном транспорте* применение стальных сварных труб общего назначения (для транспортировки газа, нефти и нефтепродуктов) регламентируется двумя Межгосударственными стандартами: ГОСТ 20295-85 и ГОСТ 31447-2012.

Межгосударственный стандарт ГОСТ 20295-85 распространяется на стальные сварные прямошовные и спирально-шовные трубы диаметром 159–820 мм, применяемые для строительства магистральных газонефтепроводов, нефтепродуктопроводов, технологических и промысловых трубопроводов. Толщина стенки труб по сортаменту составляет: 3,0–12 мм.

Трубы изготовляют длиной 10,6–11,6 м. Механические свойства основного металла труб в зависимости от класса прочности представлены в табл. 1.22.

Трубы классов прочности К34–К42 изготавливают из горячекатаной или термически обработанной спокойной и полуспокойной углеродистой стали обыкновенного качества (ГОСТ 380-2005) и качественной стали (ГОСТ 1050-2013) с ограничением массовой доли углерода 0,24 %. Трубы классов прочности К50–К60 изготавливают из листового проката низколегированной стали повышенной прочности (ГОСТ 19281-2014). Межгосударственный стандарт ГОСТ 31447-2012 распространяется на стальные сварные прямошовные и спиральношовные трубы диаметром 114–1420 мм, применяемые для строительства и ремонта магистральных газопроводов, нефтепроводов и нефтепродуктопроводов, транспортирующих природный газ, нефть и нефтепродукты при избыточном рабочем давлении до 9,8 МПа (100 кгс/см²) и температуре эксплуатации от плюс 50 °С до минус 60 °С.

Таблица 1.22

Механические свойства металла труб диаметром 159–820 мм, применяемых для сооружения магистральных газонефтепроводов, нефтепродуктопроводов, технологических и промысловых трубопроводов (ГОСТ 20295-85)

Класс прочности ¹	Механические свойства, не менее		
	σ_B , МПа (кгс/мм ²)	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ_5 , %
К34	333 (34)	206	24
К38	372 (38)	235	22
К42	412 (42)	245	21
К50	485 (50)	343	20
К52	510 (52)	353	20
К55	539 (55)	372	20
К60	588 (60)	412	16

По способу изготовления трубы подразделяют на три типа (ГОСТ 31447-2012):

- 1) прямошовные, диаметром 114–530 мм, сваренные высокочастотной сваркой с одним продольным швом;
- 2) спирально-шовные, диаметром 159–1420 мм, сваренные дуговой сваркой под флюсом спиральным швом;
- 3) прямошовные, диаметром 530–1420 мм, сваренные дуговой сваркой под флюсом с одним или двумя продольными швами.

¹ Цифры в обозначении класса прочности соответствуют значению временного сопротивления σ_B (кгс/мм²).