

Основные принципы крепежных технологий

2.1	Общие положения	8
2.2	Строительные материалы (основы)	8
2.3	Установка	9
2.4	Тип и направление действия нагрузок	11
2.5	Принципы креплений	12
2.6	Виды разрушений креплений	14
2.7	Определяющие параметры	16
2.8	Испытания анкеров	27
2.9	Литература	31

2

Основные принципы крепежных технологий

2

2.1 Общие положения

В последние годы крепежные технологии стремительно развиваются. Высокоэффективные методы сверления способствовали созданию многих разнообразных элементов креплений, устанавливаемых после изготовления базовой конструкции. Очень часто пользователю трудно решить, какое крепление подходит для его конкретного применения. Часто ему необходимо определять не только характеристики креплений, но он должен также учитывать ряд дополнительных параметров влияющих на крепление, таких как несущая способность анкера, расстояние от края и расстояния между осями анкеров, а также размеры строительных деталей (элементов конструкции). Состояние бетона (с трещинами или без трещин) также необходимо учитывать в процессе проектирования. В последующих разделах в связи с важностью объяснения технических терминов, будут рассмотрены наиболее важные параметры, которые влияют на характеристики анкеров.

2.2 Строительные материалы (анкерные основы)

В строительстве используется множество различных материалов. Разнообразие видов каменных кладок, бетонов, материалов в виде плит, их прочность, – все это необходимо учитывать при выборе креплений. Например, это означает, что крепления для сплошных материалов не обязательно подходят для материалов с пустотами.

2.2.1 Бетон

Необходимо четко отличать обычный бетон от легкого бетона. Бетон состоит из цемента и наполнителя. Наполнители, используемые для обычного бетона, в легком бетоне могут быть заменены на другие более легкие материалы, такие как вспененный шлак (PFA). Однако прочность на сжатие у обычного бетона намного больше, чем у легкого бетона.

Обычный бетон в данном техническом справочнике обозначается в соответствии с ENV 206 (Eurocode 2) заглавной буквой C и двумя последующими цифрами (например, 20/25). Первая цифра указывает прочность на сжатие, измеренную на цилиндрах с диаметром 150 мм и длиной 300 мм, а вторая цифра указывает прочность на сжатие, определенную на кубиках с размерами 150x150x150 мм³. В таблице 2.1 дана классификация прочности бетона, а в таблице 2.2 приведена информация о классах прочности бетона, используемых в разных странах.

В бетонах используются главным образом стальные анкеры (анкеры с внутренним упором, распорные или химические анкеры), однако при малых нагрузках могут устанавливаться также и нейлоновые крепления.

Таблица 2.1:

Классы прочности бетона, принятые в техническом справочнике

ENV 206	Класс прочности бетона	C 12/15	C 16/20	C 20/25	C 25/30	C 30/37	C 40/50	C 45/55	C 50/60
	$f_{ck, cyl}^{1)}$ [Н/мм ²]	12	16	20	25	30	40	45	50
	$f_{ck, cube, 150}^{2)}$ [Н/мм ²]	15	20	25	30	37	50	55	60

¹⁾ Измеренный на цилиндрах с диаметром 150 мм и высотой 300 мм.

²⁾ Измеренный на кубках с размерами 150x150x150 мм³.

Основные принципы крепежных технологий

2.2.2 Легкий бетон

Для применения в легких бетонах компания fischer имеет крепления с различными допусками и рекомендациями по использованию. Кроме того, может быть рассмотрена возможность проведения испытаний на строительной площадке, дабы определить характеристики крепления непосредственно на месте эксплуатации. Дополнительные рекомендации могут быть получены в местном Техническом Центре fischer.

2.2.3 Тонкостенные материалы

Листовые материалы, такие как гипсокартонные плиты, плиты ДСП, фанера и гипсоволоконные листы с низкими уровнями прочности часто используются в строительстве и при ремонте помещений. Такие материалы требуют креплений, которые работают за счет фиксации во внутренней полости основы или с задней стороны листового материала.

2.3 Установка

2.3.1 Глубина сверления отверстия

Глубина сверления отверстия h_0 зависит от типа и размера крепления. В большинстве случаев глубина отверстия больше, чем глубина анкерки. В некоторых случаях используются специальные сверла, такие как универсальное сверло FZUB fischer для анкерov Zyko®, с помощью которого сверлится отверстие нужной глубины. Во всех других случаях следует обратиться к соответствующим таблицам «Характеристики анкера», приведенным в данном Техническом Справочнике.

2.3.2 Глубина анкерки

Глубина анкерки h_{ef} существенно влияет на несущую способность крепления. Для анкерov с внутренним упором или распорных анкерov эта величина обычно измеряется от поверхности несущей основы до конца расширяющейся части крепления (см. рисунок 2.1.а).

2

Таблица 2.2:

Классы прочности бетона, принятые в разных странах

Страна	Тестируемый образец	Размер ¹⁾ [см]	Класс прочности бетона		Единица измерения	Стандарт
Австрия	Кубики	20 x 20 x 20	B5/B80, B10/B120, B15/B160, B20/B225, B25/B300, B30/350, B40/B500, B50/B600, B60/B700		N/см ² / кг/см ²	N B 4200
Китай	Кубики	15 x 15 x 15	C15, C20, C25, C30, C35, C40, C45, C55, C60		N/см ²	GBJ 10-89
Дания	Цилиндр	15 x 30	5, 10, 15, 25, 35, 45, 55		N/см ²	DS 411
Франция	Цилиндр	16 x 32	C20/25, C25/30, C30/37, C35/45, C40/50, C45/55, C50/60		N/см ²	
Германия	Кубики	15 x 15 x 15	C12/15, C16/20, C20/25, C25/30, C30/37, C40/50, C45/55, C50/60		N/см ²	DIN 1045-1
Великобритания	Кубики	15 x 15 x 15	C25/10		N/см ²	BS 1881: Part 116
Италия	Кубики	15 x 15 x 15 16 x 16 x 16 20 x 20 x 20	C12/15, C20/25, C30/37, C40/50, C50/60		N/см ²	ENV 206
Япония	Цилиндр	10 x 20	≥15		N/см ²	JIS A 1108
Корея	Цилиндр	10 x 20	C 180, C 210, C 240, C 270, C 300		кг/см ²	KS F 2405
Нидерланды	Кубики	15 x 15 x 15	B15, B25, B35, B45, B55, B65		N/см ²	NEN 6720
Испания	Цилиндр	15 x 30	Неармированный бетон:	HM-20, HM-25, HM-30, HM-35, HM-40, HM-45, HM-50	N/см ²	EHE
			Армированный бетон:	HA-25, HA-30, HA-35, HA-40, HA-45, HA-50		
			Предварительно напряженный бетон:	HP-25, HP-30, HP-35, HP-40, HP-45, HP-50		
Швеция	Кубики	15 x 15 x 15	K8, K12, K16, K20, K25, K30, K35, K40, K45, K50, K55, K60, K70, K80		N/см ²	BBK 79
Швейцария	Кубики	20 x 20 x 20	B25/15, B30/20, B35/25, B40/30, B45/35, B50/40		N/см ²	SIA 162
США	Цилиндр	15 x 30	2000, 3000, 4000, 6000		фунт/кв. дюйм	ACI 318

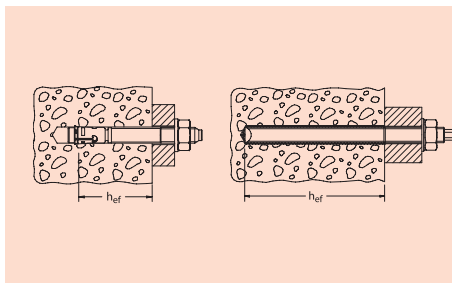
¹⁾ Преобразование: $f_{\text{Цилиндр}} = 0.85 \times f_{\text{Кубики, 20x20x20}}$; $f_{\text{Кубики, 15x15x15}} = 1.05 \times f_{\text{Кубики, 20x20x20}}$

Основные принципы крепежных технологий

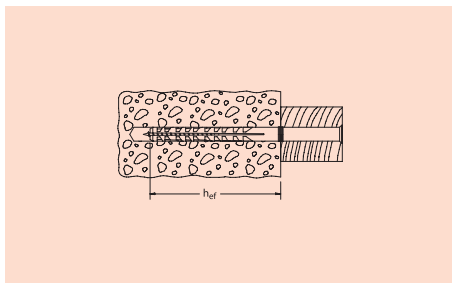
2

Для химических анкеров это расстояние определяется до конца резьбовой шпильки (смотрите рисунок 2.1.b), а для нейлонового дюбеля до конца распорной втулки (смотрите рисунок 2.1.c). Значения глубин анкеровки для разных креплений могут быть найдены в соответствующих таблицах 4.3 «Разрушение бетона по конусу и растрескивание для анкера, установленного в наиболее неблагоприятных условиях» в расчетном разделе настоящего Технического Справочника.

Рисунок 2.1: Определение глубины анкеровки h_{ef}



a) Металлический анкер b) Химический анкер

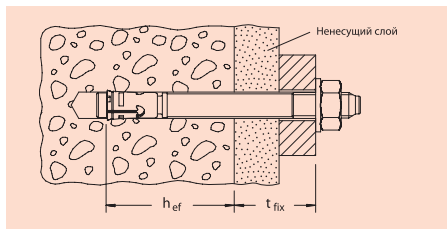


c) Нейлоновый анкер

2.3.3 Полезная длина

Полезная длина (толщина крепления) t_{fix} соответствует максимальной толщине подсоединяемой детали. Если на стене имеется несущий слой, то его толщина должна быть включена в полезную длину (см. рисунок 2.2). Для анкеров с внутренней резьбой толщина прикрепляемой детали ограничена соответствующей длиной болта, причем это ограничение в общем случае действует и для всех других типов анкеров.

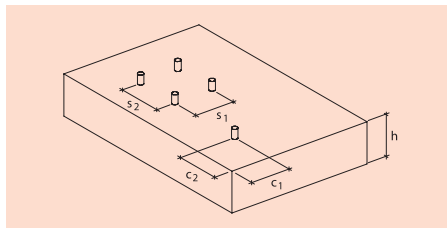
Рисунок 2.2: Толщина крепления при основе с несущим слоем (например, штукатурка, плитка)



2.3.4 Краевое и осевое расстояние, толщина конструктивного элемента

Осевое расстояние s и краевое расстояние c для крепления определяются, как расстояние между осями соседних креплений и соответствующее расстояние до свободного края. Толщина конструктивного элемента определяется, как толщина элемента строительной конструкции, как показано на рисунке 2.3.

Рисунок 2.3: Определения осевых (s_1 и s_2), краевых (c_1 и c_2) расстояний и толщины конструктивного элемента h .



Для того чтобы крепление выдерживало максимально возможную нагрузку, необходимо обеспечивать определенные осевые $s_{cr,N}$, $s_{cr,sp}$ краевые $c_{cr,N}$, $c_{cr,sp}$ расстояния. Для того чтобы предотвратить скалывание, раскалывание и растрескивание основного материала во время установки, необходимо соблюдать минимальные значения s_{min} , c_{min} и h_{min} . Необходимые расстояния приведены в таблицах «Характеристики анкеров» соответствующего раздела данного Технического Справочника. Величины $s_{cr,N}$, $s_{cr,sp}$ и $c_{cr,N}$, $c_{cr,sp}$ приведены в таблицах 4.3.2 раздела «Разрушение бетона по конусу» и таблицах 4.3.3 «Растрескивание бетона» в соответствующей части настоящего Технического Справочника.

