



**ЧЕРЕПОВЕЦКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ**



Сварка

Сварка – технологический процесс получения неразъемных соединений металлических изделий.

По принципу создания сварного соединения различают:

- сварка плавлением (дуговая, электродуговая, ванная);
- сварка пластическим деформированием (контактная).

Углерод отрицательно влияет на качество сварного шва (хорошо свариваются при содержании углерода до 0,25 %, удовлетворительно до 0,55%).

Для снижения трудоемкости применяют сварные сетки (В500 или А400 3...10 мм) и каркасы – плоские и пространственные (для армирования линейных элементов – балок, колонн).

Стержни в конструкциях могут быть составными (из стержней разных диаметров) в целях экономии.



Сварные соединения, выполняемые в заводских условиях:

- контактная электросварка встык;
- контактная точечная электросварка.

Сварные соединения, выполняемые в условиях стройплощадки:

- электродуговая ванная сварка в съемных инвентарных медных формах или на стальной скобе-подкладке;
- дуговая сварка стержней четырьмя фланговыми швами с использованием круглых накладок.



До появления трещин деформации бетона и арматуры в любой точке по поверхности их контакта

$$\varepsilon_{bt} = \varepsilon_s.$$

Следовательно, в момент, предшествующий появлению трещины, арматура и бетон работают совместно и

$$\varepsilon_{bt0} = \varepsilon_s = 10 \cdot 10^{-5}.$$

При таких деформациях арматура любого класса работает еще упруго и напряжения в ней определяются по закону Гука:

$$\sigma_s = \varepsilon_s E_s = 10 \cdot 10^{-5} \cdot 2 \cdot 10^5 = 20 \text{ Мпа.}$$



Если $\sigma_s > 20$ МПа, то считаем, что в растянутом бетоне появляются трещины. Поэтому приходится ограничивать использование прочности арматуры при растяжении (обычный железобетон) и мириться с появлением трещин, чтобы повысить степень использования арматуры. Приблизительно при напряжении в арматуре $\sigma_s = 200 \dots 250$ МПа ширина раскрытия трещин находится в пределах $a_{crc} = 0,2 \dots 0,3$ мм.

Предельно допустимая ширина раскрытия трещин составляет 0,3 мм при длительном раскрытии и 0,4 мм при непродолжительном ($\sigma_s = 250 \dots 300$ МПа).

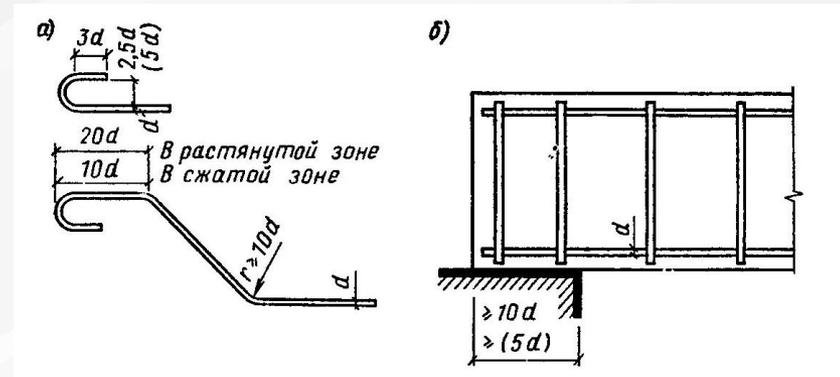


Анкеровка

Анкеровка – запуск арматуры за рассматриваемое сечение на длину зоны передачи усилий с арматуры на бетон, обусловленную сцеплением арматуры с бетоном.

Арматура из гладких стержней должна иметь по концам анкера в виде полукруглых крюков.

Анкерами гладких стержней в сварных сетках и каркасах служат стержни поперечного направления. Стержни периодического профиля также



Анкеровка арматуры: а – круглых гладких стержней, б – стержней периодического профиля на свободной опоре балки.



