

Усиление железобетонных и каменных конструкций с применением полимеррастворов

- Полимеррастворы представляют собой строительные растворы, в которых вяжущим являются органические полимеры.
- Достоинства полимеррастворов:
 - Высокая прочность, причем одинаковая прочность на сжатие и на растяжение;
 - Высокая технологичность, возможность управлять технологическими и эксплуатационными свойствами;
 - Демпфирующее свойство и стойкость к циклическому замораживанию и атмосферным воздействиям;
 - Стойкость к циклическим и вибрационным нагрузкам.
- Эксплуатационная температура: от -70°C до $+80^{\circ}\text{C}$.

Требования к клеящим составам

- Иметь адгезионную и когезионную прочность не ниже прочности восстанавливаемых бетонных и железобетонных конструкций;
- Быть долговечными и погодоустойчивыми;
- Допускать возможность регулирования их вязкости и жизнеспособности;
- Быть пригодными для использования при любой, в том числе при отрицательной, температуре окружающей среды.

В наибольшей степени этим требованиям удовлетворяют **эпоксидные клеи** и полимеррастворы на их основе

Состав полимерраствора:

- *связующее* - эпоксидная смола или компаунд.
- *пластификатор* для устранения хрупкости эпоксидного клея (дибутилфталат, полиэфир МГФ-9, тиокол);
- *растворитель* для снижения вязкости (ацетон);
- *отвердитель* (полиэтиленполиамин (ПЭПА), триэтаноламин (ТЭА), отвердитель УП-063М, аминофенольный отвердитель АФ-2 и пр.);
- *модификатор* для снижения вязкости и обеспечения твердения при отрицательных температурах (сламор).
- *наполнитель* для обеспечения прочности, снижения расхода связующего (кварцевый или речной песок, андезитовая мука, порландцемент)

- Хрупкость эпоксидных клеев устраняется введением пластификаторов.
- Эпоксидный компаунд К-115 и К-153 – это смолы соответственно пластифицированные полиэфиром МГФ-9 и МГФ-9 с тиоколом.
- Отверждение полимеррастворов при $t > 15^{\circ} \text{C}$ производится отвердителями ПЭПА, УП-0633М или ПЭПА с ТЭА.
- Отверждение *в зимнее время* осуществляется с помощью аминифенольного отвердителя АФ-2 или ПЭПА с введением модификатора *сламора*.
- Повышение вязкости и снижение текучести клея достигается введением *поливинилацетатного клея (ПВА)*.
- Иногда полимеррастворы армируются *стеклосеткой или стеклотканью* (высокопрочным стекловолоконистым

Составы эпоксидных клеев для полимеррастворов

Компоненты клея	Содержание компонентов частях по массе											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Связующее:												
Эпоксидная смола ЭД-16	100	100	-	-	-	-	-	-	-10	-	-	-
Эпоксидная смола ЭД-20	-	-	100	100	-	-	-	100	0	100	100	100
Эпоксидный компаунд КЭА-2	-	-	-	-	-13	-	100	-	-	-	-	-
Эпоксидный компаунд К-153	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-	-
Эпоксидный компаунд К-115	-	-	-	-	-	120	-	-	-	-	-	-
Пластификатор												
ПолиэфирМГФ-9 или дибутилфталат	20	20	20	20	-	-	-	-	20	20	20	20
Отвердитель:												
Полиэтиленполиамин (ПЭПА)	10	-	15	-	15	15	25	10	15	10	-	-
УП-0633М	-	18	-	22	-	-	-	-	-	-	-	-
Аминофенольный АФ-2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	30	30
Модификатор:												
Ацетон	-	-	-	-	-	-	-	-	10	-	-	-
Поливинилацетатная эмульсия ПВАЭ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10- 15	-	10- 15
Сламор	-	-	-	-	-	-	-	80- 100	-	-	-	-

Применение составов

- При положительных температурах применяются составы 1...7, 9...10; при отрицательных температурах составы 8, 11...12.;
- Технологическая жизнеспособность составов 1...9 и 11 составляет 1,5...2 ч.;
- Приклейка шайб - составы 10 и 12;
- Закрепление штуцеров – составы 1...5 и 11;
- Герметизация трещин – составы 1...6, 8 и 11;
- Инъекция трещин – составы 3...9 (в теплое время года) 8 и 11 (при $t \leq 15^{\circ} \text{C}$)

- При **необходимости регулирования жизнеспособности** в интервале от 1,5...2 часов до 7...8 суток применяется эпоксидный клей с комбинированным отвердителем состава, в частях по массе (состав 13):
- Эпоксидная смола ЭД-16 100
- Дибутилфталат 20
- Полиэтиленполиамин «а»
- Триэтаноламин «б»
- Наполнитель 0...400

Жизнеспособность клея	215	205	195	120	55	25	5	2
ПЭПА – «а»	0	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0	8,0	10,0
ТЭА – «б»	15	14,2	13,5	12,0	10,5	9,0	3,0	0

Полимерцементные растворы

- Представляют собой материал на основе композиционного вяжущего, включающего органический полимер (преимущественно поливинилацетатный клей) и *неорганическое вяжущее (портландцемент)*;
- В состав ПЦР входят также песок и вода;
- В зависимости от концентрации портландцемента различают полимерцементные и цементнополимерные растворы;
- Полимерцементные и цементнополимерные растворы находят применение, главным образом, при инъектировании трещин в каменной кладке.