Основные принципы крепежных технологий

2.3.5 Виды монтажа

Имеются три различных типа монтажа:

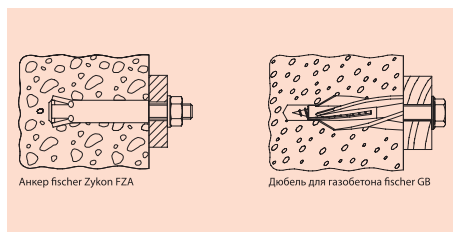
- Предварительный монтаж
- Сквозной монтаж
- Дистанционный монтаж

Примеры предварительного монтажа представлены на рисунке 2.4а, при этом отверстие в основе сверлится до того, как устанавливается на место присоединяемая деталь. Просверленное отверстие обычно больше, чем отверстие в подсоединяемой детали.

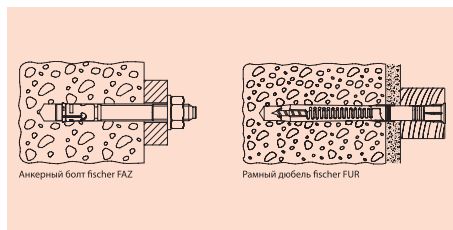
При сквозном монтаже отверстие в основном материале сверлится через монтируемое изделие, а крепежное изделие вставляется в основной материал через отверстие в детали (см. рисунок 2.4б). Таким образом, отверстие в присоединяемой детали имеет, по крайней мере, такой же размер, как и просверленное отверстие в основании.

Дистанционный монтаж обеспечивает установку присоединяемого изделия на некотором, заранее определенном расстоянии от поверхности основания (см. рисунок 2.4с). Обычно в этом случае используются стальные анкеры с внутренней резьбой.

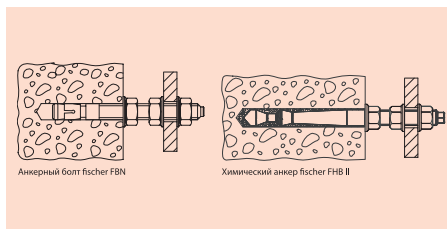
Рисунок 2.4:
Типы монтажа



а) Предварительный монтаж



б) Сквозной монтаж



с) Дистанционный монтаж

2.3.6 Процедура монтажа

Последовательность действий при монтаже для различного типа креплений проиллюстрированы в соответствующих разделах Технического Справочника.

2.4 Тип и направление действия нагрузки

Приложенные нагрузки (силы) в строительной терминологии определяются как «воздействия». Приведенный ниже обзор локальных воздействий (таблица 2.3) взят из работы /10/. При рассмотрении воздействий принимается во внимание их продолжительность и частота. Далее воздействия различаются по тому, участвует ли в их создании сила тяжести или нет.

Гравитационные силы возникают либо при ударах, либо при землетрясениях, либо от машин, двигающиеся части которых имеют значительные ускорения. Если нагрузка является постоянной или изменяется с низкой частотой и без воздействия инерционных масс, тогда воздействие считается статическим. Подобные воздействия также называются в основном статическими или преобладающе статическими воздействиями. Однако если нагрузка изменяется постоянно, без влияния инерционных масс, то такая нагрузка называется постоянно изменяющейся нагрузкой, приводящей в некоторых случаях к усталости материалов. Если имеет место воздействие инерционной массы, то, независимо от величины изменения нагрузки, такая нагрузка называется динамической.

Статические нагрузки являются суммой постоянных нагрузок и медленно изменяющихся нагрузок. Не изменяющимися нагрузками являются вес присоединяемой детали (в случае креплений) и постоянно действующие нагрузки, такие

Основные принципы крепежных технологий

2

как плиты перекрытий или стяжка. Медленно меняющимися нагрузками являются нагрузки, обусловленные движением людей, перестановкой мебели, перемещением несущих стен-перегородок, материалов на складах, а также ветровые и снеговые нагрузки. Величины этих нагрузок должны определяться в соответствии с нормами страны, установленными для нагрузок на здания и сооружения.

Смещения прикрепленного изделия могут также возникать из-за ползучести или перемещений в бетоне и изменений температуры. Изменения температуры, приводящие к смещению прикрепленного изделия, могут иметь место на фасадах или в других ситуациях, например, в трубах, силосных башнях или на не отапливаемых складах. Чтобы избежать таких перемещений, при расчете анкеров учитываются дополнительные силы, кроме того, геометрия и расположение анкеров, а также материал, в котором они установлены, также оказывают дополнительное влияние. Диапазон изменения температуры может играть определяющую роль на уровень усталости. Например, для фасадов изменения температуры могут приводить к изменениям нагрузки от 10^{-4} до $2 \cdot 10^{-4}$ раз, т. е. при сроке службы 50 лет значение нагрузки в среднем меняется 1 раз в день.

Постоянно изменяющиеся нагрузки (усталостные) имеют место на подкрановых путях, мостах, в машинах и в подъемных устройствах. Величины этих воздействий должны учитываться в соответствии с нормами каждой конкретной страны.

В общем случае, стандарты определяют, является ли воздействие статическим, переменным или усталостным.

В соответствии с германским стандартом DIN 1055, часть 4, ветровая нагрузка считается статической, хотя ее направление и величина могут изменяться.

Главным различием между динамическими и статическими воздействиями является наличие инерционных и демпфирующих сил. Эти силы изменяются в соответствии с возникающими ускорениями и должны учитываться при расчетах сил, действующих на конструкцию и анкеры. Динамические силы вызываются землетрясениями или ударными нагрузками (взрывы, удары), а также силами обусловлены работой машин, компоненты которых испытывают большие инерционные ускорения, например штамповочные машины. Результирующие воздействия от таких машин должны рассматриваться, как усталостные нагрузки. Чтобы правильно выбрать

Таблица 2.3:
Определения соответствующих воздействий /10/

Изменения отсутствуют	Число изменений нагрузки			
	Низкое число изменений		Большое число изменений	
	без гравитационных сил	при наличии гравитационных сил	без гравитационных сил	при наличии гравитационных сил
<ul style="list-style-type: none"> • постоянная нагрузка • стены-перегородки • движение людей • мебель • складированные материалы • снег • вода • ветер • демпферы 	<ul style="list-style-type: none"> • демпферы 	<ul style="list-style-type: none"> • удары • землетрясение • взрывы 	<ul style="list-style-type: none"> • движение по мостам и по крышам подвальных этажей • подкрановые пути • подъемные устройства • машины, компоненты которых не испытывают инерционных ускорений 	<ul style="list-style-type: none"> • машины, компоненты которых испытывают большие инерционные ускорения, такие как прессы, штамповочные машины и копры
<ul style="list-style-type: none"> • в основном статические воздействия 		<ul style="list-style-type: none"> • динамическое воздействие 	<ul style="list-style-type: none"> • переменные воздействия 	<ul style="list-style-type: none"> • динамическое воздействие

Основные принципы крепежных технологий

систему крепления, и ее размер, должны быть известны действующие нагрузки. Они должны характеризоваться величиной, направлением и точкой приложения. На рисунке 2.5 приведены разные типы нагрузок.

2.5 Принципы анкеровки

Существуют следующие три различных принципа анкеровки (рисунок 2.6): механическая

блокировка (анкеровка формой), за счет сил трения и анкеровка соединением.

Для анкеров с внутренним упором, таких как анкера fischer Zykon (FZA, FZA-D, FZA-I) или забивные анкера fischer Zykon (FZEA), нагрузка передается на основной материал в результате анкеровки формой. Отверстия с внутренней полостью формируются с помощью специального сверла (FZUB).

2

Рисунок 2.5:
Типы нагрузок

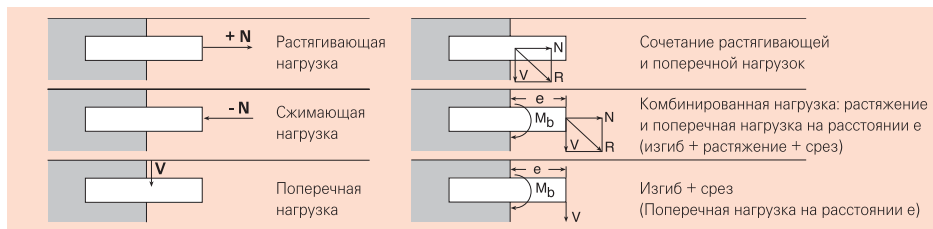
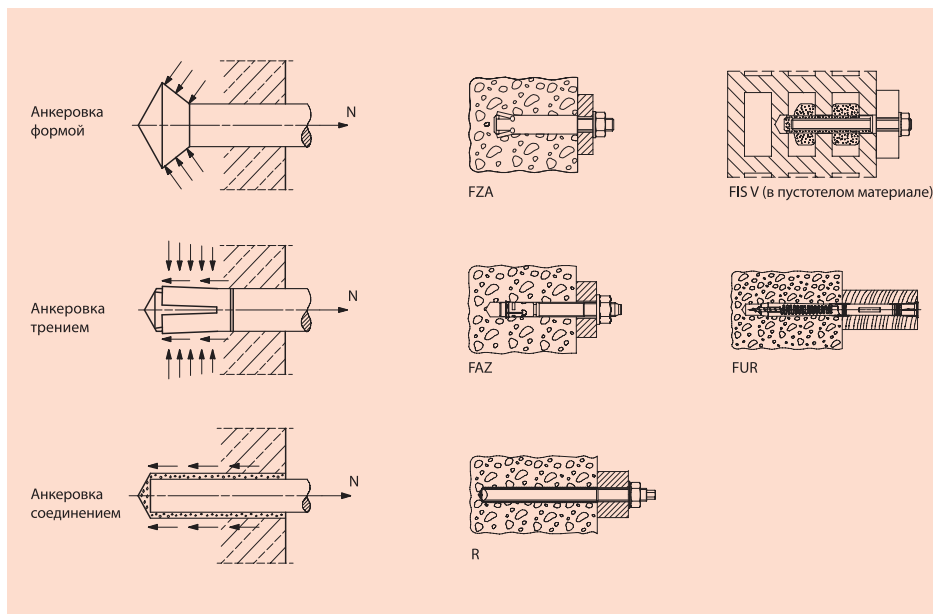


Рисунок 2.6:
Принципы работы



Основные принципы крепежных технологий

Анкер устанавливается в этом отверстии с упором в бетон во внутренней полости.

Для распорных анкеров принцип работы основан на использовании трения. При монтаже анкера создаются разжимные силы, которые увеличивают силу трения. Различаются два типа распора: с контролируемым крутящим моментом и с контролируемым перемещением. Анкеры с контролем крутящего момента разжимаются в результате приложения определенного крутящего момента. При этом конус анкера втягивается во втулку и прижимает ее к стенкам просверленного отверстия. Необходимый распор достигается при приложении требуемого крутящего момента (контроль крутящего момента). Анкеры с контролируемым перемещением распираются при забивании конуса молотком во втулку. При этом реализуется необходимое смещение конуса (контролируемое перемещение).

Примерами распорных анкеров являются высокоэффективные анкеры fischer (FH-H, FH-B, FH-S, FH-SK), анкерный болт fischer (FAZ), анкерный болт fischer (FBN) и забивной анкер fischer (EA). Другими примерами являются универсальные нейлоновые рамные дюбели fischer FUR или рамные дюбели fischer (S-R, S-H-R и SXS), а также гвоздевые дюбели fischer (N).