Базовую (основную) длину анкеровки, необходимую для передачи усилия в арматуре с полным расчетным сопротивлением R_s на бетон, определяют по формуле:

$$l_{0,an} = (R_s A_s) / (R_{bond} u_s),$$

где R_s – расчетное сопротивление арматуры, A_s и u_s – соответственно площадь поперечного сечения анкеруемого стержня арматуры и периметр его сечения, определяемые по номинальному диаметру стержня, R_{bond} – расчетное сопротивление сцепления арматуры с бетоном, принимаемое равномерно распределенным по длине анкеровки и определяемое по формуле:

$$R_{bond} = \eta_1 \eta_2 R_{bt}'$$

где R_{bt}' – расчетное сопротивление бетона осевому растяжению, η_1 – коэффициент, учитывающий влияние вида поверхности арматуры (1,5 – для гладкой арматуры, 2 – для холоднодеформированной периодического профиля, 2,5 – для горячекатаной и термически обработанной периодического профиля), η_2 – коэффициент, учитывающий влияние размера диаметра арматуры (1 – при диаметре арматуры менее или равному 32 мм, 0,9 – при диаметре 36 и 40 мм).



Требуемая расчетная длина анкеровки арматуры с учетом конструктивного решения элемента определяется по формуле:

$$l_{an} = \alpha l_{0,an} (A_{s,cal} / A_{s,ef}),$$

где α – коэффициент, учитывающий влияние на длину анкеровки напряженного состояния бетона и арматуры и конструктивного решения элемента в зоне анкеровки, $l_{0,an}$ – базовая длина анкеровки, $A_{s,cal}$ и $A_{s,ef}$ – площади поперечного сечения арматуры, соответственно, требуемая по расчету и фактически установленная.

Без дополнительных анкерующих устройств принимают $\alpha = 1$ для растянутых стержней, $\alpha = 0,75$ для сжатых.

Допускается уменьшать длину анкеровки, но не более, чем на 30 %. Фактическая длина анкеровки принимается не менее $0,3 l_{0,an}$, а также не менее $15d$ и 200 мм.



Деформации усадки

Усадка – уменьшение бетона в объеме при твердении в воздушной среде.

Для определения деформации усадки железобетона при зрелом бетоне пользуются формулой:

$$\varepsilon_{sl,s} = \varepsilon_{sl} 10^{-0,1p},$$

где p – процент армирования сечения, т.е. при 1 % $\varepsilon_{sl,s} = 0,8\varepsilon_{sl}$,
при 2 % $\varepsilon_{sl,s} = 0,63\varepsilon_{sl}$, при 10 % $\varepsilon_{sl,s} = 0,1\varepsilon_{sl}$.

Т.к. при воздействии на железобетонный элемент усадки бетона арматура работает упруго, то по ее деформациям укорочения можно определить сжимающие напряжения в ней, вызванные усадкой:

$$\sigma_s = \varepsilon_{sl,s} E_s$$

Уравнение равновесия внутренних усилий, возникающих в железобетонном элементе, армированном двухсторонней симметричной арматурой, имеет следующий вид:

$$\sigma_s A_s = \sigma_{bt} A,$$

где A_s – площадь сечения продольной арматуры, A – площадь сечения элемента.



Значение средних растягивающих напряжений в бетоне, действующих в поперечном сечении железобетонного элемента:

$$\sigma_{bt} = \varepsilon_{sl} E_s / (1/\mu + \alpha/v_t),$$

где α – отношение модулей упругости арматуры и бетона, v_t – коэффициент упругопластических деформаций бетона при растяжении.

Обычно ε_{sl} принимают наибольшей и постоянной для всех классов бетона, равной 0,0003, а v_t равным 0,5.

