

А. С. ЧЕСНОКОВ, А. Ф. КНЯЖЕВ

СДВИГОУСТОЙЧИВЫЕ СОЕДИНЕНИЯ НА ВЫСОКОПРОЧНЫХ БОЛТАХ



МОСКВА
СТРОИИЗДАТ
1974

Чесноков А. С., Княжев А. Ф. Сдвигоустойчивые соединения на высокопрочных болтах. М., Стройиздат, 1974, 120 с.

На основе систематизации и обобщения отечественного и зарубежного опыта рассматривается применение сдвигоустойчивых соединений на высокопрочных болтах. Приведены прочностные характеристики соединений, технология изготовления высокопрочных болтов. Рассмотрены вопросы, связанные с производством работ по монтажу конструкций на высокопрочных болтах.

Книга предназначена для инженерно-технических работников, проектных и строительно-монтажных организаций.

Табл. 36, ил. 44, список лит.: 33 назв.

Научный редактор А. Г. Тахтамышев

1. ВВЕДЕНИЕ

В последние годы к общеизвестным монтажным соединениям металлических конструкций — клепаным, сварным и болтовым на болтах нормальной точности прибавилось еще одно соединение — сдвигоустойчивое на высокопрочных болтах.

Клепаное соединение — старое и вполне себя оправдавшее соединение, хотя оно и не лишено недостатков. В заклепочных соединениях усилие от одного элемента к другому передается через стержень заклепки (рис. 1) в результате работы его на срез и смятие. К заклепке предъявляются два основных требования: плотное заполнение отверстия стержнем заклепки и сильное стягивание склепываемого пакета. Чем плотнее стержень заклепки заполняет отверстие, тем меньше величина возможных сдвигов деталей под воздействием внешних сил N , и чем сильнее стянут пакет заклепками, тем больше будут силы трения между деталями, что обеспечивает вязкость соединения и передачу усилий по поверхности склепываемых деталей; по сути это является основой его хорошей работы.

К недостаткам клепаных соединений следует отнести ослабление сечения соединяемых элементов отверстиями, невысокий предел выносливости (вследствие того, что отверстия являются концентраторами напряжений), появление местных перенапряжений (так как усилия от одного элемента к другому передаются в местах заклепок, а это сказывается на неравномерности силового потока в соединении) и большой шум при производстве клепки.

Из-за недостатков клепаных соединений (в особенности из-за ослабления сечений) стала быстро внедряться сварка. В последние сорок лет она являлась основным видом соединений строительных стальных конструкций, почти полностью вытеснив клепку на заводах, уступая ей иногда только на монтаже.

В сварных соединениях усилия передаются либо поперек шва при соединении встык без накладок (рис. 2, а), либо — вдоль по длине угловых швов (рис. 2, б, в).

К преимуществам сварки по сравнению с клепкой относятся экономия стали, более высокая производительность труда рабочих и, как следствие, больший съем готовой продукции с производственных площадей.

Однако и сварка имеет недостатки. В процессе сварки изделие подвергается неравномерному нагреву сварочной дугой, пред-

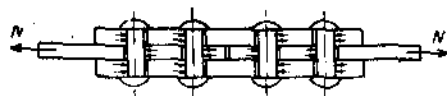


Рис. 1. Заклепочное соединение

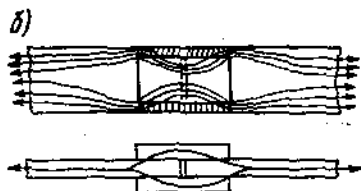


Рис. 2. Схема передачи усилий в сварных соединениях

а — соединение встык без накладок; б — то же, с накладкой; в — соединение внахлестку

ставляющей концентрированный источник тепла, передвигающийся на поверхности изделия. Вследствие теплопроводности металла тепло от сварочной дуги распространяется по изделию, образуя вокруг дуги температурное поле. Металл в зоне сварки, подвергаясь температурному воздействию, изменяет свою структуру и в зависимости от температуры нагрева и скорости охлаждения имеет различные по структурному изменению участки с неодинаковыми механическими свойствами.

Температурное воздействие сварки вызывает в конструкции внутренние напряжения и деформации. Борьба со сварочными напряжениями и деформациями достаточно сложна и требует большого опыта при выполнении сварочных работ.

Болтовые соединения металлических конструкций появились раньше заклепочных. Их применяли еще в те времена, когда конструкции изготовляли из чугуна.

Надежная работа болтового соединения определяется натяжением болта. Так же как и в заклепках, начальное натяжение в болтах сплачивает соединяемые детали и обеспечивает упругую работу соединения в пределах эксплуатационных нагрузок. Для хорошей работы болтов начальное натяжение их должно быть возможно высоким.

Существенное достоинство болтовых соединений — простота монтажа конструкций, что ведет к ускорению процесса возведения сооружения. Несомненным достоинством болтовых соединений является также и то, что для выполнения не требуется сложного и дорогостоящего оборудования. Все это привело к ши-

рокому применению болтовых соединений на монтаже конструкций взамен клепаных и сварных.

Для соединений строительных стальных конструкций применяют точеные, рифленые и нормальной точности болты. Последние могут быть разделены на болты обычной, невысокой прочности, изготавливаемые из углеродистой стали и имеющие временное сопротивление не более 80 кгс/мм^2 , и высокой прочности, изготавливаемые из легированной стали с временным сопротивлением после обработки более 80 кгс/мм^2 .

Точеный болт работает, как и заклепка, на срез и на смятие, однако зазор между стержнем болта и отверстием (порядка $0,3\text{--}0,5 \text{ мм}$) делает работу болта менее определенной, чем заклепки.

Под ударами молотка точеный болт должен туго входить в отверстие. Поверхность стержня точеных болтов обрабатывают по второму классу точности.

Точеные болты ставят в тщательно сверленные отверстия. Рассверливание отверстий на монтаже (с меньшего размера до проектного) ручной пневматической машинкой не дает цилиндрического, без косины и овальности отверстия, из-за чего подготовка отверстий для точеных болтов на монтаже является весьма сложной операцией. Постановка же точеных болтов в конусные и овальные отверстия не гарантирует их работу на срез. Вследствие этого точеные болты применяют только в тех случаях, когда нельзя применить другой вид соединения.

В некоторых странах применяются соединения на рифленых болтах. Стержень таких болтов имеет рифы с гранями под углом 90° . Диаметр болтов по вершинам рифов на $0,4\text{--}0,6 \text{ мм}$ больше диаметра отверстий. Рифленый болт забивают в отверстие ударами кувалды массой в $2,5\text{--}3 \text{ кг}$, рифы при этом сминаются (сплющиваются), заполняют пустоты между собой, и болт плотно сидит в отверстии.

Рифленые болты у нас из-за сложности изготовления не применяются.

Работа обычных невысокопрочных болтов нормальной точности существенно отличается от работы точеных и рифленых болтов, так как диаметр этих болтов на 3 мм меньше диаметра отверстий. Болты невысокой прочности применяют в соединениях при работе стержня болта на растяжение. Сдвигающие силы могут восприниматься болтами только в пределах сил трения, возникающих от натяжения болтов, или если силы трения в работе соединения не участвуют, то для восприятия сдвигающих усилий применяют столики (рис. 3) и другие конструктивные решения. Сдвигающие силы могут восприниматься непосредственно и стержнями болтов после некоторого смещения собранных деталей, однако вследствие больших зазоров между стержнями болтов и стенками отверстий болты в таких соединениях работают неравномерно.

Замена болтов обычной прочности из малоуглеродистой стали высокопрочными болтами из легированной стали позволила создать принципиально новый вид соединения строительных стальных конструкций, получивший название сдвигоустойчивого соединения на высокопрочных болтах.

Отличительная особенность этого соединения состоит в том, что оно основано на трении, возникающем между соприкасающимися поверхностями собранных деталей в результате сильно-го их сжатия болтами.

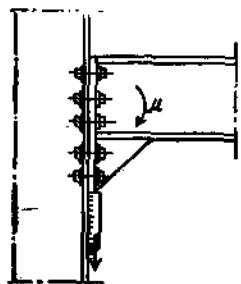


Рис. 3. Столик для восприятия сдвигающего усилия

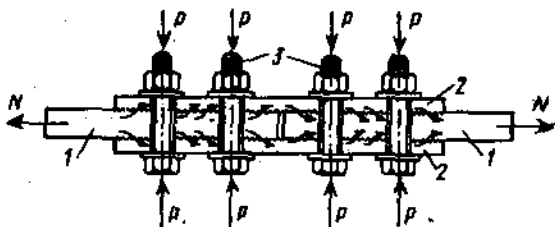


Рис. 4. Передача усилий в сдвигоустойчивом соединении на высокопрочных болтах

На рис. 4 показана принципиальная схема сдвигоустойчивого соединения на высокопрочных болтах, в котором детали 1 перекрыты накладками 2 и весь пакет стянут высокопрочными болтами 3, поставленными в отверстия, диаметр которых несколько больше диаметра стержня болта. Высокопрочные болты натягивают с осевым усилием $P = k\sigma_b$, где σ_b — временное сопротивление разрыву, а k — коэффициент, учитывающий однородность и условия работы болта. Значение k в различных странах колеблется от 0,6 до 0,9. Прочность такого соединения пропорциональна силам, сжимающим пакет (силам натяжения болтов P), и зависит от трения, возникающего между соприкасающимися поверхностями деталей.

Усилия от одного элемента к другому (рис. 4) в сдвигоустойчивом соединении на высокопрочных болтах передаются по плоскостям соприкосновения этих элементов, что выгодно отличает этот вид соединения от клепаных и сварных соединений.

Сдвигоустойчивое соединение можно уподобить слитному (плотному), приближающемуся по характеру работы к клеевому, в котором усилия от одного элемента к другому передаются через клеевую прослойку по всей площади перекрытия деталей.

Впервые высокопрочные болты в монтажных соединениях были применены в США в 30-х годах нашего столетия. Ими заменяли временные монтажные болты и пришедшие в расстройство заклепки, причем величина натяжения болтов не задава-

лась и не контролировалась каким-либо специальным приспособлением и возникающее в соединении трение не учитывалось. Исследования, проведенные в 1938 г. проф. Иллинойского университета (США) Уилсоном, показали, что усталостная прочность стыков на сильно затянутых болтах, диаметр которых меньше диаметра отверстия, выше, чем у заклепочных соединений.

Вторая мировая война задержала дальнейшие исследования и затормозила применение этого соединения. В 1945 г. в Северо-Западном университете США снова были исследованы болтовые соединения с учетом сил трения, развивающихся между деталями. Исследования показали преимущества этого соединения по сравнению с заклепочным при работе не только на статическую, но и на переменную нагрузку.

Масштаб исследовательских работ в США с каждым годом расширялся. Крупных размеров они достигли в 1947 г., когда проф. Уилсон совместно с другими учеными образовал Научно-исследовательский совет по заклепочным и болтовым соединениям, в который вошли представители двенадцати научных учреждений, финансировавших и координировавших научно-исследовательские работы.

С 1947 г. в Иллинойском, Вашингтонском и Северо-Западном университетах исследования соединений на высокопрочных болтах проводились систематически по общему координационному плану исследовательского Совета.

За двадцать лет работы Совета проведена не одна тысяча испытаний, послуживших основанием к тому, что высокопрочные болты прочно вошли в строительную практику США.

В 1948 г. в штате Огайо был построен и открыт для движения на рудной ветке первый железнодорожный мост с монтажными соединениями на высокопрочных болтах.

Все возрастающие масштабы исследовательских работ и применение соединений на высокопрочных болтах побудили Американское общество по испытанию материалов (ASTM) разработать временные технические условия на изготовление и проверку качества высокопрочных болтов. Временные технические условия ASTM A-325 58T были введены в 1951 г. и затем, по мере накопления практических и исследовательских данных, несколько раз подвергались пересмотру и уточнению.

В сентябре 1966 г. Научно-исследовательским советом по заклепочным и болтовым соединениям строительных конструкций была принята новая редакция «Технических условий на применение болтов А325 и А490 в соединениях строительных конструкций». В технических условиях 1966 г. установлены рабочие напряжения и другие расчетные данные для новых болтов А490, а также и для ранее применявшихся болтов А325.

В Канаде американские технические условия приняты в качестве основного нормативного документа для выполнения сдви-

гоустойчивых соединений в строительных конструкциях на высокопрочных болтах.

В настоящее время этот вид соединения в США является основным при строительстве из стальных конструкций.

В Европе соединения металлических конструкций на высокопрочных болтах впервые были применены в Англии и ФРГ. К этому времени в США уже был накоплен достаточный опыт по применению соединений на высокопрочных болтах (для каркасов зданий, железнодорожных и автодорожных мостов, промышленных сооружений различного назначения, спортивных сооружений, выставочных павильонов и т. д.).

В 1955—1956 гг. стальные конструкции с соединениями на высокопрочных болтах появились во Франции, Италии, Австрии, Швейцарии и других странах.

Первоначально строительство таких сооружений в Европе базировалось на американском опыте с использованием американских нормативных документов. Затем в Англии и ФРГ были созданы свои технические условия на изготовление и приемку высокопрочных болтов и на проектирование и монтаж конструкций с их применением.

Очень крупные и обстоятельные исследования, проведенные в 1954—1956 гг. проф. О. Штейнхардтом (ФРГ), оказали существенное влияние на внедрение соединений на высокопрочных болтах и выделили это соединение в самостоятельный вид.

В 1954 г. в ФРГ было построено пролетное строение моста через р. Рур (пролет 45 м) с монтажными соединениями на высокопрочных болтах, а в 1956 г. вышли в свет временные нормы для расчета и конструирования соединений на высокопрочных болтах.

В Англии много внимания уделялось и уделяется сейчас не только изучению прочности соединений на высокопрочных болтах, изучению факторов, влияющих на величину сил трения между соединенными элементами, но также и на усовершенствование способа затяжки высокопрочных болтов. Авторы работ стремятся создать новые типы высокопрочных болтов, которые обеспечивали бы простой и надежный контроль за величиной осевого усилия в болте, возникающего во время натяжения.

Одновременно со всеми европейскими странами Научно-исследовательским институтом мостов в СССР были начаты и успешно завершены исследования соединений на высокопрочных болтах.

В результате исследований выбрана и рекомендована для высокопрочных болтов сталь марки 40Х (ГОСТ 4543—61) и установлены расчетные величины, входящие в формулу расчета сдвигоустойчивого соединения. Итогом этих работ явились «Технические условия на проектирование в металлических конструкциях соединений на высокопрочных болтах» (ВСН 54-61), утвер-

жденные Министерством путей сообщения и Министерством транспортного строительства.

С освоением соединений на высокопрочных болтах, а также приобретением опыта по их выполнению и эксплуатации технические условия 1961 г. были переработаны и заменены «Указаниями по применению высокопрочных болтов в стальных конструкциях мостов ($\frac{\text{ВСН 144-68}}{\text{МПС СССР}}$)
Минтрансстрой СССР.

В настоящее время высокопрочные болты с успехом применяются не только на строительстве новых пролетных строений, но также при замене ослабевших заклепок действующих мостов. Замена ослабевших заклепок новыми не всегда приводит к желаемым результатам, так как и вновь поставленные заклепки нередко в короткий срок выходят из строя. Постановка болтов может производиться рабочими невысокой квалификации ручными тарированными ключами, исключая громоздкое оборудование. Стоимость клепки резко возрастает при смене слабых заклепок, ибо объем работ в этом случае незначителен, а для производства клепки требуются громоздкое оборудование и квалифицированные рабочие.

Исследованиями сдвигоустойчивых соединений на высокопрочных болтах, помимо Научно-исследовательского института мостов, занимаются ЦНИИпроектстальконструкция, ВНИИмонтажспецстрой, ЛИИЖТ и другие организации.

Если работы Научно-исследовательского института мостов положили начало применению у нас сдвигоустойчивых соединений на высокопрочных болтах в мостостроении, то в строительных стальных конструкциях сдвигоустойчивые соединения стали применяться после работ ЦНИИпроектстальконструкции Госстроя СССР.

В ЦНИИпроектстальконструкции проведены крупные работы по изысканию прогрессивных марок стали для высокопрочных болтов, уточнению значений коэффициентов трения и условий работы и по изучению факторов, влияющих на прочность сдвигоустойчивого соединения.

На основании исследований в главы СНиП II-V.3-72* «Стальные конструкции. Нормы проектирования» и СНиП III-V.5-62* «Металлические конструкции. Правила изготовления, монтажа и приемки» были внесены пункты, касающиеся расчета и выполнения сдвигоустойчивых соединений на высокопрочных болтах. Кроме того, в 1964 г. в развитие главы СНиП III-V.5-62* были составлены и утверждены «Временные указания по применению высокопрочных болтов при изготовлении и монтаже строительных стальных конструкций (СН 299-64)».

По мере накопления опыта применения сдвигоустойчивых соединений на высокопрочных болтах в СНиП вносились коррективы и уточнения, а СН 299-64 как устаревшие подверглись су-

щественной переработке, в итоге которой в 1973 г. утвержден новый производственный нормативный документ «Руководство по выполнению сдвигоустойчивых соединений на высокопрочных болтах в строительных стальных конструкциях».

За годы, прошедшие со времени монтажа (1959 г.) пролетного строения моста через р. Теза, в котором впервые в СССР были применены сдвигоустойчивые соединения на высокопрочных болтах, у нас построено много крупных и весьма ответственных сооружений.

Фермы пролетного строения моста через Тезу пролетом 48 м имеют параллельные пояса и треугольную решетку с дополнительными стоками и подвесками. Пролетное строение рассчитано под нагрузку Н8. Масса пролетного строения 159 т.

В 1963 г. построен мост через канал Фархадской ГЭС. Сварное пролетное строение этого моста имело пролет 110 м с ездой понизу, рассчитанное на железнодорожную нагрузку Н8. Пролетное строение имеет массу 457 т, оно изготовлено из стали марки 10Г2СД. Все монтажные соединения осуществлены сдвигоустойчивыми на высокопрочных болтах М22 из стали марки 40Х.

Всего на монтаже пролетного строения поставлено около 18 400 шт. высокопрочных болтов.

На Украине высокопрочные болты были впервые применены в 1961 г. на монтаже рудно-грейферного крана-перегрузателя Коммунарского металлургического завода. Особенность этих болтов заключалась в том, что они изготовлены из стали Ст5 диаметром 22 мм (на кране их около 600 шт.).

В 1961—1962 гг. смонтирована подкраново-подстропильная ферма главного корпуса мартеновского цеха Ждановского металлургического завода имени Ильича.

Подкрановая балка среднего ряда запроектирована в виде подкраново-подстропильной фермы высотой 15,2 м и пролетом 48 м. Элементы фермы изготовлены из низколегированной стали марки 10ХСНД с пределом текучести 40 кгс/мм². Все элементы и заводские стыки фермы — сварные; масса подкраново-подстропильной фермы — 250 т.

Монтажные соединения подкраново-подстропильных ферм выполнены сдвигоустойчивыми на высокопрочных болтах М24 из стали марки 35. Всего поставлено около 47 000 болтов. Перед постановкой болтов соприкасающиеся поверхности сопрягаемых элементов были обработаны опескоструиванием (чистым горным кварцевым песком без примеси глины). Очистка, как правило, производилась до монтажа. В тех случаях, когда очищенные поверхности (из-за задержки с монтажом) темнели и на них появлялись признаки коррозии, повторная обработка поверхностей опескоструиванием производилась наверху.

Почти все здания конверторных цехов, строящихся в СССР, имеют сдвигоустойчивые соединения на высокопрочных болтах. Так, в главных зданиях конверторных цехов Челябинского (рис.

5) и Западно-Сибирского металлургических заводов, имеющих каждый площадь $12\,200\text{ м}^2$ и массу стальных несущих конструкций около $12,5$ тыс. т, поставлено по $40\,000$ высокопрочных болтов М24, изготовленных из стали марки 40Х, с временным сопротивлением 130 кгс/мм^2 . Основные несущие конструкции запроектированы из низколегированной стали марок 10ХСНД, 10Г2С1, 14Г2.

Главное здание конверторного цеха Карагандинского металлургического завода имеет площадь $36\,940\text{ м}^2$ и массу металлических конструкций $31,8$ тыс. т. Основные несущие конструкции запроектированы из низколегированной стали марок 18Г2АФ, 10Г2С1, 14Г2. В монтажных соединениях конструкций было применено $50\,000$ высокопрочных болтов М24 из стали марки 40Х.

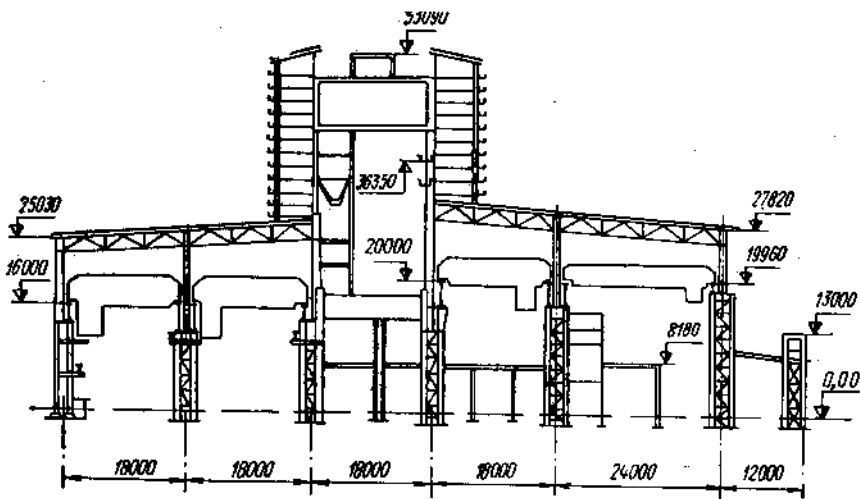


Рис. 5. Разрез главного корпуса конверторного цеха Челябинского металлургического завода

В последние годы сдвигоустойчивые соединения на высокопрочных болтах широко применяются в конструкциях кранов-перегрузателей, эстакадах ТЭС и других ответственных сооружениях, а также в конструкциях северного исполнения.

За 1966—1969 гг. построено несколько автодорожных мостов с $42,5$ -метровыми пролетными строениями, в которых все монтажные соединения выполнены сдвигоустойчивыми на высокопрочных болтах. Металлические конструкции такого пролетного строения состоят из двух сварных сплошностенчатых балок высотой 2400 мм , соединенных поперечными и продольными связями. В работу пролетного строения включена железобетонная плита проезжей части. Основные несущие конструкции пролетного строения запроектированы из низколегированной стали

марки 15ХСНД, а второстепенные — из стали марок М16С и ВСтЗ.

Монтажные соединения пролетных строений выполнены на высокопрочных болтах М22 из стали 40Х. На 21 пролетном строении поставлено около 42 500 высокопрочных болтов.

В 1969 г. завершено строительство пролетного строения совмещенного моста с соединениями на высокопрочных болтах, состоящего из четырех стальных пролетных строений пролетом по 55 м, двух пролетных строений по 110 м и одного неразрезного пролетного строения 3×132 м. На монтаже поставлено 217 000 высокопрочных болтов М22, изготовленных из стали марки 40Х. Масса металлических конструкций всех пролетных строений моста равна 3774 т.

Судя по журнальным сообщениям, а также по докладам специалистов, побывавших в США, монтажные соединения на высокопрочных болтах стали основными в конструкциях зданий и мостов, почти полностью вытеснив соединения на заклепках и сварке. Только в листовых конструкциях, где необходима особая плотность швов, монтажные соединения сварные. Крупным потребителем высокопрочных болтов в США являются мостостроители.

В конце 1964 г. в США построен очень крупный висячий мост через пролив Нерроуз, соединяющий Нью-Йоркскую гавань с океаном. Мост — трехпролетный 370+1300+370 м. На строительство этого моста пошло 126 000 т стали, не считая железобетонной арматуры и канатной проволоки. Стальные пилоны и фермы жесткости вместе с конструкциями проезжей части смонтированы на высокопрочных болтах. Каждый пylon моста высотой 210 м воспринимает вертикальную нагрузку в 95 000 тс, передаваемую на него кабелями.

С применением в монтажных соединениях высокопрочных болтов в США был построен обелиск «Космическая Игла» высотой 150 м с вращающимся рестораном наверху. Обелиск установлен на территории Международной выставки 1961 г. в Сиэтле (штат Виргиния). Для монтажа 3500 т стальных конструкций обелиска было израсходовано 30 000 высокопрочных болтов.

На строительство спортивного стадиона на 55 000 мест на территории Международной выставки 1964 г. в Нью-Йорке для монтажа 8000 т стальных конструкций было израсходовано 250 000 высокопрочных болтов.

На постройке трех заводских зданий атомного центра в штате Огайо масса металлоконструкций которых составляла 79 000 т, в монтажные соединения поставлено около 1 500 000 высокопрочных болтов.

Интересно отметить, что на этом же сооружении было произведено сравнение трудоемкости клепки и постановки высокопрочных болтов. Бригада клепальщиков из четырех человек за одну смену ставила в среднем 175 заклепок, а двое рабочих за

смену ставили в среднем 350 высокопрочных болтов. Таким образом, потребность в рабочих при применении высокопрочных болтов сокращается примерно в четыре раза.

В Нью-Йорке на Парк-авеню возведено 38-этажное здание со стальным каркасом массой 13 000 т. При монтаже этого здания было поставлено 190 000 высокопрочных болтов.

В Нью-Йорке построен 60-этажный небоскреб высотой 250 м. Масса стального каркаса небоскреба 50 000 т. Все монтажные соединения этого здания выполнены на высокопрочных болтах.

В ФРГ построено довольно много железнодорожных пролетных строений, в которых широко применяется сварка при изготовлении на заводе и высокопрочные болты в сдвигу устойчивых монтажных соединениях. Такое сочетание заводской сварки с высокопрочными болтами на монтаже позволяет удачно решить проблему монтажа, трудно решаемую в цельносварных пролетных строениях.

В Англии достаточно много сварных пролетных строений смонтировано на высокопрочных болтах. К таким сооружениям относится путепровод у Дан и Грейч с двумя неразрезными пролетными строениями со сплошными 30-м балками. Каждое пролетное строение состоит из трех главных балок с ездой посередине.

Монтажные стыки главных балок и крепления поперечных балок к главным фермам выполнены на высокопрочных болтах, затянутых до осевого усилия 19 тс. В качестве сборочных болтов использованы также высокопрочные болты.

Сдвигу устойчивое соединение на высокопрочных болтах, которое с каждым годом находит все более широкое применение в строительных металлических конструкциях, является прогрессивным монтажным соединением.

В нашей технической литературе сдвигу устойчивое соединение на высокопрочных болтах освещено слабо, поэтому нередки случаи, когда на производстве соединения на высокопрочных болтах выполняются без знания основ их работы, что может отрицательно сказаться на работе всего сооружения.

В книге приведены необходимые сведения о работе сдвигу устойчивого соединения, его прочностных свойствах, а также требования к качественному его выполнению.

Главы I, II, III, IV, V написаны канд. техн. наук Чесноковым А. С., глава VI — инж. Княжевым А. Ф.

II. ПРОЧНОСТЬ СДВИГУ УСТОЙЧИВЫХ СОЕДИНЕНИИ

Предположим, что две уложенные внахлестку детали 1 и 2 (рис. 6) сжимаются силами P , направленными нормально к поверхности соприкосновения деталей. Чтобы сдвинуть деталь 1 по детали 2 внешними силами N , для каждой конкретной пары пластин и каждого конкретного значения нормального давления P

потребуется свое минимальное значение силы $N = N_{\text{т.пок}}$. Если значение внешней силы N находится в пределах от 0 до $N_{\text{т.пок}}$, деталь 1 остается в покое. Когда внешняя сила превзойдет значение $N_{\text{т.пок}}$, то деталь 1 начнет скользить по детали 2 под воздействием внешних сил N и силы трения скольжения $N_{\text{т.ск}}$.

В зависимости от агрегатного состояния тел в физике различают три вида трения: трение твердых тел, трение жидкостей и трение газов. Сухое трение твердых тел в чистом виде встречается редко, так как поверхность любого тела может оказаться измененной без применения каких-либо специальных смазочных средств только вследствие влажности соприкасающегося с поверхностью воздуха.

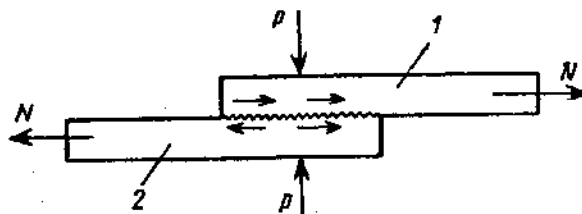


Рис. 6. Принципиальная схема соединения, работающего на трении

Согласно закону сухого трения сила трения покоя $N_{\text{т.пок}}$ (или сопротивление деталей сдвигу) пропорциональна величине силы нормального давления P , прижимающей трущиеся поверхности друг к другу, и может быть выражена формулой

$$N_{\text{т. пок}} = fP. \quad (1)$$

Безразмерный коэффициент пропорциональности f называется коэффициентом трения. Он зависит от адгезии металла, природы и состояния трущихся поверхностей деталей и, в частности, от их шероховатости и загрязненности.

Соприкосновение двух тел под давлением всегда вызывает деформации в частях тел, лежащих вблизи поверхностей. Под давлением тела сминаются при одновременном растяжении вдоль плоскости касания. Поверхность тел никогда не бывает идеально гладкой. Всегда есть пусть даже очень малые неровности, которые при соприкосновении тел сминаются, зацепляются и создают сопротивление, преодолеваемое срезом вершин, вошедших в зацепление неровностей.

Степень шероховатости металлической поверхности зависит от способа обработки. В результате колебательного движения инструмента, трения его о поверхности деталей, вырывания частиц металла в процессе стружкообразования, смятия и отпечатков неровностей валков во время прокатки, из-за окалины на поверхности деталей остаются следы.

На рис. 7 приведены профили поверхностей деталей из стали марки СтЗкп после обработки их металлической щеткой, опеско-

струиванием, огневым способом — многопламенной горелкой и наждачным камнем.

Профили поверхностей получены стереофотограмметрическим методом в Институте инженеров геодезии и аэрофотосъемки. Для этой цели исследуемые участки деталей снимались с двух точек. Точность измерения составляла 0,01—0,03 мм.