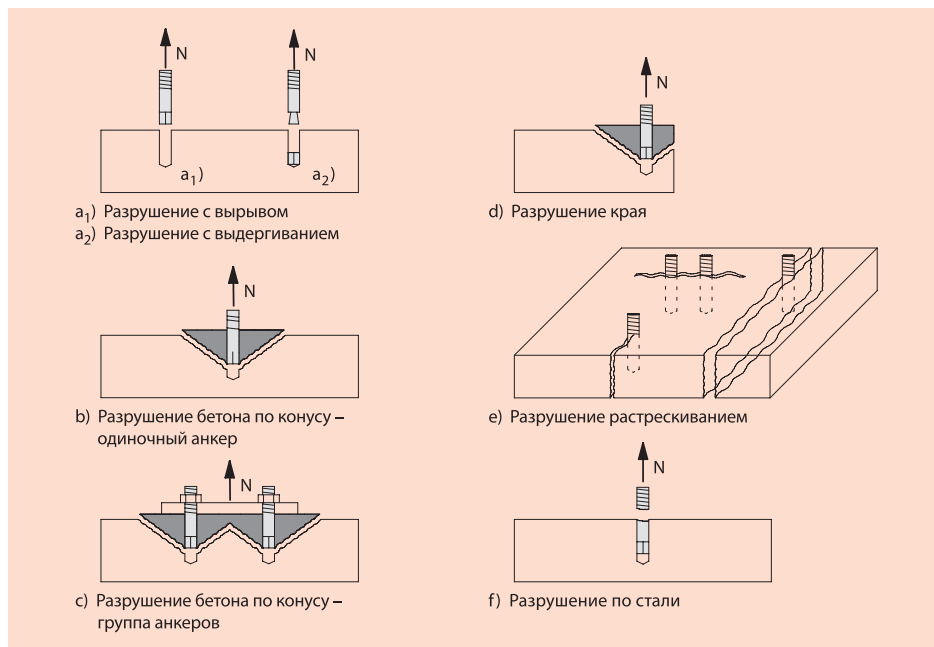
Третьим принципом анкеровки является соединение. В этом случае нагрузка передается от анкера в основание через соединяющий материал, например, через затвердевший полимерный состав. Примерами могут служить химический анкер fischer (тип R Eurobond) и инъекционный состав fischer FIS V.

2.6 Виды разрушений креплений

Крепление может разрушиться при различных условиях. При этом важным условием является понимание влияния различных направлений действия нагрузки.

Рисунок 2.7:

Виды разрушения креплений в бетоне при воздействии осевой растягивающей нагрузки



Основные принципы крепежных технологий

2.6.1 Осевая тяговая нагрузка

На рисунке 2.7 показаны формы разрушений для анкеров с внутренним упором и распорных анкеров, возникающие в бетоне под воздействием осевой растягивающей нагрузки. В случае вырыва (рисунок 2.7a1) анкер выдергивается без значительного повреждения бетона. Незначительное откалывание может происходить вблизи поверхности основания, однако, это не влияет на несущую способность анкера. Вырыв может произойти у распорных анкеров, причем в случае, когда сила распора слишком мала, чтобы удержать анкер в его требуемом положении, по сравнению с усилиями разрушения бетона. При выдергивании (рисунок 2.7a2) конус или конический болт выходит из распорных втулок или сегментов, которые остаются в отверстии. Выдергивание также может иметь место для распорных анкеров, когда разжимные усилия слишком велики.

При разрушении бетона крепежное устройство отрывает конический кусок бетона, который начинается в зоне распора или внутреннего упора (см. рисунок 2.7b). Близкое расположение соседних анкеров может привести к отрыву общего куска бетона (см. рисунок 2.7c). Анкеры, устанавливаемые на малом расстоянии от края, могут при разрушении крепления обус-

лавливать появление отколов краев бетона (см. рисунок 2.7d).

Растрескивание может привести либо к образованию общей трещины в строительной детали, либо к трещинам между соседними анкерами, или между анкерами и краем (см. рисунок 2.7e). Этот тип разрушения происходит только тогда, когда размеры конструктивного бетонного элемента и/или расстояние от края слишком малы.

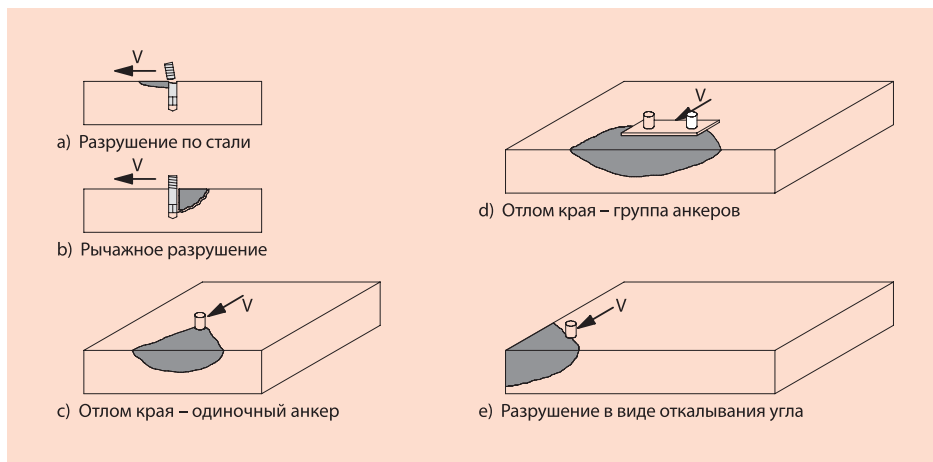
Разрушение по стали происходит при максимально возможной разрушающей нагрузке, которая приводит к разрыву болта или шурупа (см. рисунок 2.7f).

Аналогичные виды разрушений, как и у анкеров с внутренним упором или распорных анкеров, могут возникать и в случае применения химических анкеров. Выдергивание при этом происходит, когда нарушается связь между просверленным отверстием и связующим составом или между резьбовым стержнем и составом. Обычно происходит смешанное разрушение (вырыв и отрыв бетона), когда разрушение бетона начинается приблизительно на расстоянии от поверхности, равном 0,3 – 0,7 глубины отверстия.

В каменной кладке максимальная несущая способность ограничена разрушением основного

2

Рисунок 2.8:
Виды разрушений креплений стальными анкерами в бетоне под воздействием поперечной нагрузки



Основные принципы крепежных технологий

материала. В кладках из сплошного кирпича анкеры могут иногда выдергиваться, а максимальная несущая способность может, в отдельных случаях, определяться разрывом стали.

2

2.6.2 Поперечная нагрузка

На рисунке 2.8 показаны возможные формы разрушения анкерных креплений в бетоне, вызываемые поперечной нагрузкой. Для анкеров, установленных на большом расстоянии от края, обычно под воздействием поперечной нагрузки происходит разрушение по стали. Непосредственно перед достижением максимально допустимой нагрузки может произойти локальное отслоение бетона вблизи его поверхности (см. рисунок 2.8а). Аналогично случаю осевого растяжения эта форма разрушения соответствует максимально возможной несущей способности.

Крепления с короткими и жесткими анкерами или группами анкеров с малыми осевыми расстояниями могут под воздействием поперечной нагрузки разрушаться в результате откалывания бетона со стороны, противоположной стороне приложения нагрузки (рычажное разрушение) (см. рисунок 2.8б).

Анкерные крепления, установленные на малом расстоянии от края, могут разрушаться с отломом края бетона (см. рисунок 2.8с). Установка анкеров у края с малыми осевыми расстояниями может приводить к комбинированному разрыву бетона (см. рисунок 2.8д), также как и расположенные анкера вблизи угла (см. рисунок 2.8е).

Вместе с тем, откол края бетона вызывают нагрузки, которые действуют на анкеры, расположенные непосредственно в первой самой близкой к краю бетона линии анкеров, если группа анкеров имеет больше чем одну линию анкеров, параллельных краю.

Только, когда гарантируется, что поперечная нагрузка действует на всю группу анкеров без начального их смещения, возможно учитывать полное число анкеров. Чтобы гарантировать, что никакое смещение не возникает, окружной зазор между болтом и анкерной плитой должен быть заполнен прочным на сжатие материалом (например инъекционным составом fischer FIS V или FIS EM).

Крепления в каменной кладке разрушаются из-за разрыва стали или из-за разрушения кладки.

2.7 Определяющие параметры

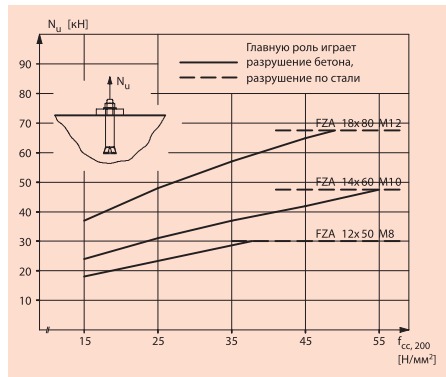
2.7.1 Прочность материала основания

Основной формой разрушения крепления в случае применения анкеров с внутренним упором или распорных анкеров при наличии достаточных сил распора под воздействием осевой растягивающей нагрузки является отрыв конического куска бетона. Величина разрушающей нагрузки в значительной степени определяется прочностью бетона. На рисунке 2.9 приведены значения разрушающей нагрузки N_u для анкеров fischer Zykon (с выступающей резьбой) в нерастяннутом бетоне в зависимости от прочности куба бетона $f_{cc, 200}$ (размеры 200x200x200 мм). Представленные данные показывают, что при увеличении прочности бетона увеличивается разрушающая нагрузка. Это увеличение не является линейным, а пропорционально квадратному корню от величины прочности бетона.

Разрушающая нагрузка ограничена разрывом по стали (горизонтальные линии на рисунке 2.9).

Рисунок 2.9:

Предельная тяговая нагрузка N_u для анкеров fischer Zykon (с выступающей резьбой) в нерастяннутом бетоне в зависимости от прочности куба бетона $f_{cc, 200}$



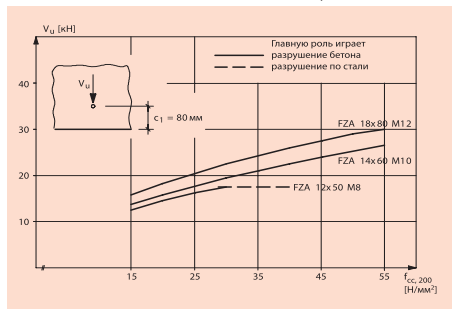
На рисунке 2.10 показана зависимость поперечной нагрузки для анкерной системы fischer Zykon (с выступающей резьбой) в нерастяннутом бетоне в зависимости от прочности

Основные принципы крепежных технологий

куба бетона $f_{cc, 200}$. Эти данные справедливы для анкеров, установленных на расстоянии от края $c_1 = 80$ мм при направлении нагрузки к свободному краю.

Рисунок 2.10:

Предельная поперечная нагрузка V_u для анкеров fischer Zykon (с выступающей резьбой) в нерастянгом бетоне в зависимости от прочности куба бетона $f_{cc, 200}$



Также как и в случае осевой растягивающей нагрузки приведенные данные показывают, что при поперечной нагрузке разрушающее значение зависит от прочности бетона. Разрушающая нагрузка увеличивается пропорционально корню квадратному от прочности бетона и ограничена прочностью стали анкера.

Разрушающая нагрузка для бетона при совместном воздействии растягивающей и поперечной нагрузки изменяется пропорционально корню квадратному от прочности бетона. Это объясняется тем, что в обоих случаях результат определяется прочностью бетона на растяжение, которая пропорциональна корню квадратному от прочности бетона на сжатие.

Несущая способность анкеров, установленных в других материалах, таких как каменная кладка, также зависит от прочности основания. В основном предельная нагрузка увеличивается при увеличении прочности материала, однако зависимость не может быть определена столь же точно, как для бетона. Большое количество параметров, таких как тип, размеры и структура материалов требуют дальнейшего проведения дополнительных исследований.

