

М.Р. Бельский

Усиление металлических конструкций под нагрузкой

**Москва
«Книга по Требованию»**

УДК 528
ББК 38.2
М11

М11 **М.Р. Бельский**
Усиление металлических конструкций под нагрузкой / М.Р. Бельский – М.: Книга по Требованию, 2021. – 120 с.

ISBN 978-5-458-36026-5

В книге описаны средства и методы усиления металлических конструкций под нагрузкой в условиях действующих предприятий. Особое внимание уделено вопросам усиления стоек рам каркасов зданий и сооружений. Приведены практические методы расчета и производства работ по усилению металлических конструкций. Книга предназначена для инженеров-строителей, проектировщиков и производителей работ.

ISBN 978-5-458-36026-5

© Издание на русском языке, оформление
«YOYO Media», 2021

© Издание на русском языке, оцифровка,
«Книга по Требованию», 2021

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, клякс, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг – не самое лучшее решение для восстановления текста в его первозданном виде, однако, наша цель – вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания – решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.



Серия Книжный Ренессанс

www.samizday.ru/reprint

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НЕОБХОДИМОСТИ И СПОСОБОВ УСИЛЕНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ

ОБСЛЕДОВАНИЕ КОНСТРУКЦИЙ, НАХОДЯЩИХСЯ ПОД НАГРУЗКОЙ, И ИХ УСИЛЕНИЕ

Заключение о целесообразности усиления конструкций составляется при их обследовании и расчете на действительные нагрузки. Для определения несущей способности сооружений (конструкций) необходимо также определить механические характеристики материала, из которого они изготовлены. Старый металл проверяют на свариваемость.

В процессе обследования конструкций в первую очередь необходимо выяснить все их дефекты и повреждения [14]. Они могут появляться как при изготовлении, так и при монтаже конструкций.

Дефектами конструкций называют недопустимые по СНиП III-B.5—62 величины отклонений от теоретических размеров, формы, качества. Основные дефекты при изготовлении конструкций — непрямолинейность, искажение формы, некачественность сварных и других соединений. Дефекты при монтаже — неточность геометрического взаиморасположения, искривление, прогиб, вмятины в элементах конструкций от механических воздействий при транспортировке и установке, неточная подгонка узлов сопряжений, низкое качество соединений.

К повреждениям конструкций относят отклонение от первоначальных проектных размеров, искажение формы, уменьшение площади поперечных сечений элементов под воздействием коррозии, возникновение дефектов в металле, которые появляются в процессе эксплуатации конструкций.

Значительные дефекты при изготовлении и монтаже конструкций в сочетании с просчетами при проектировании и нарушениями правил эксплуатации могут привести к авариям.

Характеристики и допускаемые отклонения для основных дефектов и повреждений стальных конструкций промышленных зданий приведены в приложении I.

Обследования стальных конструкций промышленных зданий позволили систематизировать повреждения в зависимости от вызывающих их воздействий: силовых (статических и динамических) — разрывы, потеря устойчивости, трещины, расшатывания соединений и т. п.; механических — вмятины, прогибы, искривления, истирание и др.; физических — коробление и разрушение при высоких, трещины при низких температурах; химических (электрохимических и физико-химических) — коррозия металла.

Повреждения от силовых воздействий возникают при недопустимой перегрузке конструкций во время эксплуатации, а также при неправильных расчетах возникающих усилий или при ослаблении

сечений элементов несущих конструкций во время изготовления и монтажа. В некоторых случаях различные накладки, связи или другие элементы, устанавливаемые конструктивно, при неучете особенностей действительной работы конструкций могут привести к возникновению в местах их присоединения увеличения усилий и к повреждению конструкций. Наблюдаются случаи, когда конструктивные несовершенства отдельных узлов вызывают перераспределение усилий в конструкциях. Из-за большой жесткости опорных сопряжений в нижних поясах (крайних панелях) шарнирно-опертых стропильных ферм возникают сжимающие усилия от рамных моментов.

В конструкциях, работающих на динамические нагрузки, обычно появляются усталостные трещины. Часто действительные условия работы таких конструкций усложняются различными факторами напряжений (надрезами, резкими изменениями сечений и др.), собственными напряжениями от сварки, неучтенными дополнительными усилиями и т. п. Динамические воздействия также неблагоприятно влияют на работу болтов и заклепок, которые с течением времени могут рваться, приводя к нарушению соединений.