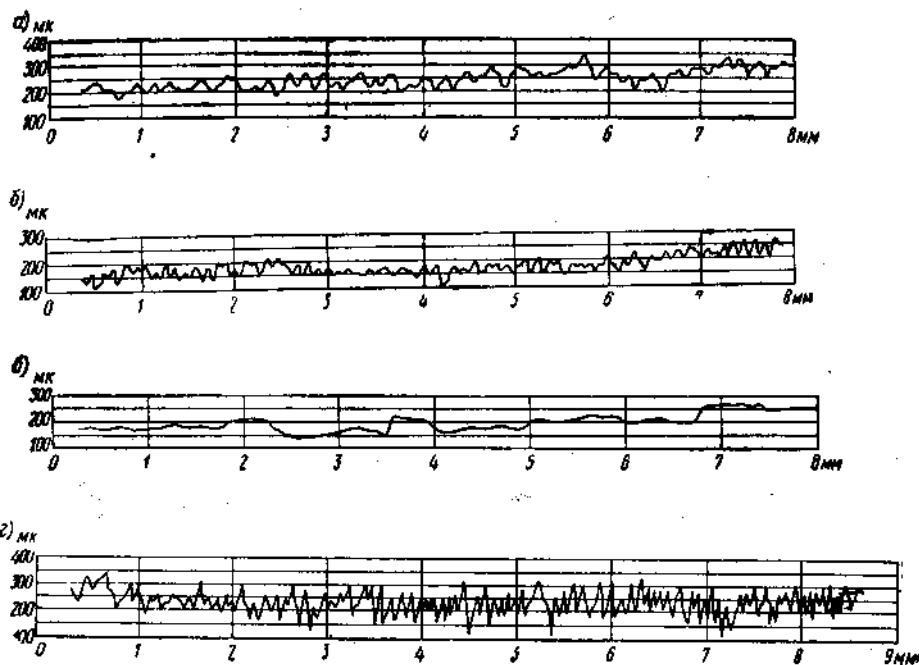


Рис. 7. Профили поверхности детали из стали марки Ст5сп после обработки
а — механической металлической щеткой; б — пескоструйной; в — огневой; г — наждач-
ным камнем

Сопоставляя профили поверхностей деталей, нетрудно заметить, что каждый способ обработки по-разному влияет на макро-рельеф поверхности.

Пескоструйная обработка придает поверхности деталей равномерную, мелкую шероховатость со средней высотой неровностей около 85 мк с количеством таких неровностей 7—8 на 1 пог. мм (рис. 7, б). Ударяющийся о металл песок помимо удаления окалины снимает небольшой слой основного металла, срезая вершины неровностей и выбивая неглубокие впадины.

При обработке металлической щеткой с поверхности детали удаляются только пыль, грязь, ржавчина и легкоотстающая окалина. Этот вид обработки, при отсутствии на поверхности металла окалины (рис. 7, а), характеризуется более грубой шерохова-

тостью. Средняя высота неровностей достигает примерно 150 мк при количестве их на 1 пог. мм 5—6 шт.

Обработка наждачным камнем (рис 7, з) оставляет на поверхности деталей резко выраженные бороздки, средняя высота которых равна 200 мк. В 1 пог. мм около 10 шт. таких бороздок.

Совершенно особый рельеф приобретают детали после огневой обработки (рис. 7, в). В этом случае мелкие неровности объединены слоем неотставшей окалины, образующей на вершинах неровностей достаточно большие прямолинейные, гладкие участки. Средняя высота неровностей при огневой обработке достигает 70 мк, а их количество на 1 пог. мм — 3—4 шт.

На рис. 8 показаны сечения двух сопрягаемых деталей 1 и 2, прошедших грубую обработку. Если две пластины свободно (без давления) лежат друг на друге (рис. 8, а), то вершины некоторых неровностей соприкасаются. Затем после приложения к пластинам сжимающего усилия P (рис. 8, б) одни вершины сминаются, а другие цепляются друг за друга.

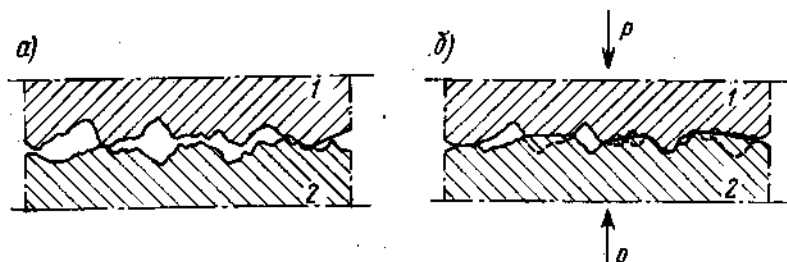


Рис. 8. Деформация вершин неровностей на поверхности сжатых деталей

Приложив к пластинам сдвигающие силы N , заставим одну пластину двигаться по другой, причем этому движению будут препятствовать неровности, которые так или иначе вошли в зацепление. Чтобы одна деталь сдвинулась по другой под действием силы N , необходимо срезать зацепившиеся неровности.

Характер повреждений на поверхностях деталей, разрушенных сдвигуостойчивых соединений на высокопрочных болтах, подтверждает это явление. После сдвига деталей на соприкасающихся поверхностях возле отверстий, в которых находились высокопрочные болты, видны сильные задиры и срывы, указывающие на то, что одна деталь во время сдвига цепляла и царапала другую.

Отсюда следует, что прочность сдвигуостойчивого соединения создается суммарным сопротивлением срезу всех так или иначе вошедших в зацепление неровностей и может быть выражена формулой

$$N = F_{\text{ср}} \sigma_{\text{ср}}, \quad (2)$$

где N — силы, стремящиеся сдвинуть детали; $F_{ср}$ — суммарная площадь среза вошедших в зацепление вершин шероховатости; $\sigma_{ср}$ — временное сопротивление металла деталей срезу.

Таким образом, прочность соединения на сдвиг находится в прямой зависимости от размеров площади среза $F_{ср}$ и от механических свойств металла деталей $\sigma_{ср}$.

На величину $F_{ср}$ существенно влияет способ обработки поверхностей сопрягаемых деталей.

Расчитать по формуле (2) требуемый размер площади среза $F_{ср}$ для обеспечения необходимой прочности соединения на сдвиг несложно, однако выполнить это требование в натуре при монтаже конструкций практически невозможно. Поэтому прочность сдвигоустойчивого соединения на высокопрочных болтах рассчитывают не по площади среза $F_{ср}$ входящих в зацепление неровностей на поверхностях соединяемых деталей, а определяя силу трения, возникающую в соединении.

В настоящее время еще невозможно численно подсчитывать силы трения как что-то обусловленное совместным действием способа обработки поверхностей трения, характеристики шероховатости, образующейся на поверхностях деталей, механических свойств металла соединяемых деталей, чистоты поверхностей трения и других факторов. Нет теории, которая давала бы удовлетворительное согласование теоретических подсчетов с числовым материалом, полученным при непосредственном измерении. Прочность сдвигоустойчивых соединений на высокопрочных болтах изучается экспериментально. Это должно привести к распознаванию природы прочности сдвигоустойчивых соединений, уточнению методов расчета и выполнению их.

По СНиП II-В.3-72* «Стальные конструкции. Нормы проектирования» прочность сдвигоустойчивых соединений на высокопрочных болтах в строительных стальных конструкциях рассчитывают в предположении передачи действующих в соединении усилий через трение, возникающее между соприкасающимися поверхностями соединяемых элементов. В случае центрального растяжения и сжатия распределение продольной силы между болтами принимают равномерным.

Расчетное усилие, которое может быть воспринято каждой поверхностью трения соединяемых деталей, стянутых одним высокопрочным болтом, определяют по формуле

$$N = f P m \text{ кгс,} \quad (3)$$

где P — осевое усилие натяжения болта в кгс; f — коэффициент трения между соприкасающимися поверхностями; m — коэффициент условия работы болтового соединения, равный 0,9.

Осевое усилие натяжения высокопрочных болтов P принимают (в зависимости от механических свойств болтов после их термической обработки) равным 65% разрыва ~~разрыва~~ болта при

разрыве болта и определяют по формуле

$$P = 0,65 \sigma_v F_{нт} \text{ кгс}, \quad (4)$$

где σ_v — временное сопротивление разрыву стали высокопрочных болтов после термической обработки в готовом изделии (болте) в кгс/мм²; $F_{нт}$ — площадь сечения болта нетто в мм².

Площадь $F_{нт}$ определяют как площадь круга с диаметром

$$a = \frac{d_2 + d_3}{2} \text{ мм}, \quad (5)$$

где d_2 — номинальный средний диаметр резьбы болта в мм; $d_3 = d_1 - H/6$ мм; d_1 — номинальный внутренний диаметр резьбы болта в мм; H — теоретическая высота профиля резьбы болта в мм.

В итоге достаточно глубокого изучения свойств сдвигоустойчивых соединений на высокопрочных болтах в стальных строительных конструкциях, а также учета производственного опыта применения сдвигоустойчивых соединений первоначально разработанные и внесенные в СНиП в 1962 г. значения коэффициента трения f были пересмотрены и уточнены в 1968 г. В настоящее время согласно СНиП II-V.3-72 при проектировании строительных стальных конструкций следует пользоваться значением коэффициента трения f согласно табл. 1.

ТАБЛИЦА 1

Значение коэффициента трения f по СНиП II-V.3-72

Способ предварительной обработки соединяемых поверхностей	Значения f для соединяемых элементов конструкций из	
	углеродистой стали Ст3 и Ст4	низколегированной стали
Пневматическая — кварцевым песком с содержанием SiO ₂ не ниже 94% или металлическим песком	0,45	0,55
Огневая — многопламенными горелками (на ацетилене)	0,4	0,45
Стальными ручными или механическими щетками	0,35	0,35
Без очистки	0,25	0,25

Сдвигоустойчивые соединения на высокопрочных болтах в металлических пролетных строениях мостов рассчитывают в соответствии с «Указаниями по применению высокопрочных болтов в стальных конструкциях мостов» (ВСН 144-68), согласно которым в формуле (3) расчета прочности соединения необходимо принимать:

Коэффициент трения при пескоструйной обработке соприкасающихся поверхностей:	
для конструкций из стали углеродистой f	0,4
то же, низколегированной f	0,45
Коэффициент условий работы m	0,78

Несмотря на то что сдвигоустойчивые соединения на высокопрочных болтах в стальных конструкциях широко применяются и в СССР, и за рубежом, единой точки зрения на величину коэффициента трения нет.

В США согласно действующим «Техническим условиям по применению болтов ASTM A325 и A490» в соединениях конструкций, изготовляемых из стали с пределом текучести $\sigma_t = 23 \text{ кгс/мм}^2$ и выше, соприкасающиеся поверхности деталей никакой специальной обработке подвергаться не должны, кроме простой очистки для удаления грязи, масла и легкоотделяемой окислы. В этом случае коэффициент трения f принимается равным 0,35.

В Англии болты высокой прочности в строительных конструкциях используются для деталей, поверхности которых очищены от краски, масла, грязи, заусенцев, ржавчины и легкоотделяемой окислы, а также после удаления с поверхностей всех других дефектов, вызывающих неплотности соединяемых деталей, с коэффициентом трения f , равным 0,45.

В ФРГ в сдвигоустойчивых соединениях на высокопрочных болтах инженерных и высотных сооружений предусматривают коэффициент трения f (после огневой и пескоструйной обработки сопрягаемых поверхностей) для стали типа Ст33 и Ст37 равным 0,45, для стали типа Ст52—0,6.

В Венгрии в нормах на проектирование и выполнение сдвигоустойчивых соединений коэффициент трения f принят:

Для стали с временным сопротивлением до 50 кгс/мм^2 при необработанных поверхностях с прокатной окислой	0,25
После огневой обработки	0,4
» пескоструйной »	0,45
Для стали с временным сопротивлением более 50 кгс/мм^2 при необработанных поверхностях с прокатной окислой	0,35
После огневой обработки	0,55
После пескоструйной обработки	0,65

Исследованием свойств сдвигоустойчивых соединений на высокопрочных болтах занимаются у нас НИИ мостов, ЛИИЖТ, ЦНИИ проектстальконструкция, ВНИИ монтажспецстрой, ЦНИИ дортранс и др.

В ЦНИИ проектстальконструкции были изучены сдвигоустойчивые соединения различных марок стали, позволившие углубить и расширить познания влияния способов обработки сопрягаемых деталей, величины сжимающего пакет усилия и других факторов на прочность соединения.

Эти исследования велись на специально сконструированном и изготовленном приборе, позволяющем достаточно точно определять размеры контактных площадей собранных образцов, давление, с которым сжат собранный пакет, и усилие сдвига.

Образцы, применяемые для изучения сдвигоустойчивых соединений, стягивают обычно высокопрочными болтами, что вносит

нечеткость в исследование, так как усилие, с которым стянут образец, определяется косвенным путем по величине крутящего момента, приложенного к ключу, а не по действительной величине растягивающего болт усилия.

Эта нечеткость может быть устранена при применении прибора, принципиальная схема которого приведена на рис. 9.

Он состоит из станины 1, по концам которой имеются две стойки 2 и 3. В стойке 2 укреплен захват 4, имеющий нарезанный конец 5 с закрепляющим образец болтом 13. К стойке 3 крепится 50-т домкрат 6, к которому при помощи тяг 7 прикреплен второй захват 8. К стойкам 2 и 3 крепится также траверса 9 с подвижным верхним упором 10. Упор 10 перемещается винтом 11. Снизу станины, по оси упора 10, прикреплен 50-т домкрат 12. Испытываемый образец, состоящий из трех планок, укладывается на опорную плоскость домкрата 12. Концы всех планок образца имеют пазы для крепления их к захватам 4 и 8. Завинчивая винт, прижимают упор 10 к планкам, а после точной установки планок в требуемое положение приводят в действие домкрат 12.

По манометру домкрата устанавливают давление, после чего приводят в действие домкрат 6 и прикладывают к средней планке образца сдвигающее усилие.

В табл. 2 приведены механические свойства применявшегося в исследованиях металла.

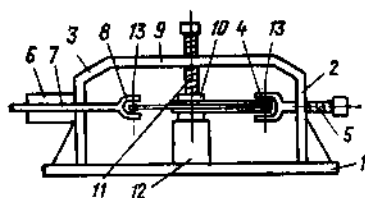


Рис. 9. Схема прибора для определения коэффициента трения

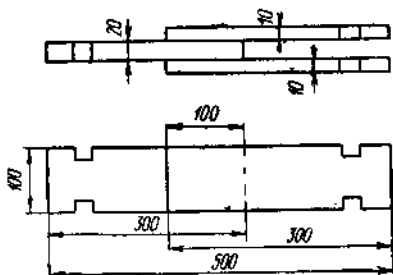


Рис. 10. Образец для определения коэффициента трения

Были исследованы ручная обработка металлической щеткой, механическая — металлической щеткой, пескоструйная, огневая — многопламенной горелкой и шлифовальным кругом. Все эти способы в той или иной степени применяются на строительстве.

Исследования велись на образцах, детали которых собраны внахлестку (рис. 10). Размеры образцов назначены с таким расчетом, чтобы напряжения в момент испытания были в них ниже предела текучести.

Поверхности деталей образцов обрабатывались металлическими щетками вручную и круглой металлической щеткой, укрепленной к гибкому валу электрической машинки, до тех пор пока поверхность не приобретала темный, чистый, слегка блестящий вид.

Пескоструйная обработка состояла в том, что струя промытого, просеянного и просушенного кварцевого песка направлялась на обрабатываемую поверхность сжатым воздухом с избыточным давлением 5 кгс/см^2 . Песок очищает металл от загрязнений и, снимая тонкий верхний слой, делает поверхность ровной и слегка шероховатой. Для этой обработки применяли вольский песок крупностью зерна $0,5-0,8 \text{ мм}$ с содержанием $98\% \text{ SiO}_2$.

Огневая обработка многопламенной ацетиленовой горелкой основана на быстром нагреве поверхностного слоя металла; в результате этого окалина растрескивается и отслаивается, а ржавчина обезжелезливается и также легко удаляется с обработанной поверхности щеткой. Обработка производилась многопламенной горелкой ГАО-60. Поверхность, очищенная огнем способом, имела темный без металлического блеска цвет.

Шлифовальным кругом поверхности образцов обрабатывали при помощи электрической машинки, к гибкому валу которой крепили камень. После обработки на поверхности металла были четко видны гребешки и чистый металлический блеск. В момент сдвига средней детали тщательно фиксировали величины прикладываемых усилий (вертикального сжимающего и горизонтального сдвигающего). Сжимающее усилие во всех случаях было 20 тс . Результаты испытаний образцов приведены в табл. 3.

ТАБЛИЦА 2

Механические свойства металла образцов

Марка стали	Толщина, мм	Временное сопротивление, кгс/мм^2 при		Предел текучести, кгс/мм^2
		растяжении	срезывании	
Ст3кп	20	40,6—46,6	31,4—33,5	22,3—24,1
		43,7	32,3	22,9
Ст3сп	20	45,5—44,6	32,3—33,6	22,7—25,7
		44	33,1	24,23
10ХСНД	18	54,7—58,2	42,3—43,4	40,6—43,7
		56,8	42,7	42,6
14Г2Т	10	106—120,5	72,2—74,7	89—106
		111,3	73,45	96
14Г2Т	20	75—90,7	—	55,7—72,4
		84,1	—	66,4

Примечание. В числителе указаны крайние значения, а в знаменателе — средние.

Результаты испытания образцов

ТАБЛИЦА 6

Обработка	Наличие окатыша на поверхности деталей	Марки стали образцов											
		СтЗкп			СтЗсп			10ХСНД			14Г2Т		
		усилие сдвига P , тс	площадь сре- за F , $мм^2$	коэффи- циент трения f	усилие сдвига P , тс	площадь сре- за F , $мм^2$	коэффи- циент трения f	усилие сдвига P , тс	площадь сре- за F , $мм^2$	коэффи- циент трения f	усилие сдвига P , тс	площадь сре- за F , $мм^2$	коэффи- циент трения f
Ручной металлической щеткой	Да	$\frac{8-9}{8,5}$	264	$\frac{0,2-0,23}{0,21}$	$\frac{8-10,3}{9,3}$	290	$\frac{0,2-0,27}{0,23}$	—	—	—	$\frac{12,5-15,4}{14,2}$	194	$\frac{0,31-0,39}{0,36}$
	Нет	$\frac{12,8-14,4}{13,3}$	410	$\frac{0,32-0,36}{0,34}$	$\frac{12,6-14,8}{13,8}$	415	$\frac{0,32-0,37}{0,35}$	$\frac{14-14,8}{14,4}$	338	$\frac{0,35-0,37}{0,36}$	$\frac{16-23}{18,3}$	250	$\frac{0,4-0,57}{0,46}$
Механической метал- лической щеткой	Да	$\frac{9,1-10,8}{10,8}$	334	$\frac{0,22-0,27}{0,25}$	$\frac{6,8-11,5}{9,4}$	284	$\frac{0,17-0,28}{0,23}$	—	—	—	$\frac{12,5-13,7}{12,6}$	174	$\frac{0,31-0,34}{0,32}$
	Нет	$\frac{11-16}{14,4}$	445	$\frac{0,32-0,41}{0,37}$	$\frac{13,7-16,4}{15,1}$	455	$\frac{0,34-0,41}{0,38}$	$\frac{13,7-14,8}{14,4}$	338	$\frac{0,36-0,37}{0,37}$	$\frac{17-19,6}{18,3}$	250	$\frac{0,43-0,49}{0,46}$
Пескоструйная	Нет	$\frac{20-20,8}{20,4}$	630	$\frac{0,5-0,52}{0,51}$	$\frac{20,8-21,6}{21,1}$	635	$\frac{0,52-0,54}{0,53}$	$\frac{21,8-25,3}{23,2}$	543	$\frac{0,55-0,63}{0,58}$	$\frac{20,6-23,6}{21,6}$	294	$\frac{0,52-0,59}{0,55}$
Огневая	Да	$\frac{12-13,6}{12,7}$	394	$\frac{0,3-0,33}{0,31}$	$\frac{9,1-11}{10,3}$	312	$\frac{0,23-0,27}{0,25}$	—	—	—	$\frac{9,1-11}{10,1}$	138	$\frac{0,23-0,27}{0,25}$
	Нет	$\frac{14,8-18,8}{16,6}$	515	$\frac{0,37-0,47}{0,41}$	$\frac{16,4-18}{17,1}$	500	$\frac{0,41-0,45}{0,43}$	$\frac{18-20,6}{19,4}$	456	$\frac{0,45-0,51}{0,47}$	$\frac{18,3-19,2}{18,8}$	256	$\frac{0,46-0,48}{0,47}$
Наждаком	Нет	$\frac{19,9-23}{20,6}$	637	$\frac{0,49-0,57}{0,52}$	$\frac{19,5-21,6}{20,3}$	615	$\frac{0,49-0,54}{0,51}$	$\frac{13,7-16}{14,5}$	340	$\frac{0,34-0,4}{0,36}$	$\frac{16,0-16,3}{16,2}$	221	$\frac{0,4-0,41}{0,4}$

Примечание. В числителе указаны крайние значения усилий сдвига и коэффициента трения, а в знаменателе — средние.

Известно, что прочность соединения на сдвиг определяется размерами суммарной площади среза $F_{\text{ср}}$, вошедших в зацепленные шероховатостей, и механическими свойствами металла.

В табл. 3 приведены средние значения $F_{\text{ср}}$, определенные делением средних величин сдвигающих усилий P на среднее значение временного сопротивления срезу $\sigma_{\text{ср}}$, приведенного в табл. 2.

Анализируя данные табл. 3, нетрудно заметить, что прочность соединения на сдвиг для одной марки стали растет с увеличением значения $F_{\text{ср}}$ и что различные способы обработки поверхностей деталей по-разному влияют на размеры $F_{\text{ср}}$ и значения коэффициента трения f .

Для всех рассматриваемых марок стали более эффективной является пескоструйная обработка сопрягаемых поверхностей, так как она во всех случаях обеспечивает высокие значения $F_{\text{ср}}$ и коэффициента трения f . Поверхность деталей в этом случае получается чистой, свободной от окалина, ржавчины и равномерно шероховатой.

Прокатная окалина на поверхности деталей существенно (на 20—30%) снижает значение $F_{\text{ср}}$, что неизбежно сказывается на прочности соединения и на значении коэффициента трения f .

Иногда на поверхности металла могут быть пленки, состоящие из силикатных включений и различного вида закатов.

Прокатную окисную пленку с поверхности металла можно полностью удалить пескоструйной обработкой, травлением и обработкой шлифовальным кругом. Наиболее простой и надежный способ — пескоструйный; однако он вреден для работающих, так как дает большое количество пыли; поэтому пескоструйную обработку ведут в специальных защитных костюмах и масках.

Несмотря на то что химический способ надежно снимает окисную пленку, практически пользоваться им нельзя ввиду того, что полностью удалить кислоту, попавшую в неплотности между деталями конструкции, трудно, а порой и вообще невозможно. Оставшаяся в неплотностях кислота может быть причиной коррозии металла.

Обработка сталей всех марок многопламенными горелками типа ГАО-60 дает более низкие значения коэффициента трения, чем пескоструйная. Объясняется это тем, что при быстром нагреве поверхностного слоя металла не вся окалина растрескивается и отслаивается.

Исследованиями ВНИИмонтажспецстроа было выявлено, что обработка горелками ГАО-60 с применением ацетиленом удаляет с поверхности стали марки Ст3 всего 10—30% окисной пленки, а удалить окисную пленку со стали 14Г2 еще труднее. Кроме того, на поверхности деталей, обработанных многопламенной горелкой, всегда остается налет частиц обезвоженной ржавчины и отслоившейся окисной пленки, удалить которые полностью даже щеткой не удается. Нельзя очищать поверхность, обработанную огнем способом, ветошью. Сгоревшие продукты и отслоившаяся окисная пленка расти-

раются, что приводит к существенному снижению трения, а следовательно, и к снижению общей прочности соединения.

Металлической щеткой (ручной и механической) можно удалить только легкоотстающую окалину, а также очистить пыль и грязь. Этим, очевидно, объясняются низкие значения коэффициентов трения при таких способах обработки деталей.

В одной из работ ЦНИИПСК было исследовано влияние качества песка на коэффициент трения. Исследовались образцы из стали 10ХСНД с болтами М24 из стали 40Х, поставленными с осевым усилием растяжения, равным 24 тс.

В табл. 4 приведены минимальные, максимальные и средние значения коэффициентов трения в зависимости от применявшегося для обработки песка.

ТАБЛИЦА 4

Коэффициент трения образцов из стали 10ХСНД, обработанных песком с различным содержанием SiO_2

№ партии песка	Содержание SiO_2 , %	Величина зерна, мм	Значение коэффициента трения f		
			наименьшее	наибольшее	среднее
1	88	$\frac{0,1-0,5}{0,3}$	0,35	0,54	0,45
2	93,8	$\frac{0,1-0,2}{0,15}$	0,4	0,6	0,52
3	98	$\frac{0,5-0,8}{0,65}$	0,53	0,72	0,61

Примечание. В числителе — наименьшая и наибольшая величины зерна песка, а в знаменателе — средняя.

Результаты показывают, что чем больше в песке SiO_2 , т. е. чем меньше в нем загрязняющих примесей (в первую очередь глины), тем выше значение коэффициента трения. Величина зерна не имеет такого значения, как чистота песка, поэтому для пескоструйной обработки поверхностей трения должен применяться хорошо промытый песок с содержанием SiO_2 не ниже 94%.

В ЦНИИПСК применяли песок различных карьеров. Песок партии № 1 был взят на Рублевском карьере Московской области, песок № 2 — на Люберецком карьере Московской области, а песок № 3, показавший наилучшие результаты, был получен с завода «Комсомолец» из Вольска и соответствовал ГОСТ 6139—52.

Существовавшее до сего времени мнение, что оцинкованные поверхности обладают низким значением коэффициента трения, опровергнуто на симпозиуме, состоявшемся в Мельбурне в 1969 г. Там было сообщено, что детали из углеродистой стали, поверхности которых оцинкованы после обработки абразивным

зерном, имеют среднее значение коэффициента трения $f=0,51$ ($f_{\text{мин}}=0,35$ и $f_{\text{макс}}=0,65$).

Однако вопрос оцинковки поверхностей трения у нас не изучен и нашими нормами оцинковка поверхности не рекомендуется.

В ЦНИИпроектстальконструкции исследовано влияние величины сжимающего детали усилия на значение коэффициента трения. Образцы изготовлены были из стали марки СтЗкп, СтЗсп, 10ХСНД и 14Г2Т, размеры их приведены на рис. 10, испытания велись на том же приборе, на котором проводились все ранее описанные эксперименты.

Поверхности всех образцов обработаны (пескоструйным способом) чистым, хорошо промытым кварцевым песком с содержанием 98% SiO₂.

Образцы испытаны на сдвиг при сжимающих усилиях 5, 10, 20 и 25 тс.

Результаты испытаний даны в табл. 5, из которой видно, что величина сжимающего усилия не влияет на величину коэффициента трения, в силу чего коэффициент трения зависит только от механических свойств металла и состояния обработанных поверхностей деталей.

ТАБЛИЦА 5

Значение коэффициента трения f в зависимости от величины усилия, сжимающего пакет

Осевое усилие в болтах в тс	Марка стали образцов			
	СтЗкп	СтЗсп	10ХСНД	14Г2Т
5	0,5—0,54	0,53—0,56	0,56—0,6	0,5—0,6
	0,52	0,54	0,56	0,55
10	0,51—0,54	0,5—0,53	0,51—0,6	0,58—0,6
	0,52	0,52	0,57	0,59
15	0,5—0,52	0,51—0,57	0,55—0,6	0,5—0,66
	0,51	0,54	0,58	0,57
20	0,51—0,54	0,53—0,55	0,55—0,63	0,5—0,59
	0,52	0,54	0,58	0,58
25	0,5—0,52	0,53—0,57	0,56—0,57	0,54—0,55
	0,51	0,55	0,56	0,55

Примечание. В числителе приведены наименьшее и наибольшее значения коэффициента трения, а в знаменателе дано среднее значение.

Сдвигоустойчивые соединения согласно СНиП II-V.3-72 рассчитывают из предположения равномерного распределения усилия между контактными плоскостями в районах болтов. На практике этого может и не быть, если болты, например, расположены несимметрично по отношению к направлению действия усилия N , в силу чего часть болтов (вернее, контактных площа-

цей) будет напряжена интенсивнее других. Поэтому сдвиг может произойти в них раньше, чем в менее напряженных, что в конечном счете может привести к общему, более раннему расстройству всего соединения.

В ЦНИИПСК были изготовлены и испытаны алюминиевые образцы, в которых стык перекрыт двумя накладками. В каждой половине накладок было поставлено по три болта М24 из стали 40Х, натянутых с осевым усилием 21 тс. По отношению к направлению усилия, растягивающего образец, болты располагались несимметрично: два — вдоль одной кромки образца и один — у второй (рис. 11).

При растяжении этих образцов сдвиг деталей происходил неравномерно и всегда начинался с кромки, у которой стоял один болт в полунакладке. Стык как бы раскрывался и детали в нем поворачивались. Контактные поверхности у кромки с одиночными болтами, получая нагрузку, большую, чем контактные поверхности у болтов другой кромки, сдавали раньше и тем самым понижали общую несущую способность всего соединения.

Не вполне симметричное по отношению к направлению усилия расположение болтов, неравномерное натяжение болтов, недостаточная обработка соприкасающихся поверхностей и неудовлетворительное их состояние в момент сборки, а также неплотное прилегание соединяемых деталей из-за отклонений в габаритных размерах перекрываемых накладками деталей неизбежно оказывают влияние на прочностные свойства соединений поэтому, чтобы обеспечить надежность такого соединения, в расчетную формулу введен коэффициент условной работы m , величина которого согласно СНиП II-V.3-72 равна 0,9.

В «Указаниях по применению высокопрочных болтов в стальных конструкциях мостов» в формуле расчета сопротивления соединения сдвигу вводится обобщенный коэффициент $m=0,78$ учитывающий возможное отклонение величин P и f от нормативных значений, а также включающий общий коэффициент условий работы $m=0,9$.

Чтобы уточнить значение коэффициента условий работы, в ЦНИИпроектстальконструкции испытаны три натуральных образца монтажных стыков двутавровых балок, работающих на изгиб (рис. 12). Балки были изготовлены из стали марки СтЗсп. Стыки вертикальной стенки и поясов выполнены как сдвигоустойчивые на высокопрочных болтах М24 из стали марки 40Х, поставленных с осевым натяжением 20 тс каждый.

Перед сборкой поверхности деталей соединения были обработаны кислородно-ацетиленовым пламенем многопламенными горелками типа ГАО-60 (для этого вида обработки $f=0,4$).

При испытании балок пролетом 6 м был использован силовой пол, на котором смонтирована система, передающая усилия от 100-тс домкратов, имитировавших опорные реакции, на стык балки, находящийся посередине пролета (рис. 13).