Некоторые составы полимерцементных растворов для инъектирования в частях по массе

Состав компонентов	Компоненты для составов		
	П-1	П-2	П-3
Поливинилацетатный клей	40	40	50
Портландцемент	100	-	100-300
Гипс	-	300-400	-
Песок речной	150	-	-
Вода	25	50	50

Области применения составов:

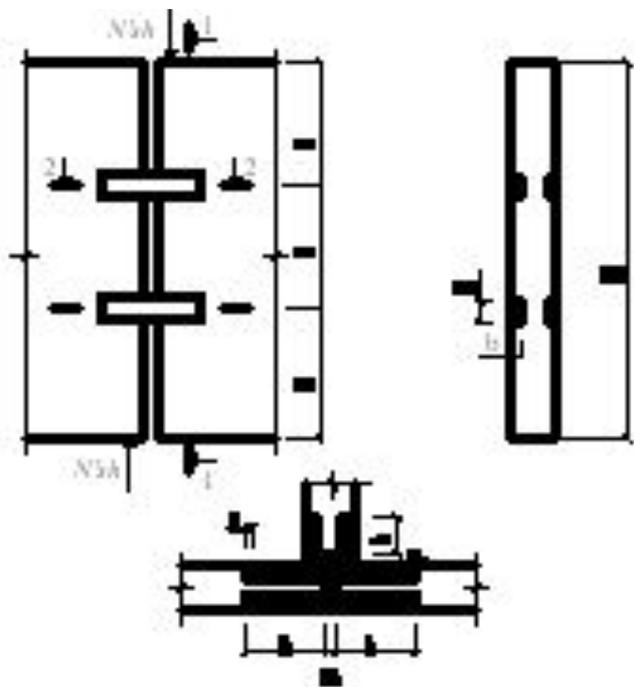
П-1 - для заделки швов и трещин, включая каменную кладку и замоноличивания стыков;

П-2 – для герметизации трещин;

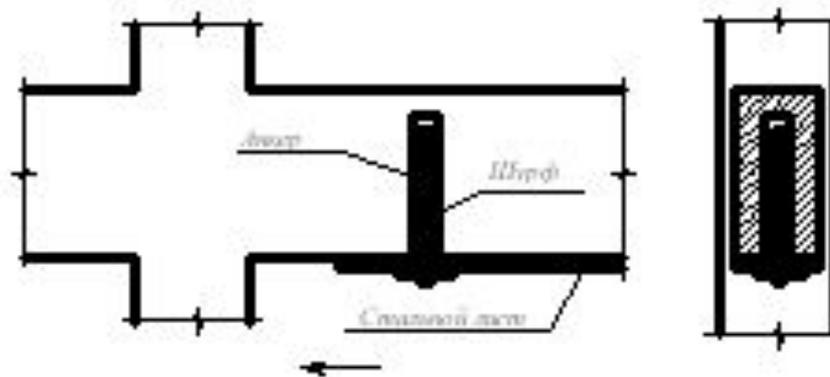
П-3 – для инъектирования трещин

Области применения полимеррастворов при усилении строительных конструкций :

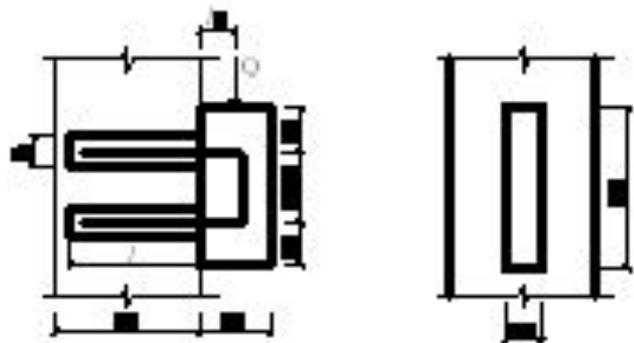
- - в качестве *инъекционного материала*, нагнетаемого в поврежденные участки каменной кладки, бетонных и железобетонных конструкций с целью восстановления монолитности или создания новых монолитных элементов;
- - в виде *армированных шпонок (ПАШ)* и *армированных шпонок со скобами (ПАШС)* для обеспечения связи между сборными элементами или участками, разделенными трещиной;
- - в качестве *адгезионной промазки* при усилении наращиванием бетоном;
- - для *усиления приклеиванием* штучных элементов усиления - бетонных, железобетонных, стеклоткани, стальных листов;
- - для устройства *бессварных полимеррастворных стыков*;
- - для *анкеровки арматуры* и закладных деталей в теле бетона без сварки;
- - в качестве *защитных покрытий*.



