



**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

**Белорусский национальный
технический университет**

Кафедра «Мосты и тоннели»

**Г. Д. Ляхевич
Г. П. Пастушков**

СТАЛИ ДЛЯ КОНСТРУКЦИЙ МОСТОВ И ТОННЕЛЕЙ

Методическое пособие

**Минск
БНТУ
2013**

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Белорусский национальный технический университет

Кафедра «Мосты и тоннели»

Г. Д. Ляхевич
Г. П. Пастушков

СТАЛИ ДЛЯ КОНСТРУКЦИЙ МОСТОВ И ТОННЕЛЕЙ

Методическое пособие
для студентов специальности 1-70 03 02 «Мосты,
транспортные тоннели и метрополитены»

Минск
БНТУ
2013

УДК 669.14.018.29(075.8)

ББК 38.3я7

Л98

Р е ц е н з е н т ы :

д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой «Технология бетона
и строительные материалы» *Э. И. Батяновский*;

канд. техн. наук, заведующий лабораторией НИЛ МИС НИЧ

С. Н. Свиридович

Ляхевич, Г. Д.

Л98 Стали для конструкций мостов и тоннелей : методическое пособие для студентов специальности 1-70 03 02 «Мосты, транспортные тоннели и метрополитены» / Г. Д. Ляхевич, Г. П. Пастушков. – Минск : БНТУ, 2013. – 64 с.

ISBN 978-985-525-870-5.

Методическое пособие необходимо для освоения и закрепления студентами курса «Технология производства конструкций мостов и тоннелей» (ТПКМиТ) для студентов специальности 1-70 03 02 «Мосты, транспортные тоннели и метрополитены».

Составлено в соответствии с учебной программой дисциплины ТПКМиТ и нацеливает студентов на приобретение знаний по свойствам сталей для строительных конструкций, используемых в металлических и железобетонных мостах и в других сооружениях, а также по методам диагностирования коррозии сталей.

УДК 669.14.018.29(075.8)

ББК 38.3я7

ISBN 978-985-525-870-5

© Ляхевич Г. Д., Пастушков Г. П., 2013

© Белорусский национальный

технический университет, 2013

Содержание

Введение	4
Практическое занятие № 1 СТАЛИ ДЛЯ КОНСТРУКЦИЙ МОСТОВ И ТОННЕЛЕЙ	6
Практическое занятие № 2 СТРУКТУРА СТАЛИ	27
Практическое занятие № 3 АРМАТУРА ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ	32
Практическое занятие № 4 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЧНОСТИ КОНТАКТНО-СТЫКОВОГО СВАРНОГО СОЕДИНЕНИЯ	51
Практическое занятие № 5 МЕТОДЫ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ КОРРОЗИИ МЕТАЛЛОВ	58
Литература и нормативные документы	62

Введение

Стальные конструкции широко используют в различных инженерных сооружениях. В мостах металлическими изготавливают в основном пролетные строения. Благодаря высокой прочности современных строительных сталей металлическими пролетными строениями можно перекрывать значительно большие пролеты, чем железобетонными. Современные металлические мосты имеют пролеты, превышающие 1 км. Применяемые системы и конструкции металлических мостов отличаются рациональностью и экономичностью, а также простотой изготовления и монтажа. В настоящее время металлические мосты широко применяют во всех странах. Их изготавливают на хорошо оборудованных заводах и монтируют специальными кранами, позволяющими собирать конструкцию быстрыми темпами. Системы и конструкции металлических мостов непрерывно совершенствуются. Улучшаются методы изготовления и монтажа. Все шире применяют стали повышенного качества. Мосты из металла могут быть различных систем.

Наиболее широко применяют балочные мосты со сплошными балками или решетчатыми фермами. Нередко устраивают мосты рамных систем, а для перекрытия больших пролетов – арочных и висячих систем. Экономические преимущества металлических мостов проявляются больше с увеличением пролетов. Однако индустриальность изготовления и быстрые темпы монтажа часто оправдывают применение металлических мостов и для сравнительно небольших пролетов, порядка 40–60 м. Современные строительные конструкции изготавливают из прокатной стали, содержащей от 0,1 до 0,25 % углерода. При таком количестве углерода сталь хорошо поддается механической обработке, обладает вязкостью, пластичностью и способностью свариваться.

Бетон плохо работает на изгиб и растяжение, однако в сочетании с арматурой его физико-механические свойства значи-

тельно улучшаются. Этому способствует хорошее сцепление его с арматурой, обеспечивающее рациональное распределение нагрузки между материалами. Температурное расширение стали и бетона, близкое по значению, сводит к минимуму внутренние напряжения в зоне контакта при изменении температуры. В свою очередь, бетон надежно защищает арматуру от коррозии. Для повышения сцепления применяют арматуру периодического профиля, а также сварные сетки и каркасы.

Важным в работе является проведение практических занятий, обеспечивающих овладение студентами методики оценки коррозионной стойкости сталей, определение углеродного эквивалента, указывающего на свариваемость арматуры различного химического состава, а также расчет прочности состыкованных сваркой и целостных арматурных элементов.

Практическое занятие № 1

СТАЛИ ДЛЯ КОНСТРУКЦИЙ МОСТОВ И ТОННЕЛЕЙ

Цель работы: ознакомиться с конструкционными и арматурными сталями.

Содержание работы

Сталь – это сплав железа с углеродом (углерода до 2 %) и незначительным количеством примесей (которые не вводятся преднамеренно, а попадают из руды или образуются в процессе выплавки) и легирующих компонентов (которые вводятся для улучшения свойств стали).

Строительные стали в зависимости от назначения делятся на стали для строительных конструкций (конструкционные) и арматурные.

Основные достоинства металлических конструкций:

1) **высокая несущая способность.** Металлические конструкции могут воспринимать значительные усилия при относительно небольших сечениях вследствие большой прочности металла;

2) **высокая надежность.** Благодаря однородности структуры металла и его упругим свойствам металлические конструкции можно рассчитывать наиболее точно, что позволяет обеспечить надежность работы проектируемого сооружения;

3) **легкость и транспортабельность** по сравнению с конструкциями из железобетона, камня и дерева. Высокие механические качества металла позволяют допустить в нем высокие напряжения, и по сравнению с сечениями из других материалов сечения металлических конструкций получаются более легкими при одних и тех же усилиях. Показателем конструкционных качеств материала может быть отношение его удельного веса к расчетному сопротивлению $c = \gamma/R$ (размерность 1/м). Этот показатель имеет наименьшее значение для алюми-

ниевых сплавов $c = 1,1 \cdot 10^{-4}$ 1/м, для стали $c = 3,7 \cdot 10^{-4}$ 1/м, в то время как для дерева $c = 4,5 \cdot 10^{-4}$ 1/м, а для бетона $c = 24 \cdot 10^{-4}$ 1/м;

4) **сплошность материала и соединений**, позволяющая осуществлять водонепроницаемые и газонепроницаемые конструкции;

5) **индустриальность**, достигаемая изготовлением конструкций на специализированных заводах и их высокомеханизированным монтажом на месте возведения сооружения.

Кроме того, металлические конструкции удобны в эксплуатации, так как легко могут быть усилены при увеличении нагрузок, наиболее полно используются при реконструкциях, легко ремонтируются.

Недостатками металлических конструкций являются:

1) **подверженность стальных конструкций воздействию коррозии**, что требует специальных мероприятий по защите;

2) **малая огнестойкость**. При температурах свыше 400 °С для сталей и свыше 200 °С для алюминиевых сплавов начинается ползучесть материала (существенное развитие пластических деформаций при постоянной нагрузке).

В строительных металлических конструкциях применяются прокатная сталь (более 95 %), отливки из стали и серого чугуна для опорных устройств тяжелых конструкций (менее 1 %) и алюминиевые сплавы (менее 5 %). Стали производятся углеродистые и легированные.

Углеродистая сталь в зависимости от содержания углерода подразделяется:

- на низкоуглеродистую с содержанием углерода до 0,25 %;
- среднеуглеродистую с содержанием углерода 0,25–0,6 %;
- высокоуглеродистую с содержанием углерода 0,6–2 %.

В зависимости от содержания легирующих компонентов стали делятся на группы:

- низколегированные – суммарное содержание легирующих элементов до 2,5 %;

- среднелегированные – легирующих компонентов 2,5–10 %;
- высоколегированные – легирующих компонентов более 10 %).

По способу выплавки стали подразделяются на мартеновские и конверторные. Современные методы выплавки конверторной стали с продувкой кислородом позволяют получить сталь, близкую по качеству к мартеновской. Поэтому при поставке углеродистых сталей способу их выплавки не придают существенного значения. Для оценки свойств и качества сталей основными техническими характеристиками являются их механические свойства и химический состав.

Химический состав стали характеризуется процентным содержанием в ней различных компонентов и примесей.

Углерод (У) – повышает предел текучести и временное сопротивление стали. Однако пластичность и свариваемость стали уменьшаются. Поэтому в строительных конструкциях применяют преимущественно низкоуглеродистые стали с содержанием углерода до 0,22 %.

Кремний (С) – раскисляет сталь, поэтому его количество возрастает от кипящей к спокойной стали, он, как и углерод, но в меньшей степени увеличивает предел текучести и временное сопротивление, однако несколько ухудшает свариваемость, стойкость против коррозии и сильно снижает ударную вязкость. Вредное влияние кремния может компенсироваться повышенным содержанием марганца.

Марганец (Г) – увеличивает предел текучести и временное сопротивление стали, незначительно снижая ее пластические свойства и мало влияя на свариваемость.

Медь (Д) – несколько повышает прочность стали и увеличивает стойкость ее против коррозии. Избыточное (более 0,7 %) содержание меди способствует старению стали.

Алюминий (Ю) – хорошо раскисляет сталь, нейтрализует вредное влияние фосфора, несколько повышает ее ударную вязкость.

Азот (А) – в несвязанном состоянии увеличивает хрупкость стали, особенно при низких температурах, и способствует ее старению. В химически связанном состоянии с алюминием, ванадием, титаном и ниобием азот, образуя нитриды, становится легирующим элементом, улучшающим структуру стали и ее механические свойства.

Никель (Н), хром (Х), ванадий (Ф), вольфрам (В), молибден (М), титан (Т), бор (Р) являются легирующими компонентами, улучшающими те или иные механические свойства стали; применение их для сталей, используемых в строительстве, ограничивается дефицитностью и высокой стоимостью.

Ряд примесей является вредными для сталей, сильно ухудшая ее качество.

Фосфор (Р) – резко уменьшает пластичность и ударную вязкость стали, а также делает ее хладноломкой (хрупкой при отрицательных температурах).

Сера (S) – несколько уменьшает прочностные характеристики стали и, главное, делает ее красноломкой (хрупкой и склонной к образованию трещин при температуре 800–1000 °С), что влечет за собой появление сварочных трещин.

Кислород, водород и азот, которые могут попасть в расплавленный металл из воздуха и остаться там, ухудшают структуру стали и способствуют увеличению ее хрупкости.

Служебные свойства стали. Надежность и долговечность металлических конструкций во многом зависит от свойств материала. Наиболее важными для работы конструкций являются механические свойства: прочность, упругость, пластичность, склонность к хрупкому разрушению, ползучесть, твердость, а также свариваемость, коррозионная стойкость, склонность к старению и технологичность.

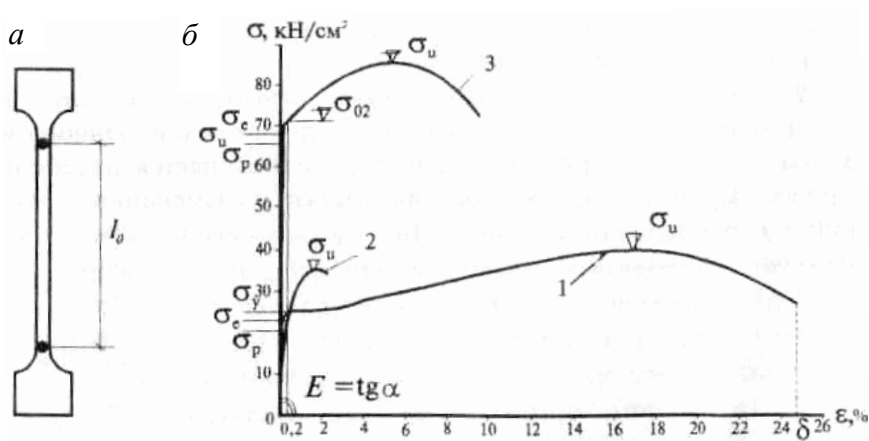


Рис. 1.1. Образец и диаграмма растяжения сталей и чугуна:
 а – образец для испытания на растяжение; б – диаграммы растяжения
 сталей и чугуна (1 – низкоуглеродистая сталь; 2 – чугун;
 3 – высокопрочная сталь 12ГН2МФАЮ)

Прочность характеризуется сопротивлением материала внешним силовым воздействиям без разрушения.

Упругость – свойство материала восстанавливать свою первоначальную форму после снятия внешних нагрузок.

Пластичность – свойство материала сохранять несущую способность в процессе деформирования.

Хрупкость – склонность к разрушению при малых деформациях.

Ползучесть – свойство материала непрерывно деформироваться во времени без увеличения нагрузки.

Твердость – свойство поверхностного слоя металла сопротивляться деформации или разрушению при внедрении в него индентора из более твердого материала.