Рис. 11. Образец с несимметричным расположением болтов

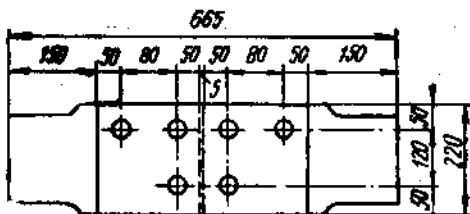


Рис. 12. Чертеж образца сварной балки

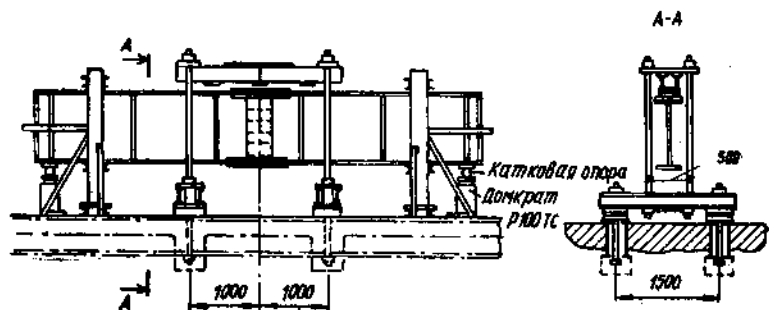
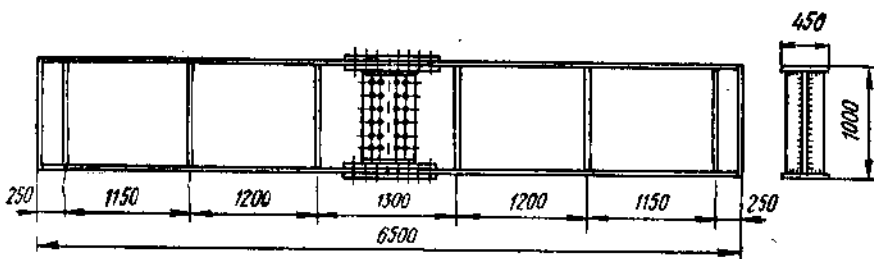
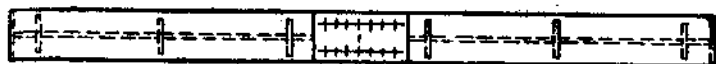
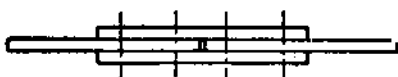


Рис. 13. Чертеж установки для испытания сварной балки

Нагрузку во время испытания прикладывали ступенями через 10 тс до наибольшей расчетной, равной 30 тс, и затем медленно увеличивали ее до потери стыком балки несущей способности.

В итоге испытания трех натуральных образцов балок на статическую нагрузку сделан вывод, что во всех случаях действительная прочность стыков близка к расчетной и действительный коэффициент условий работы $m > 0,9$.

Интересны исследования, проведенные НИИмостов, по изучению работы сдвигоустойчивых соединений. Большое внимание уделялось влиянию статических и вибрационных нагрузок на работу соединений с одной и двумя плоскостями трения.

Характер распределения напряжений в поперечном сечении соединяемых деталей под влиянием статических нагрузок исследован на образцах, представляющих собой стыки двух листов, перекрытые парными накладками с тремя болтами М22 из стали 40Х в полунакладке. Болты были расположены в образцах по-разному, поэтому степень ослабления поперечного сечения соединяемых листов по первому ряду болтов для отдельной серии образцов изменялась от 14 до 42%. Площадь сечения брутто оставалась для всех образцов постоянной. Перед сборкой детали образцов были очищены металлической щеткой.

Характер распределения напряжений в образцах изучали в трех поперечных сечениях соединяемых листов. Напряжения определяли при помощи проволочных тензодатчиков сопротивления с базой 10 мм, которые наклеивали на поверхность листов причем в местах, перекрытых накладками, для тензодатчиков были сделаны продольные канавки глубиной 1 мм и шириной 3—4 мм.

Все испытания проводили при двух степенях натяжения болтов: вначале болты были затянуты с осевым усилием 20 тс, а затем после полного сдвига их разболчивали и вновь затягивали вручную. После вторичной затяжки образцы испытывали вновь, причем болты в этом случае работали на срез и смятие, как заклепки в клепаных соединениях.

На рис. 14 жирными линиями показаны распределения напряжений в образцах с затянутыми болтами до усилия 20 тс, а тонкими — в образцах со слабо затянутыми болтами. Разница в распределении напряжений обнаруживается уже в сечении 1—1 у накладок, т. е. вне стыка.

Напряжения в этом сечении во всех образцах с незатянутыми болтами в соединениях распределяются неравномерно, с пиками на участках между отверстиями и спадами против отверстий.

Иной характер носит распределение напряжений в сечении перед накладками в сдвигоустойчивых соединениях, где болты сильно затянуты и сечение работает на трение. В образцах с одним высокопрочным болтом в первом ряду стыка, в отличие от соединений со слабо затянутыми болтами, пики напряжений находились против высокопрочных болтов, т. е. в местах сосредоточения максимальной стягивающей силы, а на участках у боковых кромок листов наблюдался спад напряжений.

В остальных образцах с двумя и тремя высокопрочными болтами в первом ряду напряжения в сечении листов у накладок распределяются практически равномерно, очевидно, вследствие более равномерного распределения стягивающих соединений сил.

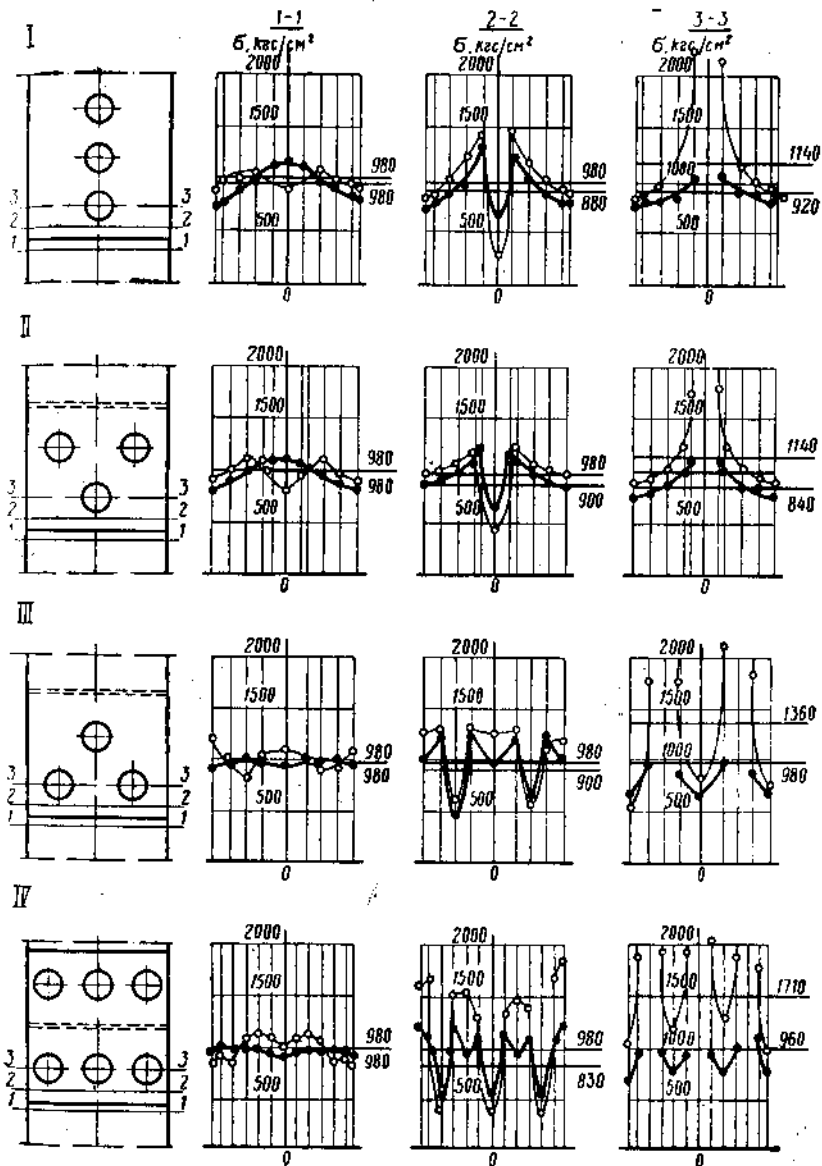


Рис. 14. Распределение напряжений в сечениях соединяемых листов (I—IV варианты)

Можно предположить, что чем больше в первом ряду высокопрочных болтов, тем равномернее распределяются напряжения в сечении детали у накладки. Значительная разница в распределении напряжений наблюдается в сечении нетто деталей по отверстиям первого ряда (сечение 3—3 на рис. 16). В соединениях со слабо затянутыми болтами характер распределения напряжений такой же, какой наблюдается в соединениях с ослабленными заклепками — резкие пики у кромок отверстий и спады у боковых кромок деталей. Иное распределение напряжений в сдвигоустойчивых соединениях, работающих на трение. Концентрация напряжений происходит у кромок болтовых отверстий и значительно снижаются величины средних напряжений. Определение средних напряжений в сечении нетто по отверстиям первого ряда на основании формулы

$$\sigma_{\text{ср}} = \frac{N}{F_{\text{нт}}} \quad (6)$$

(где N — нагрузка на образец; $F_{\text{нт}}$ — площадь нетто поперечного сечения) не отвечает экспериментальным результатам.

По мнению авторов исследований, снижение величины средних напряжений в сечении нетто по первому ряду болтов характерно для сдвигоустойчивых соединений и объясняется специфическими условиями передачи усилий силами трения. Усилия в этом случае начинают передаваться непосредственно от торцевых кромок накладок, а не в сечении нетто, как это было в заклепочных соединениях. Авторы работы предлагают считать, что усилия с детали на накладку передаются силами трения пропорционально длине накладки и для определения величины средних напряжений в любом сечении детали под накладками можно воспользоваться формулой

$$\sigma_{\text{ср}} = \frac{N}{F_{\text{нт}}} \left(1 - \frac{a}{l} \right), \quad (7)$$

где a — расстояние от торцевой кромки накладок до сечения листа, в котором определяются напряжения; l — длина полунакладки.

Во всех образцах со сдвигоустойчивыми соединениями, независимо от степени ослабления поперечного сечения соединяемых деталей, средние расчетные напряжения в сечении нетто листов по первому ряду были примерно одинаковы, а иногда и ниже средних расчетных напряжений в сечении брутто листов вне соединения.

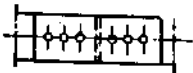


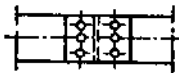
Самыми неблагоприятными, с точки зрения равномерности распределения напряжений, в сдвигоустойчивых соединениях являются сечения брутто листов в промежутке между первым рядом отверстий и торцами накладок на границе шайб (сечение 2—2 на рис. 16), у кромок которых справа и слева от оси отвер-

стия возникают пики напряжений, от которых развиваются усталостные трещины.

Во время испытаний образцов статической нагрузкой в НИИ-мостов было исследовано влияние ослабления поперечного сечения соединяемых листов по отверстиям первого ряда на уменьшение натяжения болтов и на усилия, при которых происходит сдвиг.

Из табл. 6, где приведены результаты испытаний, видно, что нагрузки, при которых происходит сдвиг, оказались почти одинаковыми для всех серий образцов, независимо от размещения отверстий, т. е. от степени ослабления поперечного сечения деталей по первому ряду болтов.

ТАБЛИЦА 6
Результаты испытания образцов (данные НИИмостов)

№ серии образцов	Схема соединения	Степень ослабления сечения, %	Нагрузка при сдвиге, тс
1		14,2	41,3
2		14,2	41
3		28,4	42,8
4		42,6	40,5

На рис. 15 показано уменьшение натяжения болтов, определенное НИИмостов, в образцах при их растяжении. До сдвига в соединении натяжение болтов во всех сериях образцов уменьшилось практически одинаково и не зависело от степени ослабления поперечного сечения деталей. Только после сдвига отмечена

заметная разница в уменьшении натяжения болтов для различных конструкций соединений. Натяжение болтов заметно падает в тех соединениях, где больше степень ослабления поперечного сечения соединяемых деталей.

Натяжение болтов уменьшается в результате действия нормальных напряжений в сечении деталей, которые вызывают сокращение поперечных размеров сечений вследствие эффекта Пуассона. Поскольку во всех образцах в сечении деталей нетто по отверстиям первого ряда болтов средние напряжения примерно одинаковы и не зависят от степени ослабления поперечного сечения деталей, то и поперечные деформации, а следовательно, и величина ослабления натяжения болтов первого ряда также практически одинаковы.

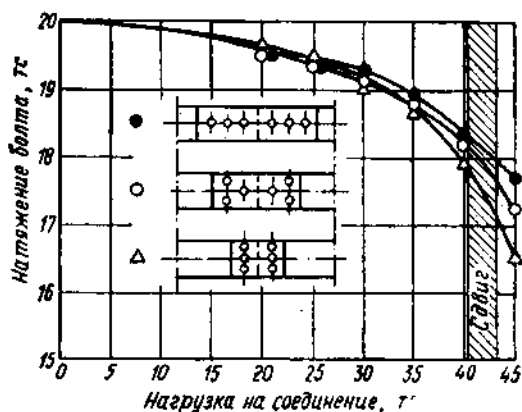


Рис. 15. Уменьшение натяжения болтов при растяжении образца

Соединения на высокопрочных болтах начинают работать после сдвига как клепаные и разрушение при растяжении происходит в сечении нетто деталей по первому ряду болтов.

В книге Т. М. Богданова «Соединения металлоконструкций на высокопрочных болтах» указано, что уменьшение натяжения болтов при напряжениях в деталях реальных конструкций, равных примерно 1500 кгс/см^2 , не превышает 2,5%, что мало влияет на прочность соединения. Лишь в предельном состоянии, когда напряжения в соединяемых деталях достигают предела текучести, уменьшение натяжения болтов достигает 15% и более. Поэтому в сдвигоустойчивых соединениях следует избегать мест, в которых в процессе эксплуатации напряжения могут достигнуть предела текучести.

В НИИмостов достаточно широко исследована выносливость сдвигоустойчивых соединений на высокопрочных болтах на небольших образцах с незначительным количеством болтов и на крупных, приближавшихся по своим размерам и по характеру работы к элементам в реальных конструкциях.

Характер усталостных разрушений указывает на то, что оценка вибрационной прочности сдвигоустойчивых соединений на высокопрочных болтах должна производиться по сечению брутто соединяемых элементов, а не по сечению нетто, как это предусмотрено нормами.

В НИИмостов сделан вывод, что сдвигоустойчивые соединения на высокопрочных болтах по характеру распределения напряжений в поперечных сечениях соединяемых деталей существенно отличаются от соединений на заклепках. В соединениях на высокопрочных болтах наиболее неблагоприятным (с точки зрения равномерности распределения напряжений и величин их концентраций) является сечение брутто деталей перед отверстиями по границам шайб болтов, а не сечение нетто деталей по отверстиям первого ряда болтов, как в клепаных соединениях.

Средние напряжения в сечении нетто по отверстиям первого ряда болтов при статической нагрузке всегда ниже, чем в аналогичных сечениях клепаных соединений.

При определении средних напряжений необходимо учитывать, что усилия с деталей на накладки в сдвигоустойчивых соединениях передаются силами трения, начиная от торцевой кромки накладки.

Ослабление до 43% поперечного сечения соединяемых элементов в сечении нетто по отверстиям первого ряда болтов не оказывает влияния ни на уменьшение натяжения высокопрочных болтов, ни на величину нагрузок, при которых происходит сдвиг, ни на сопротивление соединений усталости.

III. ВЫСОКОПРОЧНЫЕ БОЛТЫ, ГАЙКИ И ШАЙБЫ ДЛЯ СДВИГОУСТОЙЧИВЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Основными элементами сдвигоустойчивых соединений строительных металлических конструкций являются высокопрочные болты, гайки и шайбы, от качества которых зависит надежная работа всего соединения и экономичность конструкции.

Прочность сдвигоустойчивого соединения на высокопрочных болтах создается силами трения, развивающимися между сопрягаемыми деталями. Чем выше усилие, с которым болты стягивают собранный пакет, тем прочнее и экономичнее будет соединение. Это ведет к необходимости применять для сдвигоустойчивых соединений болты и гайки высокой прочности, изготавливаемые из легированной стали, со специальной термической обработкой.

Высокопрочные болты и гайки изготавливаются по технологии, принятой для болтов общего назначения нормальной точности.

Прутки стали, предназначенные для изготовления болтов, сначала отжигают, затем травлением удаляют окалину, нейтрализуют, промывают, затачивают конец и калибруют на стан-

ках холодного волочения. Из калиброванных прутков на прессножницах нарезают заготовки. С одного конца их нагревают, после чего, в зависимости от оборудования, производят высадку головок болтов на высадочных прессах-автоматах, горизонтально-ковочных машинах или фрикционных прессах. Затем удаляют образовавшиеся под головкой заусенцы, толщина которых доходит до 0,5 мм. Полученные таким способом заготовки болтов сначала отжигают, а потом на них нарезают или накатывают резьбу.

Резьбу нарезают на болтонарезных станках-автоматах, при этом диаметр заготовки равняется номинальному диаметру изготавливаемого болта. Отличительной чертой болтов, резьба которых нарезана, является то, что диаметр нарезной части болта и наружный диаметр резьбы равен номинальному диаметру болта (рис. 16, а).

Накатывают резьбу (выдавливание) на резьбонакатных станках при помощи плашек, снабженных бороздками. Сталь заготовки выдавливается в бороздки плашек, в результате чего внешний диаметр резьбы d получается несколько больше диаметра стержня d_1 , на который она накатывалась.

Чтобы болт с накатанной резьбой имел внешний диаметр резьбы, равный диаметру стержня заготовки, стержень заготовки на участке длиной, равной нарезке, редуцируют, т. е. доводят его до диаметра, равного среднему диаметру резьбы. На рис. 16, б приведен общий вид болта с резьбой, накатанной на редуцированную заготовку, а на рис. 16, а — на редуцированную. В последнем случае (рис. 16, а) номинальный диаметр d болта определяется наружным диаметром нарезки, равным диаметру ненарезанной части.

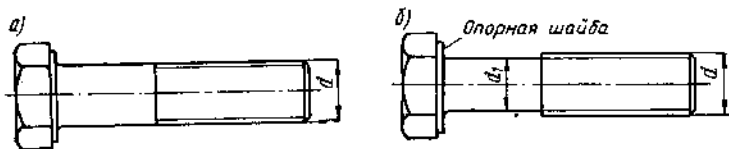


Рис. 16. Общий вид болтов с резьбой

а — нарезанной или накатанной на редуцированный стержень; б — накатанной на нередуцированный стержень

То что диаметр стержня болта с резьбой, накатанной на нередуцированный стержень, меньше номинального диаметра болта (для болтов диаметром 18—22 мм на 1,353 мм меньше), не сказывается на работе высокопрочных болтов в сдвигоустойчивом соединении, так как они работают только на осевое усилие, а не на срез.

Когда болты должны работать на срез, необходимо пользоваться болтами с нарезной резьбой или с резьбой, накатанной на

редуцированный стержень, ибо у этих болтов диаметр нарезки равняется диаметру стержня.

Основное достоинство накатки — дешевизна по сравнению с нарезкой. Чтобы добиться хорошей накатной резьбы, диаметр заготовки болта должен иметь минимальные колебания по длине стержня.

Резьба накатная и нарезная должна быть метрической, с крупным шагом, крепежная и соответствовать ГОСТ 9150—59* с допускаемыми отклонениями по 3-му классу точности согласно ГОСТ 9253—59.

Очень ответственной операцией технологического процесса изготовления высокопрочных болтов является термическая обработка, обеспечивающая требуемые механические свойства. Термическую обработку болтов производят на агрегатах, состоящих из закалочной и отпускной печей и механизированных закалочных баков.

Режим термической обработки высокопрочных болтов устанавливается заводом-изготовителем в зависимости от марки стали.

Технологический процесс изготовления гаек из стали начинается с операции нагрева прокатной полосы в печи, после чего на гайкоковочном прессе штампуют заготовки гаек с образованием фасок на наружной стороне гайки. Затем торцы гаек фрезеруют и снимают внутренние фаски на гайкофрезерных станках. Нарезают гайки на многошпindelных гайконарезных станках, после чего гайки подвергают термообработке в конвейерных закалочных-отпускных печах.

Если на метизных заводах нет штамповочных прессов-автоматов, то гайки нарезают из шестигранника. Несмотря на то что нарезка гаек более трудоемка, чем штамповка, все же предпочтительна нарезка, так как штампованные гайки часто имеют дефекты.

Наиболее распространенный недостаток горячештампованных гаек, изготовленных на устаревшем оборудовании, — перпендикулярность опорного торца гайки по отношению к оси отверстия, что приводит к росту величины коэффициента закручивания.

Изготовленные и термически обработанные болты и гайки проходят механические испытания на разрывной машине.

Разрыв болтов должен происходить по стержню без отрыва головки. В случае разрыва стержня болта по резьбе временное сопротивление разрыву определяется согласно ГОСТ 1759—70* по формуле (5).

В табл. 7 приведены величины расчетных площадей болтов диаметром 20, 22, 24, 27 и 30 мм, определенные в соответствии с ГОСТ 1759—70*.

Чтобы выявить оптимальные марки стали для высокопрочных болтов и гаек, наиболее полно отвечающие условиям их работы

в соединении, проведены исследования в НИИмостов, ЦНИИ-проектстальконструкции, НИИЧМ им. Бардина, НИИметиз, на Дружковском метизном заводе и др.

ТАБЛИЦА 7

Расчетные площади сечения болтов, определенные
в соответствии с ГОСТ 1759—70*

Номинальный диаметр болта, мм	Площадь сечения, мм ²
20	245
22	303
24	352
27	459
30	560

Так, были исследованы стали марок Ст35, 40Х, 35ГС, 25Г2С, 30ХГ2С, 35ГФ, 35Х2ГСМ, 40ХФА, 38ХС и 30ХЗМФ. Одобрены и рекомендованы для болтов марки стали Ст35, 40Х, 38ХС и 40ХФА, а для гаек — марки Ст5 и 40Х.

У нас наиболее распространены для болтов марка 40Х (ГОСТ 4543—71*) и для гаек марки Ст35 (ГОСТ 1050—60**) и Ст5 (ГОСТ 380—71).

До введения в действие соответствующих стандартов на высокопрочные болты и гайки они должны поставляться по техническим условиям, согласованным между проектной организацией, проектировавшей строящееся сооружение, и заводом, изготовляющим метизы.

На поставку болтов из стали марки 40Х и гаек из стали марок Ст35 и Ст5 у нас есть технические условия ТУ 14-4-87-72 «Высокопрочные термически обработанные болты и гайки диаметром М16—М27 для строительных конструкций», которые введены в действие 25 ноября 1972 г. взамен ранее действовавших МРТУ 14-8-66.

Механические свойства высокопрочных болтов из стали 40Х и гаек к ним, изготовленных согласно ТУ 14-4-87-72, должны отвечать требованиям, приведенным в табл. 8.

ТАБЛИЦА 8

Механические свойства высокопрочных болтов и гаек

Вид изделия	Марка стали, ГОСТ	Временное сопротивление, кгс/мм ² (не менее)	Твердость единиц НВ	Относительное сужение, % (не менее)	Ударная вязкость при комнатной температуре (не менее), кгсм/см ²
Болты	40Х «Селект», ЧМТУ-1-134-67	110	269—388	35	4
Гайки	Ст5, ГОСТ 380—71 Ст35, ГОСТ 1050—60**	—	241—341	—	—

Помимо обычных механических испытаний на разрыв высокопрочные болты подвергаются испытаниям на прочность соединения головки болта со стержнем. Этот вид испытания согласно ТУ 14-4-87-72 производят на разрывной машине на растяжение с уложенным под головку болта клином, имеющим при вершине угол равный 4° для болтов диаметром 22—27 мм и угол 6° для болтов диаметром 16—20 мм. При этом разрыв не должен произойти на участке соединения головки со стержнем, а временное сопротивление должно быть не ниже 90 кгс/мм^2 .

Относительное сужение и ударную вязкость металла болтов определяют на образцах, изготовленных из стержня термически обработанного болта. Размеры образцов для определения относительного сужения (согласно ТУ 14-4-87-72) приведены на рис. 17; в случае испытания болтов с длиной стержня менее 95 мм длину проточенной части образца можно уменьшить.

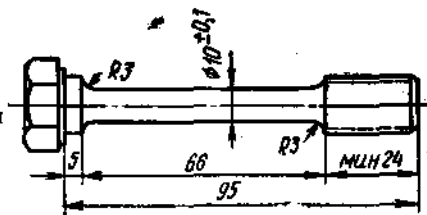


Рис. 17. Образец для определения относительного сужения

Ударную вязкость болтов определяют только для конструкций северного исполнения на образцах, изготовленных из болтов. Размеры образцов, проведение испытаний и вычисление величины ударной вязкости производят согласно ГОСТ 9454—60.

Твердость высокопрочных болтов проверяют на торце стержня, а твердость металла гайки — на любой ее опорной поверхности. Замер твердости на прессе Бринелля следует вести по ГОСТ 9013—59.

На срыв резьбы гайки испытывают на разрывной машине. В этом случае гайки навинчивают на болт. При достижении нагрузки величины, равной $P = \sigma_{\text{в}} F_{\text{нт}}$ (где $\sigma_{\text{в}}$ — временное сопротивление разрыву болта; $F_{\text{нт}}$ — расчетная площадь поперечного сечения болта), резьба не должна разрушаться.

До ввода в действие ГОСТ 1759—70* «Болты, винты, шпильки и гайки. Технические требования» временное сопротивление высокопрочных болтов из стали 40Х, поставляемых по МРТУ 14-6-8-66, равнялось 120 кгс/мм^2 . Объясняется это тем, что в ГОСТ 1759—70* изменена методика расчета диаметра площади круга в месте разрыва болта по сравнению с методикой, приведенной в ГОСТ 9150—59*, которой пользовались до 1 июля 1971 г.

По своим размерам и техническим требованиям высокопрочные болты и гайки должны удовлетворять стандартам, приведенным в табл. 9.

Стандарты на технические требования и размеры высокопрочных болтов и гаек к ним

Материал	Технические требования	Размеры
Болты Гайки	ГОСТ 1759—70* ГОСТ 1759—70*	ГОСТ 7798—70* ГОСТ 5915—70*

Высокопрочные болты должны изготавливаться с «опорной шайбой» (см. рис. 16, а, б), чем обеспечивается плотное прилегание головки к шайбе.

Способ нарезки болтов, поставляемых по ТУ 14-4-87-72, завод-поставщик может выбирать сам, без согласования с заказчиком.

Если по условиям работы болтов диаметр ненарезанной части стержня болтов должен равняться внешнему диаметру резьбы болтов (номинальному диаметру болтов), заказчик болтов согласно ТУ 14-4-87-72 обязательно указывает в заказе, что болты должны поставляться с резьбой, изготовленной методом нарезки.

Радиус закругления под головкой высокопрочных болтов диаметром 16 мм и выше должен соответствовать максимально-му размеру по ГОСТ 7798—70*.

Согласно ТУ 14-4-87-72 размеры гаек высокопрочных болтов должны соответствовать размерам, приведенным в ГОСТ 5915—70* «Гайки шестигранные (нормальной точности). Конструкция и размеры» для гаек следующего, большего диаметра.

Так, размеры гаек для болтов М24 (кроме размеров отверстия и резьбы) должны равняться размерам гаек для болтов М27 и, в частности, высота гайки $H=22$ мм вместо $H=20$ мм, а размер под ключ $D=47,3$ мм вместо $D=41,6$ мм.

Увеличение высоты гаек объясняется особенностью их работы. Наиболее напряженная часть гаек — резьба, касательные напряжения в которой

$$\tau = \frac{P}{F_{\text{ср}}}, \quad (8)$$

где P — осевое усилие в болте; $F_{\text{ср}}$ — площадь среза витков гайки.

Чтобы уменьшить касательные напряжения τ , необходимо увеличить высоту гайки H , что приведет к увеличению площади среза резьбы $F_{\text{ср}}$.

В мостостроении болты поставляются по «Техническим условиям на изготовление высокопрочных болтов, гаек и шайб к ним для железнодорожных, автодорожных и городских мостов (ВСН 133—66)». Согласно этим техническим условиям гайки имеют

также увеличенные размеры, равные размерам по ГОСТ 5915—70* для гаек следующего, большего диаметра.

Конструкция самих болтов для мостостроения согласно ВСН 133—66 несколько отличается от болтов для строительных конструкций, поставляемых по ТУ 14-4-87-72. Высокопрочные болты для мостостроения имеют увеличенную головку, равную размерам головок болтов следующего, большего диаметра, что благоприятно сказывается на уменьшении удельного давления на пакет; в результате этого иногда можно отказаться от поставки шайбы под головку болта.

В строительных конструкциях необходимо также применять болты с увеличенной головкой, однако в настоящее время метизная промышленность Министерства черной металлургии СССР от изготовления таких болтов отказалась, согласившись только на поставку болтов с гайками увеличенного размера.

Условия работы высокопрочных болтов выдвигают специфические требования к их качеству. Одним из таких требований является плотное прилегание головки болта и гайки к подложенной шайбе. Если головка болта будет перекошена, а опорные плоскости головки и гайки будут иметь заусенцы или неровности, то стержень болта может получить изгиб, а под головкой будет щель, которая создает условия для возникновения коррозии. Кроме того, перекос торца гайки существенно влияет на величину коэффициента трения.

Отклонения от правильной геометрической формы и дефекты внешнего вида высокопрочных болтов и гаек к ним должны отвечать указаниям ГОСТ 1759—70* для болтов и гаек нормальной точности. Так, недопустимо, чтобы болты и гайки имели трещины, риски, размеры, выходящие за пределы отклонений для болтов по ГОСТ 7798—70*, а для гаек по ГОСТ 5915—70*, фаски на опорной поверхности болтов под углом более 15° , скругление ребер шестигранника, выводящее диаметр описанной окружности за предельное отклонение, указанное для болтов в ГОСТ 7798—70*, а для гаек в ГОСТ 5915—70*, уклон граней головок болтов и гаек (угол β на рис. 18) более 2° , причем такой уклон не должен выводить размер «под ключ» за предельные отклонения,

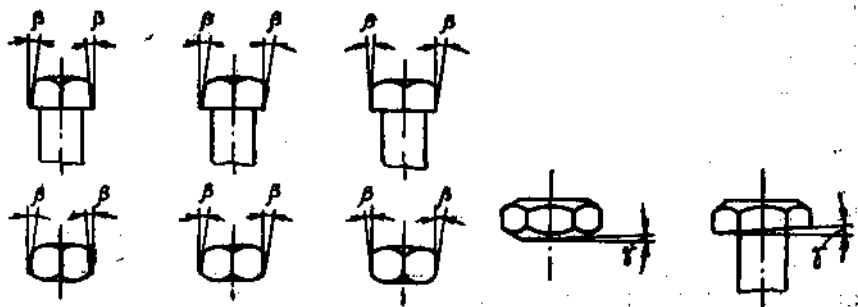


Рис. 18. Дефекты в изготовлении головок болтов и гайки

указанные в ГОСТ 7798—70* и ГОСТ 5915—70*, и, наконец, очень важно, чтобы отклонение от перпендикулярности поверхности головки (угол γ на рис. 18) относительно стержня болта не превосходило для болтов и гаек с диаметром резьбы до 30 мм 1°, для болтов и гаек с диаметром резьбы более 30 мм — 30'.