Усиление полимерроастворными армированными шпонками ПАШ



Наклейка стального листа с анкерованием

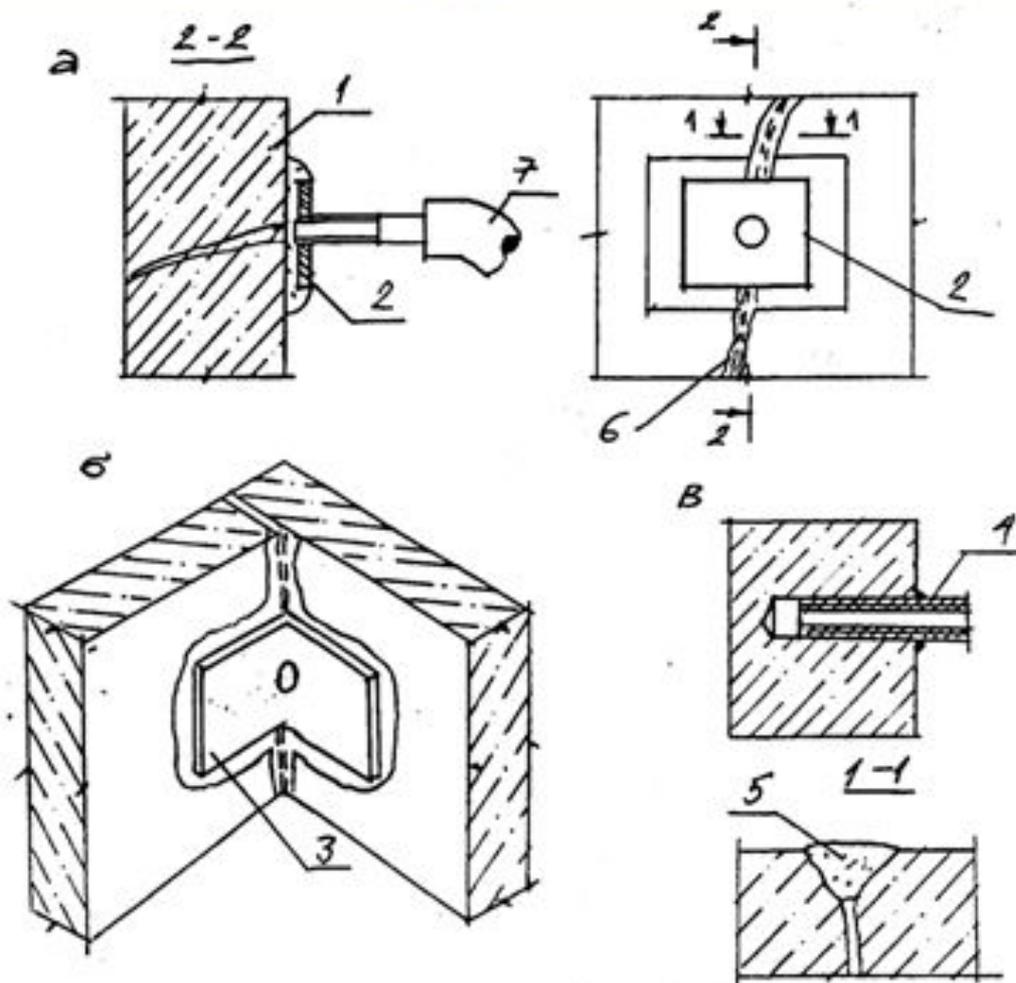


Устройство железобетонной консоли

Метод инъецирования

- Находит наибольшее применение.
- Предусматриваются два вида составов: *герметизирующий* – для создания замкнутого пространства трещин при инъецировании и *инъекционный* – для восстановления монолитности поврежденных трещинами конструкций.
- Герметизирующие составы должны обладать достаточной вязкостью и обеспечивать сжатые сроки твердения, инъекционные составы – обладать хорошей проникающей способностью и достаточно большой технологической жизнеспособностью.

Способы инъецирования трещин



Размеры деталей:
- шайбы
4x50x50 мм;
- уголки
50x50, l=50
мм, -
штуцеры –
глубина
отверстия 60
мм, длина
заделки 50
мм, диаметр
12 мм.

Рис. 9.1. Способы инъецирования трещин: а, б - через шайбу или уголок; в - через штуцер: 1 - стена с трещиной; 2 - шайба; 3 - уголок; 4 - штуцер; 5 - герметизация; 6 - трещина; 7 - гибкий шланг

Количество наполнителя , шаг установки шайб в зависимости от категории (ширины) трещин

Категория трещины	Ширина раскрытия трещин, мм	Шаг установки шайб, мм	Количество наполнителя на 100 частей по массе смолы
I	1. ... 0,3	150	0
II	0,3 ... 1	200 ... 250	0 ... 100
III	1 ... 2	300	100 ... 200
IV	2 и более	400	300 ... 400

Технология инъецирования:

Инъецирование заключается во введении под давлением через шайбы или штуцера в заранее загерметизированную трещину высокопрочных клеящих составов. Операции:

- *Подготовка трещин* (очистка от боев, зачистка от краски на ширину 10 см, грязи, пыли);
- *Приклейка инъекционных шайб, уголков или вклеивание штуцеров* в заранее просверленные отверстия;
- *Герметизация трещин* с проверкой сообщаемости сжатым воздухом или с помощью свечи;
- *Нагнетание инъекционного состава* с помощью специальных устройств **снизу вверх** при начальном давлении 0,2...0,5 кгс/см² с последующим доведением до 1...3 кгс/см².