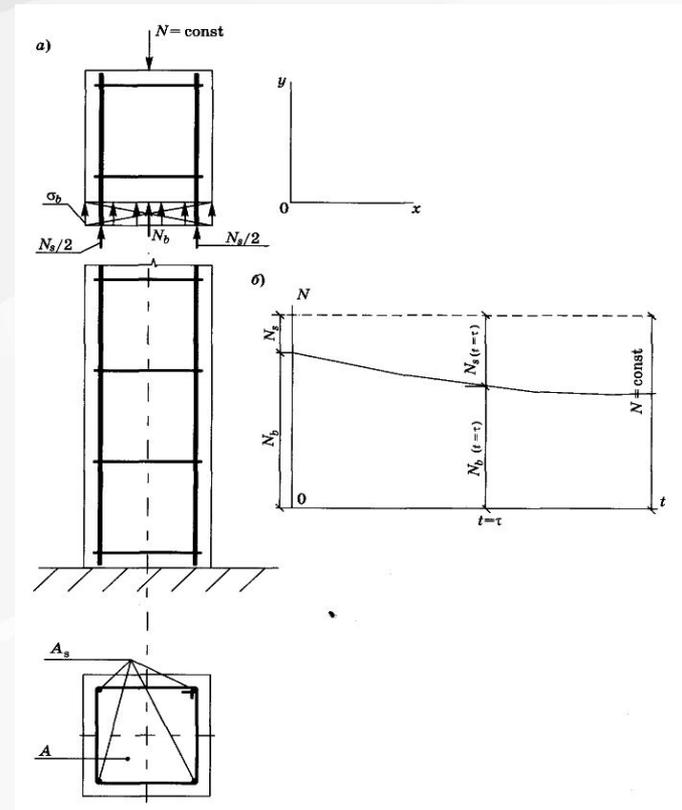
Влияние усадки эквивалентно понижению температуры на определенное число градусов. При $p = 2...3\%$ $\varepsilon_{sl} = 1,5 \cdot 10^{-4}$, что равносильно понижению температуры на 15°C.



Ползучесть

Ползучесть – нарастание неупругих деформаций в бетоне при длительном действии нагрузки.

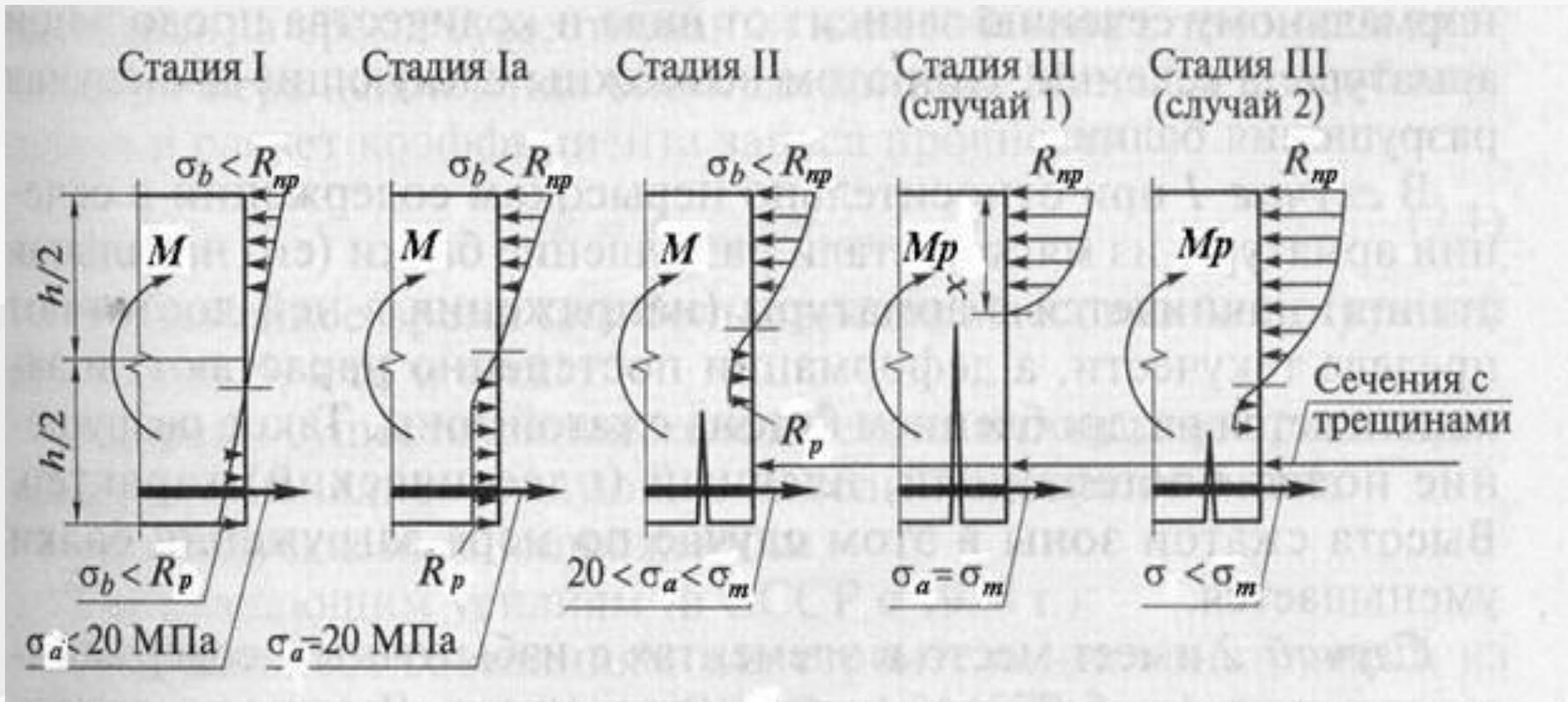
Вследствие ползучести бетона напряженное состояние железобетонного элемента, находящегося под постоянной нагрузкой, изменяется в течение времени за счет перераспределения усилий между бетоном и арматурой. Процесс перераспределения усилий особенно интенсивно протекает в течение первых 3...4 мес после нагружения, а затем в течение длительного времени (более одного года) затухает.