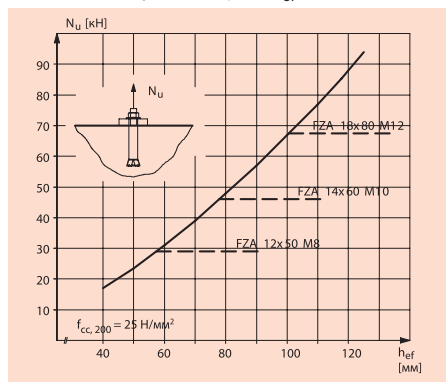
2.7.2 Глубина анкеровки

Разрушающая нагрузка для анкерного крепления, на которое воздействует растягивающая сила, зависит от глубины установки анкера.

На рисунке 2.11 приведены разрушающие растягивающие нагрузки N_u для анкеров fischer Zykon в нерастянгом бетоне в зависимости от глубины анкеровки h_{ef} . Увеличение разрушающей нагрузки происходит в степенной зависимости с показателем 1,5 от глубины анкерного крепления. Предельная нагрузка также ограничена прочностью анкера по стали.

Рисунок 2.11:

Предельная растягивающая нагрузка N_u для анкера fischer Zykon (с выступающей резьбой) в нерастянгом бетоне в зависимости от глубины анкеровки h_{ef} .



Данные, приведенные на рисунке 2.11, справедливы только тогда, когда сила внутреннего упора или сила трения от распора достаточно велики, чтобы вызвать разрушение бетона при данной глубине анкеровки. Если глубина установки анкера будет еще увеличена, то силы внутреннего упора или трения от распора часто бывает недостаточно, чтобы вызвать разрушение бетона. Тогда анкер смещается, при этом уменьшается глубина анкерного крепления, что приводит к разрушению бетона или к отказу крепления в виде выдергивания анкера (сравните с данными на рисунке 2.7a2). Это означает, что предельная нагрузка для анкеров с ростом глубины установки возрастает незначительно. На рисунках 2.12a и 2.12b показана эта взаимосвязь /1, 9/. Данные, приведенные на рисунках, справедливы для забивных анкеров (рисунок 2.12a) и распорных анкеров с контролируемым крутящим моментом (рисунки 2.12a и 2.12b). Разрушающая нагрузка возрастает незначительно (рисунок 2.12a), поскольку распорная сила не оптимизирована в соответствии с глубиной анкеровки.

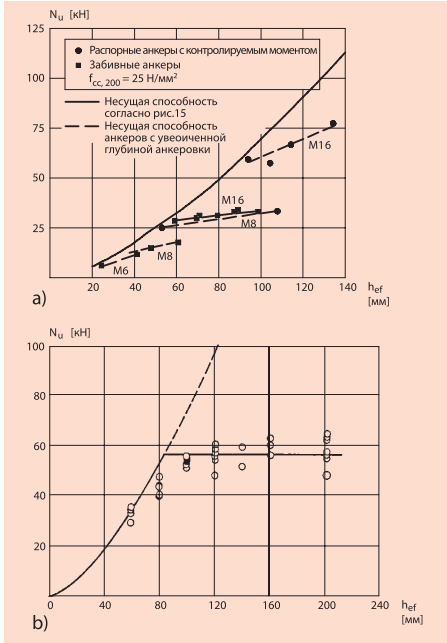
2

Основные принципы крепежных технологий

Рисунок 2.12:

Разрушающая нагрузка для анкеров при увеличении глубины анкеровки /1, 9/

- а) Анкеры различных размеров с контролем крутящего момента и с контролем перемещения /1/
- б) Анкеры M16 с контролем крутящего момента /9/



Влияние глубины анкерного крепления на разрушение бетона при поперечных нагрузках проявляется лишь косвенно, только через жесткость анкера. Однако, это влияние весьма мало, что не требует дальнейшего рассмотрения.

2.7.3 Краевое расстояние

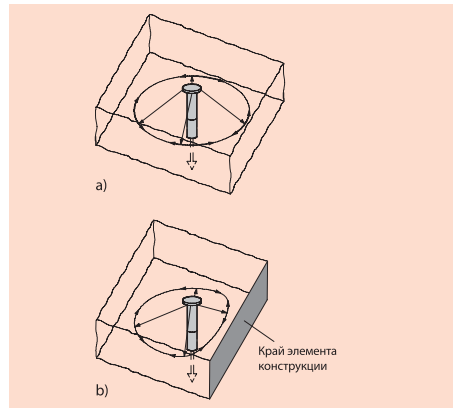
Анкеры, устанавливаемые с внутренним упором или за счет распора, обладают достаточной способностью вызывать разрушение бетона по конусу под действием осевой растягивающей нагрузки. Вырываемый конус начинается с зоны внутреннего упора или распора анкера и имеет угол, примерно равный 35° относительно поверхности бетона. Это приводит к тому, что диаметр основания конической поверхности приблизительно в 3 больше глубины анкеровки. Максимальная нагрузка на вырыв достигается только тогда, когда конус

может формироваться без ограничений, обусловленных наличием краев. Таким образом, расстояние от края должно быть равно, по крайней мере, половине диаметра вырываемого бетонного конуса (1,5 глубины анкерного крепления). При уменьшении расстояния от края бетона происходит усечение вырываемого конуса (см. изображение на рисунке 2.7d) и, как следствие, имеет место уменьшение предельной нагрузки.

Для анкеров с достаточным расстоянием от краев равновесие между внешними и внутренними силами обеспечивается кольцевыми растягивающими напряжениями. Это означает, что напряжения в бетоне имеют радиальную симметрию относительно анкера (смотрите рисунок 2.13а) /10/. Уменьшение расстояния от краев изменяет радиальную симметрию распределения напряжений и, таким образом, приводит к уменьшению предельной разрушающей нагрузки для бетона (смотрите рисунок 2.13б). Оба эффекта – усечение вырываемого конуса, а также неравномерность распределения напряжений накладываются друг на друга. На рисунке 2.14 приведены предельные растягивающие нагрузки N_u для анкера fischer Zykon (с выступающей резьбой) в нерастянутом бетоне в зависимости от краевого расстояния c_1 . Данные, приведенные на рисунке, справедливы для прочности бетонного куба $f_{cc, 200} = 25 \text{ Н/мм}^2$.

Рисунок 2.13:

Распределение сил в зоне расположения штыря с литой головкой под действием осевого растяжения /10/

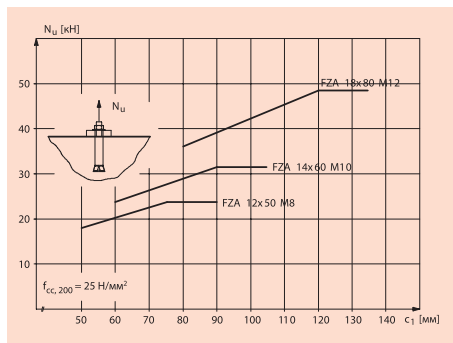


Основные принципы крепежных технологий

На рисунке виден рост предельной нагрузки в зависимости от увеличения краевого расстояния. Когда величина краевого расстояния превышает $c_1 = 75, 90$ и 120 мм для анкеров FZA 12x50 M8, FZA 14x60 M10 и FZA 18x80 M12 соответственно, что соответствует 1,5 глубины анкерки или радиусу вырываемого конуса, то дальнейшего повышения разрушающей нагрузки не происходит. Это объясняется тем, что вырываемый конус может полностью сформироваться и больше не ограничивается краем.

Рисунок 2.14:

Предельные тяговые нагрузки N_U для анкера fischer Zykon (с выступающей резьбой) в неразрунутом бетоне в зависимости от краевого расстояния c_1 .



Намного большее влияние краевое расстояние оказывает на разрушение при воздействии поперечной нагрузки. Анкеры, находящиеся под действием поперечной нагрузки, которая перпендикулярна краю, вызывают откалывание края (сравните с разделом 2.6.2, рисунок 2.8с). Угол между вырываемым куском и краем конструкции приблизительно равен 35° и, поэтому длина вырываемого куска на краю, примерно, в 3 раза больше расстояния до края (смотрите рисунок 2.15). Согласно результатам испытаний высота вырываемого куска приблизительно в 1.5 раза превышает расстояние от края c_1 .

Рисунок 2.15:

Форма и размеры откалываемого куска бетона в случае одиночного анкера, расположенного вблизи края, под действием поперечной нагрузки.

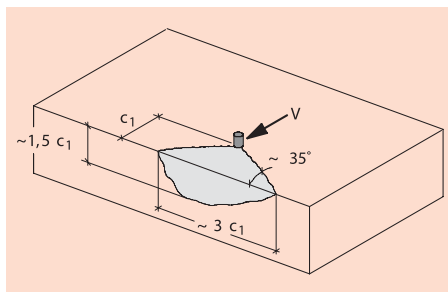
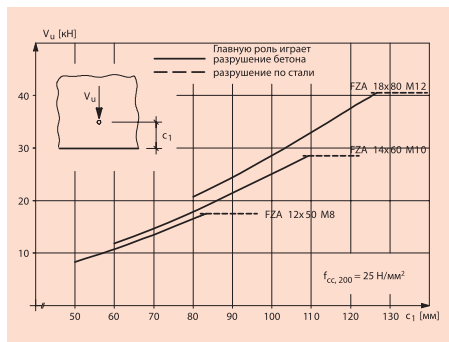


Рисунок 2.16:

Предельная поперечная нагрузка V_U для анкера fischer Zykon (с выступающей резьбой) в неразрунутом бетоне в зависимости от краевого расстояния c_1 .



На рисунке 2.16 приведены разрушающие поперечные нагрузки V_U для анкера fischer Zykon (с выступающей резьбой) в неразрунутом бетоне в зависимости от краевого расстояния c_1 . Увеличение разрушающей нагрузки происходит быстрее, чем прямо пропорциональная зависимость от краевого расстояния (степенная зависимость с показателем степени 1.5). Предельная нагрузка также ограничена прочностью анкера по стали.

2.7.4 Осевое расстояние

Расстояние между осями соседних анкеров оказывает очень большое влияние на несущую способность бетона. Максимальная разрушающая

2

Основные принципы крепежных технологий

2

нагрузка для анкеров, на которые воздействует осевое растягивающее усилие, достигается только тогда, когда может образоваться полный вырываемый конус. На рисунке 2.17 это ясно показано на примере пары анкеров, на которые действует растягивающая нагрузка.

На рисунке 2.17а анкерная пара показана с осевым расстоянием, равным ожидаемому диаметру вырываемого из бетона конуса ($s = 3 \cdot h_{ef}$). В этом случае конусы не пересекаются и поэтому оба анкера выдерживают максимальную нагрузку. Это означает, что предельная нагрузка для двух анкеров равна удвоенной предельной нагрузке для каждого анкера.

На рисунке 2.17b расстояние между осями анкеров меньше чем диаметр ожидаемого вырываемого конуса. Вырываемые конусы пересекаются, что приводит к уменьшению допустимой максимальной нагрузки. При чисто теоретическом предположении, что осевое расстояние между анкерами уменьшено до $s = 0$ (рисунке 2.17c), образуется только один вырываемый конус и, таким образом, разрушающая нагрузка такой «пары» анкеров становится равной 50% от нагрузки для пары анкеров в соответствии с данными, приведенными на рисунке 2.17а. Чтобы упростить вопрос, принимается линейная зависимость между предельными величинами, приведенными на рисунках 2.17а и 2.17с.

На рисунке 2.18 показано влияние расстояния между осями анкеров на осевую растягивающую нагрузку для пары анкеров fischer Zykon (с выступающей резьбой) в нерастянтом бетоне с прочностью $f_{cc, 200} = 25 \text{ Н/мм}^2$. По горизонтальной оси нанесены не абсолютные величины расстояний между осями, а отношение этого расстояния к глубине анкерного крепления. При увеличении осевого расстояния до точки, соответствующей диаметру вырываемого конуса ($s = 3 \cdot h_{ef}$) достигается максимальная разрушающая нагрузка. При дальнейшем увеличении осевого расстояния увеличения разрушающей нагрузки не происходит, так как максимальная нагрузка для анкерной пары уже достигнута.