Схема процесса инъецирования

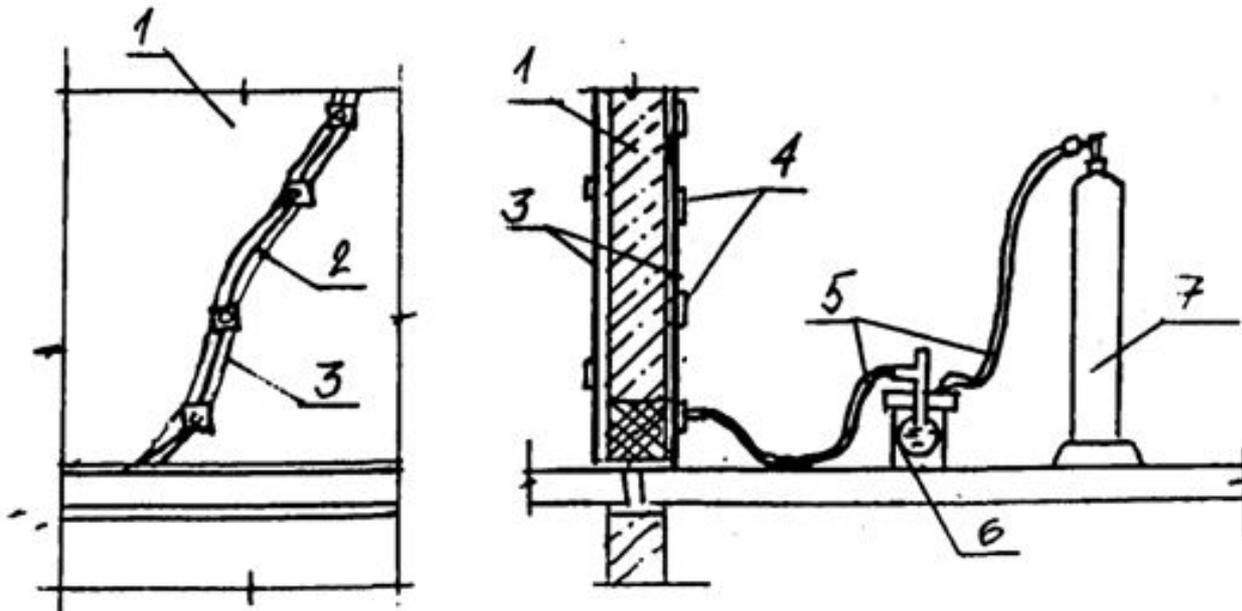
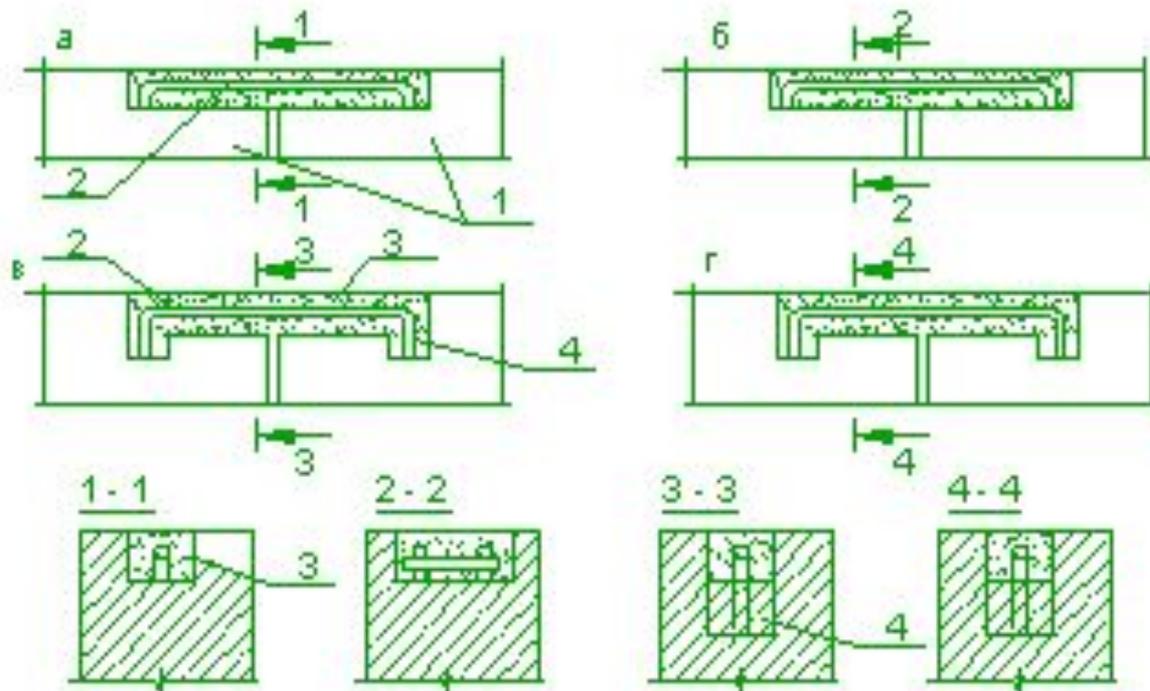


Рис. 9.2. Схема процесса инъецирования: 1 - стена; 2 - трещина; 3 - герметизация; 4 - шайбы; 5 - шланг; 6 - инъекционное устройство; 7 - баллон со сжатым воздухом

Адгезионная промазка

- Для высокопрочного соединения стали, старого бетона и других твердых материалов с новым бетоном на порландцементе в процессе естественной выдержки или термовлажностной обработки (**адгезионной промазки**) применяется клей ПЭФ-1. Жизнеспособность клея при высыхании в течение 30 мин. Составляет от 7 до 30 суток при температуре воздуха соответственно от 30°C до 20°C .