Перпендикулярность опорной поверхности головки болта к оси стержня проверяется угловым шаблоном или шупом по просвету между опорной поверхностью головки и торцевой поверхностью контрольной матрицы, а перпендикулярность опорной поверхности гайки к оси резьбы проверяется шупом по просвету между торцевыми поверхностями гайки и контрольного кольца, навинченных до соприкосновения между собой на резьбовую оправу.

Опорные поверхности головок болтов и гаек не должны иметь выпуклостей, нарушающих плотное их прилегание, а также вогнутостей, величиной более половины допуска на высоту головки болта или гайки, указанных в ГОСТ 7798—70* и ГОСТ 5915—70*.

Помимо приведенных выше дефектов, не допускаются швы в местах разъема штампа, увеличивающие фактический диаметр стержня болта более чем на величину допусков 5-го класса точности, а также следы от роликов или резца, выводящие диаметр стержня за предельные отклонения, приведенные в ГОСТ 7798—70* и ГОСТ 5915—70*.

Не допускаются рванины и выкрашивания ниток резьбы болтов, если они по глубине выходят за пределы среднего диаметра резьбы или если их длина превышает 5% общей длины резьбы по винтовой линии.

Высота профиля резьбы болтов не может уменьшать наружный диаметр резьбы более чем на двух концевых витках.

Болты и гайки могут иметь поверхностные дефекты, предусмотренные техническими требованиями на прутки, из которых изготовлены болты. Кроме того, на стержне болта допустимы следы от зажимов, от механизмов подачи и закатов, неотделяемая окалина и легко смываемая керосином ржавчина.

На высокопрочных болтах выбивают марку, указывающую величину временного сопротивления металла болта, и букву, присвоенную заводу-поставщику. Например, болты, изготовленные Дружковским метизным заводом из стали марки 40Х, в соответствии с ТУ 14-4-87-72 имеют на головке букву Д и цифру 110 (рис. 19).

Болты и гайки согласно ГОСТ 18160—72 «Детали крепежные. Правила приемки, упаковки и маркировки» принимаются на заводе-изготовителе отделом технического контроля. Завод-изготовитель гарантирует соответствие всех выпускаемых деталей требованиям соответствующих стандартов и сопровождает каждую партию поставляемых деталей сертификатом, удостоверяющим их качество.

Болты и гайки предъявляются к приемке ОТК партиями до 1000 шт. Партии болтов и гаек должны включать изделия одного размера, одной марки стали, одной плавки и одного режима термообработки.

От каждой предъявленной к сдаче партии отбирают из разных мест 1% болтов или гаек для контроля по наружному осмотру и размерам, включая проверку размеров резьбы.

Наружный осмотр метизов производят без применения увеличительного прибора, размеры резьбы проверяют предельными калибрами (шаблонами) или многомерным измерительным инструментом.

Приемке по механическим свойствам подвергаются болты и гайки, которые прошли контроль по наружному виду и размерам. Если по каждому из видов контроля (наружному осмотру, испытанию прочности резьбы на срез и т. д.) количество забракованных болтов и гаек окажется более 3% числа, подвергнутого проверке, проводится вторичная проверка, для которой от той же партии отбирают двойное количество новых болтов или гаек; их проверяют только по тем видам контроля, по которым получены неудовлетворительные результаты. Если вторичная проверка дает неудовлетворительные результаты, то всю партию бракуют, а завод-изготовитель имеет право партию пересортировать и исправить изделия, после чего партия может быть вновь предъявлена к приемке ОТК.

Механические свойства болтов испытывают на разрывной машине. Болт должен испытываться с навинченной на него гайкой. Для испытания болтов на разрыв рекомендуется применять приспособление, обеспечивающее центральное приложение растягивающего усилия. Это приспособление, изображенное на рис. 20, состоит из наружного стакана 1, в центре дна которого есть отверстие для пропуска стержня болта. В стакан входит шайба 2, также имеющая отверстие. Стакан с укрепленным в нем испытываемым на разрыв болтом устанавливается на стол прессы 3. Для передачи болту растягивающего усилия в днище стакана сделано три отверстия, в которые закладывают по короткому штырю. Пресс, работая на сжатие, давит через штыри 4 на шайбу 2 и разрывает болт.

Принятые ОТК завода болты и гайки перед упаковкой и отправкой заказчику необходимо консервировать.

Метизный завод должен отправлять болты и гайки упакованными в ящики. В одном ящике пакуют болты или гайки одной партии. Ящики изнутри должны выкладываться битуминизированной бумагой. На торцевой стенке каждого ящика несмываемой краской указываются завод-поставщик, диаметр и длина бол-

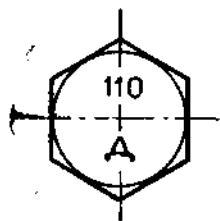


Рис. 19. Маркировка высокопрочного болта

тов, диаметр гайки, вес нетто болтов или гаек, номер сертификата, номер партии, марка стали, наличие термообработки, а также номер стандарта или ТУ.

Материалом для высокопрочных шайб может служить сталь марки МСт5 (ГОСТ 380—71) или марки 30 или 35 (ГОСТ 1050—60**). Чтобы получить требуемую твердость, шайбы после штамповки и тщательной проверки подвергаются термообработке; шайбы должны иметь твердость по Роквеллу (шкала С) 35—40 единиц.

Размеры высокопрочных шайб должны соответствовать ГОСТ 11371—68*. Шайбы для болтов принимают следующего, большего диаметра, например для болтов диаметром 24 мм должны приниматься шайбы для болтов 27 мм (табл. 10).

Объясняется это тем, что во избежание попадания имеющегося под головкой болта закругления на край отверстия шайбы необходимо либо снимать фаску по краю отверстия шайбы, либо применять шайбу с большим диаметром отверстия, чем это указано в ГОСТ 11371—68*. Снятие фаски с краев отверстия — достаточно трудоемкая работа, от которой заводы-изготовители отказываются. Поэтому приходится увеличивать зазор между стержнем болта и отверстием, назначая размер высокопрочной шайбы по ГОСТ 11371—68*, как для болта ближайшего большего номинального диаметра.

Некоторые исследователи соединений на высокопрочных болтах предлагают применять шайбы более толстые, чем это предусмотрено ГОСТ 11371—68*. Так, для высокопрочных болтов диаметром 24 мм предлагается применять шайбы толщиной 6 мм вместо 5 мм. Это требование не оправдано. Исследования, проведенные в ЦНИИпроектстальконструкции, показали, что шайба при значительных толщинах стягиваемых деталей не влияет на распределение сжимающего усилия по толщине пакета. Главное назначение шайбы — служить высокопрочной подкладкой, облегчающей заворачивание гайки, а также уменьшающей трение между поверхностями гайки и шайбы. Чтобы исключить появление на шайбе задиров, царапин и других повреждений, твердость шайбы должна быть не меньше твердости гайки.

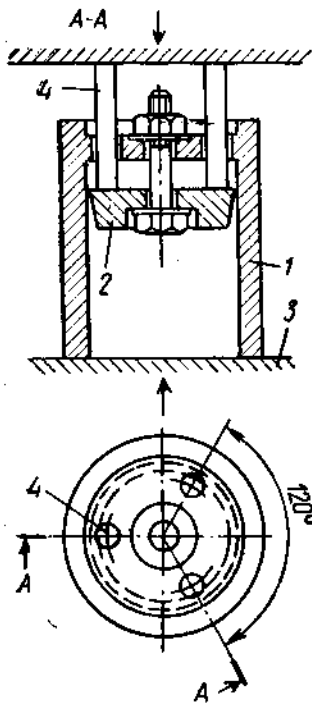


Рис. 20. Приспособление для испытания болтов на прочность

Размеры шайб для высокопрочных болтов, мм

Номинальный диаметр болта	Внутренний диаметр отверстия	Наружный диаметр шайбы	Толщина шайбы
20	23	39	4
22	25	44	4
24	28	50	5
27	31	56	5

Допуски на толщину шайб принимают равными допускам на исходный материал, установленный соответствующими стандартами.

Качество изготовленных высокопрочных шайб должно соответствовать ГОСТ 18123—72 «Шайбы. Технические условия». Важнейшим требованием, предъявляемым к качеству изготовления высокопрочных шайб, является прямизна их поверхности. Всякое искривление шайбы приводит к затрате части усилия, необходимого для натяжения болта, на выравнивание шайбы.

В связи с этим необходимо соблюдать требования ГОСТ 18123—72, согласно которому шайбы должны быть плоскими и не иметь заусенцев. При заказе шайб необходимо оговаривать, что допускаемое отклонение прямизны поверхности высокопрочных шайб (после термической обработки) не должно превышать 0,5 мм; если такой оговорки не сделать, то завод-изготовитель имеет право поставить шайбы с отклонением по плоскости до 1 мм.

Боковые поверхности шайб должны быть перпендикулярны к опорным поверхностям. Отклонение от перпендикулярности не должно превышать 6°. На поверхности шайб не допускаются трещины, несмываемая ржавчина и другие пороки.

Чистота поверхности шайб должна соответствовать 3-му классу по ГОСТ 2789—59. Готовые шайбы на заводе-изготовителе проходят через ОТК завода; приемщик визуально проверяет качество изготовления шайб, контролирует многомерным инструментом или предельными калибрами размеры шайб и проверяет угломером отклонения граней шайб от перпендикуляра. Плоскость шайб проверяют с помощью калибра-щели, через который пропускают шайбы по двум взаимноперпендикулярным диаметрам. И в том и в другом случае шайба должна свободно проходить. Кроме того, ОТК устанавливает твердость шайб по прибору Роквелла (шкала С).

Готовые шайбы контролируют партиями, объединяющими шайбы одного размера, одной плавки стали, прошедшие одну и ту же термическую обработку; количество шайб в партии не должно превышать 1000 шт. Наружному осмотру и проверке размеров подвергают не менее 35 шайб от каждой партии. На твер-

дость проверяют 1% принятых ОТК шайб одной партии, но не менее 5 шт.

Если окажется, что более 3% проверенных шайб не отвечает требованиям по наружному виду, размерам и твердости, производят вторичную проверку на двойном количестве шайб. Если и при вторичной проверке требования не будут выдержаны, вся партия бракуется. В этом случае завод-изготовитель имеет право предъявить ОТК шайбы после их сортировки и исправления. На каждую принятую партию шайб ОТК завода-изготовителя выдает заказчику сертификат.

Шайбы перед упаковкой консервируют тем же составом, что и высокопрочные болты; он состоит из смеси машинного масла и технического вазелина. Упаковывают шайбы в ящики, которые изнутри выкладывают битуминизированной бумагой, пергаментом или другими материалами, не пропускающими влагу. На торцевой стенке каждого ящика краской указывают завод-изготовитель, диаметр отверстия шайб, количество и вес упакованных в ящике шайб, номер сертификата и партии, а также марку стали, из которой изготовлены шайбы.

IV. ВЫПОЛНЕНИЕ СДВИГОУСТОЙЧИВЫХ СОЕДИНЕНИЙ НА ВЫСОКОПРОЧНЫХ БОЛТАХ

1. ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИЕ КАЧЕСТВО ВЫПОЛНЕНИЯ

Все работы по изготовлению и монтажу конструкций со сдвигоустойчивыми соединениями на высокопрочных болтах должны осуществляться в полном соответствии со СНиП III-V.5-62* и действующим «Руководством по выполнению сдвигоустойчивых соединений на высокопрочных болтах в строительных стальных конструкциях». Руководство разработано в развитие главы СНиП III-V.5-62* «Металлические конструкции. Правила изготовления, монтажа и приемки» и является обязательным для всех организаций, проектирующих, изготовляющих и монтирующих строительные стальные конструкции с соединениями на высокопрочных болтах.

Так как монтаж конструкций на высокопрочных болтах имеет большое количество скрытых работ, проверить качество выполнения которых по окончании постановки болтов не всегда возможно, то первым требованием всех технических условий (отечественных и зарубежных) является выполнение сдвигоустойчивых соединений на высокопрочных болтах (постановка высокопрочных болтов и подготовка поверхностей соприкосновения) под общим руководством лиц, хорошо знающих особенности работы этого вида соединения и требования к выполнению работ. Постановка высокопрочных болтов может быть доверена

только рабочим, прошедшим соответствующее обучение и допущенным к этой работе.

Прежде всего необходимо обращать внимание на качество правки деталей в пределах узла, собираемого на высокопрочных болтах. Если пакет будет собран из плохо выправленных деталей, то часть усилия, прилагаемого для натяжения болтов, будет нерационально затрачена на правку деталей. Кроме того, в пакете, собранном из плохо правленных деталей, может не быть контакта поверхностей деталей в районах, непосредственно прилегающих к болтам, что существенно снизит прочность соединения.

К качеству образования отверстий не предъявляют каких-либо особых требований, так как для высокопрочных болтов зазор между стержнем болта и стенкой отверстия достаточно большой. Так, для болтов М24 согласно СНиП III-V.5-62* зазор между стержнем болта и стенками отверстия равен 3 мм.

Вследствие того что высокопрочные болты не работают на срез, чернота в отверстиях может быть ограничена условием свободной, без перекоса, постановки болтов.

Обязательным условием надежной работы высокопрочных болтов является хорошее прилегание головки и гайки болтов к шайбам.

Все соприкасающиеся поверхности соединяемых элементов, в пределах узла и соединения для обеспечения необходимого трения, перед сборкой должны быть специально обработаны (удалены заусенцы, масло, грязь, окалина и получена необходимая шероховатость).

Удаление заусенцев вокруг отверстий раззенковкой возможно только при условии, что после обработки отверстие не увеличится в диаметре более чем на 1 мм. Заусенцы вокруг отверстий рекомендуется удалять плоской стороной круглого абразивного камня, прикрепленного к гибкому валу пневматической или электрической машинки, при обязательном условии, чтобы около отверстия не образовалось углубление, нарушающее контакт соприкасающихся поверхностей.

Качество обработки соприкасающихся поверхностей должно быть проверено работником ОТК или мастером, а результаты проверки должны быть занесены в специальный журнал контроля качества подготовки поверхностей деталей.

Прилегающие друг к другу поверхности элементов, соединяемых на высокопрочных болтах, должны быть чистыми, сухими, не иметь следов ржавчины; в противном случае не будет гарантии, что коэффициент трения таков, каким он предусмотрен в расчетах.

Очень внимательно надо следить за тем, чтобы габаритные размеры соединяемых элементов были точно выдержаны; перепад (депланация) соединяемых и перекрываемых накладкам поверхностей не должен превышать 1 мм. Величину перепада

определяют (до постановки накладок) по линейке и шупу в зоне первого от стыка ряда отверстий.

В случае перепада плоскостей соединяемых деталей от 1 до 5 мм для обеспечения плавного изгиба накладки кромку выступающей детали можно сгладить наждачным камнем на расстоянии до 30 мм от среза детали (рис. 21). Если перепад плоскостей превосходит 5 мм, то можно применять прокладки, обработанные с обеих сторон тем же способом, каким обрабатывались детали соединения.

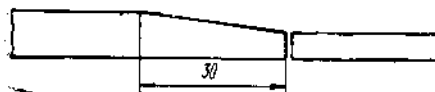


Рис. 21. Обработка кромки детали в случае несовпадения плоскостей деталей от 1 до 5 мм

Для повышения производительности труда сборщиков собирать конструкции целесообразно сразу на высокопрочных болтах. В этом случае исключается операция по замене сборочных болтов на постоянные высокопрочные и снижается стоимость сборки, так как отпадает необходимость приобретения сборочных болтов. Для фиксации положения деталей и предупреждения их сдвига во время сборки в соединении необходимо ставить сборочные пробки (около 30% количества отверстий, но не менее 2 шт. в одном соединении).

В соединениях, в которых наряду с высокопрочными болтами предусмотрена приварка деталей валиковыми швами, сварка должна производиться после затягивания всех высокопрочных болтов с проектным усилием. После сварки необходимо произвести контрольную проверку натяжения всех высокопрочных болтов, так как болты от нагрева деталей во время сварки могут ослабнуть.

Особое внимание должно быть обращено на подготовку самих болтов. Все болты, гайки и шайбы перед постановкой в конструкцию должны быть осмотрены и протерты ветошью для удаления консервирующей смазки.

При наличии на болтах, гайках и шайбах песка, грязи, окалин, ржавчины и других загрязнений метизы погружают в соляровое масло, нагревают его до 60—80°C, после чего болты, гайки и шайбы вынимают и протирают ветошью. На обработанных таким способом болтах должна оставаться тонкая пленка масла.

Гайки перед постановкой болтов в конструкцию должны быть прогнаны по всей длине нарезанной части болтов. Если гайка по какой-либо причине туго идет по резьбе болта или местами заедает, то такую гайку необходимо с болта снять и заменить другой, которая легко навинчивается.

К месту постановки (непосредственно к узлу) болты должны подаваться с накрученными на них гайками.

В стягиваемом соединении каждый высокопрочный болт снаб-

жуют двумя шайбами: одну ставят под головку, а другую — под гайку. Запрещается ставить более чем по одной шайбе с каждой стороны болта. В случае когда соединяемые детали имеют наклонные плоскости, например, когда соединяют полки прокатных двутавровых балок или швеллеров, применяют косые шайбы.

В чертежах собираемых конструкций указывают усилие, с которым должны быть натянуты высокопрочные болты; причем монтажной организации дано право выбирать, каким способом она обеспечит требуемое проектом натяжение болтов.

Например, можно сначала затягивать болты обычным сборочным ключом или гайковертом, затем ключом, снабженным контрольно-измерительным прибором, дотягивать их до проектного усилия. При известном навыке рабочим удастся сразу затянуть болты до требуемого усилия пневматическими гайковертами без дотягивания их ключом с контрольно-измерительным прибором (подробнее см. стр. 71).

Фактическое натяжение в болтах может находиться в пределах $\pm 10\%$ величины осевого натяжения, указанного в проекте. Поэтому надо всегда работать исправным инструментом, обеспечивающим требуемое усилие.

Чтобы быть уверенным в исправности ручных тарированных ключей, их пронумеровывают и ежедневно два раза в смену (перед началом и в середине) подвергают контрольной проверке (тарировке). Результаты контрольной тарировки ключей заносят в специальный журнал.

Для правильной затяжки болтов очень важно соблюдать последовательность их постановки, которую указывает лицо, руководящее этой работой. В пределах узла затяжку болтов следует производить от середины узла к краям или от наиболее жесткой части соединения по направлению к его свободным краям, так как в этом случае создаются благоприятные условия для равномерного и постепенного уплотнения пакета. При таком порядке затягивания болтов все детали пакета как бы разглаживаются и постепенно прижимаются друг к другу.

По окончании натяжения всех высокопрочных болтов в соединении до проектного усилия бригада, производившая работу, обязана набить в непосредственной близости от поставленных болтов присвоенный ей номер или условный знак, после чего соединение должно быть предъявлено для контроля.

После исправления всех обнаруженных дефектов на принятом соединении контролер ставит присвоенное ему клеймо и результаты приемки предъявленных соединений заносит в специальный журнал.

В каждом предъявленном к приемке соединении внешнему осмотру подлежат головки и гайки всех болтов соединения. Число болтов, на которых проверяется крутящий момент, приведено в табл. 11.

Если при контроле крутящего момента обнаружится хотя бы один недотянутый высокопрочный болт контролер или мастер должен проверить натяжение всех 100% болтов в соединении.

ТАБЛИЦА 11

Число болтов в соединении, у которых контролируют крутящий момент

Число болтов, шт.	
в соединении	контролируемых
До 5	100%
6—25	Не менее 5 шт.
26 и более	» » 25%, но не менее 5 шт.

Недотянутые болты в кратчайший срок должны быть дотянуты до проектного усилия. Болты и гайки, на которых во время контроля обнаружены дефекты, необходимо немедленно заменить новыми.

Закреплять гайки высокопрочных болтов постановкой контргаек, приваркой гаек и другими способами не требуется, так как правильно поставленные гайки открутиться не могут. Последняя операция сдвигоустойчивого соединения — его герметизация; зазоры между деталями должны быть прошпаклеваны любой шпаклевкой, не содержащей масла. Герметизация сдвигоустойчивого соединения необходима во избежание попадания влаги на поверхность сопрягаемых деталей. В противном случае работа сдвигоустойчивого соединения не может быть гарантированной.

2. ОБРАБОТКА ПОВЕРХНОСТЕЙ ТРЕНИЯ

Для получения надежных сдвигоустойчивых болтовых соединений все работы на монтаже конструкций должны вестись так, чтобы болты действительно имели проектное осевое натяжение P , а состояние соприкасающихся поверхностей (поверхностей трения) действительно имело предусмотренный проектом коэффициент трения f .

Если поверхности деталей будут обработаны небрежно, с отступлениями от условий, обеспечивающих требуемое качество, величина коэффициента f может снизиться, прочность болтовых соединений будет отличаться от проектной и все сооружение получится малонадежным. Поэтому все работы по подготовке соприкасающихся поверхностей необходимо выполнять тщательно.

Чтобы обеспечить должное трение между соприкасающимися деталями, их поверхности в пределах узлов и соединений не только тщательно очищают от масла и грязи, но, как указывалось выше, соответствующим образом обрабатывают для удале-

ния окалины и получения шероховатости, коэффициент трения которой соответствовал бы значению, заложенному в проекте.

Обычно поверхности деталей обрабатывают на монтаже конструкций в возможно кратчайшие сроки перед сборкой и сблочиванием соединений, иначе обработанные поверхности могут покрыться налетом ржавчины или загрязниться, что неизбежно скажется на величине коэффициента трения.

Обработка поверхностей деталей может быть произведена: 1 — опескоструиванием кварцевым песком; 2 — термическим способом — обжигом многопламенными горелками; 3 — металлической щеткой (ручной или механической); 4 — химическим способом — травлением; 5 — шлифовальным камнем.

Первые три способа являются основными, два последних пока еще не вышли за пределы лабораторных исследований и не могут быть рекомендованы для применения.

Пескоструйная обработка

Пескоструйная обработка металла обеспечивает наиболее высокие и, что важно, стабильные значения коэффициента трения, в силу чего этот способ считается лучшим и им следует пользоваться всегда, когда это возможно. Однако пескоструйный способ вреден для работающих, так как выделяющаяся пыль, содержащая частицы кремния, может привести к серьезным заболеваниям, поэтому при пескоструйной обработке необходимо соблюдать правила техники безопасности.

Сущность пескоструйной обработки состоит в том, что струя чистого, промытого, просушенного и просеянного кварцевого песка направляется сжатым воздухом (с избыточным давлением 3—6 кгс/см²) на обрабатываемую поверхность.

В комплект пескоструйной установки (рис. 22) входят пескоструйный аппарат 3, шланги 2 и 5 для подачи песка в сопло 6, масловодоотделитель 1 и смеситель 4.

Пескоструйные аппараты, входящие в состав пескоструйной установки, в зависимости от количества загрузочных камер бывают двух типов: двухкамерные (рис. 23, а) и однокамерные (рис. 23, б). Двухкамерный аппарат состоит из рамы 1, рабочей камеры 2, промежуточной камеры 3, бункера 4, через который засыпают песок, клапана 5, подающего песок в промежуточную камеру, смесителя 6, в котором происходит смешивание песка с воздухом, поступающим по воздухопроводу 7, и соллодержателя 8, соединенного шлангом с пескоструйным аппаратом. Двухкамерные пескоструйные аппараты более производительны, поэтому их применяют при больших объемах работ. Конструкция двухкамерных аппаратов позволяет производить загрузку песка, не прекращая работу; работа двухкамерных аппаратов при загрузке их песком прерывается. Однокамерный аппарат состоит из резервуара 1, воронки 2 для засыпки песка, клапана 3 и смесителя 4.

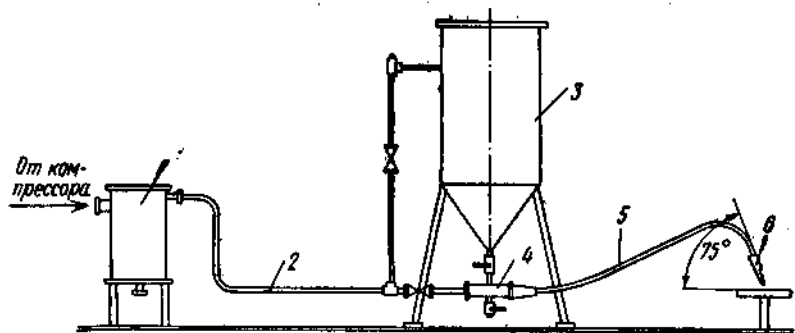


Рис. 22. Схема пескоструйной установки

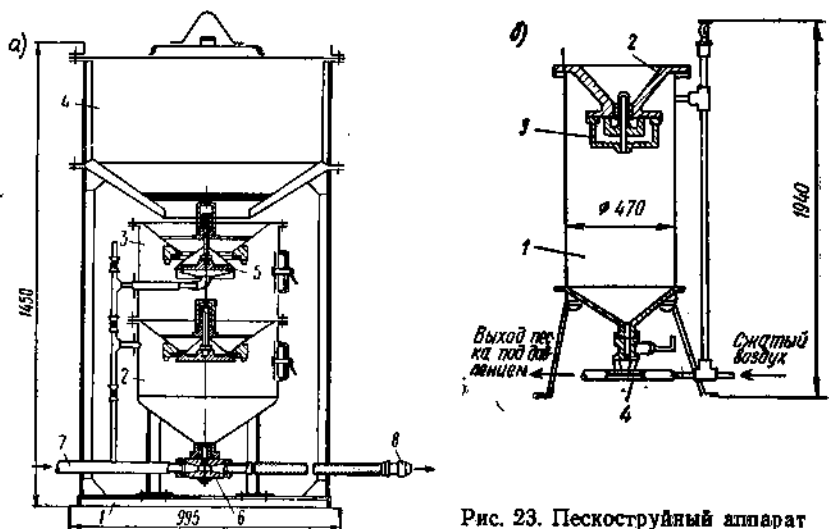


Рис. 23. Пескоструйный аппарат

В табл. 12 приведены основные технические данные двухкамерных и однокамерных аппаратов, применяемых на монтаже.

ТАБЛИЦА 12

Технические данные пескоструйных аппаратов

Техническая характеристика	Единица измерения	Тип аппарата	
		двухкамерный	однокамерный
Загрузочная вместимость камер	л	140	170
Рабочее давление воздуха	кгс/см ²	5—6	5—6
Внутренний диаметр шланга, подающего сжатый воздух к аппарату	мм	25	25
Масса аппарата	кг	300	200

При работе аппарата песок, ударяясь о металл, очищает его от загрязнения, сбивает окалину и, снимая тонкий верхний слой, придает металлической поверхности равномерную шероховатость, которая обеспечивает высокий коэффициент трения. Сбитые частицы металла, окалины, пыли, грязи и песка сдуваются струей сжатого воздуха с поверхностей детали, делая их чистыми.

Сжатый воздух, используемый для распыления песка, должен быть предварительно очищен от масла и влаги. Для этой очистки можно применять маслородоотделитель типа С-732, изготовляемый Вильнюсским заводом лакокрасочных аппаратов. Объем маслородоотделителя типа С-732 35 л, минимальное рабочее давление 7 кгс/см², фильтр состоит из двух войлочных прокладок, наполнитель — кокс; масса маслородоотделителя — 36 кг, габариты 1080×395×375 мм.

По мере загрязнения войлочных прокладок маслородоотделителя их промывают в растворителе (бензине, ацетоне и т. п.), а коксовую насадку по мере накопления таги просушивают или заменяют новой.

Чтобы проверить чистоту сжатого воздуха, направляют его струю на лист белой, желательно фильтровальной бумаги. Если в течение 30 с на бумаге не появятся следы масла, маслородоотделитель работает хорошо. Надежность работы маслородоотделителя следует проверять ежедневно, не реже одного раза в смену (перед началом работы). При сильном загрязнении металл перед пескоструйной обработкой должен быть обезжирен растворителем или пропарен острым паром.

Сопло — ответственная часть пескоструйной установки — может быть металлическим, минералокерамическим и металломинералокерамическим. Металлическое сопло применяют для небольших объемов работ. Быстрый износ рабочей части его под влиянием проходящего песка существенно снижает эффективность работы установки.

Минералокерамическое сопло более устойчиво. Рабочая часть его представляет собой минералокерамическую вставку из специального сплава ЦМ-332, обладающего повышенной стойкостью при работе на истирание. Срок службы вставки 75—100 ч.

Для пескоструйной обработки применяют чистый, промытый (отмученный), хорошо просушенный кварцевый песок величиной зерна 0,6—0,8 мм с содержанием SiO₂ не ниже 94% (чем больший процент в песке SiO₂, т. е. чем меньше в нем загрязняющих примесей, тем выше будет значение коэффициента трения).

Лучшим по ГОСТ 6139—52 считается песок завода «Комсомолец» (г. Вольск).

Необходимо отметить, что поверхности деталей, обработанные чистым или загрязненным песком, внешне почти не отличаются. Окалина почти всегда полностью удалена, и металл имеет характерный сероватый цвет. Однако впечатление это обманчи-

во, так как после обработки загрязненным песком или песком с малым содержанием SiO_2 на поверхности деталей остаются мелкие частицы глины и другие примеси, создающие легкую, едва заметную прослойку между деталями, снижающую коэффициент трения.

Расстояние сопла от очищаемой поверхности и его наклон принимаются в зависимости от конфигурации обрабатываемого изделия и находятся в пределах 15—20 см и под углом около 75° к обрабатываемой поверхности.

Необходимо иметь в виду, что поверхность металла после пескоструйной обработки очень быстро ржавеет, поэтому очищенные детали должны поступать на сборку в возможно короткий срок. Влияние внешней среды на коррозию металла начинает сказываться уже через 2—3 ч, особенно во влажном воздухе.