Рисунок 2.17:

Пересечение вырываемых кусков для анкеров при воздействии осевой растягивающей нагрузки

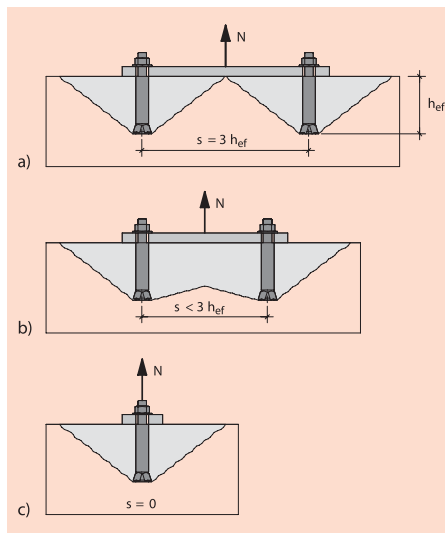
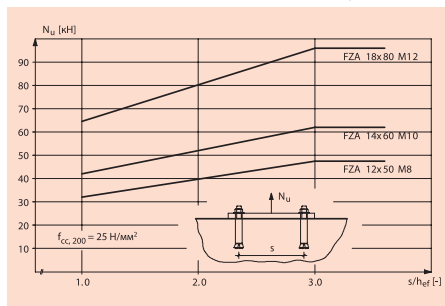


Рисунок 2.18:

Предельная тяговая нагрузка N_U для пары анкеров fischer Zykon в нерастянтом бетоне в зависимости от отношения осевого расстояния k к глубине анкерной h_{ef} .



Если на группу анкеров, установленных с большим краевым расстоянием, воздействует поперечная сила, то обычно происходит разрушение по стали даже при малых осевых расстояниях. Для коротких и жестких анкеров и/или для группы анкеров с малым осевым расстоянием внутри группы анкеров может возникнуть разрушение бетона со стороны, противоположной стороне приложения нагрузки (рычажное раз-

Основные принципы крепежных технологий

рушение) (сравните с разделом 2.6.2, рисунок 2.8b). Если эти же анкеры установлены близко к краю и на них действует поперечная нагрузка, направленная к свободному краю, то расстояние между осями анкерами оказывает очень большое влияние. Это можно видеть из данных, приведенных на рисунке 2.19.

В соответствии с данными, приведенными на рисунке 2.15, угол между вырываемым куском и краем конструкции равен приблизительно 35° , и поэтому длина вырываемого куска примерно в 3 раза больше краевого расстояния c_1 . Когда осевое анкерное расстояние превышает краевое расстояние в три раза, то в этом случае отрываемые куски не пересекаются и два анкера обеспечивают максимальную несущую способность (сравните с данными на рисунке 2.19a). Это означает, что предельная нагрузка для анкерной пары равна двум максимальным нагрузкам для одиночного анкера. Если же осевое расстояние между анкерами уменьшается (см. рисунок 2.19b), то отрываемые куски пересекаются, что приводит к уменьшению несущей способности. При теоретическом предположении, что осевое расстояние между двумя анкерами уменьшается до $s = 0$ (см. рисунок 2.19c), образуется только один отрываемый кусок бетона и, таким образом, разрушающая нагрузка такой «пары» анкеров становится равной 50% от нагрузки для анкерной пары в соответствии с данными, приведенными на рисунке 2.19a. Чтобы упростить вопрос, принимается линейная зависимость между предельными величинами, приведенными на рисунках 2.19a и 2.19c.

На рисунке 2.20 показана эта зависимость для пары анкеров fischer Zykon (с выступающей резьбой) с краевым расстоянием $c_1 = 100$ мм. Приведенные данные справедливы для нераззорванного бетона прочностью $f_{cc, 200} = 25$ Н/мм² и для креплений в материалах, имеющих достаточную толщину. Толщина является достаточной, если вырываемый кусок может полностью сформироваться на боковой грани строительного материала ($h \geq 1.5 c_1$) (сравните с данными на рисунке 2.15).

Разрушающая нагрузка для пары анкеров увеличивается при увеличении осевого расстояния, пока это расстояние не достигнет утроенного краевого расстояния. При дальнейшем увеличении осевого расстояния увеличения предельной

нагрузки не происходит, так как максимальная несущая способность пары анкеров не может превышать удвоенной разрушающей нагрузки для одиночного анкера с таким же краевым расстоянием. Для анкера fischer Zykon FZA 12x50 M8 максимальная несущая способность пары анкеров ограничена нагрузкой, вызывающей разрушение по стали.

Рисунок 2.19:

Пересечение вырываемых кусков при действии поперечной нагрузки в случае расположения анкеров вблизи края.

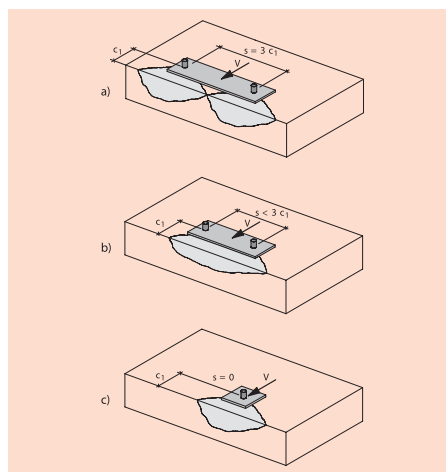
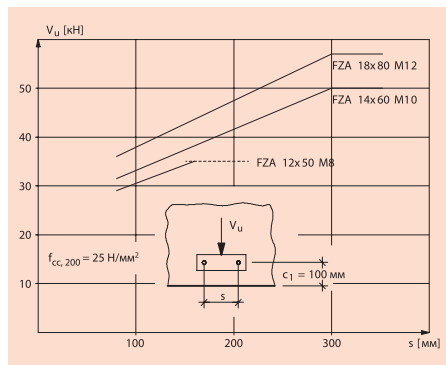


Рисунок 2.20:

Предельная поперечная нагрузка V_u для пары анкеров fischer Zykon (с выступающей резьбой) в неразрушенном бетоне в зависимости от осевого расстояния s (краевое расстояние $c_1 = 100$ мм)



Основные принципы крепежных технологий

2

2.7.5 Толщина бетонного элемента

При осевой растягивающей нагрузке толщина бетонного основания оказывает лишь опосредованное влияние на несущую способность анкера. Однако, если эта толщина недостаточна, то могут возникнуть проблемы во время монтажа, а также при приложении к анкеру нагрузок. В случае возникновения растрескивания не достигается максимальная несущая способность бетона. Для того чтобы избежать таких ситуаций, анкеры с внутренним упором или распорные анкеры с контролируемым моментом закручивания должны устанавливаться в конструктивных элементах, имеющих, по крайней мере, минимальную толщину h_{min} . Минимальные значения толщины основания элемента строительной конструкции приведены в таблицах «Характеристики анкеров» в соответствующей части данного Технического Справочника.

В отличие от поведения анкеров под действием растягивающей нагрузки несущая способность анкеров, расположенных близко к краям, при воздействии поперечной нагрузки существенно зависит от толщины конструктивного элемента. В этом можно убедиться на основе данных, приведенных на рисунке 2.21. На графике по горизонтальной оси отложено отношение толщины конструктивного строительного элемента к краевому расстоянию, а по вертикальной оси – отношение предельной фактической нагрузки, определенной в ходе испытаний, к расчетной предельной нагрузке для анкеров,

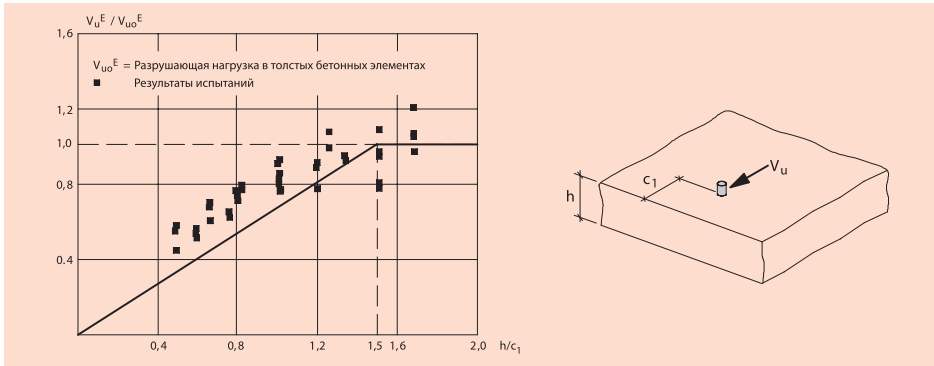
устанавливаемых в толстых основаниях. Эти данные показывают, что предельная нагрузка возрастает при увеличении толщины основания элемента строительной конструкции до тех пор, пока толщина не достигнет величины равной примерно 1,5 краевого расстояния. Это можно объяснить с помощью данных, приведенных на рисунке 2.15. Они показывают, что высота вырываемого куска бетона на боковой стороне строительного материала равна, примерно 1,5 краевого расстояния c_1 . Если толщина материала меньше чем 1,5 краевого расстояния, то вырываемый кусок бетона уменьшается с нижней стороны, и поэтому несущая способность анкера сокращается (см. рисунок 2.21).

2.7.6 Трещины

Бетон имеет относительно низкую прочность на растяжение, причем даже это низкое значение может быть полностью или частично использовано вследствие наличия индуцированных деформаций, вызванных усадкой или изменениями температуры. По этим причинам при проектировании армированных бетонных элементов прочность на растяжение не должна приниматься во внимание. Это означает, что армированный бетон проектируется в предположении, что в зоне растяжения бетона имеются трещины. Эксперименты показывают, что ширина трещин в армированном бетоне при преобладающе статических нагрузках не превышает величину $w \sim 0.3$ до $0.4 \text{ мм} / 2 / 3 / 4 /$.

Рисунок 2.21:

Влияние толщины основания h на несущую способность стальных анкеров, установленных вблизи края, при воздействии на них поперечной нагрузки



Основные принципы крепежных технологий

При действии допустимых расчетных нагрузок могут возникать трещины большего размера, причем 95%-фрактальность может достигать величин вплоть до $w_{95\%} \sim 0.5 - 0.6 \text{ мм} / 3l$. 95%-фрактальность представляет собой значение, которое не превышает в 95% случаев, а превышает только 5% всех трещин, которые имеются в строительном элементе. Большинство национальных стандартов ограничивают ширину трещин во время срока службы конструкции.

Когда возникают трещины, то имеется большая вероятность того, что они либо примыкают непосредственно к анкеру, либо тангенциально касаются его. В окрестности анкера всегда присутствуют повышенные растягивающие напряжения. Они возникают в результате действия сил растрескивания, которые обусловлены предварительным затяжкой анкера и приложенной нагрузкой, пиковым значением изгибающего момента, который обусловлен приложением точечной нагрузки к бетонному элементу, а также влиянием эффекта надреза при сверлении отверстия.

Чтобы подтвердить это, были проведены испытания на образцах бетона толщиной 250 мм /11/. Образцы имели арматуру из стержней или из сваренной арматурной сетки. Расстояние между поперечными элементами арматуры

250 мм. В бетон устанавливались анкеры с внутренним упором и анкеры с контролируемым с распором (M12, $h_{ef} = 80 \text{ мм}$).