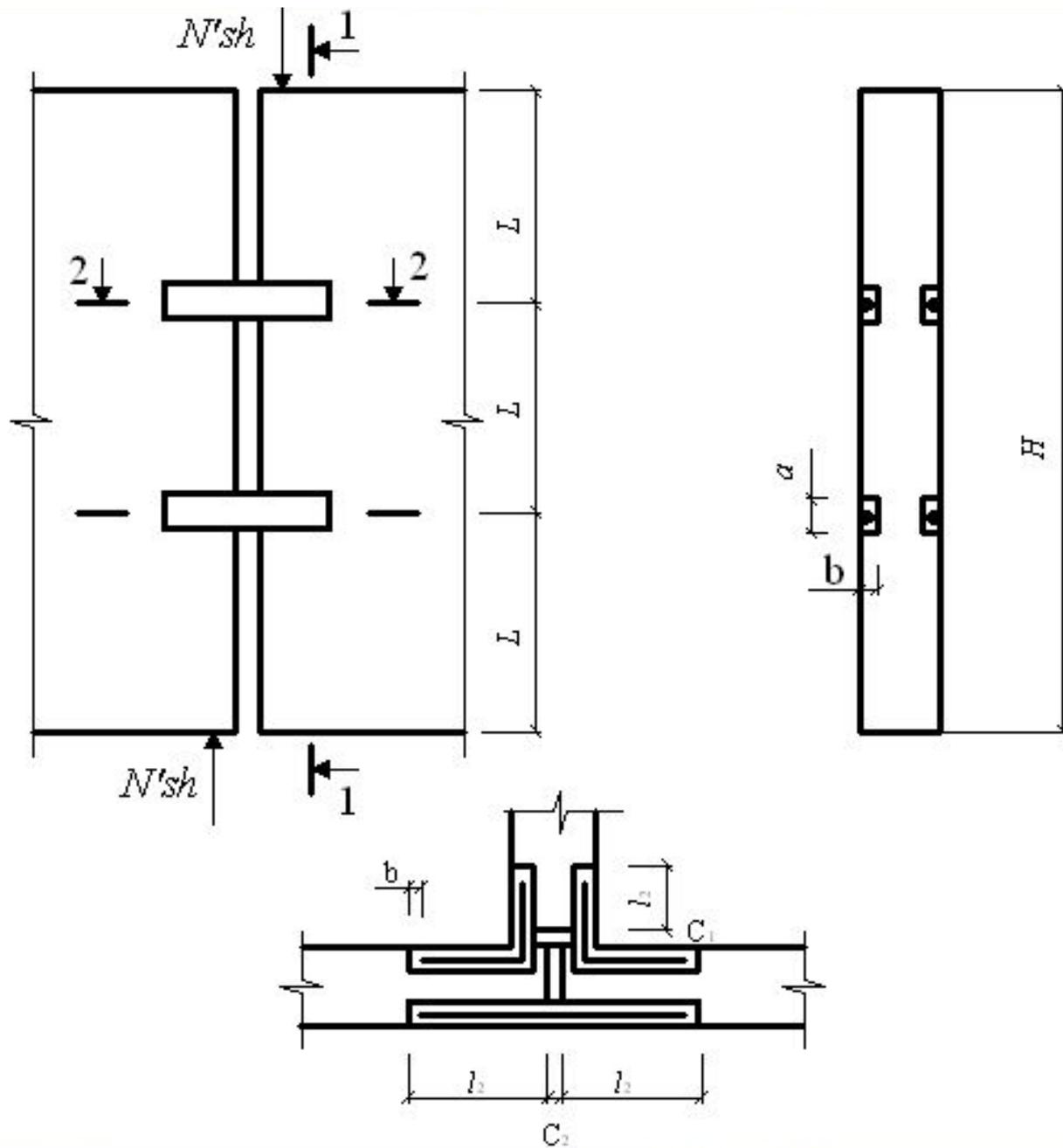
Усиление стыков и трещин полимеррастворными армированными шпонками ПАШ и ПАШС



- Армированные шпонки ПАШ и ПАШС представляют собой штрабу (2), вырезанную в бетоне стыкуемых элементов (1), армированную одним или несколькими стержнями (2) и заполненную эпоксидным полимерраствором. В ПАШС арматурный стержень на концах загибается и заделывается в отверстия (4) на концах штрабы.

Правила конструирования

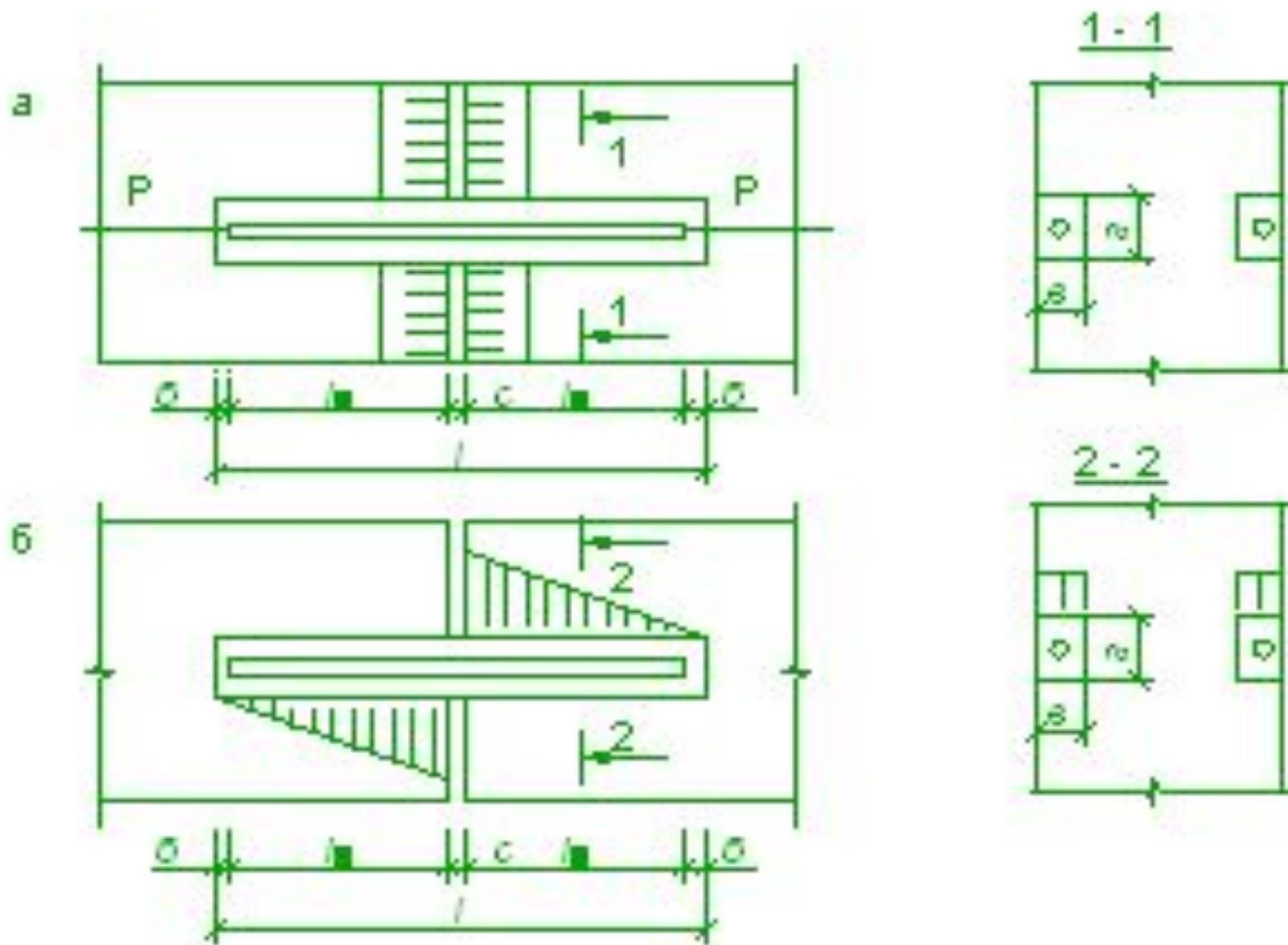
- ПАШ выполняется в конструкциях из бетонов класса В10 и выше
- ПАШС выполняется в конструкциях из бетонов низкого класса (ниже В10);
- Размеры сечения шпонок принимаются $a = b = 3...5$ см;
- Арматура принимается периодического профиля, диаметр не менее 10 мм, класса А300 или А400;
- Длина шпонки в одну сторону принимается по расчету, но не менее 10 диаметров арматуры.