Перераспределение усилий между арматурой и бетоном в сжатой железобетонной призме вследствие ползучести бетона: а – схема работы железобетонной призмы под нагрузкой, б – характер изменения усилий в бетоне и арматуре при постоянной нагрузке в течение длительного времени.



Экспериментальные основы теории сопротивления железобетона и методы расчета железобетонных конструкций



Стадии напряженно-деформированного состояния изгибаемого элемента.



Стадия I продолжается до появления нормальных трещин в бетоне растянутой зоны, имеет место при нагрузках 15...20 % от разрушающей. Нейтральный слой проходит через центр тяжести приведенного к бетону сечения. При некотором увеличении нагрузки в волокнах бетона растянутой зоны развиваются неупругие деформации, начиная с крайних волокон. Деформации в них доходят до $\varepsilon_{bt0} = 1 \cdot 10^{-4}$.

Напряжения в растянутой арматуре стадии Ia определяются в соответствии с условием совместности деформаций $\varepsilon_s = \varepsilon_{bt}$ законом Гука:

$$\sigma_s = \varepsilon_s E_s = \varepsilon_{bt0} E_s = 1 \cdot 10^{-4} \cdot 2 \cdot 10^5 = 20 \text{ МПа.}$$



Стадия II наступает после появления трещин в бетоне растянутой зоны. Растягивающие усилия в сечениях, где образовались трещины, воспринимаются арматурой и бетоном над трещиной (расположенным ниже нейтральной оси). Между трещинами бетон работает на растяжение, и напряжения в арматуре уменьшаются по мере удаления от сечения с трещиной. Высота сжатой зоны бетона в этой и следующих стадиях переменна (в сечениях с трещинами меньше). Нагрузка доходит до 65 % от разрушающей. Трещины могут развиваться почти до нейтральной оси.

Стадия III – стадия разрушения. Бетон растянутой зоны из работы почти полностью исключается. В первом случае при относительно невысоком содержании в сечении арматуры из мягкой стали происходит плавное разрушение, напряжения в арматуре достигают предела текучести. Во втором случае происходит хрупкое (резкое) разрушение, элемент переармирован.



Коэффициент запаса прочности

$$K = N_{\text{разр}} / N_{\text{экспл}} = 2 \dots 2,5$$

(для большинства конструкций).

Отказ – прекращение выполнения строительной конструкцией хотя бы одной из предусмотренных для нее функций.