Повреждения от механических воздействий возникают, как правило, вследствие неправильной эксплуатации транспортного оборудования внутри цеха, подвешивания к конструкциям различных тяжелых грузов, вспомогательного оборудования. Особенно опасны повреждения связей, которые иногда относят к второстепенным элементам и используют в качестве подвесок или совсем вырезают. Это резко снижает общую жесткость здания в целом.

Повреждения от физических воздействий имеют место при близком расположении к элементам стальных конструкций источников тепла. При нагревании конструкций до $200\text{--}250^\circ$ разрушается защитное лакокрасочное покрытие, при $300\text{--}400^\circ$ элементы конструкций начинают коробиться. При нагревании свыше 400° резко снижаются критические характеристики металла. Отрицательные температуры (для углеродистых сталей — ниже минус $40\text{--}50^\circ$, для низколегированных — ниже минус 60°) вызывают появление трещин даже при незначительных напряжениях от рабочих усилий.

Повреждения от химических воздействий проявляются в различных видах коррозии. Это один из существенных факторов износа и снижения долговечности стальных конструкций. Коррозия, возникающая от воздействия агрессивных жидкостей и газов, называется химической, а коррозия, вызываемая действием влаги на поверхностный слой металла, — электрохимической. При воздействии влаги и агрессивной среды одновременно произойдет комбинированная коррозия.

Заполняя мелкие трещины, ржавчина, увеличиваясь в объеме, способствует дальнейшему их развитию. Трещины ослабляют сечения и концентрируют напряжения. Ржавчина часто увеличивает щель между склепанными элементами конструкций, приводя к срыву головок заклепок. Подобную серьезную опасность она создает,

скапливаясь в узких щелях конструкций. Наиболее интенсивному воздействию коррозии подвергаются элементы, форма сечений которых способствует отложению пыли.

Характерное разрушение от атмосферной коррозии строительных сталей — разъедание тела кристаллического зерна, в результате чего появляются сильные концентраторы напряжений с радиусом, равным размеру зерна. Кроме того, могут возникать также напряжения, локализованные в очень узких областях, внутри отдельных зерен. Это напоминает разрушение стали при коррозионной усталости или коррозионном растрескивании, что подтверждается анализом сравнительных испытаний образцов на склонность сталей к хрупкому разрушению.

Коррозионные поражения резко снижают пластичность при разрушении и в вязкой области (до 30—50%).

Повышение критической температуры хрупкости в результате коррозии исследовалось различными методами [14]. Из полученных данных следует, что, несмотря на общий равномерный характер атмосферной коррозии, результатом ее являются поражения, аналогичные надрезам или другим дефектам, вызывающим концентрацию напряжений.

Трещины в сварных швах наиболее часто возникают в элементах конструкций, работающих на знакопеременную нагрузку, в местах резких изменений сечений элементов. Особенно тщательно нужно осматривать места примыканий, ребер, накладок, места с изменением толщины и формы швов, швы, направленные перпендикулярно к направлению действующих усилий в элементах, а также швы с технологическими дефектами (непроварами, подрезами, кромками, наплывами, порами, шлаковыми включениями, незаделанными или невыведенными хатерами и т. п.). Эти места тщательно зачищаются и покрываются прозрачным лаком. Освидетельствование видимых сварных швов производится внешним осмотром, а невидимых — при помощи ультразвуковой дефектоскопии.

Практически удобнее обнаруживать трещины снятием тонкой стружки острым зубилом по направлению предполагаемой трещины. Подтверждением наличия трещины будет раздвоение стружки. Снимать ее следует без резких и глубоких зарубок металла. Трещины длиной более 10 мм для прекращения их дальнейшего развития нужно засверлить по концам на всю толщину элемента. Наличие дефектов на торцах швов выявляют зачисткой последних до зеркального блеска и протравливанием зачищенной поверхности 15—20%-ным водным раствором азотистой кислоты. Полученный микрошлиф просматривается через лупу.

Виды дефектов сварных швов и способы их обнаружения даны в приложении 1.

В случаях, когда на основании лабораторных испытаний материала конструкций, находящихся под нагрузкой, нельзя установить их фактическую прочность и надежность, целесообразно провести испытания пробной нагрузкой. Если временная нагрузка мала по

сравнению с постоянной и не может вызвать больших дополнительных напряжений и деформаций, такого испытания не проводят.