Пример
 усиления
 стыков
 панелей
 с помощью
 ПАШ

Расчетные схемы работы ПАШ:

а – на растяжение; б – на срез



I. Расчет ПАШ на растяжение.

На действие растягивающих усилий рассчитываются арматура и бетон по периметру шпонки.

1) Условие прочности арматуры

$$N < A_s \cdot n_s \cdot R_s$$

откуда определяется необходимое сечение стержня

где n_s - количество арматурных стержней в одной шпонке;

N - усилие, приходящееся на одну шпонку.

2) Размер шпонки определяется из условия эквивалентности работы бетона на срез по периметру шпонки и арматуры на растяжение:

$$l_1 \cdot (2b + a) \cdot R_{b,sh} \cdot \gamma_{bi} \geq \pi \cdot d_s^2 \cdot n_s \cdot R_s / 4$$

Откуда определяется длина заделанной части шпонки l_1 задаваясь размерами шпонки $a = 30 \dots 50$ мм и $b = 30 \dots 50$ мм;

$R_{b,sh}$ ~ расчетное сопротивление бетона срезу, принимается $R_{b,sh} = 1.58 R_{bt}$

3) Общая длина шпонки:

$$l = l_1 + l_2 + C + 2\delta$$

где C - зазор в стыке; δ - 10 мм - защитный слой полимерраствора.

Длина шпонки должна быть не менее $l \geq 10d_s$.

II. Расчет на сдвигающие усилия.

При действии сдвигающих усилий в шпоночном соединении выполняется расчет прочности шпонки на срез и расчет прочности бетона под шпонкой на смятие.

1) *Длина заделки шпонки из условия обеспечения прочности шпонки на срез:*

$$l_i > 2(N_{sh} - a \cdot b \cdot R_{p,sh}) / (\gamma_{p,sh} \cdot a \cdot R_{p,sh})$$

где $\gamma_{p,sh}$ - коэффициент, учитывающий неравномерность распределения усилий среза в продольном направлении шпонки, $\gamma_{p,sh} = 0.5$.

2) *Длина заделки шпонки из условия обеспечения прочности бетона на смятие*

$$l_i > N_{sh} / (\psi \cdot R_{d,loc} \cdot b)$$

где $R_{d,loc}$ - расчетное сопротивление бетона смятию, принимается по СП52-101-03;

ψ - коэффициент, учитывающий неравномерность распределения напряжений, принимаемый $\psi = 1$ - если напряжения равномерны, $\psi = 0.75$ - если напряжения неравномерны.

$R_{p,sh}$ - расчетное сопротивление полимерраствора срезу, принимается

$$R_{p,sh} = \frac{1}{\lambda_p} \cdot \gamma_{p1} \cdot m_f \cdot m_w \cdot m_t \cdot R_{p,sh}^n$$

где $R_{p,sh}^n$ - нормативное сопротивление полимерраствора срезу;

γ_p - коэффициент надежности по материалу, принимается $\gamma_p > 1,2 \dots 1,3$;

γ_{p1} - коэффициент длительного сопротивления полимерраствора, принимается

$\gamma_{p1} = 0.6$ - при длительном воздействии нагрузок и $\gamma_{p1} = 1$ - при кратковременных нагрузках типа сейсмических.

m_f m_w m_t - соответственно атмосферный, влажностный и температурный коэффициенты условий работы.