Анкеры нагружались либо рекомендуемым крутящим моментом, либо допустимой нагрузкой, увеличенной в 1,3 раза, причем расстояние относительно поперечной арматуры изменялось от 40 до 80 мм. Несколько просверленных отверстий оставались свободными, в них не устанавливались анкеры. Анкеры были установлены в неразорванный бетон и нагружены. В заключении бетонные образцы нагружались с увеличением нагрузки по шагам до тех пор, пока не достигалась величина разрешенной для них нагрузки.

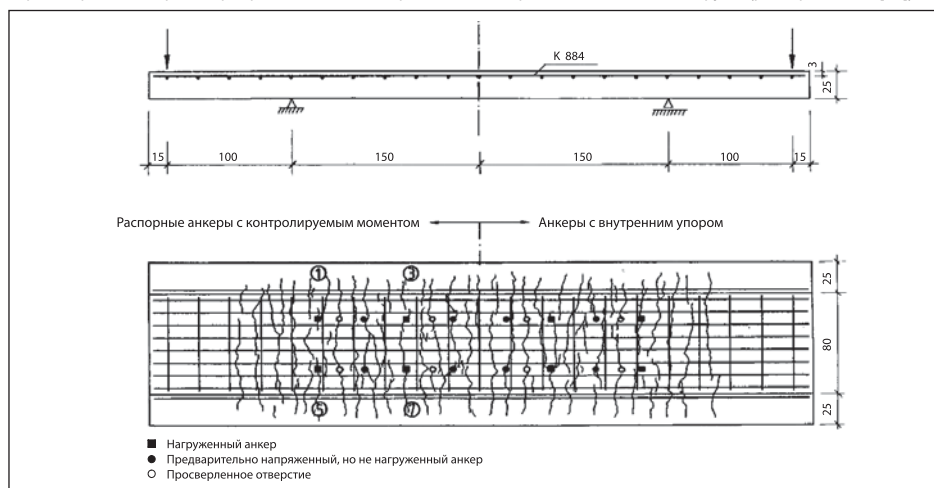
Приблизительно, начиная с уровня 40% от допустимой нагрузки, в бетоне начинают появляться изгибные трещины. При допустимой нагрузке почти около всех анкеров и просверленных отверстий появляются трещины, независимо от расстояний между анкерами и расстояний от арматуры, а также типа нагрузки (см. рисунок 2.22). Трещины проходят непосредственно через зону анкерного крепления. Аналогичные результаты описаны в работах /2, 12, 13/.

На рисунке 2.23 приведен простой пример конструкции с равномерно распределенной

2

Рисунок 2.22:

Картина трещин в образце армированного бетона при воздействии рабочей изгибающей нагрузки (размеры даны в [см]) /11/



Основные принципы крепежных технологий

2

нагрузкой и показаны зоны, где могут появляться трещины. Эти трещины могут появляться в зонах растяжения конструкции, причем изменение нагрузки может приводить к изменениям размеров трещин и их расположения. В самых неблагоприятных случаях зоны сжатия могут стать зонами растяжения при изменении нагрузки. Этот очень простой пример, который показывает, насколько трудно определить расположение трещин. Это относится практически ко всем сложным конструкциям фермо-каркасного типа.

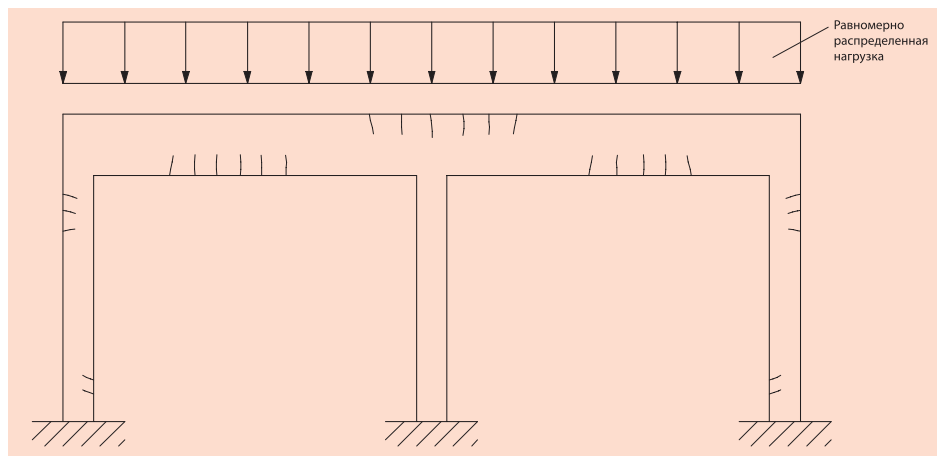
Если конструктор или пользователь не может определить в конструкции расположение зон растяжения и зон сжатия, то мы рекомендуем использовать ряд анкеров, которые годятся для применения в растянутых (разорванных) бетонах. Такими анкерами являются:

- анкер fischer Zykon FZA (с выступающей резьбой),
- анкер fischer Zykon FZA-D (для сквозного монтажа),
- анкер fischer Zykon FZA-I (с внутренней резьбой),
- забивной анкер fischer Zykon FZEA,
- анкерный болт fischer FAZ,
- высокоэффективные анкеры fischer FH-H, FH-B, FH-S, FH-SK,
- фасадный (удлиненный) дюбель fischer SXS,
- химический анкер fischer Highbond FHB II

Как ведут себя анкеры в разорванном бетоне? На рисунке 2.24а приведены диаграммы нагрузок (кривые типа «нагрузка-смещение») для распорных анкеров с контролируемым моментом в разорванном и неразорванном бетоне. Анкеры были рассчитаны на применение в разорванном бетоне. Наклон каждой кривой непрерывно увеличивается, как в растянутом, так и в неразорванном бетоне. Предельные нагрузки в бетонах с трещинами меньше, чем в бетонах без трещин. Однако если анкер, который рассчитан на применение только в нерастянутом бетоне, используется в бетоне с трещинами, то поведение такого анкера при наличии трещин существенно изменяется. На рисунке 2.24б приведены результаты испытаний в виде диаграмм нагрузок для распорных анкеров с контролируемым моментом, которые предназначены только для бетона без трещин, а не для разорванного бетона. Можно видеть, что только в нерастянутом бетоне без трещин анкеры характеризуются непрерывно растущей кривой диаграммы нагрузок. Напротив, в разорванном бетоне кривые нагрузок и величины максимальной нагрузки имеют большой разброс, так что нельзя указать, когда произойдет разрушение. В экстремальных случаях при относительно малом увеличении нагрузки анкер вырывается из бетона (см. рисунок 2.24б, нижняя кривая).

Рисунок 2.23:

Типичная картина расположения трещин в ферме под воздействием равномерно распределенной нагрузки

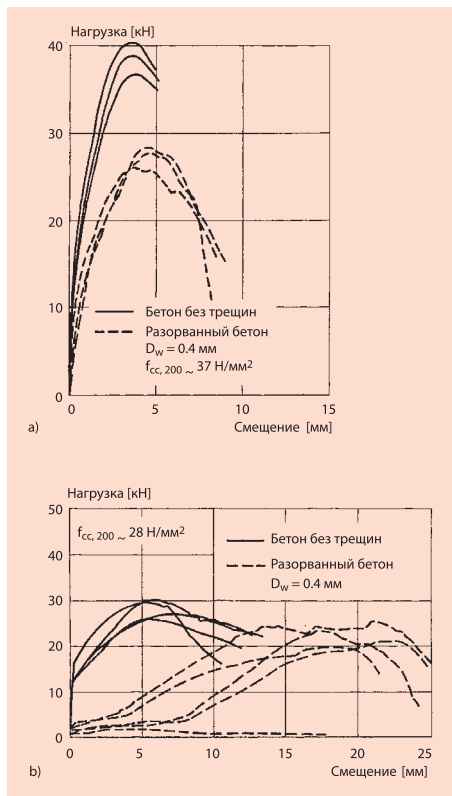


Основные принципы крепежных технологий

Рисунок 2.24:

Диаграммы нагрузок для распорных анкеров с контролируемым моментом (M12, hef = 80 мм)

- а) Анкеры предназначены для применения в разорванном бетоне
 б) Анкеры **не предназначены** для применения в бетоне с трещинами.



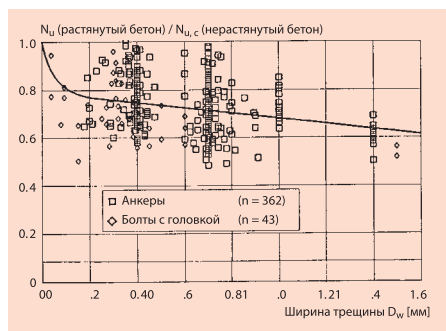
На рисунке 2.25 приведены величины отношений разрушающей осевой растягивающей нагрузки для анкеров с внутренним упором и резьбовых болтов с головками замоноличенными в бетоне с трещинами к теоретической величине разрушающей нагрузки в неразорванном бетоне в зависимости от величины разности ширины трещины Δw . Разность ширины трещины определяется, как разность между шириной трещины на момент установки анкера и шириной трещины после нагружения анкера.

Результаты испытаний взяты из работы /10/. Они показывают следующее: сначала в армиро-

ванном бетоне, в котором установлены анкеры, появляются трещины толщиной в волос. Затем происходит расширение трещин на величину Δw по мере нагружения анкера и так до разрушения анкерного крепления. Результаты, приведенные на рисунке 2.25, показывают, что анкеры с внутренним упором и закладные резьбовые болты с головками в бетоне при наличии трещин функционируют одинаково. Разрушающая нагрузка значительно уменьшается, даже в случае маленьких трещин, а при значении разности ширины трещин $\Delta w = 0,4$ мм достигает, в среднем, примерно 75% от несущей способности анкеров в бетоне без трещин. После достижения разности ширины трещин значений $\Delta w = 1,6$ мм в дальнейшем происходит лишь незначительное уменьшение разрушающей нагрузки. Анкеры *fischer Zykon* и резьбовые закладные болты ведут себя при наличии трещин одинаковым образом, так как характеризуются одним и тем же принципом функционирования – механической блокировкой (анкеровка формой) (см. раздел 2.5, рисунок 2.6).

Рисунок 2.25:

Влияние трещин на предельную растягивающую нагрузку в случае анкеров с внутренним упором и резьбовых закладных болтов с головкой /10/.



Аналогичная зависимость получена и в случае бетона с трещинами для распорных анкеров с контролируемым моментом, которые предназначены для использования в разорванном бетоне (см. рисунок 2.26). Такие анкеры должны иметь возможность разжиматься после монтажа (дополнительный распор). По мере того как трещина расширяется, конус анкера втягивается все дальше в распорную втулку, разжимая анкер и одновременно перекрывая трещину. Распорные анкеры с контролируемым

2

Основные принципы крепежных технологий

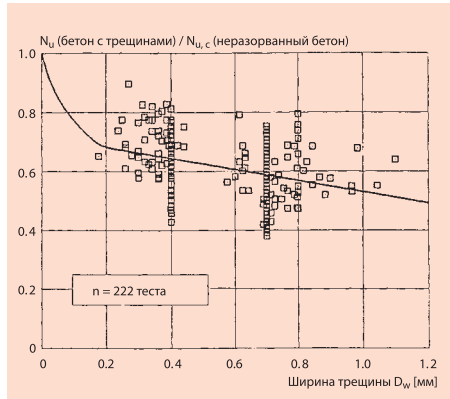
2

моментом, такие как анкерные болты fischer (FAZ), высокоэффективные анкеры fischer (FH-N, FH-B, FH-S, FH-SK), а также химические анкеры (FHB) предназначены для применения в разорванном бетоне.