Существующие конструкции следует испытывать без остановки производственного процесса, их несущую способность лучше определить «неразрушающими», или физическими методами.

Испытание пробной нагрузкой производится в тех случаях, когда конструкция не находится в аварийном состоянии. При этом желательно давать перегрузку на 20—25 %, так как испытание реальной нагрузкой не дает гарантии прочности. Иногда пробную нагрузку используют для разгрузки конструкции путем постановки оттяжек и затяжек, поддомкрачивания. Нужно следить, однако, чтобы растянутые элементы решетчатых конструкций не стали сжатыми и не потеряли устойчивости. Разгружающую нагрузку прикладывают ступенями, что дает возможность установить в процессе испытания конструкции наличие пластических деформаций.

При испытаниях пробной нагрузкой получают данные о приращении напряжений, вызываемых ею. Действующие напряжения определяют расчетом, предполагая, что закон распределения усилий от действующей нагрузки аналогичен схеме и закону распределения усилий от пробной нагрузки. В особо ответственных случаях испытывается модель исследуемой конструкции. До начала натурных испытаний конструкции должны быть тщательно обследованы, испытаны пробы металла, установлены фактические нагрузки, произведены точные статические и конструктивные расчеты.

Пробные нагрузки могут быть статическими и динамическими. Подробные рекомендации по испытаниям конструкций пробной нагрузкой даны в монографии М. Н. Лашенко [21].

Методы местного снятия напряжений. Если состояние обследуемой конструкции, находящейся под нагрузкой, такое, что ее дополнительно нагружать опасно, то для определения напряжений применяют методы местного снятия напряжений. С помощью этих методов можно определять действительные напряжения в элементах конструкций, в состав которых входят также собственные (начальные) напряжения. Последние могут возникать при неравномерном остывании после прокатки, сварки, выпрямлении погнутых элементов. В отдельных случаях собственные напряжения могут быть той критической добавкой, из-за которой в конструкции может наступить аварийное состояние. Действительные напряжения в элементах конструкций могут быть определены механическими и физическими методами. К механическим относят методы местного снятия напряжений путем вырезания образца из напряженной конструкции и высверливания отверстий.

Если из напряженной конструкции вырезать элемент, то в результате снятия нагрузки его размеры несколько изменятся. По разнице деформаций элемента до и после вырезывания можно определить напряжения, действовавшие в нем под нагрузкой. Этот способ применяется в листовых конструкциях и называется способом «диска».

Для стержневых конструкций применяют способ «отверстия», заключающийся в том, что на элементе, действительные напряжения в котором нужно определить, высверливают отверстие и измеряют его диаметр. При сжатии по направлению действующего усилия оно уменьшится, при растяжении — увеличится. Тензометры устанавливаются либо под намеченным к рассверловке отверстием, либо по обе стороны от него. По разности отсчетов до и после высверливания отверстий определяют деформации и вычисляют напряжение.

Из физических методов наиболее удобен в практическом отношении магнитный. По сравнению с механическим он свободен от такого недостатка, как выпиливание образцов, высверливание отверстий. В его основе лежит явление магнитострикции — изменение геометрических размеров ферромагнитного стержня под действием магнитного поля. Наряду с этим имеет место и обратное явление, при котором стержень под влиянием механических напряжений изменяет свои магнитные параметры (эффект Виллари). Наиболее простой способ их измерения — индукционный с применением переменного магнитного поля [21]. При изменении магнитного потока вследствие деформации ферромагнитного материала (стали) в измерительной катушке индуцируется э. д. с. Величину напряжения определяют по изменению магнитной проницаемости в испытываемой конструкции (рис. 1).

Трансформатор в виде выносного электромагнитного щупа устанавливается на поверхности испытываемой конструкции так, что

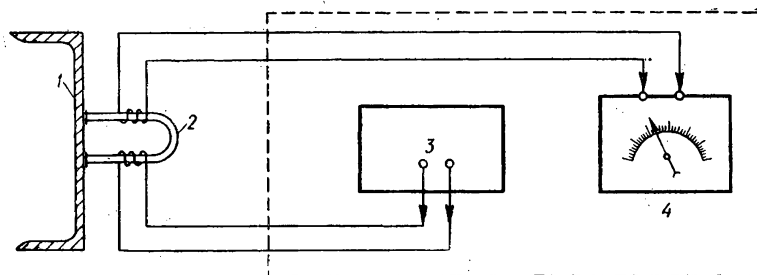


Рис. 1. Прибор для измерения напряжений в ферромагнитных материалах [21]:

1 — испытываемая конструкция; 2 — трансформатор; 3 — источник переменного тока; 4 — микроамперметр.