Нормативное сопротивление полимерраствора срезу принимается в зависимости от состава по справочникам

Состав	Компоненты	Вес, г	$R_{p,sh}^n$, МПа
Состав 1	Эпоксидный клей	100	15
	Пластификатор полиэфир МГФ-9 или дибутилфталат	20	
	Отвердитель	15	
Состав 2	Эпоксидный компаунд К115	120	20
	Отвердитель ПЭПА	15	

Значения температурного (m_t), атмосферного (m_f) и влажностного (m_w) коэффициентов условий работы клеевых составов

Клей	Значение температурного коэффициента при °С						
	-40	-20	0	20	40	60	80
ЭПД-1	0,5	0,7	0,85	1,0	0,5	0,3	0,2
К-153	0,8	0,8	0,9	1,0	0,9	0,6	0,4

Клей	Значение атмосферного коэффициента			
	Климатический район			
	сухой	нормальный	нормальный	сухой
	жаркий	теплый	холодный	холодный
ЭПД-1	0,6	0,9	0,8	0,9
К-153	0,6	0,9	0,8	0,9

Клей	Значение влажностного коэффициента при °С
ЭПД-1	0,8
К-153	0,8

Усиление поверхностно-оклеечным стеклопластиком (ПОС)

- ПОС представляет собой стеклопластик, образуемый при наклеивании эпоксидным клеем на поверхность бетона **стеклоткани или стеклосетки**.
- Применяются составы эпоксидного клея 3...8 и 11.
- ПОС применяется как для усиления стыков, так и для усиления элементов – панелей, стенок, балок, плит, опорных участков конструкций и пр.
- Поверхность бетона, на который предусматривается устройство ПОС, должна быть гладкой, чистой и сухой; все дефекты бетона и зазоры в стыке шпаклюются полимерцементным раствором, неровности сглаживаются наждаком. Подготовленные участки бетона промазываются клеевым составом и на них наклеивается полоска стеклоткани, затем ее поверхность промазывается клеевым составом и т.д. Количество слоев стеклоткани определяется расчетом.
- Соединение ПОС защищается слоем огнестойкой штукатурки. Для этого через 30...40 мин после нанесения последнего слоя клея на

Усиление фундаментов

Осуществляется:

- Замоноличиванием по адгезионной промазке (клей ПФ-1 или состав 8) иногда с анкерровкой арматурных стержней;
- Приклеиванием эпоксидным полимерраствором (составы 3...6, или 11) сборных элементов

Усиление сжатых элементов

Осуществляется:

- Устройством железобетонных обоек по адгезионной промазке;
- Поверхностным армированием стальным листом или оклеечным стеклопластиком.
- Элементы усиления по всей длине или в пределах наиболее нагруженных участков;
- Длина перепуска элементов усиления: $l_2 \geq b$; $l_2 \geq 500$;
 $l_2 \geq l_{an}$; $l_2 \geq 5t$;

Конструирование обойм

Железобетонная обойма

- Толщина обоймы (t) принимается не менее 50 мм.
- Шаг хомутов $s \leq 15d_s$; $s \leq 3t$; $s \leq 200$ мм;

Стальная обойма

- Толщина стальных листов принимается 3...4 мм;
- Листы соединяются с помощью уголков;
- Для совместной работы в зазор между колонной и листом инъецируется полимерраствор (составы 1...6, 8, 11) через штуцер снизу вверх;

Поверхностно-оклеечный стеклопластик:

- Стеклоткань приклеивается эпоксидным клеем;
 - Количество слоев по расчету но не менее двух;
- На стальную обойму и стеклопластик наносится

- Условие прочности центрально сжатой колонны, усиленной облоймой:

$$N \leq \varphi[\gamma_b(R_b A_b + R_{sc} A_s) + \gamma_r(R_{b,r} A_r + R_{sc,r} A_{s,r})]$$

- γ_r – коэфф. условий работы облоймы $\gamma_r=0,9$ при ПН поперечной арматуре; $\gamma_r=0,8$ при обычных хомутах

- Условие прочности центрально сжатой колонны, усиленной поверхностно-клеечным стеклопластиком:

$$N \leq \varphi \gamma_b (R_b^* A + R_{sc} A_s)$$

- Приведенное расчетное сопротивление усиленной конструкции

$$R_b^* = R_b (1 + 0,5 \sigma_r / R_{b,t})$$

- Дополнительное напряжение в бетоне, вызванное работой ПОС:

$$\sigma_r = 2n_f P_f / b$$

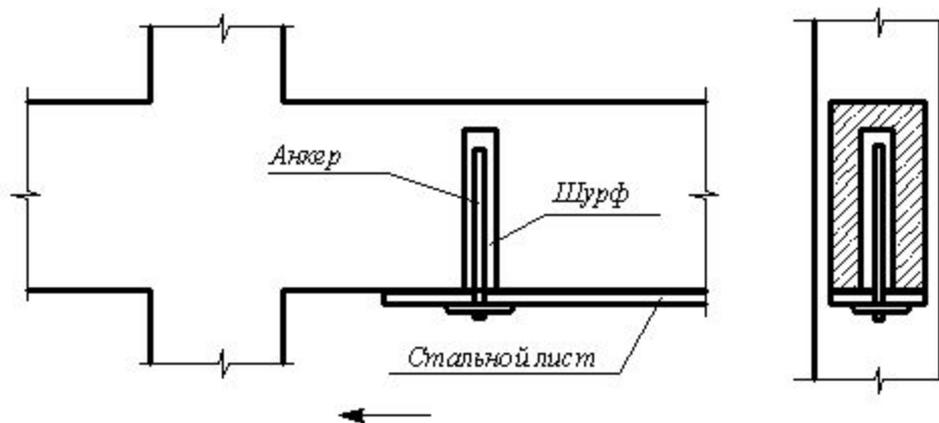
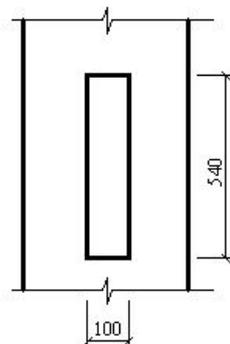
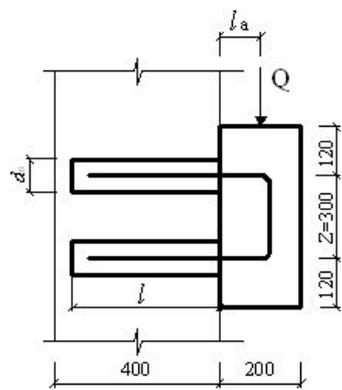
- n_f - количество слоев стеклоткани; b – ширина колонны; P – расчетная прочность на растяжение 1 м