Также как и для анкеров с внутренним упором и закладных резьбовых болтов с головками для анкеров с контролируемым моментом разрушающая нагрузка уменьшается даже при наличии маленьких трещин (см. рисунок 2.26). При ширине трещин, примерно 0,4 мм предельная нагрузка уменьшается, приблизительно до уровня 65% от предельной нагрузки в бетоне без трещин. По мере роста ширины трещин происходит дальнейшее уменьшение предельной нагрузки. При этом величина уменьшения больше, чем в случае анкеров с внутренним упором или резьбовых закладных болтов. Конус стягивается в распорную втулку, и таким образом глубина анкерного крепления уменьшается. Такое поведение зависит от типа анкера.

Рисунок 2.26:

Влияние трещин на предельную растягивающую нагрузку для анкеров с контролируемым крутящим моментом. /10/



Данные, приведенные на рисунке 2.27, показывают влияние трещин на несущую способность забивных анкеров при воздействии на них осевой растягивающей нагрузки. При увеличении ширины трещин несущая способность резко уменьшается, причем наблюдается довольно большой разброс результатов испытаний. Необходимо указать, что данные, приведенные на этом рисунке, относятся к полностью раскрывшимся в процессе распора

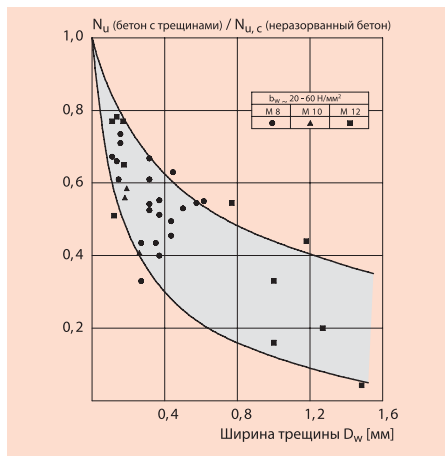
забивным анкерам. Для частично раскрывшихся забивных анкеров можно ожидать еще большего уменьшения несущей способности.

Зависимость, аналогичная приведенной на рисунке 2.27, имеет место и для распорных анкеров с контролируемым крутящим моментом, которые не способны к дополнительному расширению после установки, так что такие анкеры не годятся для применения в разорванном бетоне. В таких случаях ни предельную нагрузку, ни кривую диаграммы нагрузок нельзя точно спрогнозировать. В экстремальных случаях несущая способность анкера может уменьшиться до нуля. Это означает, что влияние трещин не может быть учтено посредством увеличения значений коэффициентов безопасности.

Обычные химические анкеры, состоящие из резьбовой шпильки и капсулы с полимерной смолой, также весьма восприимчивы к влиянию трещин на их несущую способность (см. данные на рисунке 2.28). Можно заметить, что предельная нагрузка в случае трещин шириной 0,4 мм в среднем составляет приблизительно 40% от предельной нагрузки для нерастянутого бетона. В экстремальных случаях предельная нагрузка может уменьшиться до уровня 20% от предельной нагрузки для бетона без трещин.

Рисунок 2.27:

Влияние трещин на предельную осевую растягивающую нагрузку для полностью раскрывшихся в процессе распора забивных анкеров /5/



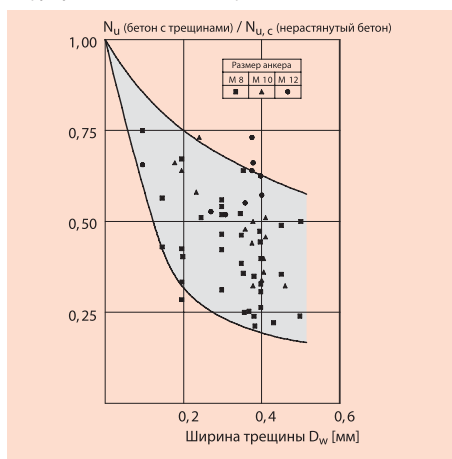
Основные принципы крепежных технологий

Данные, приведенные на рисунках 2.25 – 2.28, относятся к поведению анкеров в бетоне с трещинами при воздействии на них осевой растягивающей нагрузки.

При действии поперечной нагрузки необходимо различать анкеры, расположенные вблизи краев, и анкеры, расположенные вдали от краев. Предельная нагрузка для анкеров, установленных вдали от краев, довольно незначительно зависит от наличия трещин. По сравнению с несущей способностью в нерастянутом бетоне наблюдается уменьшение предельной нагрузки менее чем на 10%. На анкеры же, расположенные вблизи краев, наличие трещин влияет существенно. Предельная нагрузка для анкера, расположенного в трещине с $\Delta w = 0,4$ мм, составляет приблизительно 75 % от величины предельной нагрузки для неразорванного бетона. Таким образом, уменьшение разрушающей поперечной нагрузки из-за наличия трещин для анкеров, расположенных вблизи краев бетона, по величине совпадает с уменьшением разрушающей нагрузки по вырыву конуса бетона для анкеров, подвергаемых воздействию тяговой силы.

Рисунок 2.28:

Влияние трещин на предельную осевую растягивающую нагрузку для химических анкеров /6/



2.8 Испытания анкеров

2.8.1 Требования

Назначение и несущая способность стальных анкеров, описанных в данном Техническом Справочнике, основаны на всесторонних

испытаниях в соответствии с руководящими указаниями и нормами испытаний, установленными Германским институтом строительной техники, находящимся в Берлине, а с недавних пор и на нормах Европейской Организации по выдаче технических допусков (ЕОТА) /7/.

Исследования базируются на выполнении двух разных групп испытаний:

- Испытания по проверке функций (функциональные тесты);
- Испытания по определению допустимых рабочих условий.

Функциональные тесты предназначены для проверки чувствительности анкера к неизбежным отклонениям от условий установки при монтаже. При этом рассматриваются следующие ситуации:

- Отклонения от требуемого при монтаже крутящего момента затяжки распорных анкеров с контролируемым моментом.
- Недостаточное рассверливание отверстия для анкеров с внутренним упором.
- Недостаточный распор забивных анкеров.
- Неоптимальное перемешивание состава, недостаточная очистка просверленного отверстия, повышенная влажность подготовленного отверстия для химических анкеров на основе полимерных смол и гибридных инъекционных систем.

В допусках обычно требуется, чтобы анкеры устанавливались без повреждения арматуры при сверлении. Однако в строительной практике этого часто не удается избежать. Поэтому проводятся дополнительные функциональные испытания для анкеров, которые имеют контакт с арматурой.

Как уже упоминалось, целью функциональных испытаний является проверка того, является ли анкер чувствительным к отклонениям от условий установки. Однако влияние грубых ошибок при монтаже, например, использование сверл с несоответствующим диаметром, применение неподходящих сверл и инструмента для монтажа анкеров с внутренним упором, неправильный монтаж (например, забивание вместо вращения резьбового стержня в случае использования химических анкеров) не может учитываться при выполнении данных испытаний.

Функциональные испытания проводятся не только для бетонов с малой прочностью, но и

2

Основные принципы крепежных технологий

2

для бетонов с большой прочностью. Это необходимо делать, так как фактическая прочность бетона может быть выше, чем его номинальная прочность.

Новые сверла, как известно, имеют больший диаметр, чем изношенные сверла. Эта разница в диаметрах могут составлять 0,5 мм для сверл диаметром 12 мм. Для того чтобы определить, влияют ли подобные различия на уровни выдерживаемых нагрузок, при испытаниях используются, как новые, так и изношенные сверла.

Дополнительные функциональные испытания проводятся с использованием переменных нагрузок (не динамических!), так как в реальных условиях нагрузка на анкера часто меняется.

Для анкеров, предназначенных для растянутого бетона, существуют специальные требования относительно их испытаний. Функционирование анкеров должно быть проверено при наличии трещин шириной вплоть до 0,5 мм. Испытания проводятся для бетонов с низкой прочностью и для бетонов с высокой прочностью с использованием новых и изношенных сверл. В бетоне, в котором установлены анкера, создаются волосяные трещины. Эти трещины затем расширяют до значений ширины 0,5 мм, после чего анкера выдерживают. Остальные условия проведения испытаний зависят от принципа функционирования анкера. Например, распорные анкера с контролируемым моментом устанавливаются в рамках одной серии испытаний с приложением момента затяжки, равного 50% от рекомендованного значения, для того чтобы оценить влияние уменьшения момента на характеристики анкера. В последующих сериях испытаний используется максимальный момент, однако для того, чтобы смоделировать эффект ползучести и усадки бетона, после истечения последующих 10 минут момент закрутки уменьшается на половину первоначального значения.

Если материал основания анкерного крепления подвергается воздействию переменных нагрузок, это может привести либо к увеличению, либо к уменьшению ширины трещин. Результирующее влияние на несущую способность анкеров проверяется в ходе выполнения последовательной серий испытаний, когда анкера устанавливаются в бетон с трещинами, имеющих толщину волоса, и нагружаются постоянной нагрузкой. Впоследствии трещины

расширяются и суживаются тысячу раз с $\Delta w \approx 0,2$ мм. После прекращения цикла «открытия-закрытия» трещин, анкера выдерживаются из открытой трещины.

Все результаты функциональных испытаний анкеров должны быть представлены в виде диаграмм нагрузок, как кривые «нагрузка-смещение». Нагрузочные характеристики должны непрерывно расти вплоть до уровня 70% от предельной нагрузки без горизонтальных участков, которые указывали бы, что анкер проскальзывает в просверленном отверстии. Предельная нагрузка во время функциональных испытаний может быть уменьшена на заранее определенную величину в процентах по сравнению с предельной нагрузкой для анкеров, которые устанавливаются в соответствии с инструкциями изготовителя. В случае испытаний в открытых и закрытых трещинах измеренные величины смещения, представленные в форме графика в зависимости от логарифма количества «открытия-закрытия» трещин в цикле, должны представлять собой линейную, либо уменьшающую зависимость, причем эти измеренные величины смещения не должны превышать требуемых величин.

В испытаниях по определению допустимых рабочих условий, подробно оговариваются величины допустимых нагрузок, соответствующие осевые анкерные расстояния, краевые расстояния, а также размеры конструктивных элементов. При этом анкера должны монтироваться в соответствии с инструкциями изготовителя. Для того чтобы определить влияние направления нагрузки на предельную ее величину, анкера испытываются при осевой растягивающей нагрузке, поперечной нагрузке и при комбинированных нагрузках. Для анкеров, которые предназначены для использования в растянутом бетоне, эти испытания проводятся в бетоне с трещинами, ширина которых равна примерно 0,3 мм.

На основе результатов этих испытаний и для того, чтобы сделать результаты применимыми для конкретного использования, определяются значения характерных сопротивлений испытанных анкеров в нерастянтом бетоне, а для анкеров, предназначенных для использования в разорванном бетоне с трещинами, также определяются значения характерных сопротивлений в растянутом бетоне.

Основные принципы крепежных технологий

Такими характеристическими значениями являются следующие:

- $N_{Rk,s}$ – характерное сопротивление анкера в случае разрушения стали под действием растягивающей нагрузки;
- $N^0_{Rk,c}$ – характерное сопротивление анкера в случае разрушения бетона по конусу под действием растягивающей нагрузки;
- $N_{Rk,p}$ – характерное сопротивление анкера в случае его выдергивания под действием растягивающей нагрузки
- $V_{Rk,s}$ – характерное сопротивление анкера в случае разрушения стали под действием поперечной нагрузки.

Дополнительно определяются характерные осевые и краевые расстояния при максимальной несущей способности в случае растягивающей нагрузки, когда происходит вырыв конуса бетона или растрескивание.