Предельные состояния – состояния, при наступлении которых конструкция перестает удовлетворять предъявляемым к ней требованиям.



2 группы предельных состояний

Расчеты бетонных и железобетонных конструкций следует производить по предельным состояниям, включающим:

- предельные состояния первой группы (о полной непригодности к эксплуатации вследствие потери несущей способности);
- предельные состояния второй группы (по непригодности к нормальной эксплуатации вследствие образования или чрезмерного раскрытия трещин, появления недопустимых деформаций и др.).



Нагрузки

Нагрузки:

- постоянные (собственный вес, давление грунтов, предварительное напряжение);
- временные:
 - а) длительные (вес оборудования, материалы в емкостях, стеллажи, температурные воздействия);
 - б) кратковременные (вес людей, ремонтные материалы, снеговые и ветровые нагрузки);
 - в) особые (сейсмические и взрывные воздействия).

Нагрузки в соответствии с СП:

- нормативные (близкие к наибольшему возможным);
- расчетные.



Изменчивость нагрузок в неблагоприятную сторону оценивают коэффициентом надежности по нагрузке γ_f

Расчетное значение нагрузки g для расчета конструкции на прочность или устойчивость определяется:

$$g = g^H \gamma_f$$

где g^H – нормативное значение нагрузки.

При учете собственного веса $\gamma_f = 1,1$, при учете собственного веса стяжек, засыпок, утеплителей, выполняемых в заводских условиях $\gamma_f = 1,2$, на строительной площадке $\gamma_f = 1,3$.

Следует принимать:

- при полном нормативном значении менее 2 кПа (2 кН/м²) – 1,3;
- при 2 кПа (2 кН/м²) и более – 1,2.

Расчеты по предельным состояниям второй группы ведут по нормативным и расчетным нагрузкам, взятым с $\gamma_f = 1$. Нагрузки выбираются в соответствии с рекомендациями СП.



Степень ответственности здания учитывается, вводя коэффициент надежности по ответственности γ_n .

Три уровня ответственности:

- повышенный (1а – пролеты более 100 м, объекты жизнеобеспечения, объекты гидро- и теплоэнергетики мощностью более 1000 МВт, 1б – музеи, архивы, органы управления, ТЦ, пролеты более 60 м, общественные и административные здания, высота которых более 75 м, мачты и трубы высотой более 100 м, тоннели, трубопроводы на дорогах высшей категории либо протяженностью более 500 м, мостовые сооружения с пролетами 200 м, объекты гидро- и теплоэнергетики мощностью более 150 МВт);
- нормальный;
- пониженный (объекты сезонного или вспомогательного назначения).



Минимальные значения коэффициента надежности по ответственности

Уровень ответственности	Минимальные значение коэффициента надежности по ответственности
1а	1,2
1б	1,1
2	1,0
3	0,8



Нормативные и расчетные сопротивления бетона

Нормативные значения сопротивления бетона

Вид сопротивления	Нормативные значения сопротивления бетона $R_{b,n}$ и $R_{bt,n}$ и расчетные значения сопротивления бетона для предельных состояний второй группы $R_{b,ser}$ и $R_{bt,ser}$, МПа, при классе бетона по прочности на сжатие														
	B10	B15	B20	B25	B30	B35	B40	B45	B50	B55	B60	B70	B80	B90	B100
Сжатие осевое (призмная прочность) $R_{b,n}$ $R_{b,ser}$	7,5	11,0	15,0	18,5	22,0	25,5	29,0	32,0	36,0	39,5	43,0	50,0	57,0	64,0	71,0
Растяжение осевое $R_{bt,n}$ $R_{bt,ser}$	0,85	1,1	1,35	1,55	1,75	1,95	2,1	2,25	2,45	2,6	2,75	3,0	3,3	3,6	3,8



Расчетное сопротивление бетона осевому сжатию для расчета по предельным состояниям первой группы вычисляют по формуле:

$$R_b = R_{b,n} / \gamma_b,$$

где γ_b – коэффициент надежности по бетону при сжатии 1,3.