Прочность металла при статическом нагружении, а также его упругие и пластические свойства определяют испытанием стандартных образцов (прямоугольного или круглого сечения) на растяжение с записью диаграммы зависимости между напряжением σ и относительным удлинением ϵ (рис. 1.1, б):

$$\sigma = F/A; \quad \varepsilon = (\Delta/l_0) \cdot 100 \%,$$

где F – нагрузка;

A – первоначальная площадь поперечного сечения образца;

Δ – удлинение рабочей части образца (рис. 1.1, а);

l_0 – первоначальная длина рабочей части образца.

Основными прочностными характеристиками металла (рис. 1.1, б) являются временное сопротивление σ_u и предел текучести σ_y .

Временное сопротивление – это предельная разрушающая нагрузка, отнесенная к первоначальной площади поперечного сечения образца.

Предел текучести σ_y – напряжение, которое соответствует остаточному относительному удлинению после разгрузки, равному 0,2 %. В мягких сталях при таком напряжении начинается интенсивный процесс развития деформаций, они растут без изменения нагрузки с образованием площадки текучести – металл «течет». Для сталей, не имеющих площадки текучести, вводят понятие условного предела текучести $\sigma_{0,2}$, величину которого определяют по тем же правилам.

Если металл подвергается действию циклических напряжений (например, чередующихся растяжения и сжатия), то при достаточно большом числе циклов разрушение может произойти при напряжении меньше временного сопротивления и даже предела текучести. Это явление называют *усталостью* металла. Склонность металла к усталостному разрушению устанавливают на основании результатов вибрационных испытаний.

Мерой пластичности материала служит относительное остаточное удлинение при разрыве δ . Перед разрушением в образце в месте разрыва образуется «шейка», поперечное сечение образца уменьшается и в зоне шейки развиваются большие местные пластические деформации. Относительное удлинение при разрыве складывается из равномерного удлинения на всей длине образца и δ_r локального удлинения в зоне

шейки δ_{loc} . Последнее зависит от размеров и формы образца, наличия местных дефектов и других случайных факторов, поэтому более показательной характеристикой пластичности является равномерное относительное удлинение δ_r . Мерой пластичности может служить также относительное сужение при разрыве $\psi = \frac{(A - A_0)}{A}$ (A и A_0 – первоначальная и конечная после разрыва площади сечения образца).

В соответствии с государственным стандартом на испытание остаточное относительное удлинение при разрыве определяют, как правило, на стандартных плоских образцах с рабочей длиной $l = 5,65\sqrt{A}$ (A – площадь поперечного сечения). Получаемую при этом величину относительного остаточного удлинения обозначают δ_s .

Упругие свойства материала характеризуют модулем упругости $E = \operatorname{tg}\alpha$ (α – угол наклона начального участка диаграммы работы стали к оси абсцисс) и пределом упругости σ_s , таким максимальным напряжением, после снятия которого остаточные деформации отсутствуют.

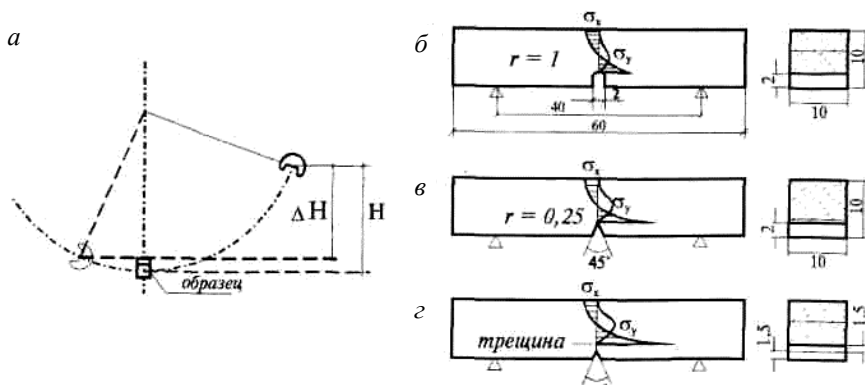


Рис. 1.2. Схема испытаний и типы образцов для испытаний на ударную вязкость:

- a – схема испытаний;
- b – образец с полукруглым надрезом (Менаже);
- $в$ – образец с V-образным надрезом (Шарпи);
- $г$ – образец с трещиной (Дроздовского)

Несколько ниже σ_c находится предел пропорциональности σ_p – напряжение, до которого материал работает линейно по закону Гука:

$$\sigma_p = E\varepsilon.$$

В известной степени σ_c и σ_p являются условными напряжениями, их значения зависят от точности определения. Обычно принимают, что предел пропорциональности соответствует напряжениям, при которых $E = \operatorname{tg}\alpha$ уменьшается в 1,5 раза, а предел упругости – напряжениям, при которых относительная остаточная деформация составляет 0,05 % .

Склонность металла к хрупкому разрушению оценивают по результатам испытания на ударную вязкость на специальных маятниковых копрах. Под действием удара молота копра образец разрушается. Ударную вязкость КС измеряют работой, затраченной на разрушение образца. Эта работа, отнесенная к площади поперечного сечения, имеет размерность Дж/см².

Один и тот же материал может разрушаться как вязко, т. е. с развитием значительных пластических деформаций, так и хрупко, в зависимости от целого ряда факторов. Для ужесточения условий испытаний и повышения концентрации напряжений в образцах делают надрез (U-образный, V-образный), или создают трещину (трещина выращивается с помощью специального вибратора с предварительно нанесенного острого надреза). Для конструкций, эксплуатирующихся в обычных условиях, испытания проводят на образцах Менаже. Для ответственных конструкций, эксплуатирующихся в условиях динамического нагружения и низких отрицательных температур (например, подкраново-подстропильные фермы, резервуары большого объема и т. д.), для испытания используют образцы Шарпи и Дроздовского. В местах надреза напряжения резко повышаются (возникает концентрация напряжений), что способствует переходу металла в хрупкое состояние.

Таким образом, ударная вязкость является комплексным показателем, характеризующим состояние материала (хрупкое или вязкое), сопротивление динамическим (ударным) воздействиям, чувствительность к концентрации напряжений. Она служит для сравнительной оценки качества стали.

В сечении разрушенного образца можно выделить две зоны: первая зона с волокнистой структурой характеризует пластическую составляющую, вторая зона с кристаллическим изломом – хрупкую. Чем более пластичен материал, тем больше пластическая составляющая. Качественной характеристикой состояния материала служит процент волокнистости в изломе.

Ползучесть в металлах, применяемых в строительных конструкциях, проявляется при высоких температурах. Оценка степени ползучести производят по результатам длительных испытаний образцов на растяжение.

Основной способ соединения элементов стальных конструкций – сварка, поэтому важнейшим требованием, предъявляемым к сталям для строительных конструкций, является *свариваемость*. Оценка свариваемости производят по химическому составу, а также путем применения специальных технологических проб.

Оценку свариваемости стали проводят по углеродному эквиваленту (%), для определения которого используют специальные технологические пробы и их химический состав.

Для проверки сплошности металла и предупреждения раскола в необходимых случаях по требованию заказчика проводят ультразвуковой контроль.

Долговечность стальных конструкций определяется в первую очередь их коррозионной стойкостью. Сопротивляемость стали коррозионному разрушению зависит от химического состава, ее проверяют путем длительной выдержки образцов в агрессивной среде. Мерой коррозионной стойкости служит скорость коррозии по толщине металла в мм/год.

При изготовлении и монтаже конструкций широко используют такие операции, как гибка, резка, строжка, сверление от-

верстий и т. д. Они связаны с процессами упругопластического изгиба, скалывания, обработки резанием, термическим воздействием. Для качественного выполнения этих операций металл должен иметь соответствующие **технологические свойства**. Так, повышенная твердость затрудняет сверление и механическую резку, недостаточная вязкость приводит к возникновению в гнутых деталях трещин, термическое воздействие ускоряет процесс старения металла и способствует его переходу в хрупкое состояние. Оценку технологических свойств металла производят по химическому составу. В зависимости от содержания отдельных элементов устанавливают также режим огневой резки и сварки.

Влияние пластических деформаций и термического воздействия на охрупчивание металла определяют по результатам испытаний на ударную вязкость после искусственного старения. Для этого образец подвергают растяжению до остаточного удлинения в 10 % с последующим отпуском в печи при температуре 250 °С.

Для предотвращения возникновения трещин при изготовлении гнутых деталей проводят испытания на холодный изгиб. Плоский образец (рис. 1.3) загибают на 180° вокруг оправки определенного диаметра, при этом на внешней стороне образца не должны появляться трещины. Испытание дает качественную оценку вязкости металла. Диаметр оправки устанавливают в зависимости от толщины образца.

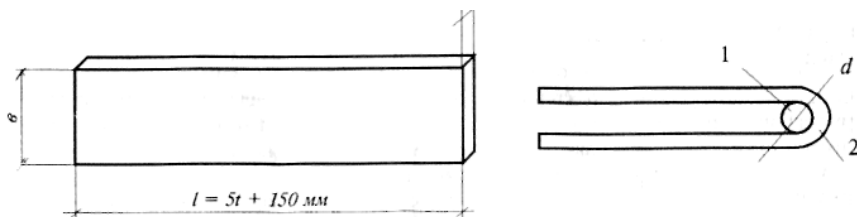


Рис. 1.3. Образец испытаний на холодный изгиб:
1 – оправка; 2 – образец

При расчете конструкций за основу принимают минимальные значения прочностных характеристик. Оборудование же для выполнения механической обработки металла (сверление, строжка, механическая резка и т. д.) должно быть рассчитано на максимальные значения этих характеристик.

Для сокращения затрат на увеличение мощности оборудования и повышения скорости обработки целесообразно ограничить также и верхние границы прочностных характеристик и, прежде всего, временного сопротивления.

Значения механических характеристик стали устанавливаются в государственных стандартах (ГОСТ) и технических условиях (ТУ). В необходимых случаях при заказе металла оговаривают дополнительные требования по тем или иным свойствам. Физические характеристики стали и чугуна приведены в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Физические характеристики материалов
для стальных конструкций

Характеристика	Условные обозначения	Единица измерения	Прокатная сталь	Чугун
Объемный вес (плотность)	γ (ρ)	кН/см ³ ; кгс/м ³	$7,85 \cdot 10^{-5}$ ($7,85 \cdot 10^3$)	$7,2 \cdot 10^{-5}$ ($7,2 \cdot 10^3$)
Коэффициент линейного расширения	α	°С ⁻¹	$0,12 \cdot 10^{-4}$	$0,1-0,12 \cdot 10^{-4}$
Модуль упругости	E	кН/см ²	$2,06 \cdot 10^4$	$0,83 \cdot 10^4-1,3 \cdot 10^4$
Модуль сдвига	G	кН/см ²	$0,81 \cdot 10^4$	$0,36 + 0,5 \cdot 10^4$
Коэффициент поперечной деформации (при упругой работе материала)	ν	—	0,3	$0,25 + 0,35$

Нормирование сталей. Основным стандартом, регламентирующим характеристики сталей для строительных металлических конструкций, является ГОСТ 27772–88. Согласно ГОСТ, фасонный прокат изготавливают из сталей С235, С245, С255, С275, С285, С345, С345к, С375, для листового и универсального проката и гнутых профилей используются также стали С390, С390К, С440 и С590К. Стали С345, С375, С390 и С440 могут поставляться с повышенным содержанием меди (для улучшения коррозионной стойкости) при этом к обозначению стали добавляют букву Д.

Буква С в наименовании означает сталь строительную, цифра показывает значение предела текучести в МПа, буква К – вариант химического состава.

Химический состав сталей и механические свойства представлены в табл. 1.2.

Прокат поставляют как в горячекатаном, так и в термообработанном состоянии. Выбор варианта химического состава и вида термообработки определяется заводом. Главное – обеспечение требуемых свойств. Так, листовой прокат стали С345 может изготавливаться из стали с химическим составом С245 с термическим улучшением. В этом случае к обозначению стали добавляют букву Т, например С345Т.

В зависимости от температуры эксплуатации конструкций и степени опасности хрупкого разрушения испытания на ударную вязкость для сталей С345 и С375 проводятся при разных температурах, поэтому они поставляются четырех категорий, а к обозначению стали добавляют номер категории, например, С345-1, С375-2.

Отличительной особенностью ГОСТ 27772–88 является использование для некоторых сталей (С275, С285, С375) статистических методов контроля, что гарантирует обеспеченность нормативных значений предела текучести и временного сопротивления.