Количество слоев	Прочность стеклопластика, МПа		
	Стеклосетка РС ₂ 3	Стеклоткань СТ-11	Стеклоткань СТ-13
1	16,5	35,5	52,0
2	21,0	64,0	70,0
3	34,0	71,5	82,5

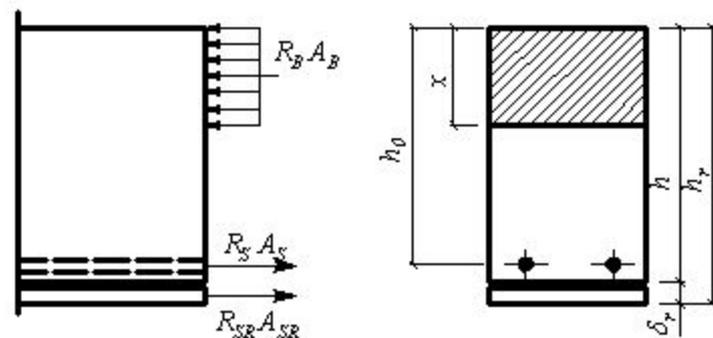
Усиление изгибаемых элементов

Осуществляется:

- с помощью поверхностного армирования;
- наращиванием бетона по адгезионной промазке.
- Поверхностное армирование выполняется обычными или предварительно напряженными стальными листами или оклеечным стеклопластиком.
- Ввиду лучшей адгезии наращивание бетоном предпочтительнее по сравнению с приклеиванием стальных листов.
- Усиление на воздействие поперечных сил выполняется приклейкой стальных листов толщиной 3...4 мм или нескольких слоев стеклоткани.



Анкеровка арматуры жб консоли с помощью полимерраствора



Приклеивание стального листа к жб балке с анкером

Обеспечение связи

- Совместная работа элемента усиления с усиливаемой конструкцией в приопорной зоне обеспечивается дополнительно устройством связи в виде:
- Хомута или анкера, при сдвигающих усилиях, не превышающих несущую способность клеевого соединения бетона;
- Поверхностно-армирующего элемента – стальные листы толщиной 2...3 мм или оклеечный стеклопластик при сдвигающих усилиях, превышающих несущую способность клеевого соединения бетона.

Повышение монолитности кладки инъецированием

- Для инъецирования применяются портландцемент марки не ниже 400, песок мелкий с модулем крупности до 1,0...1,5 и тонкомолотый, пластифицирующие добавки нитрит натрия (до 5% массы цемента), полимерацетатная эмульсия ПВА с П/Ц = 0,05 и др.
- Нагнетание раствора производится после герметизации трещин через металлические патрубки при давлении до 0,6 МПа. Плотность заполнения кладки определяется через 28 суток ультразвуковым или другими неразрушающими методами. Ориентировочная прочность инъекционных растворов сжатию должна составлять 15...25 МПа.

Материалы

- Для усиления кладки **с раскрытием трещин до 1,5 мм** рекомендуются
 - *полимерные растворы* на основе эпоксидной смолы состава, в частях по массе: (эпоксидная смола ЭД-20 (или ЭД-16) - 100; модификатор МГФ-9 - 30; отвердитель полиэтиленполиамин - 15; тонкомолотый песок – 50);
 - *цементно-полимерные растворы* состава: цемент; полимер ПВА; песок в соотношении 1:0,15:0,25 при В/Ц = 0,6.
- Для усиления кладки **с раскрытием трещин 1,5 мм и более** рекомендуются:
 - *цементно-полимерные растворы* состава: цемент; полимер ПВА; песок в соотношении 1:0,15:0,3 при В/Ц = 0,6;
 - *цементно-песчаные растворы* состава: цемент; пластификатор нитрит натрия; песок в соотношении 1:0,05:0,3 при В/Ц = 0,6

- Повышение прочности кладки, усиленной инъецированием в расчетах, учитывается введением поправочного коэффициента, величина которого принимается равной:
 - 1,1 - для кладки с трещинами силовой природы, усиленной цементным и цементно-полимерным раствором;
 - 1,3 - то же, усиленной полимерным раствором;
 - 1,0 - для кладки с трещинами от неравномерной осадки стен или нарушения связи между стенами.
- Следует отметить, что нагнетание раствора вначале несколько снижает прочность кладки, т.к. происходит ее смачивание. По опытным данным, водонасыщенная кладка теряет прочность на 12...16%. Поэтому в период усиления инъекционным способом может оказаться необходимым предварительная разгрузка усиливаемых