Во время пескоструйной обработки необходимо выполнять ряд правил.

Пескоструйный аппарат должен иметь паспорт и удовлетворять требованиям «Правил устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением» Гостехнадзора СССР.

Для защиты органов дыхания от песчаной пыли следует пользоваться приборами изолирующего типа — шланговыми противогазами или скафандрами (типа МИОТ-49) с подачей в них воздуха для дыхания.

Для малых объемов работ, производимых на открытом воздухе, при хорошей естественной вентиляции целесообразно применять индивидуальные бесклапанные противопыльные респираторы типа ШБ-1 «лепесток», изготавливаемые кимрской фабрикой (Московская обл.).

Подаваемый в скафандр воздух (180—200 л/мин) должен быть предварительно пропущен через фильтр для очистки от паров масла, воды, углеводородов и окиси углерода.

На заводах (с целью улучшения условий труда) вместо кварцевого песка можно применять мелкую стальную крошку размером 0,5—1 мм; при этом давление воздуха в аппарате доводят до 5—6 кгс/см². Использовать в монтажных условиях стальную крошку, несмотря на все ее достоинства и преимущества по сравнению с песком, очень трудно, так как для этого приходится пользоваться специальными камерами. Без таких камер потери металлической крошки будут чрезвычайно большими, что делает ее применение крайне нерентабельным.

Термическая обработка

Сущность термической (огневой) обработки состоит в том, что при быстром нагреве многопламенной горелкой поверхностного слоя металла окалина нагревается, растрескивается, а ржавчина обезвоживается и, так же как отслоившаяся окалина, легко удаляется с обрабатываемой поверхности металлической

щеткой. Обработанная поверхность будет темной, без металлического блеска. Термический способ обработки поверхности элементов экономичен и характеризуется достаточно высокой производительностью, но он уступает пескоструйному по получаемой величине коэффициента трения.

Термический способ обработки не следует применять для деталей толщиной менее 5 мм во избежание их коробления. Качество обработки поверхности существенно зависит от опыта рабочего и, в первую очередь, от скорости перемещения многопламенной горелки по изделию, так как при чрезмерно большой скорости температура нагрева поверхностного слоя металла может оказаться недостаточной и не вся легкоотстающая окалина будет удалена.

Практикой установлено, что для хорошего качества обработки горючим должен быть ацетилен (ГОСТ 1460—56*), а перемещение многопламенной горелки — около 1 м/мин. Применять в качестве горючего пропан-бутан или природный газ не следует, так как температура пламени этих газов в смеси с кислородом недостаточна для надежной очистки поверхности от ржавчины и окалины (температура пламени пропан-бутана 2050°C, природного газа 1850°C, ацетилена 3100°C).

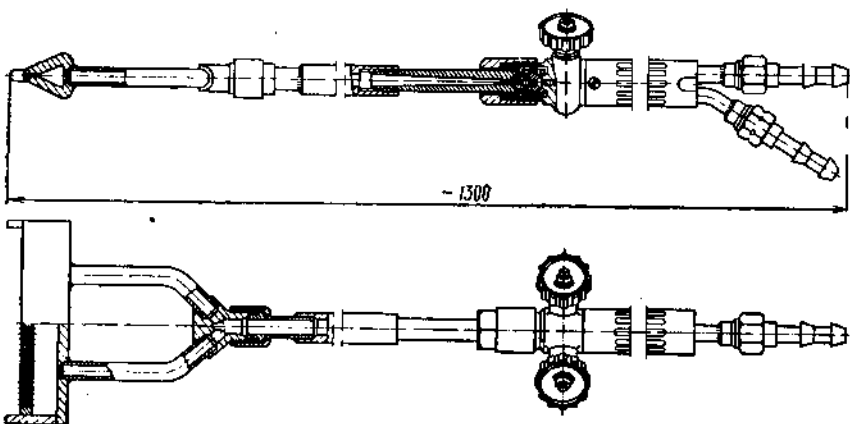


Рис. 24. Общий вид многопламенной горелки

Для работы на монтаже рекомендуется применять многопламенные горелки ГАО-60 (рис. 24) со следующими техническими характеристиками:

Ширина обрабатываемой за один проход поверхности	100 мм
Давление кислорода на выходе	5—6 ати
Давление ацетилена (избыточное)	0,4—0,5 кгс/см ²
Расход кислорода	1 м ³ /м ²
» ацетилена	0,6 »

Ацетилен должен быть в баллонах, так как генераторы среднего и особенно низкого давления не обеспечивают нормальной работы горелки и требуют частой перезарядки. Можно применять стационарные генераторы высокого давления, но эксплуатация их на монтаже сложна.

Питание горелок ГАО-60 ацетиленом и кислородом от баллонов очень удобно, так как при этом можно вести обработку практически в любом месте монтажной площадки, что существенно сокращает время между подготовкой поверхностей и установкой обработанных элементов и деталей на место.

Огневой способ обработки поверхностей предпочтителен на производстве, так как используемое при этом оборудование несложно, портативно и удобно в обращении.

Практикой установлено, что качество обработки поверхностей лучше, когда работы ведут пламенем с 30%-ным избытком кислорода, а наклон горелки к обрабатываемой поверхности не превышает 45°. Несоблюдение последнего условия часто вызывает обратные удары из-за перегрева горелки. Обработку поверхностей горелкой ГАО-60 ведут, соблюдая следующие правила: перед началом работы необходимо осмотреть горелку, убедиться в ее исправности и правильности подсоединения шлангов к горелке; необходимо проверить на герметичность все разъемные соединения; утечка газа через сальники и шпindel вентилей и накидные гайки недопустима; сальниковые уплотняющие кольца должны быть смазаны смазкой ЦИАТИМ-221 либо глицерином.

В начале работы устанавливают рабочее давление ацетилена и кислорода в соответствии с режимом. Затем открывают на четверть оборота кислородный вентиль и на оборот ацетиленовый вентиль горелки и тотчас зажигают горючую смесь. После этого постепенно и поочередно открывают кислородный и ацетиленовый вентили горелки, поддерживая пламя с избытком кислорода, до установления нормального пламени нужной мощности.

При появлении хлопков или обратного удара пламени быстро закрывают вентиль горючего газа, а затем и кислородный вентиль. Когда кончик горелки охлаждают в воде, необходимо приоткрывать кислородный вентиль, чтобы вода не попала в рабочие каналы кончика. Хлопки и обратные удары пламени могут быть вызваны засорением сопла, перегревом кончика, засорением и нарушением герметичности в соединениях, а также неправильным соотношением газов в горючей смеси.

При гашении пламени горелки сначала следует быстро закрыть ацетиленовый, а затем кислородный вентиль горелки.

Наилучшее качество обработки поверхностей деталей достигается при максимальной мощности пламени, которое следует отрегулировать так, чтобы при свободном горении на воздухе ядро пламени несколько отрывалось от мундштука, а при касании обрабатываемой поверхности — соединялось с мундштуком.

Предпочтительно перемещать горелку на себя — в этом случае движение ее будет более равномерным.

Каждый последующий проход пламени должен перекрывать предыдущий на 15—20 мм.

Отставшую окалину и продукты загрязнения после термической обработки удаляют сначала мягкой проволочной щеткой, а затем мягкой волосяной щеткой. Протирать ветошью (даже сухой) обработанную поверхность не следует, так как она засаливается и значение коэффициента трения снижается.

Обработка металлическими щетками

Обработка поверхностей деталей металлической щеткой очень проста.

Щетка состоит из набора кусков стальной проволоки пружинной твердости, надежно укрепленных к ее основанию. При перемещении щетки по поверхности детали с достаточно сильным нажимом концы проволочек отдирают от металла отстающую окалину и ржавчину, удаляют пыль и грязь. После такой обработки металл будет темным, слегка блестящим и достаточно чистым.

Металлические щетки бывают ручные и механические.

Ручная щетка имеет деревянную плоскую рукоятку, в которую заделаны куски стальной проволоки; механическая, приспособленная для укрепления к гибкому валу пневматической или электрической шлифовальной машинки, изготавливается в виде круглого диска диаметром 200—220 мм и шириной рабочей части 100—120 мм. Набор проволок располагается по диску радиально и все проволочки по бокам туго скреплены двумя металлическими шайбами. Чем короче концы проволок, выступающих за края шайб, тем интенсивнее работает щетка, тем больше окалины будет счищено. Круглая металлическая щетка укрепляется на конце гибкого вала переносной шлифовальной машинки. Наша промышленность выпускает шлифовальные машинки с электрическим и пневматическим приводом.

Однако обработка поверхностей деталей стальными механическими и тем более ручными щетками малоэффективна, так как коэффициент трения получается невысоким и, что очень важно, нестабильным.

Низкое значение коэффициента трения объясняется тем, что стальными щетками не удается полностью удалить с поверхности деталей все загрязнения, ржавчину и окалину. Неудаленная окалина, находясь между деталями, может создать благоприятные условия для скольжения.

Из-за низкого значения коэффициента трения после обработки металлической щеткой способ этот не нашел у нас широкого применения, хотя в США, например, благодаря простоте и высокой производительности, в основном пользуются металлическими щетками.

Повторная обработка поверхностей трения

Обрабатывать поверхности соединяемых элементов на монтаже необходимо в возможно короткий срок до сборки и сблочки конструкций.

Этот срок строго регламентирован. В ФРГ время между обработкой поверхностей и монтажом конструкций не должно превышать 24 ч, во Франции—5 ч, в СССР по условиям МПС—72 ч. В официальных нормативных документах США таких указаний нет.

В действующих у нас нормативных документах допускаемый промежуток времени между обработкой поверхностей и монтажом элементов строительных конструкций не оговорен, так как степень коррозии подготовленных для монтажа поверхностей зависит не столько от времени, сколько от условий хранения и состояния атмосферы.

В случае появления на очищенных поверхностях темных пятен или следов ржавчины эти поверхности необходимо дополнительно (перед сборкой) подвергнуть огневой обработке, а затем удалить отставшую окалину и продукты запыления мягкой щеткой.

В днепропетровском филиале ЦНИИпроектстальконструкции изучено влияние атмосферных условий на состояние обработанных поверхностей и на изменение коэффициента трения.

Были изготовлены и испытаны образцы, хранившиеся в различных условиях. Часть образцов после обработки опескоструиванием и обжигом многопламенными горелками хранилась в крытом помещении, исключавшем непосредственное попадание атмосферной влаги, а часть образцов лежала на открытом воздухе; некоторое количество образцов подвергалось влиянию атмосферных осадков. Полигон, на котором образцы находились в промежуток времени между обработкой и сборкой, был расположен вблизи грануляционного бассейна доменного шлака (достаточно агрессивная среда).

Состояние поверхности трения, изменявшейся из-за различных условий хранения образцов, оценивали сопоставлением значения коэффициентов трения образцов после их испытания на сдвиг.

Результаты испытаний сведены в табл. 13, из которой видно, что даже незначительная коррозия снижает коэффициент трения; это подтверждает необходимость монтировать элементы конструкций в возможно короткий срок после обработки их поверхностей.

В днепропетровском филиале ЦНИИПСК была испытана еще одна группа образцов, поверхности соприкосновения которых были сначала опескоструены или обожжены многопламенными горелками, после чего образцы 1 мес. хранились на открытом воздухе, подвергались неоднократным воздействиям осад-

Влияние состояния поверхностей трения на значение коэффициента трения

Способ обработки поверхностей	Условия хранения образцов	Число образцов, шт.	Внешний вид поверхностей перед сближением образцов	Коэффициент f		
				мин.	макс.	средний
Пескоструйная	Сразу после обработки 2 суток в помещении без доступа влаги	5	Чистая	0,447	0,654	0,539
		5	Равномерное потемнение без видимых следов кор- розии	0,328	0,456	0,398
	5	Значительное потемнение, пятна коррозии на от- печатках пальцев рук	0,299	0,348	0,328	
Газопламенной горелкой	Сразу после обработки	14	Чистая	0,422	0,630	0,521
То же	На воздухе (закрыты от непосредственного воз- действия атмосферных осадков) 1 неделя	5	Цвет не изменился, види- мых признаков коррозии нет	0,405	0,630	0,505
		5	То же	0,421	0,548	0,484
		5	То же	0,375	0,542	0,452
		5	Покрылись ржавчиной	0,398	0,457	0,455
		5	То же	0,288	0,512	0,392

ков, а затем перед оборкой и сболчиванием соприкасающиеся поверхности этих образцов были вновь обработаны многопламенной горелкой.

Результаты испытаний этих образцов приведены в табл. 14, из которой видно, что коэффициент трения f полностью восстановился и достиг величины, близкой к той, которую (см. табл. 13) имели образцы, сболченные сразу же после обработки.

ТАБЛИЦА 14

Значение коэффициента трения после повторной обработки многопламенной горелкой

Способ первоначальной обработки	Условия хранения образцов	Число образцов, шт.	Коэффициент f		
			мин.	макс.	средний
Пескоструйная	С воздействием влаги, 3 недели	13	0,414	0,630	0,530
	То же, 1 мес.	5	0,420	0,561	0,492

В итоге испытаний сделан вывод, что опескоструенные поверхности очень быстро корродируют. В закрытом помещении опескоструенные поверхности через неделю покрываются темным налетом, снижающим коэффициент трения. После трех недель хранения на открытом воздухе с периодическим увлажнением опескоструенные поверхности покрылись сплошным слоем ржавчины; потребовалась вторичная обработка перед испытанием.

Обработка многопламенной горелкой дала лучшие результаты. Обработанные этим способом поверхности корродируют менее интенсивно, хотя и в этом случае коэффициент трения снижается, завися от продолжительности и условий хранения образцов. Повторная обработка покрывшихся ржавчиной поверхностей многопламенной горелкой полностью себя оправдывает и должна быть рекомендована для восстановления качества поверхностей элементов, находящихся продолжительное время на воздухе.

3. ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ ПОСТАНОВКИ ВЫСОКОПРОЧНЫХ БОЛТОВ

Ручные ключи

Ручные ключи делятся на две группы. Ключи первой группы, называемые тарированными, имеют встроенный измерительный прибор, по показаниям которого можно определять величину крутящего момента, развиваемого ключом во все время его работы.

Ключи второй группы, называемые сигнальными, или ключами с заданным моментом, имеют настраивающееся сигнальное устройство; сигнал появляется, когда величина крутящего момента достигает величины, на которую настроено устройство.

В последние годы появилось много типов ручных тарированных ключей, отличающихся принципами работы и конструкцией приборов, по которым определяется величина крутящего момента, развиваемого ключом.

На рис. 25 приведен чертеж простого и имеющего достаточно широкое распространение ключа марки КТР-3, разработанного ЦНИИпроектстальконструкцией. Определение величины крутящего момента в нем основано на деформации рукояти ключа во время затягивания гайки.

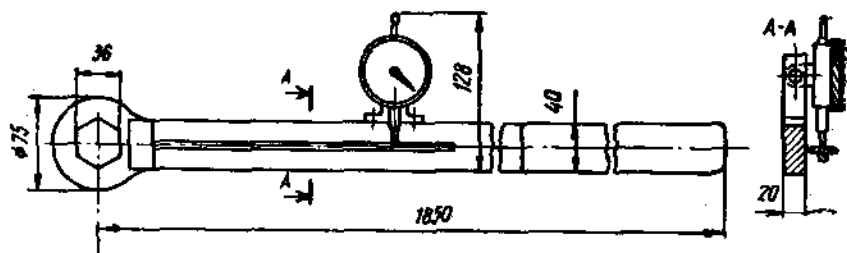


Рис. 25. Ручной индикаторный ключ КТР-3

Рукоять ключа прямоугольного сечения, изготовленная из низколегированной стали, имеет на конце головку с закрытым зевом. Длина ключа от оси зева головки до конца рычага зависит от величины максимального крутящего момента, который должен развивать ключ. Длина рукояти 1850 мм, ключ может развивать крутящий момент до 100 кгс·м. К головке ключа приварена планка, а к ней приварен неподвижный язык таврового сечения. Зазор между кромкой языка и рукоятью ключа 2—3 мм.

На рукояти ключа с помощью кронштейна жестко укреплен индикатор часового типа. Подвижный рычаг индикатора касается языка на расстоянии 50 мм от его конца. Во время завертывания гайки рукоять ключа под влиянием приложенного к ее концу усилия изгибается, перемещая укрепленный на ней индикатор. Язык ключа остается неподвижным. Опертый в него рычаг индикатора отжимается на величину прогиба рукояти в этом месте; величина эта фиксируется показанием индикатора.

Так как прогиб рукояти зависит от величины изгибающего момента, то, зная зависимость между показаниями индикатора и величиной крутящего момента, этим ключом с успехом можно пользоваться для затягивания высокопрочных болтов с определенным крутящим моментом.

Связь между показаниями индикатора и величиной момента устанавливается предварительной тарировкой ключа, в процессе которой каждому показанию индикатора находят отвечающее ему значение крутящего момента.

Этот ключ отличается хорошей точностью, однако конструкция его имеет недостаток. Выступающий за пределы ключа индикатор мешает работе и выходит из строя от ударов о детали собираемой конструкции. Чтобы защитить индикатор, его надо закрывать достаточно жестким футляром.

При работе ключом КТР-3 необходимо соблюдать следующие условия:

1) место приложения усилия должно быть строго зафиксировано, иначе меняется кривая прогиба ключа и, как следствие, меняются показания индикатора. Место приложения усилия на рукоятки должно быть окрашено в красный цвет;

2) отсчет по индикатору необходимо делать в момент плавного поворота ключа;

3) затягивать болты надо плавно, без рывков;

4) во время работы нужно внимательно следить за состоянием индикатора. Стрелка индикатора должна всегда после снятия показаний возвращаться на нуль.

Запорожский механический завод МПС выпускает ключи для затягивания болтов диаметром до 24 мм (рис. 26), при крутящем моменте 130 кгс-м. Масса такого ключа равна 11 кг. Ключ с гидравлическим динамометром состоит из рабочего органа 1 с коротким рычагом 5, гидравлического динамометра 3 и рукоятки 4 с двумя щеками 2.

Рабочий орган 1 представляет собой муфту, внутренняя обойма которой имеет восьмигранник, в который вставляются сменные насадки, надеваемые на гайки затягиваемых болтов. Наружная обойма муфты жестко соединена с коротким рычагом 5. Величина крутящего момента, развиваемого ключом, зависит от усилия, с которым плунжер гидравлического динамометра 3 давит на короткий рычаг 5, а это усилие, в свою очередь, зависит от усилия, прикладываемого к концу рукоятки ключа 4.

Гидравлический динамометр (рис. 26, б) представляет собой цилиндр с поршнем, рабочая полость которого заполнена маслом. В зависимости от силы P , действующей на шток динамометра, в полости цилиндра возникает давление, которое фиксируется стрелкой манометра. Зависимость давления, показываемого манометром, от крутящего момента приведена в таблице, укрепленной на одной из упорных щек ключа.

При затягивании высокопрочных болтов рабочий орган 1 с вставленной сменной насадкой, соответствующей диаметру затягиваемого болта, надевается на гайку.

Нажимая на рукоятку ключа 4, рабочий вращает упорные щеки 2, которые, упираясь штоком динамометра в рычаг 5 рабочего органа, вращают его и тем самым затягивают гайку болта. Вращение рабочего органа 1 производят до тех пор, пока стрелка манометра дойдет до деления на шкале, соответствующего величине необходимого крутящего момента.

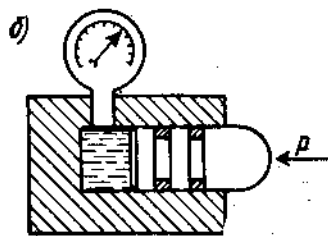
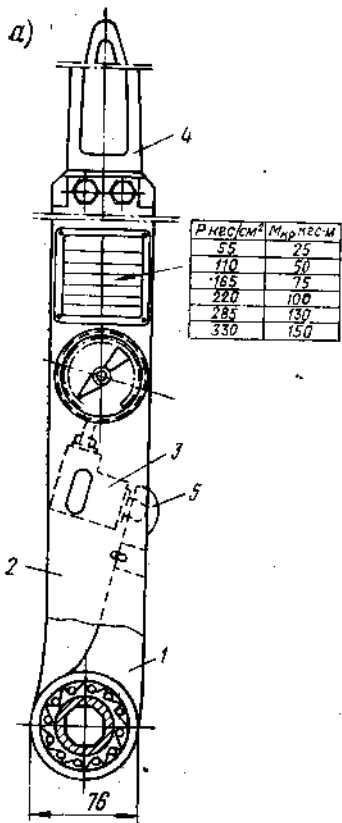
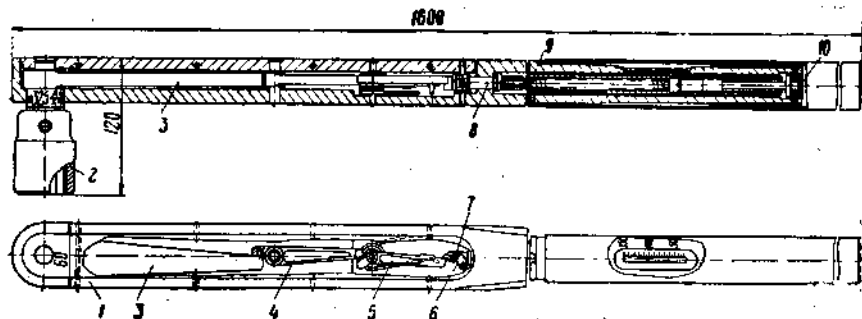


Рис. 26. Рычажный ключ с гидравлическим динамометром
 а — общий вид; б — гидравлический динамометр

Рис. 27. Сигнальный ключ криворожского института Гипрорудмаш



Очень надежен и удобен в работе сигнальный ключ, разработанный криворожским институтом Гидрорудмаш (рис. 27).

Этот ключ имеет полый корпус 1, внутри которого находится система рычагов 3, 4 и 5. Рычаг 3 жестко скреплен с торцевой головкой 2, надеваемой на гайку затягиваемого болта. На конец корпуса, с противоположной стороны торцевой головки ключа, надевается рукоятка длиной 1,5 м. Рычаг 5 опирается концом длинного плеча на собачку 6, вращающуюся на оси 7 и подпираемую с противоположной стороны упором 8. Упор 8 прижимается к собачке 6 давлением спиральных пружин, находящихся в регулирующем устройстве 9. Торцевым ключом, закладываемым в отверстие 10 регулирующего устройства, можно увеличивать или уменьшать давление спиральных пружин через упор на собачку и тем самым увеличивать или уменьшать сопротивление рычагу 5, производящему давление на собачку.

Первое время при затягивании болтов, когда сопротивление вращению гайки невелико, все рычаги ключа находятся в покое. С возрастанием сопротивления рычаги, воздействуя друг на друга, приходят в движение, и как только крутящий момент достигнет предельного значения, на величину которого настроен механизм ключа, рычаг 5, преодолев сопротивление собачки 6, соскочит с нее и в этот момент раздастся четко слышимый щелчок. Настройка механизма ключа на подачу сигнала, когда ключ разовьет крутящий момент требуемой величины, состоит в увеличении или уменьшении давления (вращением регулирующего устройства) на собачку со стороны упора 8.

Механические гайковерты

По принципам работы механические гайковерты бывают ударно-импульсного и статического действия.

Ударно-импульсные гайковерты (первая группа) затягивают гайку болта часто наносимыми ударами, статические (вторая группа) — непрерывным ее вращением.

Производственники предпочитают гайковерты ударно-импульсного действия, так как гайковерты статического действия, у которых момент непосредственно редуцируется на шпинделе, создают реактивный момент, который должен быть воспринят рабочими, работающими с гайковертом, что при работе в монтажных условиях и особенно на подмостях неудобно, а порой и небезопасно. Кроме того, гайковерты статического действия тяжелее.

Промышленность выпускает большое количество различных ударно-импульсных гайковертов, однако немногие из них отвечают условиям постановки высокопрочных болтов. Большинство марок гайковертов маломощны и не развивают крутящий момент, достаточный для затягивания болтов ходового диаметра 24 мм.

Кроме того, существенным недостатком большинства гайковертов является отсутствие у них устройств для надежной настройки механизма на заданный момент, по достижении которого гайковерт переставал бы работать. Гайковерты с заданным (фиксированным) моментом могли бы существенно повысить производительность труда оборщиков на монтаже конструкций. Несмотря на это, на монтаже все же целесообразно применять гайковерты, производя ими предварительное заворачивание гаек болтов, и затем окончательно затягивать ручными тарированными ключами, снабженными измерительными приборами. Способ постановки высокопрочных болтов в два приема себя оправдал и рекомендуется.

Многие конструкторы гайковертов ударного действия считают, что настройка крутящего момента гайковертов различными встроенными ограничивающими устройствами нерациональна, так как от этого увеличиваются размеры, вес и усложняется конструкция гайковертов.

В настоящее время разработан способ постановки болтов, вообще не требующий наблюдения за величиной крутящего момента, с которым затягивается болт. Этот метод, основанный на контроле угла поворота гайки, упрощает процесс постановки болтов и не вызывает усложнений конструкции ручных ключей и гайковертов.

Пневматический реверсивный гайковерт марки И-51-А (рис. 28) является ручным инструментом, предназначенным для

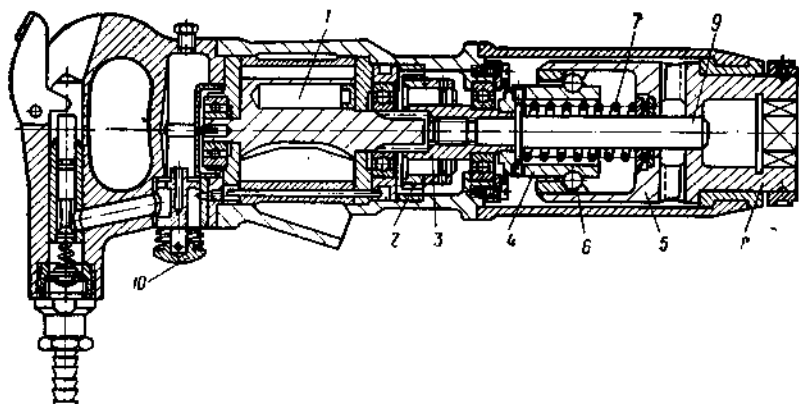


Рис. 28. Гайковерт марки И-51-А

завертывания и отворачивания гаек болтов. Он относится к группе ударно-импульсных гайковертов; при его работе реактивный момент сопротивления заворачиванию гайки рабочий не ощущает.

Гайковерт состоит из пускового механизма, двигателя редуктора, ударного механизма и реверсивного механизма.

Вращение от ротора пневматической турбины 1 передается через сателлит 2 на водило 3, которое связано с торцевой муфтой 4, вращает ее, а заодно и весь ударный механизм.

Ударный механизм состоит из торцевой муфты 4, закрепленной на водиле 3, кулачковой муфты 5 и шариков 6.

Вокруг муфты сделана замкнутая волнообразная дорожка, по которой перекатываются шарики. Нормально шарики 6 расположены в крайнем правом положении.

На внешней стороне дна муфта имеет два кулачка, которые входят в зацепление с кулачками натальной части сменного торцевого ключа 8.

Вследствие того что шарики 6 под воздействием пружины 7 плотно сидят в углублениях волнообразной дорожки, кулачковая и торцевая муфты вращаются как одно целое.

В начале заворачивания гайки, когда сопротивление еще мало, торцевой ключ 8 вращается со скоростью, равной скорости ведомого вала редуктора 9. После того как гайка дойдет до поверхности соединяемых деталей и встретит большое сопротивление, гайковерт переходит на ударный режим работы.

Преодолевая сопротивление пружины 7, кулачковая муфта начинает подниматься и выходит из зацепления с торцевым ключом.

При дальнейшем вращении торцевой муфты кулачковая муфта, опускаясь, вращается в сторону вращения торцевой муфты и, повернувшись на 180° , наносит вращательный удар по вновь попавшим в зацепление кулачкам торцевого ключа 8, создавая тем самым необходимый крутящий момент для затягивания гайки. Конструкция гайковерта такова, что удар вызывается действием пружины и сила его не зависит от давления воздуха.

Таким образом, происходит периодическое оттягивание и опускание кулачковой муфты, которая при каждом повороте на 180° производит удар по ключу.

Изменить направление вращения ключа можно с помощью реверсивного механизма, основной деталью которого является двухходовой кран 10. Поворачивая рукоятку крана, можно направить струю сжатого воздуха в ту или иную группу каналов и создать левое или правое вращение ключа.

Гайковерт И-51-А имеет следующую техническую характеристику:

Крутящий момент на ключе	60 кгс·м
Давление воздуха	5 атм
Диаметр воздушного шланга	16 мм
Длина гайковерта	500 »
Расход воздуха	2 м ³ /мин
Частота вращения на рабочем ходу	250—400 об/мин
Число ударов	500—700 ударов/мин
Масса гайковерта	16,5 кг

Пневматический реверсивный гайковерт 312-01 предназначен для закручивания и откручивания крепежных изделий с размером шестигранной головки от 32 до 50 мм. Этот гайковерт относится к группе гайковертов ударно-импульсного действия.

Он состоит из двигателя и преобразователя, которые связаны в общую кинематическую систему разъемным корпусом (рис. 29)

Через штуцер 1 гайковерт соединен гибким шлангом с сетью сжатого воздуха. Для нормальной работы гайковерта давление воздуха в сети должно быть 5—6 кгс/см².

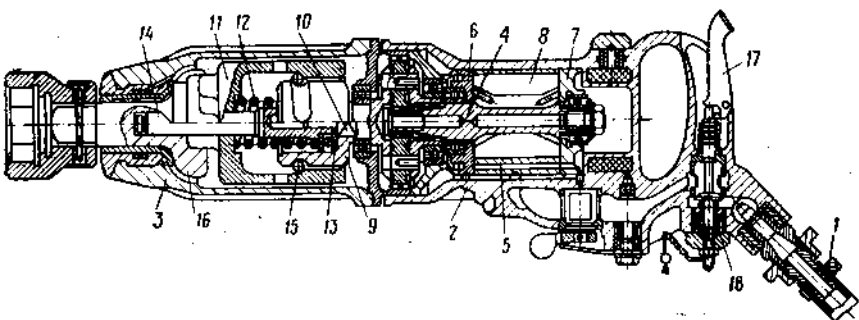


Рис. 29. Гайковерт марки 312-01

В верхней половине корпуса 2 смонтирован пневматический двигатель, пусковой механизм и переключатель для изменения направления вращения ключа, а в нижней 3 — преобразователь, предназначенный для преобразования непрерывно крутящего момента в импульсно-ударный.