Химический состав сталей (ГОСТ 27772–88)

Наименование стали	Массовая доля элементов, %									
	углерода, не более	марганца	кремния	серы, не более	фосфора	хрома	никеля	меди	ванадия	других элементов
C235 C245 C275 C345* C375Г	0,22	< 0,60	< 0,05 0,05–0,15	0,050 0,050	< 0,040	< 0,30 < 0,30	< 0,30 < 0,30	< 0,30 < 0,30	–	–
C255 C285 C345Г* C375Г*	0,22	< 0,65 – 0,8–1,10	0,15–0,30 0,05–0,15 0,15–0,30	0,50 0,050 0,050	< 0,040	< 0,30	< 0,30	< 0,30	– –	– –
C345 C375 C390Г**	0,15	1,30–1,70	< 0,80	0,040	< 0,035	< 0,30	< 0,30	< 0,30	–	–
C345К	0,12	0,30–0,60	0,17–0,37	0,040	0,070– 0,120	0,50–0,80	0,30–0,60	0,30–0,50	–	Алюминий
C390	0,18	1,20–1,60	< 0,60	0,040	< 0,035	< 0,40	< 0,30	< 0,30	0,07–0,12	Азот
C390К	0,18	1,20–1,60	< 0,17	0,040	< 0,035	< 0,30	< 0,30	0,20–0,40	0,08–0,15	»
C440	0,20	1,30–1,70	< 0,60	0,040	< 0,035	< 0,30	< 0,30	< 0,30	0,08–0,14	
C590К	0,14	0,90–1,40	0,20–0,50	0,035	< 0,035	0,20–0,50	1,40–1,75	< 0,30	0,05–0,10	Молибден, азот, алюминий

Строительные металлические конструкции изготавливают также из сталей, поставляемых по ГОСТ 380–88* «Сталь углеродистая обыкновенного качества», ГОСТ 19281–89 «Прокат из стали повышенной прочности. Общие технические условия» и другим стандартам.

Принципиальных различий между свойствами стали, имеющими одинаковый химический состав, но поставляемым по разным стандартам, нет. Разница в способах контроля и обозначениях. Так, по ГОСТ 380–88* в обозначении марки стали указываются группа поставки, способ раскисления и категория.

При поставке по группе А завод гарантирует механические свойства, по группе Б – химический состав, по группе В – механические свойства и химический состав.

Степень раскисления обозначается буквами: кп – кипящая; сп – спокойная; пс – полуспокойная.

Для низкоуглеродистых сталей, в зависимости от вида испытаний на ударную вязкость, установлено 6 категорий: категории 1,2 – испытания на ударную вязкость не проводят, 3 – проводят при $t = +20$ °С, 4 – при -20 °С, 5 – при -20 °С и после механического старения, 6 – после механического старения.

Все эти факторы указывают в марке стали. Так, например, ВСтЗпсб – это сталь 3, полуспокойная, с гарантией в пределах величин, установленных стандартом для этой стали, механических характеристик, химического состава и ударной вязкости после механического старения. В строительстве в основном используют стали марок ВСтЗкп2, ВСтЗпсб и ВСтЗсп5, а также сталь с повышенным содержанием марганца ВСтЗГпс5.

Стали, поставляемые по разным стандартам, взаимозаменяемы. Так, сталь С235 соответствует стали ВСтЗкп2, сталь С245 – ВСтЗпсб, сталь С255 – ВСтЗсп5.

Свойства металлопроката зависят от химического состава исходного сырья, способа выплавки и объема плавильных агрегатов, усилия обжатия и температуры при прокатке, условий охлаждения готового проката и т. д. При столь многооб-

разных факторах, влияющих на качество стали, вполне естественно, что показатели прочности и других свойств имеют определенный разброс и их можно рассматривать как случайные величины. Указанные в стандартах на поставку металла значения предела текучести имеют обеспеченность не ниже 0,95. По этим значениям производят отбраковку металла на металлургических заводах. При этом значительная часть металла (свыше 95 %) имеет прочностные характеристики выше установленных в стандартах.

Для более полного использования прочностных свойств стали и экономии металла можно по результатам испытаний дифференцировать прокат из одной стали на несколько групп прочности. В ГОСТ 27772–88 такой подход используют для проката толщиной до 20 мм из сталей С245 и С275, а также С255 и С285, С345 и С375.

Стали обычной прочности ($\sigma_y < 29 \text{ кН/см}^2$). К этой группе относят низкоуглеродистые стали (С235 – С285) различной степени раскисления, поставляемые в горячекатаном состоянии. Обладая относительно небольшой прочностью, эти стали очень пластичны: протяженность площадки текучести составляет 2,5 % и больше, соотношения σ_y , σ_u 0,6–0,7. Хорошая свариваемость обеспечивается низким содержанием углерода (не более 0,22 %) и кремния. Коррозионная стойкость – средняя, поэтому конструкции, выполненные из сталей обычной прочности, следует защищать с помощью лакокрасочных и других покрытий. Однако благодаря невысокой стоимости и хорошим технологическим свойствам стали обычной прочности очень широко применяют для строительных металлических конструкций. Потребление этих сталей составляет свыше 50 % от общего объема. Недостатком низкоуглеродистых сталей является склонность к хрупкому разрушению при низких температурах (особенно для кипящей стали С235), поэтому их применение в конструкциях, эксплуатирующихся при низких отрицательных температурах, ограничено.

Стали повышенной прочности ($29 \text{ кН/см}^2 < \sigma_y < 40 \text{ кН/см}^2$). Стали повышенной прочности (С345–С390) получают либо введением при выплавке стали легирующих добавок, в основном марганца и кремния, реже никеля и хрома, либо термоупрочнением низкоуглеродистой стали (С345Т). Пластичность стали при этом несколько снижается и протяженность площадки текучести уменьшается до 1–1,5 %.

Стали повышенной прочности несколько хуже свариваются (особенно стали с высоким содержанием кремния) и требуют иногда использования специальных технологических мероприятий для предотвращения образования горячих трещин.

По коррозионной стойкости большинство сталей этой группы близки к низкоуглеродистым сталям. Более высокой коррозионной стойкостью обладают стали с повышенным содержанием меди (С345Д, С375Д, С390Д).

Мелкозернистая структура низколегированных сталей позволяет значительно повысить их сопротивление хрупкому разрушению.

Высокое значение ударной вязкости сохраняется при температуре $-40 \text{ }^\circ\text{C}$ и ниже, что позволяет использовать эти стали для конструкций, эксплуатируемых в северных районах. За счет более высоких прочностных свойств применение сталей повышенной прочности приводит к экономии металла до 20–25 %.

Стали высокой прочности ($\sigma_y > 40 \text{ кН/см}^2$). Прокат из стали высокой прочности (С440–С590) получают, как правило, путем легирования и термической обработки. Для легирования используют нитридообразующие элементы, способствующие образованию мелкозернистой структуры.

Стали высокой прочности могут не иметь площадки текучести (при $\sigma_y > 50 \text{ кН/см}^2$), и их пластичность (относительное удлинение) снижается до 14 % и ниже. Отношение σ_y/σ_u увеличивается до 0,8 – 0,9, что не позволяет учитывать при расчете конструкций из этих сталей пластические деформации.

Подбор химического состава и режима термообработки позволяет значительно повысить сопротивление хрупкому

разрушению и обеспечить высокую ударную вязкость при температурах до -70 °С. Определенные трудности возникают при изготовлении конструкций. Высокая прочность и низкая пластичность требуют более мощного оборудования для резки, правки, сверления и других операций.

При сварке термообработанных сталей, вследствие неравномерного нагрева и быстрого охлаждения в разных зонах сварного соединения, происходят различные структурные превращения. На одних участках образуются закалочные структуры, обладающие повышенной прочностью и хрупкостью (жесткие прослойки), на других металл подвергается высокому отпуску и имеет пониженную прочность и высокую пластичность (мягкие прослойки).

Разупрочнение стали в околосварной зоне может достигать 5–30 %, что необходимо учитывать при проектировании сварных конструкций из термообработанных сталей.

Введение в состав стали некоторых карбидообразующих элементов (молибден, ванадий) снижает эффект разупрочнения.

Применение сталей высокой прочности приводит к экономии металла до 25–30 % по сравнению с конструкциями из низкоуглеродистых сталей и особенно целесообразно в болтосплетных и тяжело нагруженных конструкциях.

Атмосферостойкие стали. Для повышения коррозионной стойкости металлических конструкций применяют низколегированные стали, содержащие в небольшом количестве (доли процента) такие элементы, как хром, никель и медь.

В конструкциях, подвергающихся атмосферным воздействиям, весьма эффективны стали с добавкой фосфора (например, сталь С345к). На поверхности таких сталей образуется тонкая оксидная пленка, обладающая достаточной прочностью и защищающая металл от развития коррозии. Однако свариваемость стали при наличии фосфора ухудшается. Кроме того, в прокате больших толщин металл обладает пониженной хладостойкостью, поэтому применение стали С345к рекомендуют при толщинах не более 10 мм.

В конструкциях, совмещающих несущие и ограждающие функции (например, мембранные покрытия), широко используют тонколистовой прокат. Для повышения долговечности таких конструкций целесообразно применение нержавеющей хромистой стали марки 0X18T1Ф2, не содержащей никеля. Механические свойства стали 0X18T1Ф2: $\sigma_u = 50 \text{ кН/см}^2$, $\sigma_y = 36 \text{ кН/см}^2$.

Выбор стали для стальных конструкций производят на основе вариантного проектирования и технико-экономического анализа с учетом требований норм. В целях упрощения заказа металла при выборе стали следует стремиться к большей унификации конструкций, сокращению количества сталей и профилей. Выбор стали зависит от следующих факторов, влияющих на работу материала:

- температуры среды, в которой монтируется и эксплуатируется конструкция. Этот фактор учитывает повышенную опасность хрупкого разрушения при пониженных температурах;

- характера нагружения, определяющего особенность работы материала и конструкций при динамической, вибрационной и переменной нагрузках;

- вида напряженного состояния (одноосное сжатие или растяжение, плоское или объемное напряженное состояние) и уровня возникающих напряжений (сильно или слабо нагруженные элементы);

- способа соединения элементов, определяющего уровень собственных напряжений, степень концентрации напряжений и свойства материала в зоне соединения;

- толщины проката, применяемого в элементах. Этот фактор учитывает изменение свойств стали с увеличением толщины.

При выборе стали необходимо учитывать группу конструкций.

К первой группе относят сварные конструкции, работающие в особо тяжелых условиях или подвергающиеся непосредственному воздействию динамических, вибрационных или подвижных нагрузок (например, подкрановые балки, балки рабо-

чих площадок или элементы эстакад, непосредственно воспринимающих нагрузку от подвижных составов, фасонки ферм и т. д.). Напряженное состояние таких конструкций характеризуется высоким уровнем и большой частотой нагружения.

Конструкции первой группы работают в наиболее сложных условиях, способствующих возможности их хрупкого или усталостного разрушения, поэтому к свойствам сталей для этих конструкций предъявляются наиболее высокие требования.

Ко второй группе относят сварные конструкции, работающие на статическую нагрузку при воздействии одноосного и однозначного двухосного поля растягивающих напряжений (например, фермы, ригели рам, балки перекрытий и другие растянутые, растянуто-изгибаемые и изгибаемые элементы), а также конструкции второй группы при отсутствии сварных соединений.

Общим для конструкций этой группы является повышенная опасность хрупкого разрушения, связанная с наличием поля растягивающих напряжений. Вероятность усталостного разрушения здесь меньше, чем для конструкций первой группы.

К третьей группе относят сварные конструкции, работающие при преимущественном воздействии сжимающих напряжений (например, колонны, стойки, опоры под оборудование и другие сжатые и сжато-изгибаемые элементы), а также конструкции второй группы при отсутствии сварных соединений.

В четвертую группу включены вспомогательные конструкции и элементы (связи, элементы фахверка, лестницы, ограждения и т. п.), а также конструкции третьей группы при отсутствии сварных соединений.

Если для конструкций третьей и четвертой групп достаточно ограничиться требованиями к прочности при статических нагрузках, то для конструкций первой и второй групп важным является оценка сопротивления стали динамическим воздействиям и хрупкому разрушению.

В материалах для сварных конструкций обязательно следует оценивать свариваемость. Требования к элементам конструкций, не имеющим сварных соединений, могут быть снижены, так как отсутствие полей сварочных напряжений, более низкая концентрация напряжений и другие факторы улучшают их работу.

В пределах каждой группы конструкций, в зависимости от температуры эксплуатации, к сталям предъявляют требования по ударной вязкости при различных температурах.

В нормах содержится перечень сталей в зависимости от группы конструкций и климатического района строительства.

Окончательный выбор стали в пределах каждой группы должен выполняться на основании сравнения технико-экономических показателей (расхода стали и стоимости конструкций), а также с учетом заказа металла и технологических возможностей завода-изготовителя. В составных конструкциях (например, составных балках, фермах и т. п.) экономически целесообразно применение двух сталей – более высокой прочности для сильно нагруженных элементов (поояса ферм, балок) и меньшей прочности для слабо нагруженных элементов (решетка ферм, стенки балок).

Приведенный подход к выбору сталей используют для конструкций массового применения. Для особо ответственных уникальных сооружений с высокой степенью обеспеченности надежности (атомные реакторы АЭС, сосуды давления, газгольдеры и резервуары большого объема) требования к качеству, а следовательно, и к выбору стали могут быть значительно более жесткими.

Задачи, решаемые на практическом занятии

1. Ознакомление с достоинствами и недостатками металлических конструкций.
2. Ознакомление с химическим составом и служебными свойствами стали.

3. Обоснование выбора стали для заданной стальной конструкции.

Контрольные вопросы

1. Что такое сталь?
2. Как классифицируются строительные стали?
3. Назовите основные достоинства и недостатки металлических конструкций, химический состав и служебные свойства стали.
4. Как определить предел текучести и временное сопротивление арматурной стали?
5. С какой целью проводят технологические испытания арматурной стали?
6. Какие группы конструкций учитываются при выборе стали?