участок металла, на котором измеряется напряжение, оказывается заключенным между полосами магнитопровода щупа. Первичная обмотка трансформатора питается от источника переменного тока частотой 50 гц. Величина тока во вторичной обмотке трансформатора регистрируется по стрелочному микроамперметру. Такие приборы широко используются для испытаний материалов и конструкций под нагрузкой.

Основными показателями необходимости усиления являются результаты всестороннего обследования и точного расчета сооружений и конструкций. Особый интерес в этом случае представляет собой учет пространственной работы каркасов зданий и сооружений.

В практике известны случаи, когда в результате учета и обеспечения пространственной работы значительно уменьшается объем усиления. Имеется ряд теоретических и экспериментальных исследований в этой области, проведенных в ЛИСИ, МИСИ им. В. В. Куйбышева, Гипромезе, КИСИ, ЦНИИпроектстальконструкция, Промстройпроекте, ЦНИИПСе и др.

Как свидетельствуют результаты исследований, уменьшение изгибающих моментов в результате учета пространственной работы только для одноэтажных рам каркасов промышленных зданий может достигать 57%.

Учет пространственной работы неоднократно использовался для проектирования усиления. Если пространственная жесткость каркаса недостаточна, во многих случаях ее можно увеличить и тем самым уменьшить или вовсе избежать усиления в элементах каркаса.

Значительного улучшения пространственной работы можно достичь в результате увеличения жесткости (усиления) торцов зданий, что заметно снижает нагрузки на колонны при горизонтальных воздействиях (поперечное торможение кранов, ветер). Горизонтальная нагрузка передается на жесткие торцы здания через горизонтальные связевые диски. Все усиления должны сосредотачиваться в наиболее доступных для работы местах. В некоторых случаях полезно учитывать совместную работу строительной фермы и фонаря.

Иногда для решения вопроса о необходимости усиления или сведения последнего к минимуму, а, возможно, для получения основания на заключение о его нецелесообразности экономически оправдано при проведении обследований уделить внимание изучению реальных нагрузок (измерению толщины утеплителей, стяжек, железобетонных и бетонных элементов, определению их фактического объемного веса и точного веса оборудования).

Однако, если конструкция находится в аварийном состоянии, то еще до выяснения целесообразности усиления или до выбора его способа нужно проектировать временное усилие, без которого дальнейшая эксплуатация сооружения опасна.

Усиление — основное средство увеличения продолжительности эксплуатации конструкций. В некоторых случаях затраты на усиление могут достигать значительных размеров, и поэтому перед проектировщиком ставится задача доказать его экономическую целесообразность. Эту задачу удобно решать по методике Н. С. Стрелецкого. Сроки между усилениями и количество затраченных материалов зависят от темпов роста продукции, от кранового и прочего оборудования.

Так, например, между количеством вырабатываемой продукции,

транспортируемой кранами, и их грузоподъемностью существует зависимость

$$П = n_1 n_2 Q_{кр},$$

где n_1 и n_2 — количество кранов и рейсов;

$Q_{кр}$ — грузоподъемность.

Вес конструкции зависит от грузоподъемности кранов и может быть выражен

$$G = \gamma Q_{кр} = G^0 + G' Q_{кр} = G^0 + \gamma П,$$

где G^0 — вес конструкции, независимый от веса крана;

G' — коэффициент пропорциональности;

γ — коэффициент связи между весом конструкции и количеством продукции.

По величине возрастания продукции $П$, в зависимости от кранового оборудования и веса конструкции, устанавливают время t_1 , в течение которого данное крановое оборудование и вес конструкции удовлетворяют условиям производства. Далее должны следовать усиления.

Любое усиление связано с затратой металла ΔG . Срок эксплуатации возрастает на величину $t_2 - t_1 = \Delta t$, пока не будет достигнута его предельная продолжительность. Последняя определится состоянием конструкции и экономическими требованиями в целом. Количество и величины усиления можно получить из сравнения затрат:

$$C_y = \Sigma c_i \Delta G_i \psi_i,$$

где C_y — затраты на усиление;

ΔG_i — количество металла, необходимого для усиления;

c_i — единичная стоимость работ и материалов по усилению;

ψ_i — коэффициент одновременности затрат (поскольку они производятся в разные сроки).