Двигатель состоит из ротора 4, статора 5, передней крышки 6 и задней крышки 7. Ротор имеет шесть пазов, в которых находятся текстолитовые лопатки 8. Для преобразования вращательного движения двигателя в импульсно-ударное гайковерт имеет преобразователь, состоящий из кулака 9 с двумя наружными профильными вырезами. Кулак насажен на квадрат водила 10.

Кроме того, преобразователь имеет молоток 11, пружину 12, упорный шарикоподшипник 13, ось преобразователя 14 и два шарика 15. Профильные вырезы на поверхности молотка 11 выполнены в виде двух расходящихся ветвей и направлены противоположно профильным вырезам на кулаке.

При таком расположении вырезов шарики, зажатые между молотком и кулаком, при работе преобразователя перекатываются в вырезах и выводят молоток из зацепления с головкой 16.

Ключ требуемого размера закрепляется на квадрат головки, вставленной в кольцевую выточку ключа. Головка может вращаться вправо и влево. Направление вращения меняется переключателем в результате изменения направления воздуха.

При нажиме на пусковой рычаг 17 с пружинной 18 сжатый воздух из сети поступает в двигатель. Крутящий момент, развиваемый ротором, передается ключу через водило 10, кулак 9, молоток 11 и головку ключа 16.

В начале заворачивания гайки ключ вращается непрерывно. Когда момент сопротивления гайки возрастает, дальнейшее заворачивание становится прерывно-ударным.

Правильно собранный, отрегулированный и исправный гайковерт марки 312-01 должен иметь легкий, без заедания и ненормального шума ход движущихся частей и развивать крутящий момент на ключе от 72 до 88 кгс·м при избыточном давлении воздуха 5 кгс/см².

Гайковерт марки 312-01 имеет следующую техническую характеристику:

Крутящий момент на ключе	80 кгс·м
Давление воздуха	4—6 кгс/см ²
Диаметр шланга в свету	13 мм
Расход воздуха	2 м ³ /мин
Частота вращения ротора при давлении воздуха	3500 об/мин
Время заворачивания и затягивания гайки	3—5 с
Длина гайковерта (без ключа)	575 мм
Масса (без ключа)	15,7 кг

Пневматический гайковерт марки ИП-3106. Лучшим сегодня можно считать гайковерт ударно-импульсного действия марки ИП-3106, наиболее полно отвечающий условиям постановки высокопрочных болтов на монтаже конструкций (рис. 30).

Гайковерт ИП-3106 отличается большой надежностью в работе, развивает крутящий момент до 150 кгс·м, достаточный для заворачивания болтов М24 с осевым усилием 25 тс, и, что особенно важно, допускает настройку величины крутящих моментов в пределах от 80 до 150 кгс·м.

Гайковерт марки ИП-3106 прошел испытание на монтаже конструкций и зарекомендовал себя с самой лучшей стороны; он должен получить самое широкое применение, так как позволяет ставить высокопрочные болты без ручных ключей.

Пневматический реверсивный гайковерт ИП-3106 предназначен для заворачивания и отвертывания резьбовых соединений с диаметром резьбы до 45 мм.

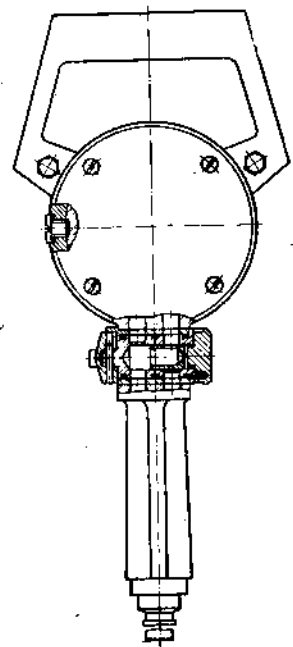
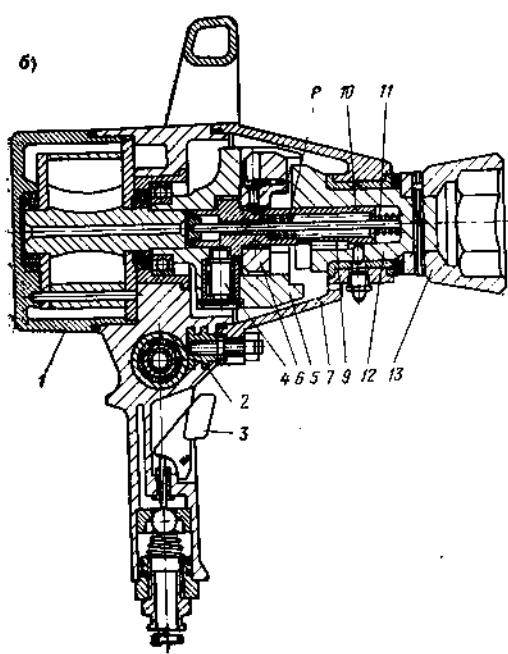
По технико-экономическим показателям гайковерт обладает существенными преимуществами. К ним относятся высокая производительность, небольшой вес, минимальный расход воздуха на единицу момента затяжки, незначительный уровень вибрации и шума.

Основными узлами гайковерта (рис. 30, б) являются двигатель ударный механизм, пусковое устройство и механизм реверса.

Двигатель шестилопаточный, ротационный смонтирован в корпусе 1. Ударный механизм состоит из маховика 5 с валиком,



Рис. 30. Гайковерт марки ИП-3106
 а — общий вид; б — конструкция гайковерта



кулачка 6 с толкателем 10, кулачковой муфты 12, ограничителя 11, пружины 8 и роликов 9 и смонтирован в корпусе 7.

Пусковое устройство смонтировано вместе с механизмом реверса в корпусе пусковой рукоятки 2.

Для удобства пользования гайковерт снабжен дополнительной рукояткой.

Сжатый воздух через пусковое устройство и механизм реверса поступает в двигатель. Вращение ротора двигателя передается маховику ударного механизма 5, который при малом моменте завинчивания работает как простая муфта. При увеличении

сопротивления завинчиванию до величины, достаточной для преодоления усилия пружины 8, сменная головка 13, кулачковая муфта 12 и толкатель 10 останавливаются. Валик 4, продолжая вращаться вместе с маховиком 5, набегает на выступ беговой дорожки толкателя и перемещает толкатель 11 с кулачком 6, который входит в зацепление с кулачковой муфтой, наносит по ней удар, передаваемый сменной головкой на гайку. После прохождения валиком выступа беговой дорожки толкатель вместе с кулачком возвращается в исходное положение под действием пружины, и процесс повторяется. Пуск и остановка гайковерта производятся курком 3.

Для обеспечения высокой производительности и надежной работы гайковерта свердловский завод «Пневмостроймашина» им. Орджоникидзе, выпускающий гайковерт ИП-3106, рекомендует работать гайковертом при давлении воздуха в сети (на выходе) не менее 5 кгс/см^2 ; поступающий в гайковерт воздух должен быть очищен от пыли и влаги подключенными к воздушной магистрали влагоотделителем и фильтром. Шланг перед присоединением к гайковерту необходимо продуть.

Для работы должен применяться шланг диаметром в свету 18 мм, устраняя его перегибы, так как применение шланга меньшего диаметра или перегиба шланга существенно снижает мощность и производительность гайковерта.

При длительных перерывах в работе гайковерт следует отсоединять от шланга.

Настраивать гайковерт на требуемый момент затяжки необходимо поворотом дросселя до появления в прорези реверса цифры требуемого момента.

Особое внимание следует обратить на смазку механизма. Масло в маслокамеры заливают один раз в начале смены (30—50 г), предварительно вывернув пробки 16. Для смазки двигателя применяют масло индустриальное «20» по ГОСТ 1707—51 или масло веретенное «АУ» по ГОСТ 1642—50*. Подшипники, детали ударного механизма смазаны на заводе-изготовителе, и в процессе эксплуатации следует один раз в начале смены пополнить смазку через масленку 10 шприцеванием, применяя для этого смазку УС-2 по ГОСТ 1033—51*.

На длительное хранение гайковерт необходимо законсервировать.

Для безопасной работы гайковертом ИП-3106 необходимо присоединять шланг к гайковерту до подачи в него воздуха. Отсоединять гайковерт следует только после отсоединения шланга от магистрали. Натягивать или перекручивать шланг во время работы гайковертом нельзя.

Техническая характеристика гайковерта ИП-3106 следующая:

Диаметр завинчиваемой резьбы	30—40 мм
Крутящий момент затяжки	регулируемый от 80—150 кгс·м

Избыточное давление воздуха на входе в гайковерт	5 кгс/см ²
Расход воздуха	0,9 м ³ /мин
Длина	340 мм
Ширина	160 »
Высота	250 »
Масса гайковерта (без сменных головок)	10 кг

В США гайковёрты выпускают несколько фирм. Гайковёрты для затяжки болтов диаметром 32 мм имеют массу всего 8 кг. Это объясняется особой конструкцией лопастного двигателя и ударного механизма. Двигатель имеет всего одну лопасть, чем существенно снижается необходимое для работы давление воздуха. Скорость вращения двигателя и величина крутящего момента, развиваемого гайковёртом, регулируются.

Техническая характеристика гайковёртов шведской фирмы «Atlas Copco» приведена в табл. 15.

ТАБЛИЦА 15

Краткая техническая характеристика гайковёртов фирмы «Atlas Copco»

Марка	Наибольший крутящий момент, кгс·м	Частота вращения ротора, об/мин	Расход воздуха, м ³ /мин	Длина гайковёрта, мм	Масса, кг	Удельный показатель машины
LMs41V	80	2000	0,98	200	7,7	10,5
LMs64VP	160	750	0,98	250	9	17,8
LMs64G	202	—	0,98	—	9	22,4

Тарировка и настройка ключей и гайковёртов

Простейший способ тарировки ручных ключей первой группы состоит в том, что на вертикальной, неподвижно стоящей стойке укрепляют (приваривают) шестигранник, размер которого соответствует размеру гайки болта.

На шестигранник надевают головку ключа с таким расчетом, чтобы рукоятка его находилась в горизонтальном положении. Затем на свободный конец рукоятки навешивают пружы. Зная размер плеча от места приложения груза и массу груза, рассчитывают получаемый при этом крутящий момент и фиксируют показания на измерительном приборе ключа, соответствующие данному моменту. Так как ручными ключами обычно затягивают болты двое рабочих, взявшись одновременно обеими руками за конец рукоятки ключа, то с целью уменьшения возможной ошибки при тарировке грузы следует подвешивать не на самый конец рукоятки, а на расстоянии 250—300 мм от конца, т. е. примерно в месте приложения равнодействующей силы от четырех рук рабочих.

Тарировку следует начинать с наименьшего груза, например, с груза массой 20 кг и далее вести ее, постепенно увеличивая

массу груза на 10—15 кг. После навешивания очередного груза необходимо записать показание измерительного прибора — индикатора ключа типа КТР-3 или показание динамометра ключа. Каждое навешивание необходимо повторять не менее трех раз, после чего рассчитывают среднее показание прибора и по нему строят тарифовочный график, откладывая по вертикали величину момента, а по горизонтали — отвечающее ему показание прибора.

Для тарировки ключей можно воспользоваться стендом, разработанным НИИмостов (рис. 31). Он состоит из корпуса 1, шпинделя 2, рычага 3 и динамометра 4 марки ДС-02-6.

Корпус 1 стенда укреплен на плите, прибалчиваемой к верстаку или другому неподвижному и плотно установленному рабочему месту.

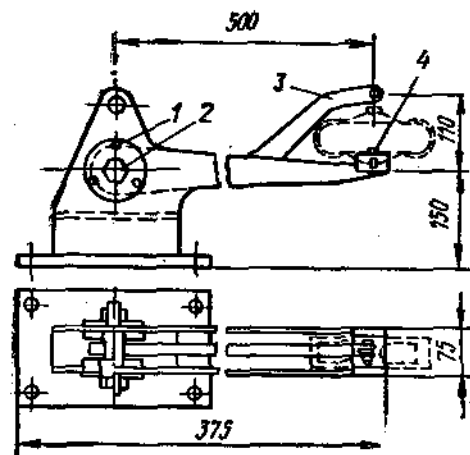


Рис. 31. Тарировочный стенд конструкции НИИмостов

стенда, в которой указывают показания мессуры динамометра при крутящих моментах до 50 до 100 кгс·м с интервалом через 10 кгс·м. При испытании и тарировке ключа на стенде ключ надевают на шестигранник шпинделя 2, после чего его плавно вращают, прикладывая к концу рукоятки усилие. Ключ вращают до тех пор, пока стрелка динамометра не дойдет до деления, соответствующего требуемому крутящему моменту.

Крутящий момент, развиваемый ключом, передается через вал шпинделя 2 на рычаг 3, который свободным концом давит серьгой на динамометр 4.

От величины приложенного ключом крутящего момента зависит давление рычага на динамометр, которое фиксируется показанием стрелки мессуры (или манометра), смонтированной в корпус динамометра.

Шестигранный шпиндель 2 передает крутящий момент от надетого на него тарированного ключа рычагу 3.

Чтобы уменьшить трение, шпиндель вращается в шарикоподшипниках. Рычаг 3 передает реакцию крутящего момента, приложенного к шпинделю 2, на динамометр 4. Произведение длины рычага 3, равного 50 см, на реакцию серьги, измеряемую показанием динамометра 4, равно величине крутящего момента, развиваемого тарированным ключом.

До начала тарировки ключа должна быть составлена тарировочная таблица

При тарировке ключей следует производить измерения крутящих моментов на стенде ступенями через 10 кгс·м, начиная от 50 кгс·м до наибольшего значения, развиваемого ключом. Каждая ступень (крутящий момент) измеряется не менее трех раз.

Настройка ключей второй группы может производиться на всех ранее описанных приборах и сводиться к многократным попыткам настроить сигнальную систему ключа на подачу сигнала, когда крутящий момент, развиваемый ключом, достигает требуемой величины.

По показаниям измерительных устройств ключа и тарировочного стенда строят тарировочный график в координатах — показания прибора ключа и величины развиваемого при этом крутящего момента.

4. ПОСТАНОВКА ВЫСОКОПРОЧНЫХ БОЛТОВ

Для надежной работы сдвигустойчивого соединения высокопрочные болты должны иметь предусмотренное проектом осевое натяжение.

Согласно СНиП II-V.3-72 высокопрочные болты ставятся с осевым натяжением P , определяемым по формуле (4). Так, болты М24 из стали марки 40Х, широко применяющиеся в стальных строительных конструкциях (в соответствии со СНиП II-V.3-72), должны иметь осевое натяжение, равное

$$P = 0,65 \sigma_b F_{нт} = 0,65 \cdot 110 \cdot 352 \approx 25\,200 \text{ кгс}, \quad (9)$$

где σ_b — временное сопротивление металла термообработанного болта, равное согласно ТУ 14-4-87-72 $\sigma_b = 110 \text{ кгс/мм}^2$; $F_{нт}$ — расчетная площадь сечения болта М24, равная согласно ГОСТ 1759—70* 352 мм^2 .

Осевое натяжение P в высокопрочных болтах создается затягиванием гайки, которая своим торцом скользит по подложенной под нее термически обработанной шайбе.

Так как замерить действительную величину осевого натяжения в болте во время его постановки чрезвычайно трудно, пользуются косвенными приемами, позволяющими судить как во время затяжки болта, так и после его постановки, с каким натяжением поставлен болт.

Известны три способа такого косвенного определения осевого натяжения болтов.

Первый способ основан на фиксации величины крутящего момента, который прикладывается к гайке и определяется либо по показателям измерительного прибора ключа, либо настройкой ключа и гайковерта на определенную величину крутящего момента.

Второй способ основан на фиксации угла поворота гайки. Третий — на деформации конструктивных деталей болтов, гаек

и шайб, позволяющих судить о величине осевого натяжения в болте.

Натяжение болтов по величине крутящего момента

Из прикладной механики известно, что внешний крутящий момент $M_{кр}$ для натяжения болта, приложенный к гайке, должен преодолеть:

момент сил трения в резьбе гайки и болта

$$M_p = P f_1 r; \quad (10)$$

момент, создающий натяжение болта

$$M_n = P r \operatorname{tg} \alpha; \quad (11)$$

момент сил трения по опорной торцевой поверхности гайки

$$M_t = P f_2 r_0. \quad (12)$$

Таким образом:

$$M_{кр} = M_p + M_n + M_t = P [r (f_1 + \operatorname{tg} \alpha) + f_2 r_0], \quad (13)$$

где f_1, f_2 — коэффициенты трения соответственно по поверхности резьбы болта и гайки и по опорной поверхности гайки; r — средний радиус резьбы болта; α — угол наклона резьбы; r_0 — средний радиус опорной поверхности гайки.

Определить крутящий момент $M_{кр}$ вычислением его составляющих M_p, M_n и M_t весьма сложно из-за неопределенности входящих величин, поэтому необходимую величину крутящего момента определяют по эмпирической формуле

$$M_{кр} = d k P, \quad (14)$$

где d — диаметр (номинальный) болта, см; P — величина осевого усилия натяжения болта, кгс; k — коэффициент закручивания, устанавливаемый экспериментально и зависящий от марки стали болта и гайки, качества выполнения резьбы, состояния торца гайки, от наличия смазки и других факторов.

Опыт применения высокопрочных болтов на монтаже металлических конструкций показал, что изготавливаемые метизными заводами высокопрочные болты и гайки по качеству изготовления крайне неоднородны, в силу чего коэффициент закручивания k меняется в широких пределах. В частности, большое влияние на величину коэффициента закручивания оказывает неперпендикулярность торцевой поверхности гайки к оси болта. В этом случае гайка заедает, сильно трет о шайбу и увеличивает значение коэффициента закручивания (табл. 16).

Незначительная легкая смазка резьбы гайки (резьба болта не смазывалась), как это следует из табл. 17, снижает коэффициент закручивания в среднем на 4—5%.

Повторное использование болтов и гаек (см. табл. 17) не сказывается на уменьшении коэффициента трения, хотя казалось бы

при этом резьба гаек и болтов прирабатываются друг к другу. Ржавая резьба на 20—25% увеличивает коэффициент закручивания. Хотя смазка торцевой поверхности гайки снижает на 10—

ТАБЛИЦА 16

Значение коэффициента закручивания k в зависимости от состояния торцевой поверхности гайки

Состояние торцевой поверхности гайки	Коэффициент закручивания k
Плохое (неровности, заусенцы и перекосяк к оси болта)	$0,16—0,22$ $0,183$
Удовлетворительное (без всякой дополнительной обработки)	$0,145—0,17$ $0,155$
Хорошее (специально отторцована)	$0,125—0,145$ $0,139$

Примечание. В числителе приведены крайние, а в знаменателе — средние значения коэффициента для 25 исследованных гаек.

15% коэффициент закручивания (см. табл. 17), рекомендовать этот способ не следует, так как смазка может попасть на поверхность трения соединяемых деталей и снизить общую прочность соединения.

ТАБЛИЦА 17

Влияние смазки резьбы на величину коэффициента закручивания k

Состояние резьбы гайки	Число испытаний	Значение коэффициента k		
		мин.	макс.	среднее
Не смазана	249	0,12	0,197	0,165
Смазана	30	0,135	0,19	0,158
Болты были в употреблении и заржавели, резьба гайки не смазана	20	0,159	0,264	0,206

В ЦНИИПСК было обследовано большое количество высокопрочных болтов для установления среднего значения коэффициента закручивания, а также изучен характер его изменения. Анализ данных показал, что качество изготовления болтов крайне неоднородно, поэтому трудно задать какое-либо одно нормативное значение коэффициента закручивания, пользуясь которым можно было бы натягивать болты безотносительно к тому, как они изготовлены. Поэтому «Руководство по выполнению сдвигоустойчивых соединений на высокопрочных болтах в строительных стальных конструкциях» для каждой партии болтов и гаек в

отдельности предусматривает обязательное определение крутящего момента на специальном динамометрическом приборе, конструкция которого будет описана ниже.

Такое же положение и во многих зарубежных странах.

В США технические условия на применение болтов ASTM A325 и A490 предусматривают определение величины крутящего момента, с которым должны быть поставлены болты, затягиванием в специальном приборе, показывающем действительное натяжение болта (испытывают не менее трех болтов от каждой партии).

На рис. 32 показан разработанный в ЦНИИ проект стальной конструкция динамометрический контрольный прибор ДКП, с помощью которого можно быстро и просто определять значение коэффициента закручивания k и, минуя эту промежуточную величину, сразу определять величину крутящего момента $M_{кр}$, с которым должны быть затянуты болты для получения в них требуемого осевого усилия.

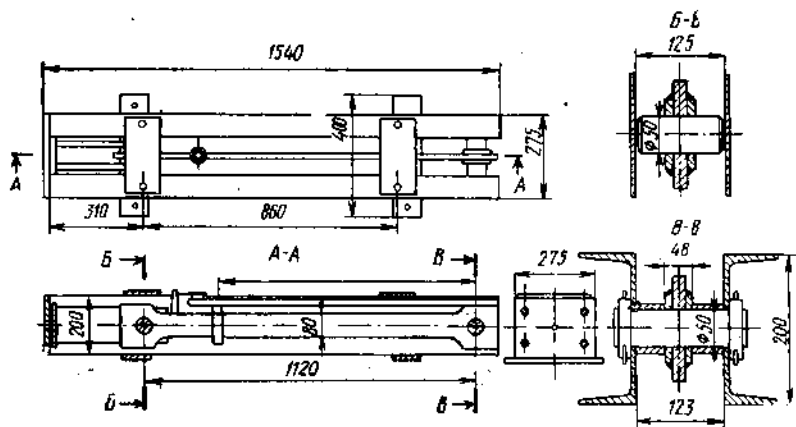


Рис. 32. Динамометрический контрольный прибор ДКП

ДКП представляет собой раму из двух параллельно стоящих швеллеров, соединенных стяжными планками. С одного торца к швеллерам приболчена торцевая планка с отверстием, в которое вставляют испытываемые болты.

Между швеллерами помещен стальной динамометр длиной около 1 м. Одним концом динамометр надет на штырь, а другим — шарнирно соединен с головкой, состоящей из двух шек и торцевой опорной планки с отверстием посередине диаметром 26 мм. Длина головки принята из условия возможности испытания болтов длиной до 120 мм.

Контролируемый болт закладывают в головку прибора, продевают в отверстия опорной планки и торцевой планки. Под

гайку болта обязательно подкладывают высокопрочную шайбу, применяемую на монтаже конструкций.

На динамометре укреплен мессура. Растягивающее болт усилие устанавливают по показаниям мессуры динамометра, а значение крутящего момента — по показаниям измерительного устройства тарированного ключа.

Чтобы по показаниям мессуры можно было установить величину силы, растягивающей динамометр, а следовательно и контролируемый болт, динамометр вместе с мессурой тарируется на прессе. После тарировки составляют график, связывающий показания мессуры с прикладываемой растягивающей силой.

В процессе эксплуатации динамометрический прибор ДКП должен периодически, через 3—4 мес. работы, проходить контрольную тарировку в лаборатории.

Прибором ДКП можно пользоваться для определения величины момента $M_{кр}$, с которым должны быть затянуты болты. Для этой цели от партии берут 5% комплектов болтов и гаек, но не менее 20 шт. После установки в прибор на выступающую часть стержня болта надевают шайбу и наворачивают гайку сначала от руки, ключом с рукояткой 500—600 мм, а затем дотягивают тарированным ключом до требуемого осевого натяжения, фиксируя при этом показания мессуры.

Установив таким способом величину $M_{кр}$ для каждого болта из числа отобранных находят среднее значение $M_{кр}$ для всей партии.

Согласно «Руководству по выполнению сдвигоустойчивых соединений на высокопрочных болтах в строительных стальных конструкциях» при расчете среднего значения $M_{кр}$ для данной партии болтов исключаются значения, выпавшие из-за срыва или задира резьбы болта или гайки, задира торца гайки и других дефектов, обнаруженных внешним осмотром испытанных метизов.

При определении среднего значения $M_{кр}$ не принимаются в расчет 20% верхних (больших) значений $M_{кр}$. Для остальных 80% значений находят среднее арифметическое, которое и распространяют на всю партию болтов и гаек. При этом крайние максимальные и минимальные значения $M_{кр}$ не должны отличаться от среднего значения более чем на 15%. Если эта разница превзойдет 15%, берут двойное количество болтов и гаек и определяют для них среднее значение $M_{кр}$. Если и в этом случае разница между крайним и средним значениями превзойдет 15%, то болты и гайки этих партий могут быть пущены в производство только после соответствующего решения организации, разработавшей проект данного сооружения.

Результаты определения значений $M_{кр}$ должны заноситься в специальный журнал.

Если нужно знать величину коэффициента закручивания для данной партии болтов, то его находят расчетным путем, подстав-

для найденное среднее значение $M_{кр}$ в формулу (14):

$$k = \frac{M_{кр}}{dP},$$

На рис. 33 приведен разрез компактного динамометрического прибора ДКП-М для определения величины крутящего момента, возникающего в болтах осевого усилия. Прибор разработан в ЦНИИпроектстальконструкция; это — усовершенствованный ранее описанный прибор ДКП.

ДКП-М представляет собой раму с помещенным внутри металлическим динамометром. Рама состоит из двух швеллеров, приваренных к плите. Сверху к швеллерам приварена опорная плита толщиной 20 мм, имеющая посередине отверстие, диаметр которого на 3—4 мм больше диаметра испытываемого болта.

Между швеллерами находится металлический динамометр, состоящий из двух швеллеров небольшого номера (в нашем случае динамометр сделан из двух швеллеров № 5). Одним концом эти швеллеры приварены к плите, а к другому их концу приварена планка толщиной 20 мм с отверстием посередине. Диаметр отверстия равен диаметру отверстия в верхней опорной

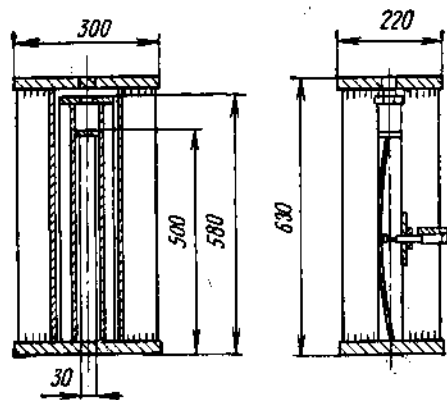


Рис. 33. Динамометрический контрольный прибор ДКП-М

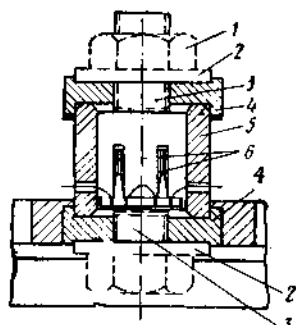


Рис. 34. Мессдоза для определения $M_{кр}$ и коэффициента k

плите. При изготовлении прибора ДКП-М необходимо следить за тем, чтобы центры обоих отверстий находились на одной оси.

Между швеллерами динамометра помещается дугообразно изогнутая полоса, в которую упирается подвижной рычаг индикатора, укрепленного на полках швеллеров.

Чтобы определить величину крутящего момента, необходимо для постановки высокопрочных болтов данной партии, на болт надевают шайбу и заводят его в отверстие. Затем на выступающую часть болта надевают вторую шайбу и от руки навинчивают

гайку, после чего с помощью ручного динамометрического ключа, например КТР-3, натягивают болт до требуемого усилия, которое устанавливается по показаниям индикатора.

При появлении в болте заданного осевого усилия фиксируют показания измерительного прибора на ключе и по тарифовочной таблице или тарифовочному графику для ключа находят величину развиваемого ключом крутящего момента.

На рис. 34 показана специальная мессдоза, разработанная Днепропетровским филиалом ЦНИИПСК, пользуясь которой можно, так же как и на динамометрическом приборе ДКП, устанавливать зависимость между величиной осевого усилия в болте и развиваемым ключом крутящим моментом.

Мессдоза состоит из стакана 5 с двумя опорными крышками 4. На наружной и внутренней поверхностях стакана наклеено восемь тензодатчиков сопротивления 6. Размеры стакана выбирают такими, чтобы он не подвергался пластическим деформациям при перепрузках. В крышках 4 есть отверстия, через которые пропускается испытуемый болт 3. На наружной стороне крышки 4 проточено гнездо для шайбы 2. Это гнездо обеспечивает постоянство положения всех частей мессдозы при затягивании гайки 1.

Внизу у опорной поверхности стакана есть четыре отверстия диаметром 4 мм для вывода проводов от тензодатчиков.

Испытуемый болт 3 вставляют в мессдозу. Под головку и гайку болта подкладывают шайбы. На выступающий конец болта наворачивают сначала от руки, а потом затягивают тарированным ключом гайку, по показаниям прибора тарированного ключа (например, КТР-3) судят о величине приложенного во время затягивания крутящего момента. Величину растягивающего болт усилия находят по тарифовочной диаграмме мессдозы и показаниям прибора.

Для построения тарифовочной диаграммы мессдоза проходит специальную тарировку на прессе. Давление от пресса прикладывается втроекратно, ступенями (через 5 тс) до 30 тс включительно. Во время тарировки мессдозы давление от пресса должно передаваться через специальные вкладыши, имеющие форму опорной поверхности болта и гайки.

Ручные тарированные ключи типа КТР-3 Запорожского завода и им подобные, в которых величина крутящего момента определяется по показанию измерительного прибора, установленного на ключе, а также ручные ключи и пневматические гайковерты с заданным моментом перед началом работы должны быть протарированы или настроены. Во время работы нужно внимательно следить за работой инструмента и в случае малейших неполадок ключи и гайковерты должны пройти контрольную тарировку и настройку.

При натяжении высокопрочных болтов ручными тарированными ключами затягивать болты надо в два приема: сначала за-

вернуть гайки до отказа гайковертом, создающим натяжение болтов на 20—30% ниже расчетного, после чего дотягивать болты до проектного усилия тарированным (с точностью до 1 кгс·м) ключом.

Во время натяжения высокопрочных болтов ручными тарированными ключами рабочие, накинув головку ключа на гайку и взявшись за конец рукоятки, должны плавно, без рывков поворачивать ключ, пока показание измерительного прибора или сигнал не укажет, что развиваемый ключом момент достиг требуемой величины. Отсчет по измерительному прибору (по индикатору) в ключах типа КТР-3 и по манометру в ключах типа ключа Запорожского завода производится во время движения ключа, а не его остановки. Рабочие должны браться за ключ в указанном на рукоятки месте. Это требование очень важно для ключей, принцип работы которых основан на изгибе рукоятки, в противном случае изменится плечо приложения усилия, а следовательно, изменится и характер деформации рукоятки ключа, что может привести к ошибкам в показаниях измерительного прибора.