Практическое занятие № 2

СТРУКТУРА СТАЛИ

Цель работы: ознакомиться со структурой стали, применяемой в строительстве.

Содержание работы

В твердом состоянии сталь является поликристаллическим телом, состоящим из множества различно ориентированных кристаллов (зерен). В каждом кристалле атомы (точнее – положительно заряженные ионы) расположены упорядоченно в узлах пространственной решетки. Для стали характерны объемно-центрированная (ОЦК) и гранецентрированная (ГЦК) кубическая кристаллическая решетки (рис. 2.1). Каждое зерно как кристаллическое образование резко анизотропно и имеет различные свойства по разным направлениям. При большом числе хаотично ориентированных зерен эти различия сглаживаются и статистически в среднем по всем направлениям свойства становятся одинаковыми.

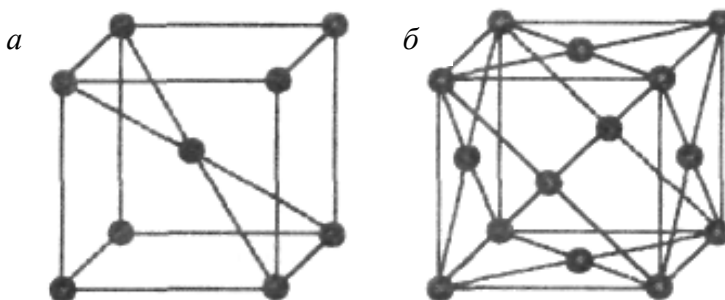


Рис. 2.1. Кубическая кристаллическая решетка:
a – объемно-центрированная; *б* – гранецентрированная

Структура стали зависит от условий кристаллизации, химического состава, режима термообработки и прокатки. Температура плавления чистого железа равна 1539 °С, при тверде-

нии образуются кристаллы δ -железа с объемно-центрированной решеткой (рис. 2.1, *a*), при температуре 1490 °С происходит перекристаллизация и δ -железо переходит в γ -железо с гранецентрированной решеткой (рис. 2.1, *б*). При 910 °С и ниже кристаллы γ -железа вновь превращаются в объемно-центрированные с сохранением такого состояния в обычных условиях. Последнюю модификацию называют α -железом.

После завершения процесса кристаллизации при остывании стали образуется твердый раствор углерода в γ -железе, называемый аустенитом, в котором атомы углерода располагаются в центре ГЦК-решетки. При температуре ниже 910 °С начинается распад аустенита. Образующееся α -железо с ОЦК-решеткой (феррит) плохо растворяет углерод. По мере выделения феррита аустенит обогащается углеродом и при температуре 727 °С превращается в перлит – смесь феррита и карбида железа Fe_3C , называемого цементитом. Таким образом, при нормальной температуре сталь состоит из двух основных фаз – феррита и цементита, которые образуют самостоятельные зерна, а также входят в виде пластинок в состав перлита.

Величина зерен феррита и перлита зависит от числа очагов кристаллизации и условий охлаждения. Размер зерна существенно влияет на механические свойства стали (чем мельче зерно, тем выше качество металла).

Легирующие добавки, растворяясь в феррите, упрочняют его. Кроме того, некоторые из них, образуя карбиды и нитриды, увеличивают число очагов кристаллизации и способствуют образованию мелкозернистой структуры.

Микроанализ позволяет определять величину и форму зерен, а также расположение элементов (фаз), составляющих сплав, что дает возможность прогнозировать его свойства.

Структурные составляющие железоуглеродистых сплавов – феррита, цементита, аустенита, перлита, ледебурита – можно рассмотреть под микроскопом на полированном травленном шлифе, а именно, на зеркально отполированной поверхности стальных образцов, обработанных кислотой.

Феррит – твердый раствор углерода в α -железе. Он мягкий (твердость по Бринеллю НВ 65–130), пластичный (относительное удлинение δ – 40 %, сильно магнитен, хорошо проводит теплоту и электрический ток. Под микроскопом просматривается в виде светлых зерен или сетки, окаймляющей участки перлита (рис. 2.2, *а, б, в*).

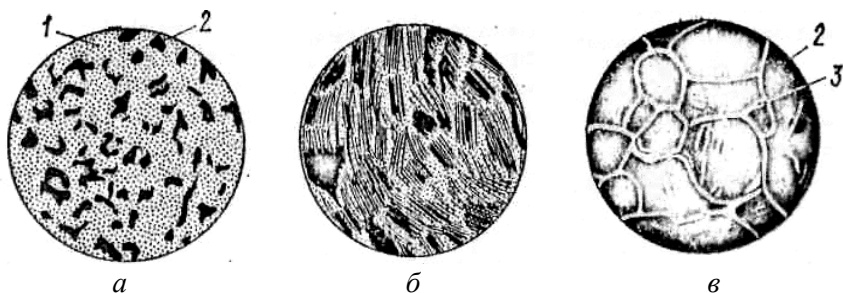


Рис. 2.2. Микроструктура углеродистых сталей:
а – доэвтектоидная; *б* – эвтектоидная (пластинчатый перлит);
в – заэвтектоидная; 1 – феррит; 2 – перлит; 3 – цементит

Цементит – карбид железа F_3C – химическое соединение железа и углерода. Цементит имеет металлический блеск, обладает большей твердостью (НВ 800) и хрупкостью, слабо магнитен, плохо проводит электрический ток и теплоту. Различают три структурные формы цементита: первичную, вторичную и третичную.

Аустенит – твердый раствор углерода в γ -железе. Аустенит немагнитен, сравнительно мягкий (НВ 170–200). Под микроскопом хорошо видна зернистая структура аустенита (рис. 2,2, *а*).

Перлит – механическая смесь (эвтектика), состоящая из очень тонких пластинок или зерен цементита в ферритовой основе. Перлит бывает пластинчатый и зернистый, что определяется формой цементита (пластинки или шарообразные зерна). Механические свойства перлита зависят от размеров и формы цементита – пластинчатого или зернистого (относительное удлинение около 15 %, твердость НВ 150–170). Под микроскопом

при среднем увеличении перлит после обычного травления обнаруживается в виде темных участков (рис. 2.2, в). При 1000-кратном увеличении выявляется эвтектоидное строение перлита – две равномерно распределенные фазы: феррит и цементит.

Ледебурит – механическая смесь, состоящая в интервале температур 727–1147 °С из аустенита и цементита, а ниже 727 °С – из феррита и вторичного цементита.

При температуре ниже 727 °С стали с содержанием углерода менее 0,8 % имеют структуру феррита и перлита (ферритоцементитной смеси) и называются доэвтектоидными, с содержанием углерода 0,8 % – структуру перлита и называются эвтектоидными и с содержанием углерода 0,8–2,14 % – структуру вторичного цементита и перлита и называются заэвтектоидными. Под микроскопом вторичный цементит имеет вид светлой или темной тонкой сетки, окаймляющей зерна перлита (рис. 2.2, в).

Для изучения микроструктуры применяют микрошлифы, изготовленные тонким шлифованием и полированием. После полирования поверхность шлифа подвергают травлению 4 % – ным раствором азотной кислоты в спирте.

Схема металлографического микроскопа представлена на рис. 2.3.

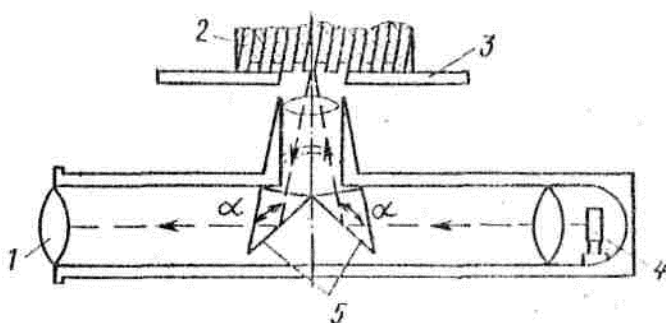


Рис. 2.3. Схема металлографического микроскопа:
1 – окуляр; 2 – изучаемый микрошлиф; 3 – столик;
4 – источник света; 5 – призмы

Образец (микрошлиф) стали 2 устанавливают на столик 3 микроскопа. От источника света 4 луч преломляется призмой 5 на зеркальную поверхность образца под углом α . Отраженный от зеркальной поверхности луч второй призмой преломляется в окуляр 7. Так как поверхность имеет микрорельеф, то при падении луча на поверхность образца под углом от выступающих компонентов образца, в данном случае от цементита, на поверхность будут падать тени, которые можно наблюдать в поле зрения микроскопа. Так как тени будут располагаться по границам структурных составляющих сплава, то по ним можно судить о структуре металла.

Задачи, решаемые на практическом занятии

1. Ознакомление с основными элементами микроструктуры углеродистой стали.
2. Ознакомление с устройством металлографического микроскопа.
3. Зарисовка в журнал структуры изучаемого микрошлифа.
4. Определение типа структуры, представленной на микрошлифе.

Контрольные вопросы

1. Что такое сталь?
2. Как классифицируются строительные стали?
3. Назовите структурные составляющие стали.
4. Что дает микроанализ сплавов стали?
5. Как влияет различное содержание углерода в стали на ее структуру?
6. Назовите химический состав стали.

Практическое занятие № 3

АРМАТУРА ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Цель работы: ознакомиться с классификацией, свойствами, назначением основных видов арматуры железобетонных конструкций. Научиться определять их по внешнему признаку.

Содержание работы

Классификация арматурных сталей

Отечественная промышленность выпускает арматурные стали с различными физико-механическими свойствами (табл. 3.1) диаметром 3–90 мм. Арматурные стали хорошо ведут себя в эксплуатации, например при многократно изменяющихся нагрузках, изменениях температуры и т. п.

Для армирования бетона используют в основном стальную арматуру из углеродистых и низколегированных сталей.

Стальную арматуру классифицируют:

- по основной технологии – на горячекатаную, термически упрочненную и холоднотянутую;
- условиям применения ее в конструкциях – на ненапрягаемую и напрягаемую;
- профилю – на гладкую и периодического профиля;
- химическому составу – на марки, определяемые содержанием основных химических элементов;
- свойствам – на мягкие и твердые;
- условиям поставки – на прутковую и бухтовую арматурную сталь. Прутковую сталь доставляют в виде стержней длиной 6–12 м, а по особому заказу – до 18 и даже до 25 м диаметром более 10 мм в пачках массой до 5 т. В бухтах доставляют арматурную сталь диаметром менее – 10 мм и длиной до 200 м, а также витую проволочную арматуру.

Арматуру, применяемую в железобетонных конструкциях, делят на арматурные изделия (стержни, проволоку, плоские и рулонные сетки, канаты, пространственные каркасы), закладные детали, фиксаторы арматуры и закладных деталей, строповочные устройства.

Арматурную сталь разделяют на классы, в зависимости от механических свойств и технологии изготовления и обозначают следующими буквами: стержневая арматура – А, проволочная – В и канаты – К.

Основные виды арматурных сталей представлены в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Основные виды арматурных сталей

Вид арматуры	Класс арматуры	Марка стали	Диаметр, мм
Стержневая горячекатаная гладкая	А-I; (А240)*; (S240)**	СтЗспЗ	6–40
		СтЗпсЗ	6–40
		СтЗкпЗ	6–40
		ВСтЗпс2	6–40
		ВСтЗкп2	6–40
		18Г2С	40–80
Стержневая горячекатаная периодического профиля	А-II(A300)	ВСт5сп2	10–40
		ВСт5пс2	10–16
		ВСт5кп2	18–40
		18Г2С	40–18
		10ГТ	10–32
	А-III(A400)*; (S400)**	35ГС	6–40
		25Г2С	6–40
	А-IV(A600)*; (S500)**	80С	10–18
		20ХГ2Ц	10–22
	А-V(A800)*; (S800)**	23Х2Г2Т	10–22
		20Х2Г2АЮ, 20Х2Г2Р, 20ХС2	10–32

Окончание табл. 3.1

Вид арматуры	Класс арматуры	Марка стали	Диаметр, мм
Стержневая термически упрочненная периодического профиля	АТ-IV(Ат600)	–	10–25
	АТ-V(Ат800)	–	10–25
	АТ-VI(Ат1000)	–	10–25
Обыкновенная арматурная проволока гладкая	В-I	–	3–5
Обыкновенная арматурная проволока периодического профиля	Вр-I	–	3–5
Высокопрочная арматурная проволока гладкая	В-II	–	3–8
Высокопрочная арматурная проволока периодического профиля	Вр-II	–	3–8
Арматурные канаты	К-7	–	4,5–15
	К-9	–	14 (по ТУ14-4-22-71)

Стержневая арматурная сталь подразделяется на:

- горячекатаную – гладкую класса А-I;
- периодического профиля классов А-II, А-III, А-IV, А-V, А-VI;
- термически и термомеханически упрочненную периодического профиля классов А_Т-III, А_Т-IV, А_Т-V, А_Т-VI.

В обозначении классов термически и термомеханически упрочненной стержневой арматуры повышенной стойкости к коррозионному растрескиванию под напряжением добавляется буква К (например, А-IVК); свариваемой и повышенной стойкостью к коррозионному растрескиванию под напряжением – буквой СК (например, А_Т-VСК).

В обозначении горячекатаной стержневой арматуры буква «в» употребляется для арматуры упрочненной вытяжкой (например, А_Т-III_в).