Расчетное сопротивление бетона осевому растяжению для расчета по предельным состояниям первой группы вычисляют по формуле:

$$R_{bt} = R_{bt,n} / \gamma_{bt},$$

где γ_{bt} – коэффициент надежности по бетону при растяжении 1,5 – по несущей способности при назначении класса бетона по прочности на сжатие, 1,3 – на растяжение.



Расчетные значения сопротивления бетона

Вид сопротивления	Расчетные значения сопротивления бетона для предельных состояний первой группы R_b и R_{bt} , МПа, при классе бетона по прочности на сжатие														
	B10	B15	B20	B25	B30	B35	B40	B45	B50	B55	B60	B70	B80	B90	B100
Сжатие осевое (призменная прочность) R_b	6,0	8,5	11,5	14,5	17,0	19,5	22,0	25,0	27,5	30,0	33,0	37,0	41,0	44,0	47,5
Растяжение осевое R_{bt}	0,56	0,75	0,9	1,05	1,15	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,1	2,15	2,2

Значения сопротивления бетона R_{bt}

Вид сопротивления	Расчетные значения сопротивления бетона для предельных состояний первой группы R_{bt} , МПа, при классе бетона по прочности на осевое растяжение						
	$B_t 0,8$	$B_t 1,2$	$B_t 1,6$	$B_t 2,0$	$B_t 2,4$	$B_t 2,8$	$B_t 3,2$
Растяжение осевое R_{bt}	0,62	0,93	1,25	1,55	1,85	2,15	2,45



Расчетные сопротивления следует умножать на коэффициенты условий работы бетона γ_{bi} .

γ_{b1} – для БК и ЖБК, вводимый к расчетным значениям R_b и R_{bt} (1 – при непродолжительном действии нагрузки, 0,9 – при продолжительном).

γ_{b2} – для БК, вводимый к расчетным значениям сопротивления R_b , и учитывающий характер разрушений, равен 0,9.

γ_{b3} – для БК и ЖБК, бетонируемых в вертикальном положении, вводимый к расчетным значениям сопротивления R_b , равен 0,9.

γ_{b4} – условия работы бетона (влияние температур), равен 1.

Для второй группы

$$R_{b,ser} = R_{b,n} \quad R_{bt,ser} = R_{bt,n}$$



Нормативные значения сопротивлений

Арматура класса	Номинальный диаметр арматуры, мм	Нормативные значения сопротивления растяжению $R_{s,н}$ и расчетные значения сопротивления растяжению для предельных состояний второй группы $R_{s,ser}$, МПа
A240	6...40	240
A300	10...70	300
A400	6...40	400
A500	10...40	500
B500	3...12	500

Расчетные значения сопротивлений

Арматура классов	Расчетные значения сопротивления арматуры для предельных состояний первой группы, МПа		
	растяжению		сжатию R_{sk}
	продольной R_s	поперечной R_{sk}	
A240	215	170	210
A300	270	215	270
A400	350	280	350
A500	435	300	435 (400)
B500	435	300	415 (360)

Примечание. Значения сопротивления сжатию, указанное в скобках, используют только на кратковременное действие нагрузки.



В расчетах по несущей способности (1 гр) производится проверка:

$$N \leq N_{ult}$$

где N – вероятное наибольшее усилие, которое может возникнуть в элементе, N_{ult} – вероятная минимальная несущая способность элемента.

$$N(g^H, v^H, \gamma_f, \gamma_r, C) \leq N_{ult}(S, R_{b,r}, \gamma_{br}, \gamma_{br}, R_{s,r}, \gamma_s, \gamma_{si}),$$

где C – коэффициент, учитывающий, насколько точно выбранная расчетная схема отражает работу реальной конструкции и другие факторы, S – коэффициент, учитывающий форму и размеры поперечного сечения элемента.

Аналогично можно записать условия, которые должны соблюдаться при расчетах по предельным состояниям второй группы, т.е. при расчете прогибов, ширины раскрытия трещин и при расчете по образованию трещин.