Предпочтение следует отдавать сигнальным ключам, позволяющим повысить производительность труда. Объясняется это тем, что физическое напряжение рабочих в этом случае меньше, им не приходится соразмерять свое усилие с показателями прибора, что вызывает быструю утомляемость и, кроме того, сдерживает темп работы.

На монтаже конструкций конверторного цеха Криворожского завода двое рабочих, пользуясь ручным сигнальным ключом (института Гипрорудмаш), затягивали в смену 300—350 болтов вместо 250—300 болтов, затягиваемых при работе ключом КТР-3. Ключи института Гипрорудмаш очень надежны в работе и могут быть рекомендованы для широкого применения.

Ручные тарированные ключи КТР-3 и им подобные, позволяющие замерить величину крутящего момента, развиваемого ключом, могут применяться и для контроля величины крутящего момента, с которым болты были поставлены. Ключи института Гипрорудмаш для этой цели непригодны.

При работе ручными тарированными ключами величина крутящего момента контролируется достаточно точно и просто; в пневматических гайковертах нет приборов, регистрирующих величину развиваемого ими момента. Существует несколько способов контроля величины крутящего момента при работе пневматическими гайковертами: 1) по времени работы гайковерта, затрачиваемого на заворачивание гайки; 2) по ощущению рабочего, производящего затяжку болтов; 3) с помощью специальных фрикционных и других приспособлений, укрепляемых между головкой гайковерта и гайкой болта или встраиваемых в корпус гайковерта; 4) с помощью торсионов.

Контроль величины крутящего момента по времени, затрачиваемому на заворачивание гайки, состоит в том, что с помощью

динамометрического прибора не менее чем на 5—10 болтах, взятых из одной партии, определяют время импульсно-ударной работы гайковерта, за которое болт получает необходимое натяжение.

В качестве динамометрического прибора рекомендуется пользоваться прибором с мессдозой. Прибором ДКП и ему подобными, работа которых основана на показаниях достаточно длинного упругого динамометра, пользоваться не следует, так как показание его в этом случае может дать ошибку.

При постановке болтов по времени работы гайковерта сначала собирают узел на пробках и сборочных болтах, причем в качестве сборочных болтов целесообразно ставить сразу высокопрочные. Все сборочные болты должны быть туго затянуты обычными сборочными ключами с длиной рукоятки около 500 мм или гайковертом, причем в последнем случае затяжку заканчивают сразу же, как только гайковерт, переключившись на ударно-импульсивную работу, нанесет по гайке два-три удара. После того как все сборочные болты, включая и те, которыми заменили пробки, будут туго поставлены, приступают к затяжке болтов до проектного натяжения, затрачивая на каждый болт столько времени, сколько было установлено на динамометрическом приборе; время это берется как среднее арифметическое из суммы полученных показаний.

В лаборатории днепропетровского филиала ЦНИИПСК были проведены стендовые испытания нескольких марок гайковертов, в том числе и гайковерта марки МЗ137, развивающего крутящий момент до 150 кгс·м. Испытания проводились с помощью гидравлической специально изготовленной мессдозы (рис. 35). Болт 5, вращаясь в гайке 4, закрепленной в жесткой неподвижной крыше 3, своим торцом давит на поршень 2. Под давлением болта поршень, перемещаясь по цилиндру 1 вниз, создает в цилиндре давление, величина которого фиксируется манометром 6. Мессдоза перед работой тарируется с помощью ручного тарированного ключа. По показаниям величины крутящего момента, развиваемого ключом, и соответствующих показаний манометра строится тарировочный график. Во время испытаний болты заворачивали гайковертом ПЗ137; сжатый воздух гайковерт получал от заводской сети. Между воздухопроводом и шлангами гайковерта были поставлены влагоотделитель типа В41-16, регулятор давления типа В57-16 и маслораспылитель типа В44-26.

Во время испытаний определяли зависимость величины крутящего момента от давления сжатого воздуха на гайковерт и время ударно-импульсной работы гайковерта до получения требуемого натяжения болта.

В процессе эксперимента давление воздуха меняли регулятором через каждые 0,5 кгс/см², начиная с 3,5 кгс/см².

График (рис. 36), построенный по средним данным стендовых испытаний, иллюстрирует зависимость крутящего момента от

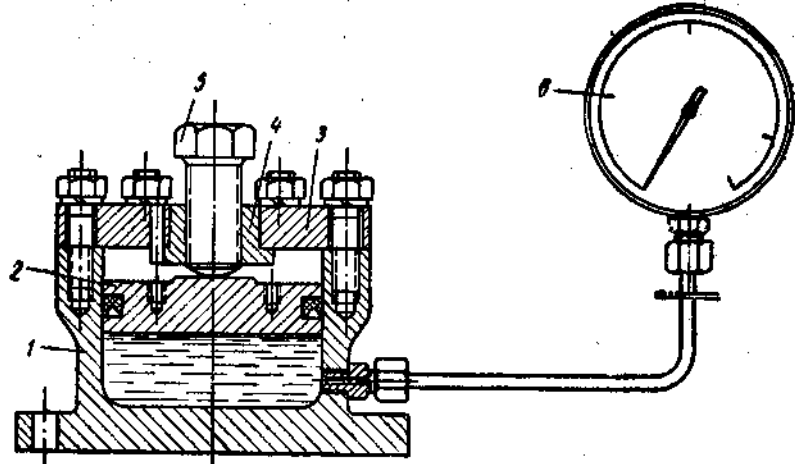


Рис. 35. Гидравлическая мессдоза

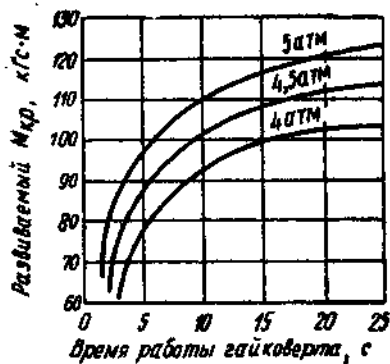


Рис. 36. Зависимость величины крутящего момента от давления воздуха в сети и времени работы гайковерта

давления воздуха и времени работы гайковерта. Из графика видно, что при одном и том же времени работы гайковерта величина крутящего момента, развиваемого гайковертом, существенно зависит от давления воздуха; можно считать, что увеличение крутящего момента находится в прямой зависимости от давления воздуха, чего нельзя сказать о времени работы гайковерта. В первые 5 с работы гайковерта величина крутящего момента достигает примерно 80% наибольшего значения. Затем прирост величины крутящего момента резко снижается. Так, через 10 с с начала работы гайковерта крутящий момент достигает примерно 90% наибольшего значения, а через 15 с — 95%.

Таким образом, через 15 с ударно-импульсной работы гайковерта при давлении воздуха 5 кгс/см² гайковерт разовьет крутящий момент, величина которого будет достаточна для постанов-

ки высокопрочных болтов М24 из стали 40Х с осевым усилием 25 тс при коэффициенте закручивания 0,17—0,19.

Эти испытания показали, что можно ставить болты по времени работы гайковерта, однако точность этого способа невелика, ибо величина крутящего момента, развиваемая ключом, зависит от давления воздуха в сети, поэтому необходимо достаточно часто, непосредственно на рабочем месте, производить контрольную проверку времени постановки болтов, как это рекомендует делать американская фирма «Бетлхем Стил Компани» при обязательном сохранении рабочей длины шланга. Соблюдать требование необходимо, так как изменение диаметра или длины шланга влияет на изменение давления воздуха в двигателе гайковерта. Контрольная проверка времени на рабочем месте должна производиться на болтах, диаметр и длина которых соответствуют тем, которые используются в конструкциях.

По мнению фирмы «Бетлхем Стил Компани», рабочий в итоге длительной работы приобретает опыт и улавливает по ощущению работы гайковерта момент окончательного затягивания гайки. Такой способ затяжки болтов близок к способу постановки по времени работы гайковерта и дополняет его, однако он не может быть рекомендован к применению из-за того, что базируется на субъективных ощущениях рабочего.

За рубежом созданы пневматические гайковерты, работающие при любом давлении воздуха и автоматически выключающиеся после достижения заданного крутящего момента. Для этого гайковерты снабжают либо специальными муфтами сцепления, регулируемые на заданный крутящий момент, либо другими устройствами. Муфты устанавливаются между гайковертом и гайкой болта. Это дополнительное устройство увеличивает массу гайковерта и длину его, вызывает излишний расход воздуха, а также затрудняет применение гайковертов в стесненных местах. За рубежом разработана конструкция гайковерта с встроенным контролирующим устройством, отключающим подачу воздуха при достижении крутящего момента требуемой величины. Настраивают такие гайковерты с помощью тарированных гидравлических приборов, дающих показания возникающего в болте осевого усилия.

Применение автоматически отключающихся пневматических гайковертов существенно упрощает постановку болтов и повышает ее качество, но не разрешает проблемы постановки болтов в узлах, где применяются болты разных длин и диаметров.

Способ контроля за величиной крутящего момента, развиваемого гайковертом во время постановки болтов с помощью торсионов — цилиндрических штырей, ограничивающих величину крутящего момента, передаваемого гайке болта (рис. 37), проверен у нас в лабораторных условиях и на монтаже.

Величина крутящего момента, передаваемая торсионом, зависит от его сопротивления на кручение. Так, по данным днепро-

петровского филиала ЦНИИПСК, при диаметре рабочей (средней) части торсиона 20 мм гасится до 30% крутящего момента, а при диаметре торсиона 32 мм передается почти весь крутящий момент, развиваемый гайковертом.

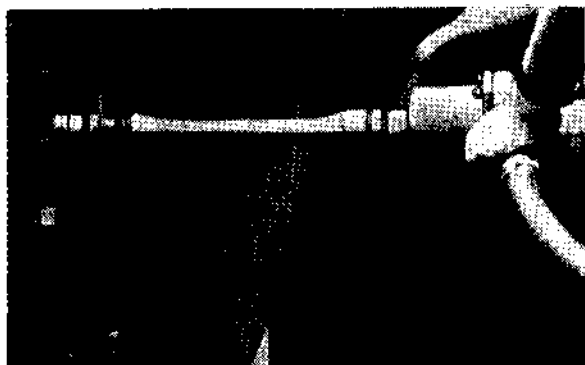


Рис. 37. Торсион для ограничения величины крутящего момента

Испытания на монтаже по ограничению крутящего момента с помощью торсионов при затяжке 180 болтов показали, что точность этого способа невысока и находится в среднем в пределах $\pm 15\%$. Учитывая, что изготовление торсионов достаточно сложно и что они не гарантируют требуемую точность затяжки, применять их не следует.

Натяжение высокопрочных болтов по углу поворота гайки

Способ постановки болтов по углу поворота гайки не зависит ни от сил трения торцевой поверхности гайки о шайбу, ни от индивидуальных особенностей изготовления самого резьбового соединения.

Сущность этого способа состоит в том, что, стягивая болтом предварительно плотно сжатый пакет, гайка, перемещаясь по резьбе болта, растягивает его, в результате чего в стержне болта появляется осевое усилие, пропорциональное углу, на который была повернута гайка.

Представим себе, что в сплошной стальной детали толщиной l есть отверстие, в которое вставлен высокопрочный болт диаметром d_6 .

Если бы стальная деталь была абсолютно несжимаема, то при повороте гайки, а следовательно при ее перемещении по оси болта на величину Δl , можно считать (с некоторым допущением), что стержень болта растянулся бы на ту же величину и в нем возникло бы усилие

$$P = \frac{\Delta l E F_6}{l} \text{ кгс}, \quad (15)$$

где F_6 — площадь сечения болта, см; l — толщина стальной детали, см; E — модуль упругости стали болта, кгс/см².

При шаге резьбы болта, равном s см за каждый оборот гайки, гайка переместится по оси стержня болта на s см.

Если надо переместить гайку по оси болта на величину Δl см, то для этого гайка должна быть повернута от исходного положения на угол γ_1 . За исходное положение принимается плотное прилегание гайки к детали, когда в стержне болта есть незначительное начальное осевое усилие (примерно 2—2,5 тс).

Так как Δl см пропорционально углу поворота гайки, то будет справедливо равенство

$$\frac{\Delta l}{\gamma_1} = \frac{s}{360},$$

откуда

$$\Delta l = \gamma_1 \frac{s}{360}. \quad (16)$$

Подставляя значение Δl из уравнения (15) в уравнение (16), имеем

$$P = \gamma_1 \frac{s}{360} \cdot \frac{E F_6}{l};$$
$$\gamma_1 = \frac{360}{s} \cdot \frac{P l}{E F_6}. \quad (17)$$

Если бы стягиваемый пакет состоял из одного куска несжимаемого материала, то необходимый угол поворота гайки для получения в болте требуемого усилия P мог бы быть определен по уравнению (17). Однако воспользоваться этим уравнением для расчета величины угла поворота гайки нельзя, так как большая доля перемещения гайки по стержню болта затрачивается на сжатие металла деталей и уплотнение зазоров между ними, на обмятие нарезки болта и гайки, а также на смятие неровностей опорных поверхностей гайки и головки болта.

Упорное удлинение болта может начаться только после того, как детали пакета будут плотно прижаты друг к другу и смятие между деталями пакета и обмятие нарезки болта и гайки прекратится.

Если обозначить упругое удлинение болта через λ_1 , упругое сжатие металла деталей пакета через λ_2 , уплотнение зазоров между шайбами и деталями пакета через λ_3 и уплотнение зазоров между деталями пакета через λ_4 , то

$$\lambda = \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4. \quad (18)$$

Величины λ_1 и λ_2 с некоторым приближением поддаются расчету, что же касается определения величин λ_3 и λ_4 , то эта задача достаточно трудна и неопределенна, так как размер зазоров между деталями зависит от чрезвычайно многих факторов, учесть которые очень трудно.

В табл. 18 для примера приведены рассчитанные по уравнению (17) углы поворота гайки болтов М24, обеспечивающие при несжимаемом пакете возникновение в стержне болта осевого усилия, равного $P=25$ тс при различных толщинах стягиваемой несжимаемой детали из сплошного куска стали.

ТАБЛИЦА 18

Величины углов поворота гайки болта М24 для получения в стержне болта осевого усилия $P=25$ тс
(несжимаемая деталь)

Толщина пакета, мм	Угол поворота, γ_1	Толщина пакета, мм	Угол поворота, γ_1
25	8,2	100	33
50	16,5	125	41,2
75	25	150	49,5

Так как практически нет несжимаемых деталей, то под влиянием силы P деталь сжимается на величину Δl_d , равную пути, проходимому при этом гайкой и определяемому уравнением

$$\Delta l_d = \frac{P l}{E F_d}, \quad (19)$$

где F_d — площадь сжимаемой части детали, которая с некоторым упрощением может быть принята равной площади цилиндра, внешний диаметр которого d_d равен размеру болта под ключ, за вычетом площади отверстия d_o . Согласно ГОСТ 7798—70* размер под ключ головки болта приблизительно равен $1,5 d_b$, а диаметр болтового отверстия $d_o = 1,1 d_b$, где d_b — номинальный диаметр болта.

Таким образом, площадь детали, выраженная через d_b ,

$$F_d = \frac{\pi}{4} (1,5^2 d_b^2 - 1,1^2 d_b^2) = 0,816 d_b^2. \quad (20)$$

Величина перемещения гайки вдоль оси болта Δl_d при сжатии пакета под влиянием силы P , выраженная через угол поворота гайки γ_2 , определяется по уравнениям:

$$\Delta l_d = \gamma_2 \frac{s}{360} \quad (21)$$

$$\gamma_2 = \frac{360}{s} \Delta l_d. \quad (22)$$

Подставляя в уравнение (22) значение Δl_d из уравнения (19), получим

$$\gamma_2 = \frac{360}{s} \cdot \frac{P l}{E F_d}. \quad (23)$$

Каждый высокопрочный болт снабжается двумя термообработанными шайбами, одна шайба ставится под головку болта, а другая — под гайку.

Исследованиями установлено, что зазоры между шайбами и деталями, а также смятие неровностей на торцах головки болта и гайки уплотняются пропорционально величине прикладываемого сжимающего усилия и пропорционально углу поворота гайки.

При осевом усилии в болте, равном 30τ , суммарная величина уплотнения одного зазора на основании замеров может быть принята равной $\tau \approx 0,006$ см. Так как уплотнение зазора зависит от величины развиваемого болтом сжимающего усилия, то перемещение гайки по оси болта для уничтожения зазора под одной шайбой

$$\tau = \frac{0,006}{30\,000} P = 0,0000002 P, \quad (24)$$

где P — осевое усилие в болте принимается в кгс.

Так как на один болт ставят две шайбы, то величина двух зазоров

$$\tau_2 = 2 \cdot 0,0000002 P = 0,0000004 P. \quad (25)$$

Вследствие того что перемещение гайки по оси болта пропорционально углу поворота гайки, для перемещения гайки по оси болта при уплотнении двух зазоров под шайбами

$$\frac{s}{360} = \frac{\tau_2}{\gamma_3}, \quad \text{откуда } \tau_2 = \frac{s}{360} \gamma_3. \quad (26)$$

Подставляя значение τ_2 из уравнения (25) в уравнение (26), имеем

$$\frac{s}{360} \gamma_3 = 0,0000004 P$$

$$\gamma_3 = \frac{360}{s} 0,0000004 P. \quad (27)$$

Собранный пакет конструкций всегда состоит из нескольких деталей (рис. 38), между которыми неизбежны зазоры, а величина их зависит от качества сборки, качества правки деталей и ряда других причин.

Естественно, для того чтобы собранное соединение работало как монолитное — сдвигоустойчивое, зазоров между деталями в районе сжимающего действия болтов, т. е. в пределах контактных участков под шайбами, не должно быть, в результате большее количество шероховатостей на поверхностях сопрягаемых деталей войдет в зацепление и упрочнит соединения.

Следовательно, плотной стяжкой пакета необходимо ликвидировать зазоры между деталями и произвести взаимное внедрение и зацепление неровностей соединяемых деталей.

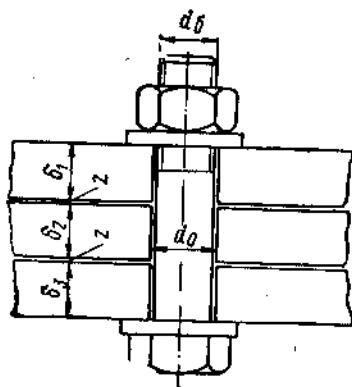


Рис. 38. Пакет, состоящий из трех деталей

Если обозначить через m число зазоров между деталями пакета, а через z среднюю величину зазора, то перемещение гайки по оси болта для ликвидации зазоров выражается уравнением

$$\Delta l_3 = m z \text{ см.} \quad (28)$$

Так как между углом поворота гайки и перемещением ее по оси болта существует простая зависимость, то

$$\Delta l_3 = \frac{s}{360} \gamma_4 \text{ см.} \quad (29)$$

Подставляя в уравнение (28) значение Δl_3 из уравнения (29), получим

$$\gamma_4 = \frac{360}{s} m z. \quad (30)$$

Величина осевого усилия, стягивающего пакет, является основным и решающим фактором, производящим уплотнение зазоров и взаимное внедрение микронеровностей деталей.

На основании достаточно большого количества замеров средний размер зазора, ликвидируемый при осевом усилии в болте, равном $30 \tau c$, может быть принят равным $z = 0,06 \text{ см.}$

Естественно, что при возникновении в болтах сжимающих пакет усилий, меньших, чем $30 \tau c$, зазор будет уплотнен не полностью. Величина, на которую уплотняется зазор в зависимости от величины осевого усилия P , может быть выражена уравнением

$$z = P \frac{0,06}{30\,000} = 0,000002 P, \quad (31)$$

где P — осевое усилие в болтах, кгс.

Подставляя в уравнение (30) значение z из уравнения (31), находим, что

$$\gamma_4 = \frac{360}{s} 0,000002 P m. \quad (32)$$

Таким образом, суммарный угол поворота гайки γ , необходимый для растяжения болта с осевым усилием P в зависимости от толщины собранного пакета и количества деталей, может быть найден, если в уравнение (18) подставить значения $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3, \gamma_4$ из уравнений (17), (23), (27) и (32):

$$\begin{aligned} \gamma = \gamma_1 + \gamma_2 + \gamma_3 + \gamma_4 = & \frac{360}{s} \cdot \frac{P l}{E F_6} + \frac{360}{s} \cdot \frac{P l}{E F_d} + \frac{360}{s} 0,0000004 P + \\ & + \frac{360}{s} 0,000002 P m. \end{aligned} \quad (33)$$

Преобразовывая, имеем

$$\gamma = \frac{360}{s} P \left[\frac{l}{E} \left(\frac{1}{F_6} + \frac{1}{F_d} \right) + 0,0000004 + 0,000002 m \right], \quad (34)$$

применительно к болтам М24

$$\gamma = 0,0012 P (0,216 l + 2 m + 0,4). \quad (35)$$

Выражая осевое усилие болта не в кгс, а в тс, уравнение (35) упрощается и примет вид

$$\gamma = 1,2 P (0,216 l + 2 m + 0,4). \quad (36)$$

В табл. 19 приведены значения углов поворота гайки, рассчитанные по уравнению (36), применительно к болтам М24, натягиваемым с осевым усилием $P=25$ тс при различных толщинах пакета, состоящего из двух, трех, четырех деталей, т. е. когда $m=1$, $m=2$ и $m=3$.

ТРЕБУЕМЫЙ УГОЛ ПОВОРОТА ГАЙКИ γ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ В БОЛТЕ М24 ОСЕВОГО УСИЛИЯ 25 тс ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ТОЛЩИНАХ ПАКЕТА И КОЛИЧЕСТВЕ ЗАЗОРОВ

Толщина пакета, мм	Угол поворота гайки γ		
	$m=1$	$m=2$	$m=3$
25	88	148	208
50	104	164	224
75	120	181	240
100	—	197	256
125	—	213	273
150	—	229	289

Сопоставляя данные табл. 18 и 19, нетрудно заметить, что угол γ_1 , входящий составной частью в полный угол поворота гайки и расходуемый только на натяжение высокопрочного болта, составляет незначительную часть полного угла γ . Удельные значения γ_1 в полном углу поворота гайки для болтов М24, натягиваемых с осевым усилием 25 тс при двух зазорах в пакете, колеблются от 5 до 20%, приобретая большее значение с увеличением толщины пакета (табл. 20).

СРАВНЕНИЕ ЗНАЧЕНИЙ γ_1 И γ ДЛЯ НАТЯЖЕНИЯ БОЛТА М24 С ОСЕВЫМ УСИЛИЕМ $P=25$ тс ПРИ ДВУХ ЗАЗОРАХ МЕЖДУ ДЕТАЛЯМИ ПАКЕТА

Толщина пакета, мм	Значение угла		Удельное (округленное) значение γ_1 , %
	γ_1	γ	
25	8,2	148	5,5
50	16,5	164	10
75	25	181	14
100	33	197	17
125	41,2	213	19
150	49,5	229	21

Пользуясь уравнениями (17), (23), (27) и (32), на рис. 39 показано изменение угла поворота гайки γ для болта М24, натягиваемого с осевым усилием 25 тс в зависимости от толщины стягиваемого пакета, состоящего из трех и двух деталей, т. е. имеющего два зазора ($m=2$) и один ($m=1$).

Пользуясь этим графиком, можно определить требуемый угол поворота гайки для получения в болте М24 осевого усилия $P=25$ тс.

Рис. 39 показывает, что главным составляющим полного угла поворота гайки является угол γ_4 , затрачиваемый на уплотнение

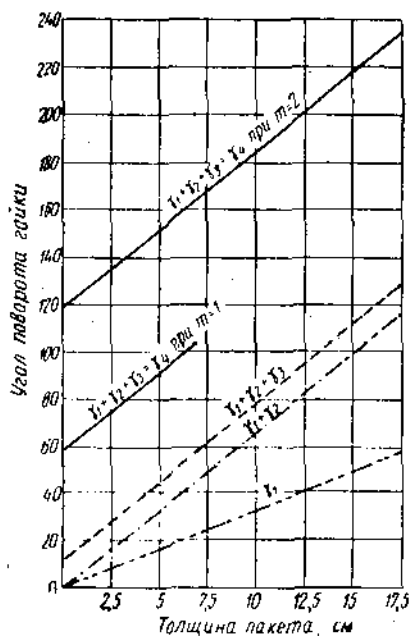


Рис. 39. Составляющие угла поворота гайки γ при осевом усилии $P=25$ тс в болте М24

пакета. Из четырех составляющих $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$ и γ_4 угол γ_4 наиболее трудно поддается учету вследствие того, что на величину γ_4 существенно влияет исходное состояние пакета, стягиваемого болтом. Нетрудно себе представить, что, задавшись одним углом поворота гайки γ для двух одинаковых по количеству деталей и толщине пакетов, но отличающихся только исходным состоянием их стяжки, т. е. характеризующихся только различными размерами зазоров между деталями, болты пакета, у которого зазоры между деталями меньше, чем у другого, будут натянуты с большим осевым усилием, чем у другого.

Чтобы высокопрочные болты в собранном пакете были натянуты с возможно меньшими колебаниями в величинах осевых усилий, основным и важнейшим требованием является назначение возможно

более правильного исходного положения, от которого начинается отсчет угла поворота гайки. Если исходное положение будет во всех соединениях одинаково, естественно, поворачивая гайку на всех высокопрочных болтах на один и тот же угол, можно быть уверенным, что все болты будут иметь близкое по величине натяжение. Если же исходное положение будет различным, то такой гарантии нет.

Впервые способ постановки высокопрочных болтов по углу поворота гайки был разработан и применен в США фирмой «Бетлхем Стил Компани». Ассоциация американских железных

дорог (ААЖД) занималась разработкой метода затяжки болтов без применения сложных механических инструментов и квалифицированного труда одновременно с фирмой. В 1954 г. научный сотрудник ААЖД К. С. Рабл проверял, является ли число оборотов гайки критерием натяжения болта. Отчет о его работе был опубликован в январе 1955 г. в бюллетене «Ассоциации» и в трудах «Американского общества гражданских инженеров».

Рабл экспериментировал на болтах диаметром от 15,9 до 28,6 мм. Он нашел, что минимальное, предусмотренное техническими условиями натяжение болта достигается в результате поворота гайки на $\frac{1}{2}$ оборота после того, как гайка предварительно накручена на болт вручную (пальцами). Два-три оборота гайки вызывают разрыв болта или повреждение резьбы. В итоге этих работ было рекомендовано ставить болты одним оборотом гайки с таким расчетом, чтобы натяжение их несколько превышало требуемую техническими условиями величину.

Во всех случаях отсчет числа оборотов гайки велся после того, как соединяемые детали предварительно стягивались сборочными болтами, а гайка была накручена на болт вручную до отказа.

Этот метод натяжения болтов был испытан фирмой «Бетлхем», но вскоре выяснилось, что исходное положение гайки после навинчивания ее вручную до отказа не может рассматриваться как начальное для отсчета оборотов гайки. Опыт показал, что вследствие порчи и засорения нарезки это положение гайки не поддается точному учету и определению. Кроме того, монтажники отказывались затягивать болты вручную, имея пневматические гайковерты.

После многочисленных экспериментов фирма «Бетлхем» разработала новый эффективный и экономический способ механизированной затяжки. Практика показала, что перед установкой высокопрочных болтов соединяемый пакет должен быть туго стянут сборочными болтами. Это требование является обязательным в новом способе для определения исходного положения гайки. Был принят метод, которым рабочие обычно пользуются при затяжке болтов механизированным инструментом. Сначала гайка накручивается на болт (на один-два оборота) вручную, а затем механическим гайковертом затягивается туго. От этого положения и должен вестись отсчет оборота гайки для окончательной затяжки болта. Это исходное положение достаточно четко находится по работе гайковерта, когда сопротивление вращению гайки из-за повышения трения возрастает и гайковерт начинает работать с ударом (вибрировать). В этом случае гайка будет накручена туже, чем вручную, вследствие чего потом требуется меньшее количество оборотов гайки для сообщения болту необходимого натяжения.

Как показали многочисленные проведенные в США опыты, в

этом случае в зависимости от диаметра и длины болта требуется произвести от $1/2$ до $3/4$ оборота.

Рекомендуемые фирмой «Бетлхем» величины оборотов гайки для получения в болтах нужных усилий приведены в табл. 21.

ТРЕБУЕМАЯ ВЕЛИЧИНА ПОВОРОТА ГАЙКИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ДИАМЕТРА И ДЛИНЫ БОЛТА (ПО ДАННЫМ ФИРМЫ «БЕТЛХЕМ») ТАБЛИЦА 21

Диаметр болта		Требуемое натяжение болта, тс	Длина (мм) захватной части болта	
дюйм	мм		$1/2$ оборота	$3/4$ оборота
$3/4$	19	11,6	125	От 125 до 255
$7/8$	22,2	14,7	125	» 125 » 255
1	25,4	19,3	200	» 200 » 305
$1 1/8$	28,6	23	200	» 200 » 305
$1 1/4$	31,8	29,2	200	» 200 » 305

На основании работ, проведенных у нас и в США, можно сделать вполне четкий вывод, что при постановке высокопрочных болтов по углу поворота гайки для получения надежных сдвигоустойчивых соединений необходимо правильно назначить исходное положение гайки, от которого следует вести отсчет углов ее поворота. Таких способов может быть три:

1) гайку наворачивают на болт пальцами до плотного прилегания торцевой поверхности;

2) гайку наворачивает один рабочий ручным сборочным ключом с рукояткой длиной 400—500 мм;

3) гайку наворачивают на болт пневматическим гайковертом с крутящим моментом, меньшим расчетного, но достаточным для того, чтобы собранный пакет под влиянием развивающихся в болтах осевых усилий уплотнился и по своему состоянию приблизился к монолитному куску металла.

При первом способе не обеспечивается требуемая точность в осевых усилиях болтов.

При втором — все отверстия заполняются высокопрочными болтами, кроме тех, в которых стоят сборочные пробки, после чего все поставленные болты затягивает один рабочий ручным сборочным ключом с длиной рукоятки 400—500 мм. Так как в итоге постепенного уплотнения пакета ранее поставленные болты неизбежно будут ослабевать, то гайки на всех болтах подтягивают многократно, пока они не перестанут вращаться.

Считается, что если гайки на всех болтах после многократной повторной затяжки остаются неподвижными, то собранный пакет стянут плотно и отвечает требованиям исходного положения, от которого может вестись отсчет углов поворота гаек. Однако и этот способ, несмотря на свою простоту, не обеспечивает одинаковое натяжение всех болтов в соединении. В данном случае, хотя и в несколько меньшей степени, отдельные значения

осевых усилий в болтах колеблются в достаточно широких пределах. Объясняется это тем, что плотность стяжки собранного ручным ключом пакета недостаточна. Зазоры между деталями остаются еще достаточно большими, вследствие чего по мере натяжения болтов в соединении, когда в болтах появляются осевые усилия, происходит постепенное уплотнение пакета, в результате чего некоторые ранее поставленные болты ослабевают, что и приводит к разбросу значений осевых усилий в болтах.