Характерные профили стержневой арматуры представлены на рис. 3.1, 3.2, 3.3.

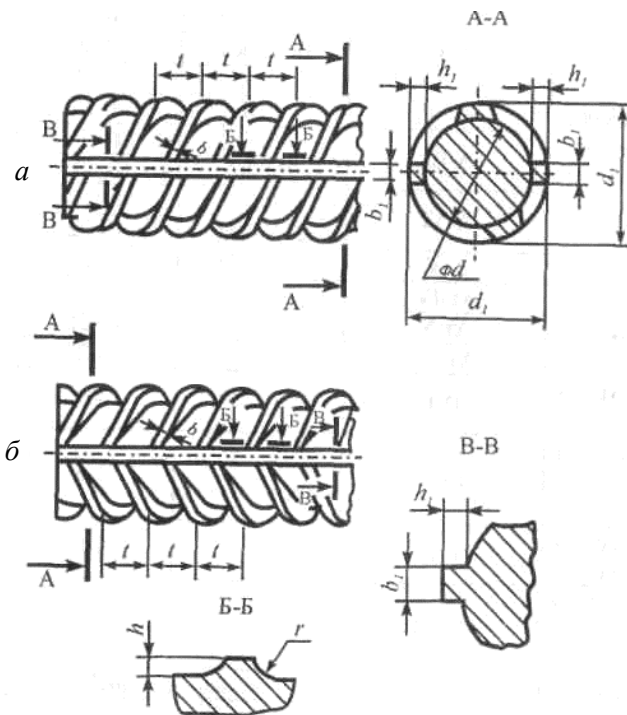


Рис. 3.1. Периодические профили стержневой арматуры:
a – класса А-11; *б* – остальных классов

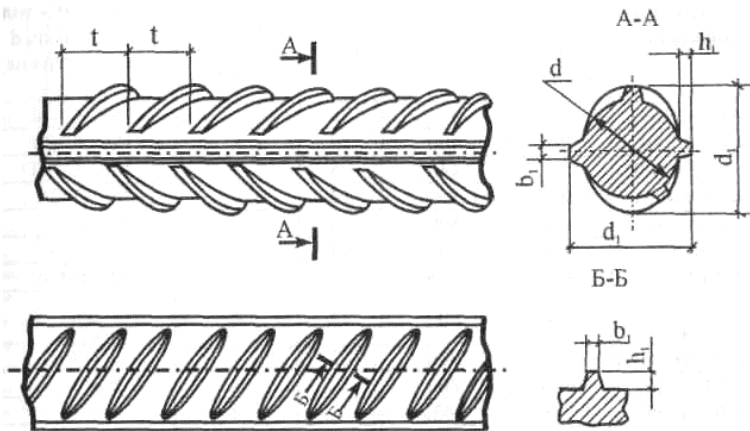


Рис. 3.2. Серповидный профиль стержневой арматуры

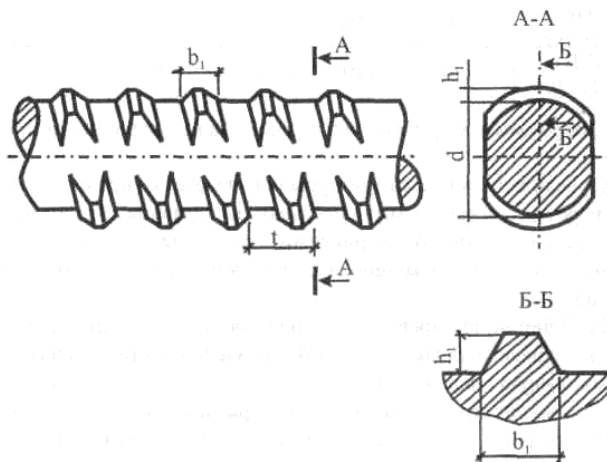


Рис. 3.3. Винтовой профиль стержневой арматуры

Механические свойства стержневой и проволочной арматурной стали показаны в табл. 3.2.

Таблица 3.2

Механические свойства стержневой арматурной стали

Класс арматурной стали	Предел текучести физический или условный	Временное сопротивление, Н/мм ²	Относительное удлинение после разрыва		Испытание на изгиб в холодном состоянии (<i>C</i> – толщина оправки, <i>d</i> – диаметр стержня)
			полное, %	равномерное, %	
A-I (A240)	235	375	25	-	180°, <i>C</i> = 1 <i>d</i>
A-II (A300)	295	490	19	-	180°, <i>C</i> = 3 <i>d</i>
Ac-III (Ac300)	295	440	25	.	180°, <i>C</i> = 1 <i>d</i>
A-III (A400)	390	590	14	-	90°, <i>C</i> = 3 <i>d</i>
At-III (At400)	400	500	16	-	90°, <i>C</i> = 3 <i>d</i>
A500C	500	600	14	-	90°, <i>C</i> = 3 <i>d</i>
A1Y(A600)	590	885	6	2	45°, <i>C</i> = 5 <i>d</i>
At1Y (At600)	600	800	12	4	—
At1YC(At600C)	600	800	12	4	—
AtYK(At600K)	600	800	12	4	—
A-Y (A800)	785	1030	7	2	—
At-Y (A800)	800	100	8	2	—
At-YK (A800K)	800	100	8	2	—
AY1(A1000)	980	1230	6	2	—
At-Y1 (At1000)	1000	1250	7	2	—
AtY1K(At1000K)	1000	1250	7	2	—

Диаграммы деформаций арматурной стали при растяжении показаны на рис. 3.4.

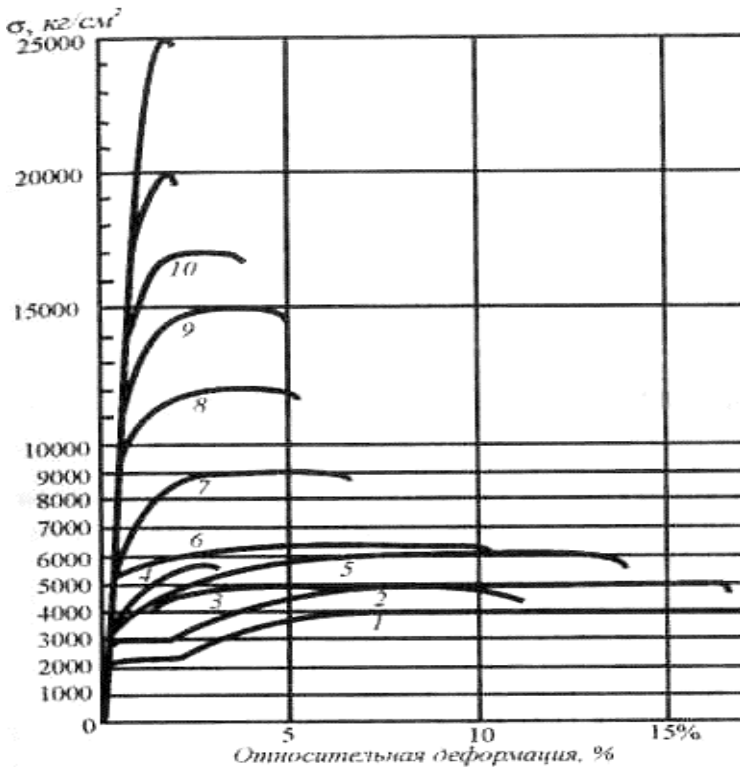


Рис. 3.4. Диаграмма деформаций арматурных сталей при растяжении: 1 – сталь горячекатаная круглая класса А-I (Ст. 3); 2 – сталь горячекатаная периодического профиля класса А-II (Ст. 5); 3 – то же, подвергнутая упрочнению вытяжкой; 4 – обыкновенная арматурная проволока класса В-I диаметром 3–5,5 мм; 5 – сталь горячекатаная низколегированная периодического профиля класса А-III (марок 35ГС и 25Г2С); 6 – то же, подвергнутая упрочнению вытяжкой; 7 – сталь горячекатаная низколегированная периодического профиля класса А-IV (марки 20ХГ2Ц и др.); 8 – сталь горячекатаная периодического профиля, термически упрочненная, класса А-VI; 9 – высокопрочная проволока периодического профиля класса Вр-II; 10 – то же круглая класса В-II диаметром 1 мм; 11 – то же диаметром 2,5 мм; 12 – то же диаметром 2 мм

С увеличением класса арматуры повышается ее прочность при растяжении и резко снижается относительная деформация. Арматурные стали разных классов с одинаковым рисунком периодического профиля различают по цвету окрашенных концов стержней. Маркировка покраски представлена в табл. 3.3.

Таблица 3.3

Маркировка покраской стержневой арматурной стали

Класс арматуры	Цвет покраски концов стержней	Число поперечных ребер между маркировочными знаками
A-III	–	3
At-III	Белый	3
A500C	Белый и синий	1
A-IV	Красный	4
At-IV	Желтый	4
At-IVC	Желтый и белый	4
At-IVK	Желтый и красный	4
A-V	Красный и зеленый	5
At-V	Зеленый	5
At-VK	Зеленый и красный	5
A-VI	Красный и синий	6
At-VI	Синий	6
At-VIK	Синий и красный	6
At-VII	Черный	7

Холоднотянутая проволочная арматурная сталь подразделяется на арматурную проволоку гладкую класса B-I, периодического профиля класса Bp-I, высокопрочную гладкую класса B-II, периодического профиля класса Bp-II.

Разновидности проволочной арматуры показаны на рис. 3.5–3.8.

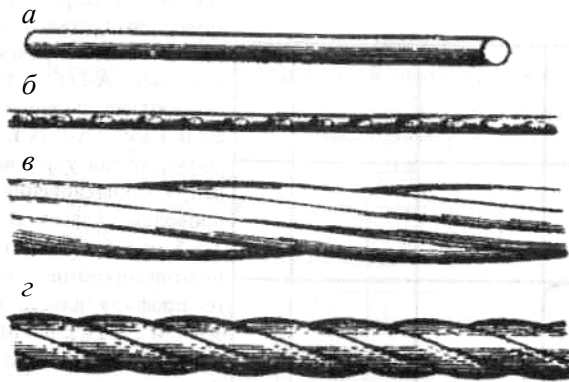


Рис. 3.5. Разновидности проволочной арматуры:
a – арматурная проволока классов В-I и В-II; *б* – то же, класса Вр-II;
в – витая проволочная арматура класса II-7 (арматурная прядь);
z – то же, класса К2Х7 (арматурный канат)

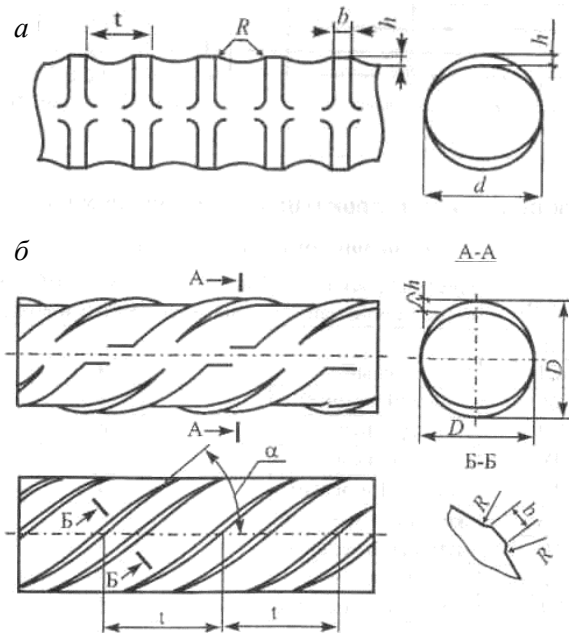


Рис. 3.6. Периодические профили низкоуглеродистой арматурной проволоки:
a – класса Вр 400; *б* – класса Вр 600

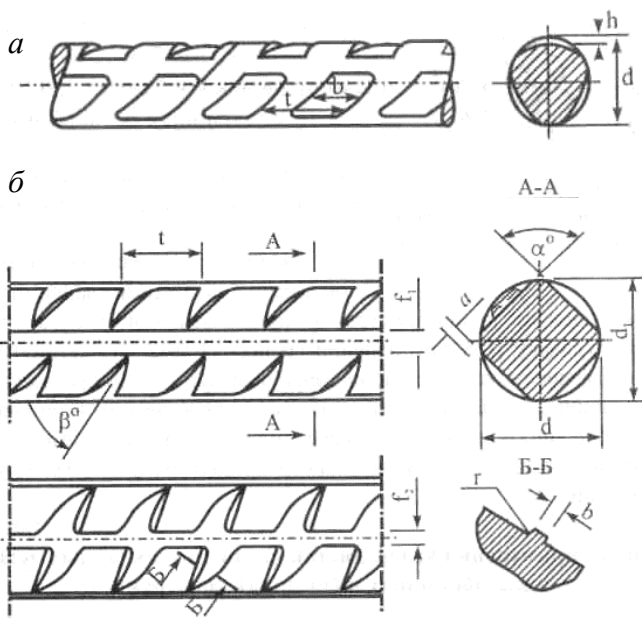


Рис. 3.7. Новые периодические профили арматурной проволоки:
a – с трехсторонними вмятинами;
б – с четырехсторонними вмятинами

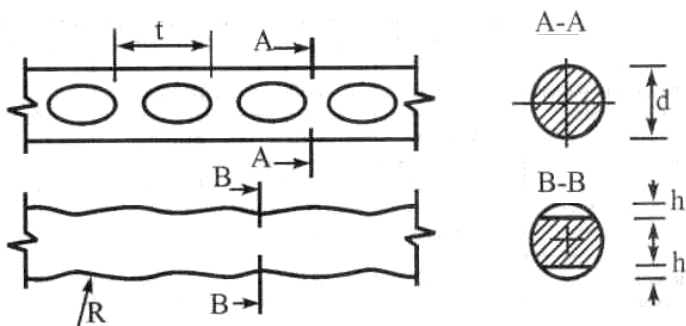


Рис. 3.8. Периодический профиль высокопрочной арматурной проволоки

Механические характеристики холодноотянутой проволоки

Класс арматурной проволоки, ГОСТ или ТУ	Класс прочности	Номинальный диаметр, мм	Разрывное усилие F , кН	Усилие, соответствующее условному пределу текучести, кН	Относительное удлинение после разрыва δ , %, не менее	Число перегибов на 180°
Вр-1 ГОСТ 6727 СТБ 1341	400	3	3,9	3,5	2,0	4
	400	4	7,1	6,2	2,5	4
	400	5	10,6	9,7	3,0	4
Вр ТУ 14-4- 1323-83	600	4	10,5	8	2,5	4
	600	4,5	13,2	10,2	2,7	4
	600	5	16,4	12,5	3	5
	600	6	22,6	18	4	6
ВиВр ГОСТ 7342	1500	3	12,6	10,6	4	9
	1400	4	22,4	18	4	7
	1400	5	32,8	27,5	4	5
	1400	6	47,3	39,7	5	—
	1300	7	60,4	50,7	6	—
	1200	«	74	62	6	—

Для лучшего использования прочностных свойств проволоки в канате шаг свивки принимают максимальным, обеспечивающим нераскручиваемость канатов, обычно в пределах 10–16 диаметров каната.