Если имеются убытки, которые несет предприятие от стесненных условий производства (U_i), то полные затраты на усиление составят:

$$C_{y6} = \Sigma (c_i \Delta G_i + U_i \psi_i).$$

Эти затраты погашаются стоимостью количества продукции, получаемой в результате продления срока эксплуатации ($П_d$). Баланс стоимости определяется выражением

$$\Sigma (c_i \Delta G_i + U_i \psi_i) = \Sigma П_d C_n,$$

где C_n — единичная стоимость продукции предприятия.

Следовательно, предельная стоимость усиления

$$C_y^{пред} = \Sigma c_i \Delta G_i \psi_i \leq \Sigma П_d C_n - \Sigma U_i \psi_i.$$

Из последней формулы видно, что если второй член правой части $\Sigma U_i \psi_i$ приближается к нулю, усиление в подавляющем большинстве случаев будет экономически целесообразным, т. е. $\Sigma c_i \Delta G_i \psi_i$ чаще всего меньше $\Sigma П_d C_n$.

В случаях, когда ошибки при проектировании, изготовлении и монтаже приводят к перенапряжениям элементов конструкций, за-

траты на усиление этих элементов или конструкций значительно меньше, чем стоимость новых конструкций.

В этих случаях усиление будет всегда экономически целесообразным.

Сложнее решаются вопросы о целесообразности усилений очень старых конструкций, ослабленных коррозией, с большим количеством повреждений. Тогда только после определения стоимости материалов и трудоемкости усиления, а также продолжительности работ по усилению и времени остановки производства можно окончательно решить, строить новое сооружение или ремонтировать и усиливать старое. Иногда более выгодно так регулировать нагрузки, действующие на конструкцию, что можно избежать усиления. Так, если по условиям производства в цехе нет необходимости сближения двух мостовых кранов, делают устройства, препятствующие их сближению, и, таким образом, может отпасть необходимость в усилении подкрановых балок или колонн.

Из способов усиления более экономичными чаще оказываются те, применение которых предусматривает наименьшие потери в стоимости продукции предприятия из-за нарушения технологии или остановок производства во время строительно-монтажных работ по усилению.

ПРИЧИНЫ АВАРИЙ, ВЫЗЫВАЮЩИХ НЕОБХОДИМОСТЬ УСИЛЕНИЯ КОНСТРУКЦИЙ

Аварии, как правило, вызываются дефектами в конструкциях, возникающими из-за ошибок в проектировании, дефектами, возникающими в процессе изготовления, монтажа, эксплуатации конструкций и т. п. Анализ причин аварий довольно полно и обстоятельно освещен в работах М. Н. Лашенко [21], М. М. Сахновского [27], Б. И. Беляева [5—7].

Наиболее распространенные причины аварий следующие:

1. Перегрузка конструкций.
2. Потеря общей или местной устойчивости конструкции из-за отсутствия надлежащей расстановки связей сжатых поясов, несвоевременности постановки как постоянных, так и временных связей.
3. Хрупкое разрушение конструкций.
4. Отсутствие надлежащей защиты конструкций, работающих в агрессивной среде.
5. Усталостные разрушения сварных швов.
6. Наличие концентраторов напряжений-надрезов трещин, отверстий, непредусмотренная (случайная) приварка деталей для крепления вспомогательных элементов оборудования.
7. Грубое нарушение правил выполнения сварочных работ, особенно в зимнее время, применение электродов, не предусмотренных проектом, несоблюдение порядка наложения сварных швов, отсутствие контроля качества последних.

Например, по данным Б. И. Беляева, количество аварий по времени строительства и эксплуатации сооружений распределяется

следующим образом. Больше половины их — 59% — наблюдалось в период строительства зданий и сооружений и 41% — в период их эксплуатации. Наиболее частые причины аварий — ошибки в чертежах КМ и КМД, низкое качество работ и упущения при монтаже и изготовлении конструкций (67% аварий). Значительная часть аварий происходила в результате грубых нарушений правил производства работ, почти половина их (44%) — из-за потери устойчивости отдельных элементов или участков конструкций. Из-за хрупкого разрушения сталей при низких отрицательных температурах возникало до 17% аварий. От разрыва основного металла или сварных соединений наблюдалось до 26% аварий, от усталостного разрушения — 5% и т. д.