- $S_{cr,N}$ – характерное осевое расстояние в случае разрушения бетона по конусу при воздействии растягивающей нагрузки
- $C_{cr,N}$ – характерное краевое расстояние в случае разрушения бетона по конусу при воздействии растягивающей нагрузки
- $S_{cr,sp}$ – характерное осевое расстояние в случае растрескивания бетона при воздействии растягивающей нагрузки
- $C_{cr,sp}$ – характерное краевое расстояние в случае раскалывания бетона при воздействии растягивающей нагрузки

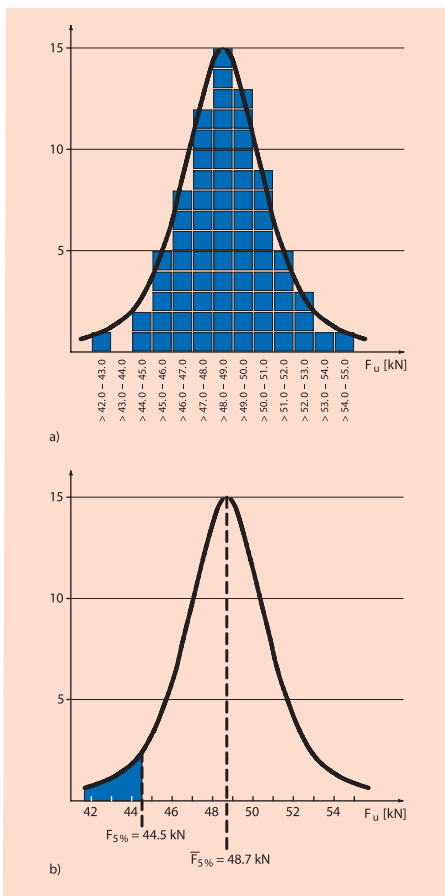
Для того чтобы предотвратить раскалывание в процессе установки анкера, необходимо соблюдать минимальные расстояния между осями анкеров и минимальные расстояния от краев (S_{min} , C_{min}), а также нужно обеспечить минимальную толщину строительной детали (h_{min}). Эти величины также определяются в результате экспериментов.

Значения характерных сопротивлений для различных направлений нагрузки и различных типов разрушения определяются на основании результатов испытаний с приложением предельной нагрузки в соответствии с так называемым 5% фрактилем. 5% фрактиль

представляет собой такую нагрузку, когда в 5% всех опытов разрушение происходит при нагрузке ниже этой величины, а в 95% испытаний разрушение происходит при нагрузке выше этой величины. Чтобы определить характерные величины, 5% фрактиль используется в качестве базовой величины чаще, чем средняя величина по результатам испытаний, для того чтобы можно было учесть диапазон разброса результатов опытов для разных типов и размеров анкеров.

Рисунок 2.29:

Частотное распределение для серий испытаний анкеров с поднутрением, разрушение которых обусловлено разрывом конуса бетона



Основные принципы крепежных технологий

2

На рисунке 2.29а приведены результаты для большого количества испытаний, проведенных над анкерами с внутренним упором, причем на рисунке изображена функция и гистограмма распределения. Например, первый класс содержит все результаты испытаний для предельных нагрузок между $F_U > 42$ кН и $F_U \leq 43$ кН, а к последнему классу отнесены все результаты для предельных нагрузок $F_U > 54$ кН и $F_U \leq 55$ кН (каждый квадрат представляет один опыт). Результаты адекватно описываются кривой Гаусса, как показано на рисунке 2.29а. На рисунке 2.29b приведена кривая без гистограммы с указанием отдельных результатов.

Средняя величина предельной нагрузки равна $F_U = 48.7$ кН, а 5% фрактиль для результатов испытаний равен $F_{5\%} = 44.5$ кН. Голубая зона слева показывает 5% фрактиль, в виде 5% от полной площади под кривой, в то время как зона справа занимает 95% полной площади под кривой.

5 %-й фрактиль определяется по уравнению (2.1). Представленные в данном Техническом Справочнике на стр. 30 характерные сопротивления даны в форме 5% фрактиля в соответствии с работой Оуэна (Owen) /14/. Предполагается, что величины стандартного отклонения, как для всей совокупности, так и отдельного образца неизвестны. Расчет коэффициента k зависит от числа проведенных испытаний. Чем большее число испытаний, тем больше информации имеется о сериях опытов и, поэтому, тем меньше величина коэффициента k .

$$F_{5\%} = F_U - k \cdot s \quad (2.1)$$

Где:

F_U = средняя величина результатов испытаний (растягивающая или поперечная нагрузка)

s = среднеквадратическое отклонение (стандарт) результатов эксперимента

k = коэффициент в соответствии с работой Оуэна(Owen) /14/

= 3.401 для $n = 5$ опытов

= 2.568 для $n = 10$ опытов

= 2.208 для $n = 20$ опытов

= 1.861 для $n = 100$ опытов

= 1.645 для $n =$ бесконечное число опытов

2.8.2 Испытания анкеров на заводах компании Fischer

В научно-исследовательском центре на заводах компании Fischer (рисунок 2.30) имеется самое современное испытательное оборудование и машины, которые позволяют проводить все вышеуказанные эксперименты.

Рисунок 2.30:

Научно-исследовательский центр



Машины для испытаний на растяжение с разными приспособлениями для приложения нагрузок позволяют проводить испытания на растяжение в случае маленьких образцов (рис.2.31) или в случае больших бетонных элементов (рис.2.33), как в случае разорванного бетона, так и в случае бетона неразорванного. Нагрузка может прикладываться непрерывно (контроль силы или контроль смещения), а также может прикладываться динамическая или ударная нагрузка.

Рисунок 2.31:

Испытательное оборудование на малых образцах



Современное испытательное оборудование (рисунок 2.33) позволяет испытывать анкера, к которым прикладываются нагрузки под разными

Основные принципы крепежных технологий

углами (нагрузка на растяжение, поперечная нагрузка или комбинированные растягивающая и поперечные нагрузки).

Рисунок 2.32:

Испытательное оборудование для приложения больших нагрузок



Рисунок 2.33:

Оборудование для приложения нагрузок под любым углом в случае растянутого и нерастянутого бетона



Для проведения испытаний со статическими трещинами, соответственно с открытыми или закрытыми трещинами, имеется оборудование для приложения параллельных и изгибающих нагрузок. Испытания по воздействию на анкеры долговременных нагрузок проводятся в полностью контролируемых внешних условиях.

На открытых площадках проводятся испытания при воздействии атмосферных условий. В случае коррозионных испытаний используется современное оборудование, которое разбрызгивает соль.

2.9 Литература

- /1/ Eligehausen, R., Pusill-Wachsmuth, P.: Stand der Befestigungstechnik im Stahlbetonbau (Элигехаузен Р, Пузилвахтмус П., Технология креплений в конструкциях из армированного бетона). Отчет IVBH, стр.-19/82, Периодическое издание IVBH, 1/1982, февраль 1982 (нем.).
- /2/ Bergmeister, K.: Stochastik in der Befestigungstechnik mit realistischen Einflussgrößen (Бергмайстер К., Стохастические методы в технике креплений на основе анализа реально влияющих параметров). Диссертация, Университет Инсбрука, 1988 (нем.).
- /3/ Eligehausen, R., Bozenhardt, A.: Crack widths as measured in actual structures and conclusions for the testing of fastening elements (Элигехаузен Р, Бозенхардт А, Значения ширины трещин, измеренные в реальных конструкциях и выводы относительно испытаний крепежных элементов). Отчет № 1/42-89/9, Институт строительных материалов, Университет Штуттгарда, август 1989.
- /4/ Schießl, P. Einfluss von Rissen auf die Dauerhaftigkeit von Stahlbeton- und Spannbetonbauteilen (Шисль П., Влияние трещин на выносливость строительных элементов из армированного и предварительно напряженного бетона). Записки Германской комиссии по железобетону, выпуск 370, издание «Вильгельм Эрнст&Сohn» (Wilhelm Ernst&Sohn), Берлин, 1986 (нем.).
- /5/ Eligehausen, R., Fuchs, W., Mayer, B.: Tragverhalten von Dubelbefestigungen bei Zugbeanspruchung (Элигехаузен Р, Фукс В., Майер Б., Несущая способность дюбельных креплений при растягивающих нагрузках). Журнал «Бетонные конструкции+Технология сборных конструкций» (Betonwerk+Fertigteil-Technik), 1987, выпуск 12, стр. 826-832 и 1988, выпуск 1, стр. 29-35 (нем., англ.).

Основные принципы крепежных технологий

2

- /6/ Eligehausen, R., Mallee, R., Rehm, G.: Befestigungen mit Verbundankern (Элигехаузен Р., Малле Р., Рем Г., Крепления, выполняемые с помощью химических анкеров). Журнал «Бетонные конструкции+Технология сборных конструкций»(Betonwerk+Fertigteil-Technik), 1984, выпуск 10, стр. 686-692, выпуск 11, стр. 781- 785, выпуск 12, стр. 825-829 (нем., англ.).
- /7/ European Organisation for Technical Approvals (EOTA) (Европейская организация по выдаче технических допусков) (1994): Guideline for European Technical Approval of Anchors (Metal Anchors) Use in Concrete (Инструкции по выдаче европейских технических допусков на анкеры (металлические анкеры), предназначенные для использования в бетоне). Окончательный проект, сентябрь 1994, часть 1: Общее описание анкеров, часть 2: Распорные анкеры с контролируемым моментом, часть 3: Анкеры с внутренним упором), приложение А: Порядок испытаний, приложение В: Испытания по определению допустимых рабочих условий, подробная информация, приложение С: Метод расчета анкерных креплений.
- /8/ Union Europeen pour l'Agrement Technique dans la Construction (UEAtc). UEAtc Technical Guide on Anchors for Use in Cracked and Non-cracked concrete (Техническое руководство по анкерам, предназначенным для использования в бетоне с трещинами и без трещин).М.О.А.Т. № 49: 1992, июнь 1992.
- /9/ Eligehausen, R., Okelo, R.: Design of group fastenings for pull-out or pullthrough failure modes of the individual anchor of a group (Элигехаузен Р., Окело Р., Проектирование групповых креплений для режимов разрушения в результате выдергивания или проталкивания для отдельных анкеров из группы). Отчет No. 18/1- 96/20. Институт строительных материалов, Университет Штуттгарта, 1996 (не опубликовано).
- /10/ Eligehausen, R., Mallee, R.: Befestigungstechnik in Beton- und Mauerwerkbau (Элигехаузен Р., Малле Р., Крепления в бетонных конструкциях и в каменной кладке). Журнал «Строительная инженерная практика», издание «Вильгельм Эрнст&Сын», Берлин, 2000 (нем.).
- /11/ Lotze, D.: Untersuchungen zur Frage der Wahrscheinlichkeit, mit der Dubel in Rissen liegen – Einfluss der Querbewehrung (Лотце Д., Исследование вопроса о вероятности того, что дюбель будет расположен в трещине – Влияние поперечной арматуры). Отчет No. 1/24 – 87/6, Институт строительных материалов, Университет Штуттгарта, август 1987 (не опубликовано, нем.).
- /12/ Cannon, R.W.: Expansion Anchor Performance in Cracked Concrete (Кэннон Р.В., Характеристики распорных анкеров в бетоне с трещинами). Журнал ACI, 1981, стр. 471-479.
- /13/ Bensimhon, J., Lugez, J., Combette, M.: Study of the Performance of Anchor Bolts in the Tensile and Cracked Zone of Concrete (Бензимхон Дж., Комбетт М, Исследование характеристик анкерных болтов в зонах растяжения бетона и в зонах с трещинами). Отчет научно-технического строительного центра, Париж, 1989.
- /14/ Owen, D.: Handbook of Statistical Tables (Оуэн Д., Справочник статистических таблиц). Издательская компания «Эдисон/Уесли», 1968.