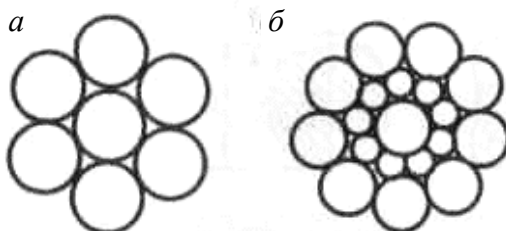


Рис. 3.9. Поперечное сечение арматурных канатов:
а – семипроволочных; *б* – девятнадцатипроволочных

В условном обозначении арматурных канатов кроме буквы К указывается число проволок в канате (К7, К19). Для закладных

деталей и соединительных накладок применяются, как правило, прокатная углеродистая сталь соответствующих марок, приведенных в табл. 3.5. Выбор арматурной стали следует производить в зависимости от типа конструкции, наличия предварительного натяжения, а также от условий эксплуатации.

Таблица 3.5

Область применения углеродистой стали для закладных деталей железобетонных и бетонных конструкций

Характеристика закладных деталей	Расчетная температура, °С			
	до минус 30 включ.		ниже минус 30 до минус 40 включ.	
	марка стали по ГОСТ 380–71	толщина проката, мм	марка стали по ГОСТ 380–71	толщина проката, мм
1. Рассчитываемые усилия от нагрузок: а) статических б) динамических и многократно повторяющихся	ВСтЗкп2	4–30	ВСтЗпс6	4–25
	ВСтЗпс6	4–10	ВСтЗпс6	4–10
	ВСтЗГпс5	11–30	ВСтЗГпс5	11–30
	ВСтЗсп5	11–25	ВСтЗсп5	11–25
2. Конструктивные (не рассчитываемые на силовые воздействия)	БСтЗкп2	4–10	БСтЗкп2	4–10
	ВСтЗкп2	4–30	ВСтЗкп2	4–30

Примечания:

1. Расчетная температура принимается согласно указаниям п. 1.8.
2. При применении низколегированной стали, например марок 10Г2С1, 09Г2С, а также при расчетной температуре ниже минус 40 °С выбор марки стали и электродов для закладных деталей следует производить как для стальных сварных конструкций в соответствии с требованиями СНиП П-23–81.
3. Расчетные сопротивления стали указанных марок принимаются согласно СНиП 2.03.01–84*.

Сетки для армирования железобетонных конструкций в зависимости от поставки применяют рулонные (при диаметре продольных стержней до 7 мм) или плоские (при диаметре

продольных стержней 8 и более мм). Сетки изготавливают с прямоугольным контуром и взаимно перпендикулярным расположением стержней. Допустимое расстояние между осями стержней одного направления должно быть 50 мм. Ширина в рулонных сетках в осях крайних продольных стержней не превышает 3500 мм, плоских – 2500 мм. Длина плоских сеток не превышает 9 м (рис. 3.10).

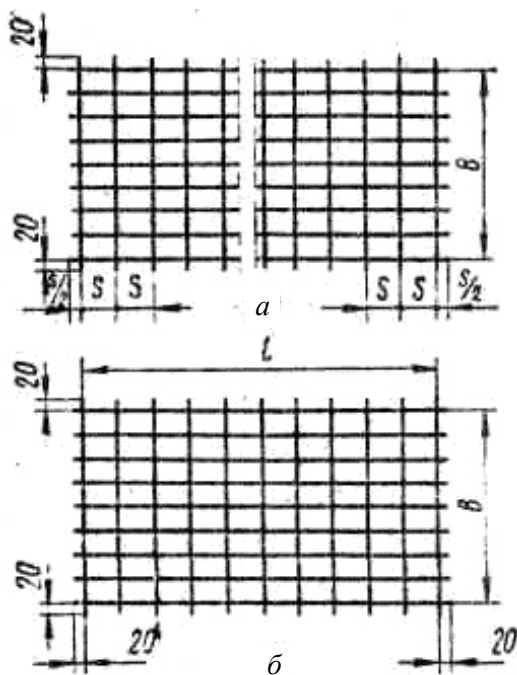


Рис. 3.10. Рулонная (а) и плоская (б) сварные сетки армирования железобетонных конструкций

Пространственные арматурные каркасы для армирования линейных элементов типа колонн, балок, свай и т. п. изготавливают из плоских или гнутых сеток, стержней и спиральной арматуры (рис. 3.11, а–у), которые соединяют с помощью сварки.

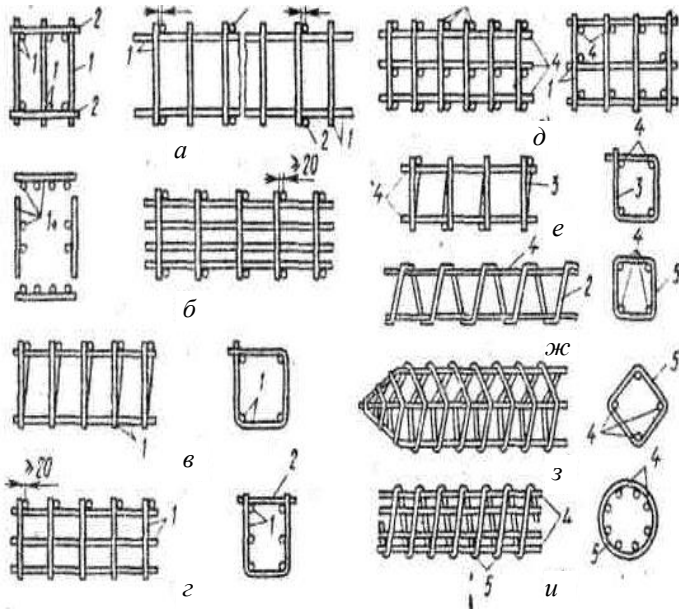


Рис. 3.11. Примеры устройства арматурных каркасов:

a – из плоских сеток, соединенных стержнями; *б* – объединением сеток сваркой; *в-г* – из гнутых сеток; *д* – из широких сеток и продольных стержней; *е* – из продольных стержней и хомутов; *ж, з, и* – из продольных стержней с поперечной спиральной арматурой; *1* – сетки; *2* – соединительные стержни; *3* – хомуты; *4* – стержни продольной арматуры

Пространственные каркасы для армирования плоских железобетонных элементов типа плит, стеновых панелей и т. п. изготавливают следующим образом. Плоские сетки, состоящие из двух продольных и расчетного количества поперечных стержней типа «лесенка», соединяются посредством стержней, привариваемых контактной сваркой (рис. 3.12, *a*). Плоские сетки типа «лесенка» располагают также во взаимно перпендикулярных плоскостях, а их пересечения соединяют контактной сваркой или вязкой (рис. 3.12, *б*).

Пространственный каркас ребристых или плоских элементов собирают из сеток типа «лесенка» и дополняют одной или

двумя плоскими сетками, соединяя пересечения сваркой или вязкой (рис. 3.12, в).

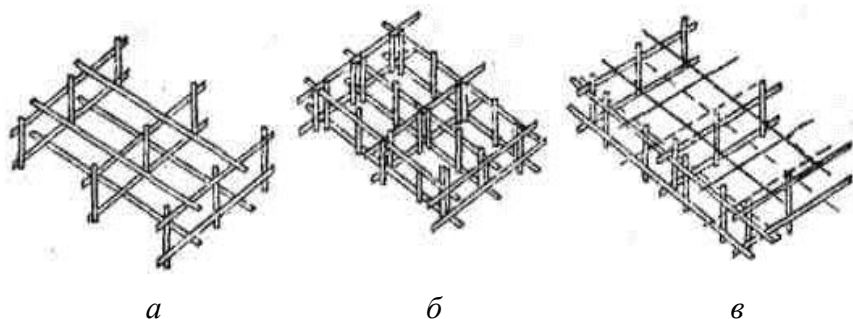


Рис. 3.12. Примеры конструкций пространственных каркасов плоских элементов:

а – из плоских сеток типа «лесенка» и соединительных стержней; *б* – то же одного направления и таких же сеток другого направления и меньшей высоты; *в* – то же с добавлением одной или двух плоских сеток

Закладные детали. Для соединения железобетонных конструкций между собой и крепления к ним элементов различного назначения – ограждений, элементов сетей, оборудования и т. п. – применяют закладные детали. Они состоят из одного или нескольких стальных элементов и устанавливаются в опалубочные формы до бетонирования. Закладные детали анкеруют в бетоне с помощью анкерных стержней или приваривают к рабочей арматуре.

Применяют закладные детали двух типов: из листового, сортового или фасонного проката с приваренными анкерами (рис. 3.13).

Закладные детали могут иметь устройства для крепления к формам (например, отверстия в пластинах), упоры для работы на сдвиг, арматурные коротыши. Для закладных и накладных деталей применяют прокатанную углеродистую сталь класса С 38/23 по ГОСТ 380–71.

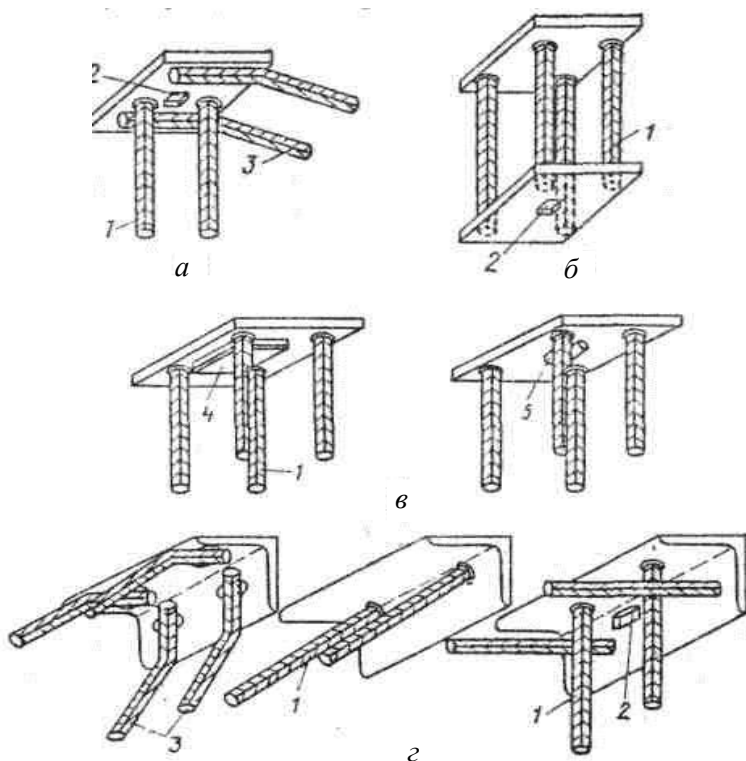


Рис. 3.13. Примеры конструкций закладных деталей:

а – деталь с касательными и нормальными анкерами; *б* – деталь типа двойной столлик; *в* – деталь типа «столлик»; *г* – детали с применением угловой стали; *д, з* – нормальные и касательные анкера (приваренные втавр и внахлестку); *2* – отверстие для фиксации; *4* – упор, работающий в двух направлениях; *5* – упор, работающий в одном направлении

Строповочные устройства. Предназначены для захвата элементов сборных железобетонных конструкций грузозахватными приспособлениями при снятии их с формы, а также при погрузочно-разгрузочных и монтажных работах. Наиболее распространенные строповочные устройства – петли (рис. 3.14).