Эти цифры говорят о том, что сжатые элементы стальных конструкций обладают меньшими резервами надежности, чем растянутые.

КЛАССИФИКАЦИЯ УСИЛЕНИЙ. ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЕ НАПРЯЖЕНИЕ ПРИ УСИЛЕНИИ КОНСТРУКЦИЙ

Под усилением обычно подразумевают совокупность различных мероприятий, направленных на достижение одной цели: увеличения несущей способности конструкций или сооружений в целом, а также отдельных элементов. Оно бывает временным, аварийным (неотложным), постоянным (капитальным) и перспективным. Временно усиливаются конструкции, которые должны эксплуатироваться до их капитального усиления. Способы такого усиления упрощены, так как оно рассчитывается на короткий период службы. Выбор способа зависит также от вида материала и его сортамента. Для временного усиления применяют обычно дерево, тросы, использованные канаты, круглую сталь, катанку и т. п. Соединение элементов при этом обычно выполняется на болтах. К временному относится также монтажное усиление верхних поясов ферм, арок и т. п.

Аварийное усиление, применяемое в экстренных случаях, имеет те же особенности, что и временное.

Постоянное (капитальное) усиление относится к числу основных. Разновидностью его является усиление конструкций под нагрузкой, представляющее собой один из частных случаев применения предварительного напряжения в конструкциях.

Перспективное усиление применяется для тех конструкций, нагрузку на которые по истечении какого-то промежутка времени можно увеличить. Это прежде всего касается цехов с крановой нагрузкой, поскольку в связи с ростом производства часто возникает необходимость увеличения грузоподъемности кранового оборудования.

Классификация усиления металлических конструкций разработана М. Н. Лашенко [17], в соответствии с которой различают шесть основных способов:

1. Подведение новых конструкций и элементов.
2. Постановка дополнительных ребер, диафрагм и распорок.
3. Усиление соединений элементов.
4. Увеличение сечений элементов.
5. Изменение конструктивной схемы.
6. Увеличение пространственной жесткости.

Кроме основных, могут применяться также способы, отнесенные к «специальным мероприятиям»: а) выявление неучтенных запасов прочности; б) уменьшение нагрузки, действующей на элемент конструкции.

Чаше конструкции и их элементы усиливают не одним каким-либо способом, а сочетанием нескольких.

Приемы усиления конструкций под нагрузкой можно разделить на две группы: местные и общие. К первой относятся: установка дополнительных ребер, диафрагм, распорок, увеличение сечений отдельных элементов, усиление соединений. Увеличение пространственной жесткости сооружений, изменение конструктивной схемы составляют вторую группу приемов.

Физико-механические свойства материалов, из которых выполнены как конструкции, подлежащие усилению, так и отдельные элементы, должны быть изучены путем испытаний и химических анализов. Так, например, особенно осторожно нужно подходить к старым конструкциям, выполненным из сварочного железа и чугуна, встречающимся на старых промышленных предприятиях (текстильные фабрики, мехмастерские и др.). При усилении конструкций, выполненных из сварочного железа или чугуна путем присоединения к ним элементов при помощи сварки, необходимо испытать материал на свариваемость. Элементы усиления в таких конструкциях в большинстве случаев присоединяются с помощью заклепок, болтов или комбинированным путем (заклепками, болтами и хомутами).

Усиливающие элементы присоединяются к стальным конструкциям посредством сварки, болтов, заклепок, а также комбинированными способами.

Пробы для химического анализа отбирают сверлением, которое производится с минимальной скоростью во избежание пережога стружки. Рекомендуется сверлить в нескольких местах одного прокатного профиля, причем вес стружки, взятый в местах отбора проб, должен быть одинаковый — не менее 50 г.

Сверление нужно производить в неответственных, ненапряженных местах конструкции. Стружка может быть получена при изготовлении образцов для механического испытания металла (после удаления слоя металла, поврежденного газовой резкой).

Хорошо свариваются углеродистые стали, содержащие углерод и кремний менее 0,22, серу менее 0,055 и фосфор менее 0,05%.

Предварительную информацию о свойствах металла можно получить, зная время постройки здания. Так, для зданий и сооружений, построенных до 1934 г., можно применять бессемеровскую