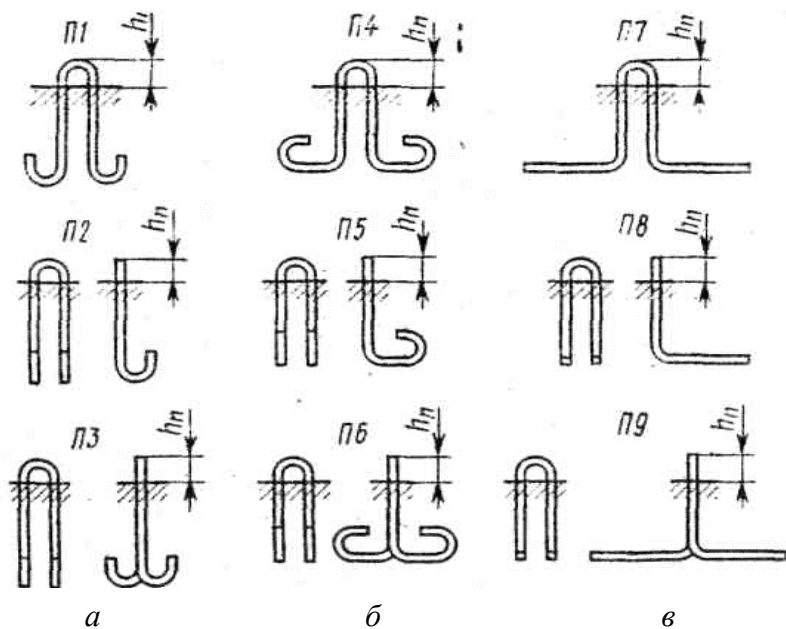


Рис. 3.14. Строповочные петли:

- а* – из стали класса А-I и А-II, свободно размещаемые в изделии;
- б* – из стали класса А-I, размещаемые в стесненных условиях;
- в* – то же, из стали класса А-II

Фиксаторы арматуры и закладных деталей. Для фиксации проектного положения арматуры и закладных деталей применяют приспособления однократного использования, остающиеся в бетонных конструкциях, инвентарные приспособления, извлекающиеся из бетона до и после его твердения, а также специальные детали, прикрепляемые к поверхности формы или опалубки и не препятствующие извлечению железобетонного элемента из формы или снятия с него опалубки.

Применяют фиксаторы (рис. 3.15), обеспечивающие заданную толщину защитного слоя бетона для арматуры или заданные расстояния между арматурными изделиями и стержнями, а также обеспечивающие одновременно оба требования.

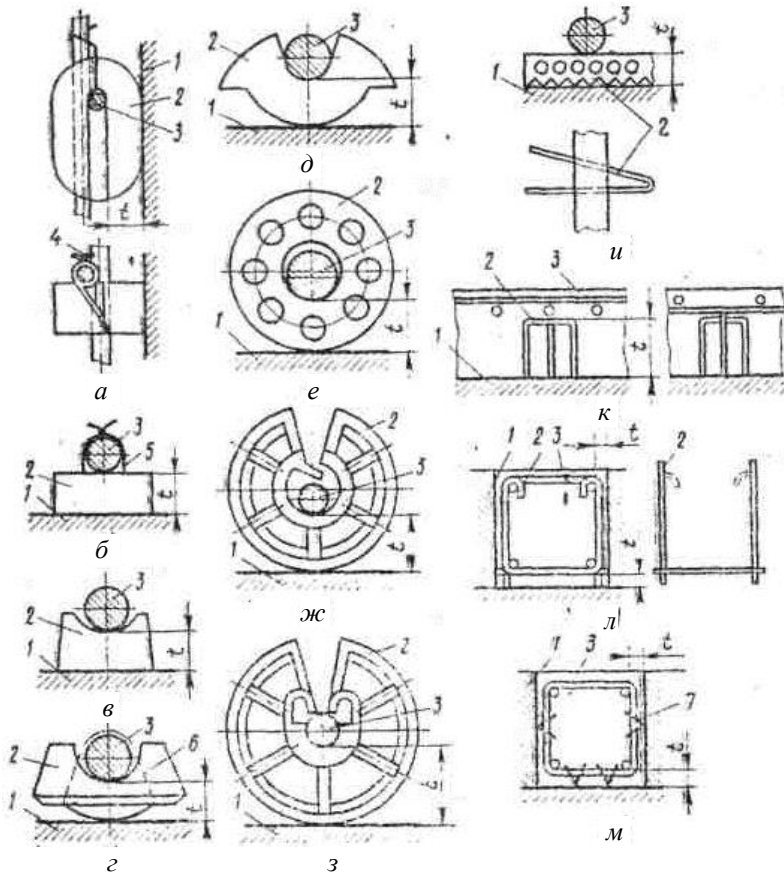


Рис. 3.15. Фиксирующие устройства однократного пользования, обеспечивающие требуемую толщину защитного слоя бетона:
а, б, в – фиксаторы с большой поверхностью контакта с формой, изготовленные из цементно-песчаного раствора; *г* – фиксатор с минимальной поверхностью контакта с формой, изготовленный из цементно-песчаного раствора; *д* – то же из асбестоцемента; *е, ж, з* – то же из пластмасс (перфорированные); *и* – то же из алюминиевой перфорированной полосы; *к, л, м* – то же из арматурной стали; *1* – рабочая поверхность формы; *2* – фиксаторы; *3* – фиксируемая арматура; *4* – скрутка из вязальной проволоки; *5* – вязальная проволока, заделанная в фиксатор; *6* – эластичное кольцо; *7* – упоры, привариваемые к арматуре

Для изготовления строповочных петель применяют арматурную сталь класса А-1 марок ВСтЗсп2 и ВСтЗпс2.

В качестве ненапрягаемой арматуры железобетонных конструкций следует преимущественно применять:

а) стержневую арматуру класса А-III;

б) арматурную проволоку диаметром 3–5 мм класса Вр-1 (в сварных сетках и каркасах).

Допускается применять:

а) стержневую арматуру класса А-II и А-I для продольной и поперечной арматуры;

б) термомеханически упрочненную стержневую арматуру класса Ат-IVС для продольной арматуры сварных каркасов и сеток;

в) стержневую арматуру классов А-V, А-VI, а также горячекатанную класса А-IV только для продольной арматуры связанных каркасов и сеток.

Ненапрягаемую арматуру класса А-III, Вр-1, А-I и А-II рекомендуется применять в виде сварных каркасов и сеток.

В качестве напрягаемой арматуры предварительно напряженных железобетонных элементов следует преимущественно применять термически и термомеханически упрочненную арматуру класса Ат-VI и Ат-V.

Допускается применять арматурную проволоку классов В-II, Вр-II и арматурные канаты классов К7 и К19.

Для монтажных подъемных элементов сборных железобетонных и бетонных конструкций применяется горячекатаная арматурная сталь класса Ас-II, марки 10ГТ и класса А-I марок ВСтЗсп2 и ВСтЗпс2.

Задачи, решаемые на практическом занятии

1. Ознакомление с видами арматурой стали и их свойствами.
2. Зарисовка в журнал профилей арматурных сталей, поперечного сечения арматурных канатов внешних видов прост-

ранственных арматурных каркасов, закладных деталей, строповочных петель, фиксаторов арматуры и закладных деталей.

Контрольные вопросы

1. Назовите виды арматурных сталей.
2. Как отличить класс арматуры по внешним признакам?
3. Какие классы арматурных сталей применяются в производстве сборного железобетона?
4. Как отличить различные виды арматурных сталей по их внешнему признаку?
5. Из каких сталей изготавливают строповочные устройства?
6. Назначение фиксаторов, закладных деталей и арматуры в сборных железобетонных конструкциях.
7. В чем отличие поперечных сечений канатов К7 и К19?
8. Как определить предел текучести и временное сопротивление арматурной стали?

Практическое занятие № 4

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЧНОСТИ КОНТАКТНО-СТЫКОВОГО СВАРНОГО СОЕДИНЕНИЯ

Цель работы: ознакомиться с основными типами и конструктивными элементами сварных соединений, применяемыми в железобетонных конструкциях, а также с методикой определения прочности контактно-стыкового сварного соединения.

Содержание работы

Контактная стыковая сварка применяется для соединения арматурных стержней в непрерывную плетть с последующей резкой на мерные даны при заготовке арматуры. Контактная стыковая сварка соединений горячекатаных стержней классов А-II–А-III выполняется способом оплавления с подогревом, а соединение стержней класса А-I – способом непрерывного оплавления или способом оплавления с подогревом.

Оценку свариваемости стали проводят по углеродному эквиваленту:

$$C_y = \bar{C} + \frac{Mn}{6} + \frac{Si}{24} + \frac{Cr}{5} + \frac{Ni}{40} + \frac{Cu}{13} + \frac{V}{14} + \frac{P}{2}, \%$$

где С, Мn, Si, Cr, Ni, Си, V и P – массовая доля углерода, марганца, кремния, хрома, никеля, меди, ванадия и фосфора, %.

Если $C_3 < 0,4 \%$, то сварка стали не вызывает затруднений, при $4 \% < C_3 < 0,55 \%$ сварка возможна, но требует принятия специальных мер по предотвращению возникновения трещин. При $C_3 > 0,55 \%$ опасность появления трещин резко возрастает.

Требования к сварным соединениям предъявляются в зависимости от их вида и назначения. Любое сварное соединение должно обеспечивать достаточную работоспособность при

минимальной трудоемкости его изготовления. Под достаточной работоспособностью сварного соединения понимают его способность сохранять в течение срока эксплуатации необходимую прочность, выносливость и устойчивость при заданном виде нагружения и рабочей среды.

Стыковые соединения стержней из термомеханически упрочненной арматурной стали, выполненные контактной сваркой, при механических испытаниях на растяжение должны разрушаться вне зоны сплавления. При этом уменьшение исходного диаметра стержней в месте разрыва не должно быть менее 20 %.

Прочность сварного соединения должна быть не ниже прочности основного металла. Если это правило не выполняется, то тогда необходимо регулировать технологические параметры стыковочной машины (силу тока, время выдержки оплавления, усилие осадки).

Необходимо ознакомиться с основными типами сварных соединений арматуры железобетонных конструкций и изделий. На рис. 4.1 приведены основные типы соединений: стыковое между арматурными стержнями (рис. 4.1, *а*), крестообразное между арматурными стержнями (рис. 4.1, *б*), нахлесточное между арматурными стержнями и плоскими элементами (рис. 4.1, *в*).

Рассмотрим образцы сварных соединений, свариваемые различным способом: контактным стыковым (рис. 4.1, *а*), контактным точечным (рис. 4.1, *б*), контактным рельефным (рис. 4.1, *в*), дуговым шовным с нахлесткой стержней (рис. 4.1, *г*), дуговым точечным с накладками (рис. 4.1, *е*), ванным в инвентарных формах (рис. 4.1, *ж*). После осмотра внешнего вида сварных соединений, указывают тип соединения и способ сварки.

Контактная стыковая сварка применяется для соединения арматурных стержней в непрерывную плетть с последующей резкой на мерные длины при заготовке арматуры. Требования к сварным соединениям предъявляются в зависимости от их вида и назначения. Любое сварное соединение должно обес-

печивать достаточную работоспособность при минимальной трудоемкости его изготовления. Под достаточной работоспособностью сварного соединения понимают его способность сохранять в течение срока эксплуатации необходимую прочность, выносливость и устойчивость при заданном виде нагружения и рабочей среде.

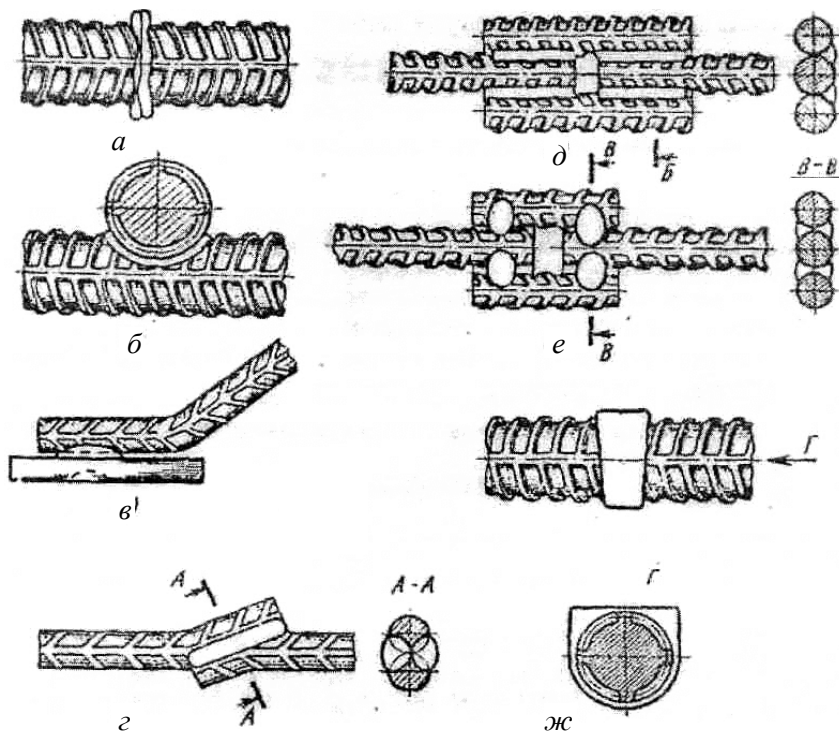


Рис. 4.1. Внешний вид сварных соединений, получаемых при основных способах сварки, применяемых для стыкования арматуры: *а* – контактная стыковая; *б* – контактная точечная; *в* – контактная рельефно-точечная; *г* – дуговая шовная с нахлесткой стержней; *д* – дуговая шовная с накладками; *е* – дуговая точечная с накладками; *жс* – ванная

Стыковые соединения стержней из термомеханически упрочненной арматурной стали, выполненные контактной сваркой,

при механических испытаниях на растяжение должны разрушаться вне зоны сплавления. При этом уменьшение исходного диаметра стержней в месте разрыва не должно быть менее 20 %.

Прочность сварного соединения должна быть не ниже прочности основного металла. Если это правило не выполняется, то тогда необходимо регулировать технологические параметры стыковочной машины (силу тока, время выдержки оплавления, усилие осадки).

Расчетное напряжение арматурных сталей от прилагаемых усилий σ_B не должно превышать расчетного сопротивления металла R , а разрушающее усилие

$$N_p = K \cdot \sigma_B \cdot F, \text{ МПа,}$$

где K – коэффициент запаса прочности;

σ_B – предел прочности, МПа;

F – площадь сечения образца, см.

Проведение испытания

1. Для определения прочности стыкового соединения изготавливают образцы, состыкованные из двух частей (рис. 4.2). Одновременно заготавливается целостный образец из той же арматуры, что и образцы состыкованные.

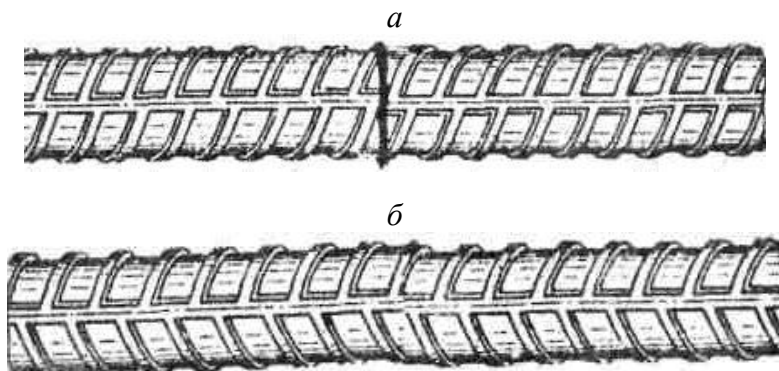


Рис. 4.2. Образцы для оценки контактно-стыкового сварного соединения:
a – состыкованный; *b* – целостный

2. Определить предел прочности состыкованного и целостного образцов по формуле

$$\sigma_{\text{в}} = P/F, \text{ МПа},$$

где *P* – разрушающее усилие, кН;

F – площадь поперечного сечения образца, см².

3. Результаты расчетов занести в журнал, табл. 4.1, 4.2.

Таблица 4.1

Результаты испытаний целостных арматурных образцов
на временное сопротивление растяжению

№ п/п	Вид образца	Класс арматуры	Диаметр образца, мм	Площадь поперечного сечения, см ²	Разрушающее усилие, кН	Предел прочности, МПа
1	Стержневая арматура	A-I	10			
2	–"	A-II	10			
3	–"	A-III	10			
4	–"	A-IV	10			
5	–"	A-V	10			
6	–"	A-VI	10			
7	–"	A-I	16			
8	–"	A-II	16			
9	–"	A-III	16			
10	–"	A-IV	16			
11	–"	A-V	16			
12	–"	A-VI	16			

Таблица 4.2

**Результаты испытаний состыкованных арматурных образцов
на временное сопротивление растяжению**

№ п/п	Вид образца	Класс арматуры	Диаметр образца, мм	Площадь поперечного сечения, см ²	Разрушающее усилие, кН	Предел прочности, МПа
1	Стержневая	A-I	10			
2	арматура	A-II	10			
3	—	A-III	10			
4	—	A-IV	10			
5	—	A-V	10			
6	—	A-VI	10			
7	—	A-I	16			
8	—	A-II	16			
9	—	A-III	16			
10	—	A-IV	16			
11	—	A-V	16			
12	—	A-VI	16			

После осмотра внешнего вида сварных соединений, указывают тип соединения и способ сварки.

Проведение работы

1. Осмотреть внешний вид представленных сварных соединений.
2. Зарисовать в журнале эскизы сварных соединений арматуры.
3. Указать тип соединений и способ сварки.
4. Определить площадь поперечного сечения арматурных образцов.

5. Определить предел прочности арматурных образцов в МПа.

6. Определить свариваемость сталей марок: 09Г2С; 18Г2АФпс; 15Г2СФ; 15ХГ2СМФР; 15ХСНД; 09Г2С; 15ХГ2СМФР; 14ХГСМФ; 18ХГ2АФПС; 15ХСНД; 15ХГ2СМФР.

7. По результатам испытаний сделать заключение о прочности сварных стыков исследуемых арматурных образцов.

Контрольные вопросы

1. Как оценить свариваемость стали?
2. Какова должна быть прочность сварного шва?
3. Какие виды сварных соединений применяются при изготовлении металлических конструкций?
4. Изложите методику испытания стыкового соединения арматуры.

Практическое занятие № 5

МЕТОДЫ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ КОРРОЗИИ МЕТАЛЛОВ

Цель работы: ознакомиться с методами диагностирования, а также с практикой расчетов коррозии металлов.

Содержание работы

Ежегодно вследствие коррозии теряется около 12 % черных металлов и примерно 30 % производимого металла расходуется на восстановление конструкций. Это значительно больше, чем ежегодные потери стали с технологическими отходами, составляющие 25 % всей получаемой стали. Поэтому защита металлических конструкций от коррозии является одной из важнейших задач.

Коррозия металлов и сплавов в основном зависит от следующих трех факторов: химической природы металла или сплава и их структуры, химической природы окружающей среды и содержания в ней агрессивных веществ (кислорода, воды, кислот, щелочей и др.), температуры окружающей среды.

Для обнаружения коррозии металлов применяются различные диагностические методы: электрохимический (анализ электрохимических процессов на поверхности металла); электрический (по изменению электросопротивления металла); магнитометрический (по изменению электромагнитных свойств материала); объемный (по изменению размеров изделия); весовой и др.

Наиболее распространенным является весовой метод, основанный на определении изменения массы образцов после их взаимодействия с агрессивной средой. Группа коррозионной стойкости металла определяется по десятибалльной шкале (табл. 5.1).

Таблица 5.1

Десятибалльная шкала коррозионной стойкости металлов

1 группа и характеристика стойкости	Скорость коррозии, мм/год	Балл
I – совершенно стойкие	Менее 0,001	1
II – весьма стойкие	0,001–0,005	2
	0,005–0,01	3
III – стойкие	0,01–0,05	4
	0,05–0,1	5
IV – пониженно-стойкие	0,1–0,5	6
	0,5–1	7
V – малостойкие	1–5	8
	5–10	9
VI – нестойкие	Свыше 10	10

Для определения группы стойкости или коррозионной стойкости металла в баллах необходимо вычислить скорость коррозии (среднюю толщину прокорродировавшего слоя) по формуле Томашева:

$$t_e = \frac{(m_1 - m_2) \cdot 10^3 \cdot t_a}{A \rho}$$

где m_1 и m_2 – масса образца до и после коррозии, кг;

t_a – число часов в году;

A – площадь поверхности образца, м²;

t – продолжительность коррозии, ч;

ρ – плотность металла, кг/м³.

Виды коррозионных разрушений стали

Разрушение металлов вследствие коррозии может быть равномерным по всей поверхности, неравномерным, т. е. протекающим с разной скоростью на различных участках поверхности, и местным – происходящим на отдельных участках поверхно-

сти. Различают три вида коррозии: равномерную сплошную, неравномерную сплошную и местную, или локальную.

Равномерная сплошная коррозия наблюдается в сплавах, не образующих защитных окисных пленок или образующих неплотные, рыхлые пленки

Неравномерная сплошная коррозия характерна для многофазных сплавов и зависит от рода их структурных составляющих и наличия дефектов на поверхности.

Локальная коррозия имеет место при нарушении целостности покрытия и подразделяется:

на *коррозию пятнами* – повреждения небольшой площади и глубины;

точками (точечная) – повреждения малых размеров в виде отдельных точек, иногда весьма глубоких;

язвами – повреждения, начинающиеся на поверхности и распространяющиеся в глубину материала, которые вызывают вспучивание и расслоение металла;

межкристаллитную коррозию – повреждения на границах отдельных зерен металла, которые приводят к резкому ухудшению его механических свойств;

избирательную – повреждение одного из материалов, составляющих сплав.

В некоторых случаях возможно одновременное проявление нескольких видов коррозии.

Проведение работы

1. Определить группу, балл, характеристику коррозионной стойкости металла, если известна скорость коррозии (используя формулу Томашева).

2. Определить балл коррозионной стойкости металла, если известна потеря массы образца после коррозии, площадь коррозии металла, продолжительность коррозии, плотность металла.

3. Определить площадь коррозии металла, если известна скорость коррозии, масса образца до коррозии и после коррозии, продолжительность коррозии, плотность металла.

Недостающие и необходимые данные для расчетов выдаются отдельно каждому студенту для индивидуальной диагностики коррозионной стойкости металлов.

Контрольные вопросы

1. Почему необходима защита металлических конструкций от коррозии?
2. От каких факторов зависит коррозия металлов и сплавов?
3. Назовите виды коррозионных разрушений стали.
4. Какие применяются диагностические методы обнаружения коррозии металлов?
5. Как определяется скорость коррозии стали?
6. Назовите группы коррозионной стойкости металла.

Литература и нормативные документы

1. Торопов, А. С. Арматурные работы / А. С. Торопов. – М. : Высшая школа, 1972. – 312 с.
2. Мисник, И. Б. Ручная дуговая сварка металлов / И. Б. Мисник. – М. : Высшая школа, 1981. – 207 с.
3. Попов, Л. Н. Лабораторные испытания строительных материалов / Л. Н. Попов. – М. : Высшая школа, 1984. – 167 с.
4. Черток, Б. Е. Лабораторные работы по технологии металлов и конструкционным материалам / Б. Е. Черток. – М. : Машиностроение, 1969. – 120 с.
5. Технологическое проектирование арматурного производства / Б. В. Прыгаш, В. Е. Бойко, В. В. Дробот. – Киев : Будівельник, 1977. – 196 с.
6. Руководство по производству арматурных работ. – М. : Стройиздат, 1977. – 256 с.
7. Пособие по проектированию бетонных и железобетонных конструкций из тяжелых и легких бетонов без предварительного напряжения арматуры (к СНиП 2.03.01–84). – М. : Стройиздат, 1989. – 192 с.
8. Руководство по производству арматурных работ. – М. : Стройиздат, 1977. – 255 с.
10. Сталь горячекатаная для армирования железобетонных конструкций. Технические условия : ГОСТ 5791–82.
11. Сталь арматурная термомеханически упрочненная для железобетонных конструкций. Технические условия : ГОСТ 10884–94.
12. Проволока из углеродистой стали для армирования предварительно напряженных железобетонных конструкций. Технические условия : ГОСТ 734.8–81.
13. Проволока из низкоуглеродистой стали холодноотянута для армирования железобетонных конструкций. Технические условия : ГОСТ 6727–80.

14. Канаты стальные арматурные К-7. Технические условия : ГОСТ 13840–68.
15. Канаты стальные. Технические условия : ГОСТ 3241–80.
16. Сетки сварные для железобетонных конструкций. Технические условия : ГОСТ 8478–81.
17. Металлы и сплавы. Методы измерения твердости по Роквеллу : ГОСТ 9013 (ИСО 6508–86).
18. Арматурные закладные изделия сварные, соединения сварные арматуры и закладных изделий железобетонных конструкций : ГОСТ 10922–90.
19. Сталь арматурная. Методы испытания на растяжение : ГОСТ 12004.
20. Металлы и сплавы. Методы испытания на изгиб : ГОСТ 14019.
21. Проволока. Метод испытания на перегиб : ГОСТ 1579–80.
22. Металлы и сплавы. Метод измерения твердости по Бринеллю : ГОСТ 9012 (ИСО 410–82, ИСО 6506–86).
23. Сталь горячекатаная для армирования железобетонных конструкций. Технические условия : ГОСТ 5781.
24. Соединения сварные арматуры и закладных изделий железобетонных конструкций. Типы, конструкции и размеры : ГОСТ 14098–91.

Учебное издание

ЛЯХЕВИЧ Генрих Деонисьевич
ПАСТУШКОВ Геннадий Павлович

СТАЛИ ДЛЯ КОНСТРУКЦИЙ МОСТОВ И ТОННЕЛЕЙ

Методическое пособие
для студентов специальности 1-70 03 02 «Мосты,
транспортные тоннели и метрополитены»

Редактор *К. П. Юройть*
Компьютерная верстка *Н. А. Школьниковой*

Подписано в печать 10.01.2013. Формат 60×84 1/16. Бумага офсетная. Ризография.
Усл. печ. л. 3,65. Уч.-изд. л. 2,91. Тираж 150. Заказ 192.

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет. ЛИ № 02330/0494349 от 16.03.2009. Пр. Независимости, 65. 220013, г. Минск.