Третий способ состоит в том, что предварительная затяжка высокопрочных болтов для уплотнения собранного пакета и получения исходного положения поворота гайки производится не ручным сборочным ключом, а гайковертом, развивающим крутящий момент меньше требуемого для обеспечения в болтах проектного осевого усилия, но достаточного для уплотнения пакета.

Этот способ постановки высокопрочных болтов разработан днепропетровским филиалом ЦНИИПСК совместно с Московским автодорожным институтом.

По этому способу после сборки соединения и установки нужного количества сборочных пробок все свободные отверстия заполняются высокопрочными болтами. Затем пакет собранного соединения стягивают, для чего поставленные болты натягивают с начальным осевым усилием величиной менее проектного (окончательного). Для болтов М20 и М22 днепропетровский филиал рекомендует применять легкий гайковерт марки ИП-3103, развивающий крутящий момент 20 кгс·м и имеющий массу всего 2,5 кг.

Техническая характеристика гайковерта марки ИП-3103 следующая:

Максимальный момент затяжки	20 кгс·м
Требуемое давление воздуха	5 атм
Расход воздуха	0,9 м ³ /мин
Длина	244 мм
Ширина	185 »
Высота	80 »
Размер шланга в свету	12 »
Масса гайковерта	2,5 кг

Критерием достижения начального натяжения болтов гайковертом ИП-3103 является прекращение поворота гайки. В этом случае в болтах возникает осевое усилие 2—3 тс. Гайковертом ИП-3103 болты затягивают от середины соединения к краям или от участка, имеющего большую жесткость, к свободным краям соединения. Так как по мере натяжения болтов происходит непрерывное уплотнение пакета и ранее поставленные болты могут ослабеть, необходимо повторно подтянуть все болты тем же гайковертом, пока гайки на всех болтах не прекратят поворачиваться.

Затем специальным кернером конструкции днепропетровского филиала ЦНИИПСК (рис. 40,а) наносят (за один удар) мет-

ки на торце выступающей части болта и гайку, фиксируя тем самым их взаимное расположение.

Окончательное натяжение высокопрочных болтов производят гайковертом марки ИП-3106, развивающим крутящий момент 150 кгс·м, поворотом гайки на угол 180°, отсчитывая угол поворота от исходного, зафиксированного положения гайки, вне зависимости от толщины пакета (до 140 мм) и при числе деталей в нем не более пяти (т. е. при числе зазоров между деталями не более четырех).

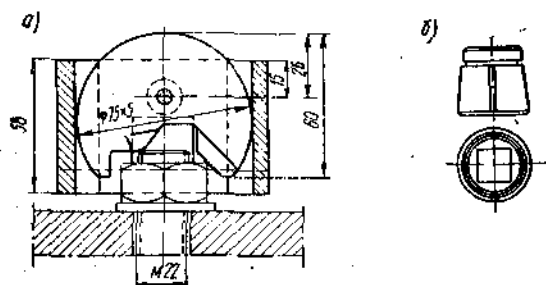


Рис. 40. Кернер для нанесения контрольных рисок

В табл. 22 приведены значения осевых усилий в болтах М22 из стали 40Х, которые должны быть получены в затянутых этим способом болтах после поворота гайки на 180°.

ТАБЛИЦА 22

Осевое усилие в болтах М22 из стали 40Х после поворота гайки на 180°

Число зазоров между деталями пакета	Толщина пакета, мм	Диаметр болтов, мм	Осевое усилие в болтах, тс
Не более четырех	До 140	20	17,5
То же	» 140	22	22

Если в пакете более четырех зазоров (т. е. при числе деталей в пакете более пяти) и при иных, чем это указано в табл. 22, значениях осевых усилий в болтах и иной марки стали угол поворота гайки должен устанавливаться экспериментально, по испытанию серии образцов, имитирующих собранный пакет.

Так как метки, набитые на торце стержня и на гайке, не видны в процессе ее поворота, то для наблюдения за поворотом гайки на торцевой насадке гайковерта сделаны одиночная и двойная риски (рис. 40, б), отстоящие друг от друга на полуокружность. Во время закручивания гайки насадка вращается и риски меняются местами, что и указывает о повороте гайки на 180°.

После натяжения всех болтов гайковертом ИП-3106 постепенно заменяют сборочные пробки высокопрочными болтами, натяжение которых ведут также двумя гайковертами: сначала малым — марки ИП-3103, а затем тяжелым — марки ИП-3106.

Днепропетровским филиалом ЦНИИПСК проверялось натяжение поставленных таким способом болтов с определением величины крутящего момента, необходимого для начала вращения гайки.

В итоге обработки данных выявлено, что величина осевых усилий в болтах может меняться в пределах от $P=19$ тс до $P=34,5$ тс при среднем значении $P=26,8$ тс. По проекту болты М22 должны иметь осевое усилие после постановки равное $P=22$ тс. Таким образом, в натуре в соединениях будут преобладать болты с перетяжкой, что гарантирует соблюдение требуемой прочности сооружения. Такая перетяжка по мнению авторов рассматриваемого способа не вызывает опасений, поскольку пластические и прочностные свойства болтов это допускают.

В итоге исследований, проведенных днепропетровским филиалом ЦНИИПСК и Московским автодорожным институтом, угол поворота гайки при постановке их сначала малым гайковертом, а затем тяжелым задан таким, чтобы в наиболее неблагоприятных условиях усилия в болтах были не ниже проектных.

Этот способ постановки высокопрочных болтов требует применения двух гайковертов: легкого ИП-3103 для предварительной затяжки болтов и тяжелого ИП-3106, которым окончательно затягивают болты с углом поворота гайки на 180° . На монтаже необходимость иметь два типа гайковертов вызывает некоторое неудобство.

В ЦНИИПСК разработан способ постановки высокопрочных болтов М24 из стали 40Х одним гайковертом марки ИП-3106, развивающим крутящий момент до 150 кгс·м.

Сначала во все отверстия, кроме тех, в которых стоят сборочные пробки, ставят высокопрочные болты и наворачивают на них на несколько витков (от руки) гайки. Затем от середины соединения по направлению к краям или от места соединения, имеющего большую жесткость, по направлению к местам с меньшей жесткостью производят «предварительную» затяжку всех болтов гайковертом ИП-3106, отрегулированным на наименьший развиваемый им крутящий момент $M_{кр}=80$ кгс·м, заканчивая затяжку каждого болта как только гайка под импульсными ударами гайковерта перестает вращаться. Ввиду того что болты по мере уплотнения пакета могут ослабевать, предварительную затяжку их повторяют несколько раз, проходя последовательно все болты в том же порядке, в каком они затягивались ранее. После того как гайки на всех болтах перестанут вращаться, что указывает на хорошее и, главное, равномерное уплотнение собранного пакета, переходят к окончательному натяжению болтов.

По окончании предварительной затяжки на все болты и гайки набивают метки, фиксирующие взаимное их расположение; метки набивают кернером конструкции днепропетровского филиала ЦНИИПСК.

Окончательное натяжение всех болтов производят тем же гайковертом ИП-3106, но уже отрегулированным на максимальный момент $150 \text{ кгс}\cdot\text{м}$, причем все гайки поворачивают от исходного положения на определенный заданный угол. Для контроля за углом поворота гайки на съемной насадке гайковерта сделаны риски (одиночная и двойная), отстоящие друг от друга на определенном расстоянии. Как только во время поворота гайки вторая риска займет положение первой, вращение прекращают.

Исследования показали, что высокопрочные болты М24 после предварительного натяжения получают достаточно высокое осевое усилие, колеблющееся в пределах $15\text{--}18 \text{ тс}$. Принимая среднее значение осевого усилия в болтах после натяжения их гайковертом ИП-3106 с моментом $80 \text{ кгс}\cdot\text{м}$ равным 17 тс и подставляя его в формулу (36), находим предварительные (условные) углы поворота $\gamma_{\text{пр}}$ в зависимости от различных толщин пакета (табл. 23).

ТАБЛИЦА 23

Значения предварительных углов поворота гайки для болтов М24, натянутых гайковертом ИП-3106 с крутящим моментом $M_{\text{кр}}=80 \text{ кгс}\cdot\text{м}$

Толщина пакета, мм	Значение углов $\gamma_{\text{пр}}$ при числе азоров		
	$m = 1$	$m = 2$	$m = 1$
25	60	101	142
50	71	112	153
75	82	123	164
100	—	134	175
125	—	145	186
150	—	156	197

Учитывая, что при натяжении болтов всегда могут быть отклонения в значениях осевых усилий из-за неточной работы и в первую очередь в результате ошибок при отсчете углов поворота гайки, постановку болтов следует вести с некоторой их перетяжкой, чтобы не снизилась прочность соединений. В дальнейшем все расчеты углов поворота гайки произведены, исходя из предположения, что среднее значение натяжения болтов в соединении должно быть $P=26 \text{ тс}$.

Таким образом, для получения проектного осевого усилия $P=26 \text{ тс}$ угол поворота гайки (после того как болт получает предварительное натяжение $P_{\text{пр}}=17 \text{ тс}$) должен быть меньше угла поворота, определенного по уравнению (36), когда началом поворота является растяжение болта с осевым усилием $3\text{--}5 \text{ тс}$

Величина угла окончательного поворота гайки

$$\gamma_{ок} = \gamma - \gamma_{пр} \quad (37)$$

Применительно к болтам М24 из стали 40Х, которые после постановки должны иметь осевое усилие $P=26$ тс, окончательный угол поворота гайки $\gamma_{ок}$ найдем из уравнения (37), причем значения $\gamma_{пр}$ могут быть взяты из табл. 23, а γ — из (36).

ТАБЛИЦА 24

Значения окончательных углов поворота гайки болтов М24 после натяжения гайковертом ИП-3106 с $M_{кр} 80$ кгс·м для получения в болтах осевого усилия $P=26$ тс

Толщина пакета, мм	Число зазоров между деталями пакета								
	$m = 1$			$m = 2$			$m = 3$		
	γ	$\gamma_{пр}$	$\gamma_{ок}$	γ	$\gamma_{пр}$	$\gamma_{ок}$	γ	$\gamma_{пр}$	$\gamma_{ок}$
25	92	60	32	154	101	53	217	142	75
50	109	71	38	172	112	60	233	153	80
75	126	82	44	188	123	65	250	164	86
100	—	—	—	204	134	70	267	175	92
125	—	—	—	220	145	75	284	186	98
150	—	—	—	238	156	82	301	197	104

В табл. 24 приведены значения окончательных углов поворота гайки болтов М24 от исходного положения после натяжения болтов гайковертом ИП-3106 с крутящим моментом $M_{кр} = 80$ кгс·м для получения в болтах осевого усилия, равного 26 тс.

Для практического пользования табл. 24 неудобна, ее целесообразно переработать, объединив приведенные в ней толщины пакетов в укрупненные группы и установив для каждой группы одно общее значение окончательного угла поворота гайки. Это позволит сократить число рекомендуемых значений окончательных углов поворота гайки, что в производственных условиях безусловно даст определенный эффект, так как отпадает необходимость в частых переналадках устройств, фиксирующих угол поворота гайки в связи с изменениями толщины стягиваемого пакета.

В табл. 25 приведена разбивка соединений на укрупненные группы (по толщине), и для каждой группы назначены окончательные углы поворота гайки $\gamma_{ок}$. Ввиду того что углы $\gamma_{ок}$ назначены, исходя из условия затяжки болтов применительно к соединению, имеющему наибольшую толщину, входящую в данную группу, болты, стягивающие пакет меньшей толщины, будут натянуты с несколько большим осевым усилием. В той же табл. 25 приведены рассчитанные по уравнению (36) значения осевых усилий $P_{ок}$ в болтах, которые могут возникнуть при затяжке бол-

Значения окончательных углов поворота гайки болтов М24 после натяжения гайковертом ИП-3106 с $M_{кр} = 80 \text{ кгс}\cdot\text{м}$ и получаемые при этом величины осевых усилий в болтах

Толщина пакета, мм	Количество зазоров между деталями пакета					
	$m = 1$		$m = 2$		$m = 3$	
	$\gamma_{ок}$	$P_{ок}$	$\gamma_{ок}$	$P_{ок}$	$\gamma_{ок}$	$P_{ок}$
25	60	33,6	90	32	90	28
50	60	31	90	30,5	90	26,8
75	60	29	90	29,2	90	26,1
100	—	—	90	28,5	120	28,3
125	—	—	90	27,2	120	27,8
150	—	—	90	26,5	120	27,1

тов по заданному в табл. 25 углу $\gamma_{ок}$. В расчетах в качестве полного угла поворота гайки γ принимался угол, численное значение которого равно сумме

$$\gamma = \gamma_{пр} + \gamma_{ок}.$$

Таким образом, разработано два способа постановки высокопрочных болтов в сдвигоустойчивых соединениях.

Первый способ, разработанный днепропетровским филиалом ЦНИИПСК совместно с Московским автодорожным институтом для болтов М20 и М22, заключается в том, что предварительная стяжка пакета для получения исходного положения поворота гайки производится легким гайковертом ИП-3103, развивающим крутящий момент $20 \text{ кгс}\cdot\text{м}$, а окончательная — тяжелым гайковертом ИП-3106 с моментом $150 \text{ кгс}\cdot\text{м}$ с поворотом гаек на 180° вне зависимости от диаметра и длины болтов, если толщина пакета не превышает 140 мм и в пакете не более пяти деталей.

Второй способ разработан центральным производством ЦНИИпроектстальконструкция для болтов М24. Отличительной чертой его является затяжка болтов одним гайковертом марки ИП-3106, развивающим крутящий момент $M_{кр} = 150 \text{ кгс}\cdot\text{м}$; предварительная затяжка производится гайковертом, отрегулированным на крутящий момент $M_{кр} = 80 \text{ кгс}\cdot\text{м}$, а окончательная — тем же гайковертом с крутящим моментом $M_{кр} = 150 \text{ кгс}\cdot\text{м}$; при этом гайки на болтах М24 для получения в них осевого усилия $P = 26 \text{ тс}$ должны быть повернуты от исходного положения на угол, приведенный в табл. 26.

Чтобы проверить правильность назначенных углов поворота гайки по второму способу, в лаборатории ЦНИИПСК были проведены исследования, позволившие установить действительные величины осевых усилий в зависимости от угла поворота гайки, толщин и состава стягиваемого пакета.

Угол поворота гайки $\gamma_{ок}$, обеспечивающий получение в болтах М24 из стали 40Х осевого усилия $P=26$ тс (угол отсчитывается от исходного положения гайки после предварительной затяжки болтов с $M_{кр}=80$ кгс·м)

Число зазоров между деталями	Толщина пакета, мм	Угол поворота гайки $\gamma_{ок}$, град.
$m = 1$	20—75	60
$m = 2$	25—125	90
$m = 3$	30—150	120

Исследования проводились на образцах, представляющих собой пакеты, составленные из квадратных пластин размером 500×500 мм, в которых было просверлено 25 отверстий диаметром 27 мм.

Отверстия в пластинах были расположены в местах пересечения пяти взаимно перпендикулярных рисок, нанесенных с шагом 100 мм.

Пластины отличались друг от друга толщиной (10 мм, 20 мм, 30 мм). Варьируя толщинами пластин, можно было составить пакеты разных толщин. Для стягивания пакетов применялись высокопрочные болты М24 из стали 40Х. Болты натягивали одним гайковертом марки ИП-3106.

Величину осевых натяжений в болтах проверяли ручным тарированным ключом марки КТР-3 по показанию индикатора в момент сдвига гайки с места при повороте ее по часовой стрелке.

Результаты испытаний были подвергнуты обработке методами математической статистики, позволявшими определить среднее значение осевого усилия для всех групп поставленных болтов, среднеквадратические отклонения и вероятности натяжения болтов с усилиями менее проектного (т. е. менее $P=26$ тс).

В итоге обработки было выявлено, что натяжение болтов М24 по углу поворота гайки обеспечивает натяжение болтов с требуемым осевым усилием, среднее значение которого несколько больше расчетного. Хотя в соединении могут быть недотянутые до проектного усилия болты ($P=25$ тс) и перетянутые, т. е. имеющие напряжения выше предела текучести ($P=36$ тс), этот способ может быть рекомендован для применения на монтаже конструкций, для чего ЦНИИпроектстальконструкция выпустил «Временное руководство на постанковку высокопрочных болтов по углу поворота гайки в сдвигоустойчивых соединениях строительных стальных конструкций».

В итоге опытного применения этого метода возможна его отработка и составление постоянных указаний.

Способ постановки болтов одним гайковертом, разработанный ЦНИИПСК, неприменим для болтов, диаметр которых менее 24 мм, так как предварительное натяжение болтов с $M_{кр} = 80 \text{ кгс} \cdot \text{м}$ создает в них чрезмерно большое предварительное осевое усилие. Что касается болтов, имеющих диаметр более 24 мм, для них угол поворота гайки должен быть определен особо.

У. ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ СДВИГУСТОЙЧИВОГО СОЕДИНЕНИЯ НА ВЫСОКОПРОЧНЫХ БОЛТАХ

Сдвигустойчивые соединения на высокопрочных болтах могут быть выполнены несколькими способами, отличающимися методами обработки соприкасающихся поверхностей и натяжения.

Различные способы обработки поверхностей конструкций (пескоструйная, огневая и металлическими щетками) сказываются не только на несущей способности соединения, но и на трудоемкости и стоимости их выполнения.

Пескоструйная обработка, обеспечивающая высокое значение коэффициента трения (для Ст3 $f=0,45$), является и самой дорогой, так как помимо прямой заработной платы нужны дополнительные затраты на приобретение, монтаж и демонтаж пескоструйной установки, установки для сушки песка, на устройство вагонеточных путей для подачи песка, заработную плату рабочих, занятых подготовкой песка и подачей его к месту работы, и т. д.

По данным днепропетровского филиала ЦНИИПСК размер дополнительных затрат при пескоструйной обработке, не считая стоимости песка, составляет примерно 9 р. на 100 поставленных высокопрочных болтов.

Пескоструйная обработка вследствие своей дороговизны и сравнительно сложной организации работ применяется у нас на монтаже строительных стальных конструкций редко. К пескоструйной обработке прибегают только при строительстве уникальных сооружений или когда другие, более простые способы по каким-либо причинам неприемлемы.

Обработка поверхностей трения огневым способом, после которого коэффициент трения ниже, чем после пескоструйной (для Ст3 $f=0,4$), выгодно отличается размерами первоначальных затрат на организацию работ. Огневая обработка практически не имеет дополнительных дорогостоящих затрат, за исключением оплаты необходимого для ее выполнения оборудования — кислородных и ацетиленовых баллонов, шлангов, редукторов и др. Огневая обработка поверхностей трения при монтаже строительных металлических конструкций широко распространена.

Обработка поверхностей трения металлическими щетками дешева и не требует крупных капиталовложений, за исключением

расходов на приобретение достаточно дешевых шлифовальных машинок и металлических проволочных щеток; однако применяется она редко. Объясняется это тем, что обработка металлическими щетками дает невысокий коэффициент трения, равный для стали марки Ст3 $f=0,35$; поэтому для получения равнопрочных соединений с соединениями, поверхности которых обработаны огнем способом, приходится увеличивать количество высокопрочных болтов примерно на 15%.

В статье «Механизация работ по установке высокопрочных болтов на монтаже металлоконструкций» инж. Чижев С. О. приводит данные о затратах труда и стоимости отдельных операций по выполнению сдвигоустойчивых соединений на высокопрочных болтах.

ТАБЛИЦА 27

Сравнение затрат труда и заработной платы на операциях постановки болтов высокопрочных

Операция	Способ натяжения болтов			
	по моменту		по углу поворота гайки	
	чел.-час	руб.	чел.-час	руб.
Расконсервация болтов	0,46	0,23	0,46	0,23
Прогонка гаек по резьбе болтов	1,3	0,72	1,3	0,72
Определение $M_{кр}$ на ДКП	1,35	0,95	1,35	0,95
Огневая обработка поверхностей	5,64	2,82	5,64	2,82
Затягивание болтов гайковертом	6,6	3,66	6,6	3,66
Дотягивание болтов ручным тарированным ключом	3,7	2,18	—	—
Контроль натяжения болтов	0,92	0,54	0,92	0,54
Итого:	19,97	11,1	16,27	8,92

В табл. 27 эти данные приведены в несколько переработанном виде для двух вариантов технологического процесса постановки болтов, отличающихся только способом натяжения. Первый вариант предусматривает натяжение болтов по крутящему моменту, а второй — по углу поворота гайки.

В первом варианте болты натягиваются в два приема: сначала предварительно гайковертом марки 312-01, развивающим крутящий момент $M_{кр}=80 \text{ кгс}\cdot\text{м}$, а затем окончательно ручным тарированным ключом по крутящему моменту до проектного осевого усилия.

Во втором варианте болты сначала затягиваются для уплотнения пакета и получения исходного положения гайковертом марки ИП-3106 с моментом $80 \text{ кгс}\cdot\text{м}$, а затем поворотом гайки

на определенный угол дотягиваются до проектного осевого усилия тем же гайковертом, но отрегулированным на крутящий момент 150 кгс·м.

Все операции по подготовке болтов (их расконсервация, т. е. удаление с них консервирующей смазки, прогонка гаек по резьбе болтов, определение на приборе ДКП величины крутящего момента и контроль натяжения болтов) в обоих вариантах приняты одинаковыми. Так как затрата времени на предварительную затяжку болтов в первом варианте и затяжку болтов во втором варианте практически мало отличается, в табл. 27 они приняты равными.

Весь расчет трудоемкости и стоимости отдельных операций процесса в табл. 27 произведен применительно к 100 высокопрочным болтам М24 из стали 40Х, поставленным с осевым усилием 25 тс. В обоих вариантах принята огневая обработка поверхностей трения.

Из приведенных расчетов видно, что трудоемкость натяжения высокопрочных болтов по второму варианту составляет 6,6 чел.-час, в то время как по первому $6,6 + 3,7 = 10,3$ чел.-час, т. е. примерно в полтора раза больше.

Это не могло не сказаться и на общей трудоемкости работ по выполнению сдвигоустойчивых соединений, отличающихся способом натяжения болтов. Действительно, если трудоемкость всех операций технологического процесса по постановке высокопрочных болтов в случае затяжки их по крутящему моменту равняется 19,97 чел.-час, то при затяжке по углу поворота гайки — 16,27 чел.-час, т. е. примерно на 20% меньше.

С точки зрения затрат труда очевидно преимущество способа натяжения болтов по углу поворота гайки по сравнению с натяжением по крутящему моменту. Этот способ постановки болтов должен стать основным и найти широкое применение благодаря экономичности, простоте и хорошему качеству работ.

Изучение способа натяжения высокопрочных болтов по углу поворота гайки позволяет наметить пути его усовершенствования, вследствие чего он может стать еще более эффективным.

Прежде всего можно упростить операцию контроля постановки высокопрочных болтов, отказавшись от определения на выборку величины осевого усилия, с которым поставлены болты.

При натяжении болтов по углу поворота гайки вполне надежным контролем натяжения болтов является проверка углов поворота гайки по положению рисков, которые набиты на торцах стержней болтов и на гайках. Отказ от выборочного контроля осевых усилий в болтах позволит исключить операцию определения крутящего момента на приборе ДКП и сам контроль, трудоемкость которых в сумме равна $1,3 + 0,92 = 2,22$ чел.-час.

Отказаться от выборочного контроля осевого натяжения болтов пока нельзя, поскольку он записан в действующих нормативных документах.

Но уже сейчас можно снизить трудоемкость контроля механизацией определения величины крутящего момента, переработав и усовершенствовав для этой цели прибор ДКП, на котором в настоящее время работы ведутся вручную.

Целесообразно на метизных заводах в процессе изготовления болтов определять средний коэффициент закручивания и указывать его в сертификатах (для каждой партии болтов и гаек). Зная величину коэффициента закручивания, на монтажной площадке можно было бы просто рассчитать величину момента, с которым должны быть поставлены болты, а не определять его для каждой получаемой партии на приборе ДКП. Многократные попытки внести это требование в технические условия, по которым поставляются высокопрочные болты для строительных конструкций, до сих пор отвергались метизной промышленностью.

Целесообразно также механизировать работы по прогонке гаек по резьбе болтов. Сейчас эта операция выполняется вручную, вследствие чего трудоемкость ее, как это видно из табл. 27, велика. Чтобы механизировать прогонку гаек, необходимо создать станок, работа которого может быть полностью автоматизирована.

Прогонка гаек по нарезке болтов — операция вынужденная вследствие недостаточно качественной резьбы. С повышением качества изготовления высокопрочных болтов эта операция отпадает и трудоемкость выполнения сдвигоустойчивых соединений снизится.

Существенным мероприятием, снижающим трудоемкость и стоимость выполнения сдвигоустойчивых соединений, может явиться замена огневой обработки соприкасающихся поверхностей обработкой металлическими щетками. Правда, в этом случае несколько возрастет расход высокопрочных болтов, однако если применить болты с временным сопротивлением $\sigma_b = 135 \text{ кгс/мм}^2$, то для получения равнопрочных соединений увеличивать количество болтов не надо. Ввиду того что стоимость болтов с временным сопротивлением $\sigma_b = 135 \text{ кгс/мм}^2$ и болтов с временным сопротивлением $\sigma_b = 110 \text{ кгс/мм}^2$ практически одинакова, удорожания строительства не будет.

По данным С. О. Чижова трудоемкость обработки поверхностей деталей металлическими щетками, отнесенная к 100 высокопрочным болтам, составляет 1,14 чел.-час, а ее стоимость 71 коп., в то время как при огневой обработке трудоемкость равна 5,64 чел.-час., стоимость 2 р. 52 к., т. е. примерно в четыре раза выше.

В табл. 28 приведены трудоемкость и стоимость постановки 100 шт. высокопрочных болтов в соединениях, поверхности которых обработаны металлическими щетками. Все расчеты выполнены в двух вариантах, в зависимости от прочности болтов, которые применяются в соединениях. Первый вариант предусматривает применение болтов с временным сопротивлением $\sigma_b = 135 \text{ кгс/мм}^2$, а второй — с временным сопротивлением $\sigma_b =$

Трудоемкость и стоимость постановки 100 шт. высокопрочных болтов в соединении, обработанном металлическими щетками

Операция	Для соединений с болтами, имеющими временное сопротивление ($\text{кгс}/\text{мм}^2$)			
	$\sigma_B = 135$		$\sigma_B = 100$	
	чел.-час	руб.	чел.-час	руб.
Расконсервация болтов	0,46	0,23	0,53	0,26
Прогонка гаек по резьбе болтов	1,3	0,72	1,5	0,83
Определение $M_{кр}$ на ДКП	1,35	0,95	1,55	1,08
Обработка металлическими щетками	1,41	0,71	1,62	0,82
Затяжка болтов по углу поворота гайки	6,6	3,66	7,6	4,2
Контроль натяжения болтов	0,92	0,54	1,06	0,62
Итого:	12,04	6,81	13,86	7,81

$= 110 \text{ кгс}/\text{мм}^2$. Во втором варианте для получения равнопрочных соединений с соединениями, поверхности которых обработаны огневым способом, необходимо ставить примерно на 15% больше болтов, что, естественно, сказывается и на увеличении трудозатрат, и стоимости отдельных операций, и всего процесса постановки высокопрочных болтов.

В общих вариантах болты затягиваются по углу поворота гайки.

Из сопоставления данных табл. 27 и 28 видно, что затяжка болтов по углу поворота гайки в сочетании с обработкой поверхностей трения металлическими щетками дает ощутимый экономический эффект. Высокопрочные болты с временным сопротивлением $\sigma_B = 135 \text{ кгс}/\text{мм}^2$ дают эффект, больший, чем болты с $\sigma_B = 110 \text{ кгс}/\text{мм}^2$. Это и понятно. Однако работа с такими болтами сложна, так как натягиваться они должны с осевым усилием в 32 тс, для чего нужен гайковерт более мощный, чем широко применяемый гайковерт марки ИП-3106.

Наша промышленность выпускает гайковерты многих марок, развивающих крутящий момент более 150 кгс·м, которыми можно натянуть болты М24 с осевым усилием 32 тс, однако они тяжелы и конструктивно мало подходят для работы на монтаже. Кроме того, метизная промышленность выпускает болты с временным сопротивлением $\sigma_B = 135 \text{ кгс}/\text{мм}^2$ пока еще в недостаточном количестве. А эти болты, безусловно, найдут широкое применение, так как стоимость их практически такая же, как и болтов с $\sigma_B = 110 \text{ кгс}/\text{мм}^2$, в то время как количество их в соединении не увеличивается. Впредь до освоения метизной промышленностью выпуска высокопрочных болтов с временным сопротив-

лением $\sigma_B = 135 \text{ кгс/мм}^2$ и получения гайковертов требуемой мощности усовершенствование процесса выполнения сдвигоустойчивых соединений должно пойти по пути применения освоенных болтов из стали марки 40X с временным сопротивлением $\sigma_B = 110 \text{ кгс/мм}^2$, обработки поверхностей трения механическими металлическими щетками и натяжения болтов гайковертом ИП-3106 по углу поворота гайки.

Трудозатраты на постановку 100 высокопрочных болтов в этом случае (по сравнению с широко применяемым в настоящее время затягиванием болтов ручными ключами по крутящему моменту и огневой обработкой поверхности трения) могут снизиться примерно на 6 чел.-час (на 30%), а заработная плата уменьшится примерно на 3 р. (на 25%).

В результате исключения операций, связанных с выборочным контролем натяжения болтов и механизации прогонки гаек по резьбе болтов, трудоемкость постановки болтов из стали 40X по углу поворота гайки может снизиться и составить для 100 болтов примерно 10,5 чел.-час при стоимости около 7 руб.

Все это свидетельствует о возможности существенного усовершенствования процесса постановки высокопрочных болтов в сдвигоустойчивых соединениях, что может способствовать их широкому применению в стальных конструкциях.

В Америке сдвигоустойчивые соединения на высокопрочных болтах стали основным типом соединения в стальных конструкциях, причем этому способствует принятый там способ постановки болтов по углу поворота гайки и обработка сопрягаемых поверхностей соединения только металлическими механическими щетками.

Оценка эффективности различных вариантов сдвигоустойчивых соединений будет неполной, если не сравнить затраты, которые необходимы на их осуществление, включая стоимость метизов, вспомогательных материалов (кислорода и ацетилен), основной заработной платы и накладных расходов.

Согласно прейскуранту № 01—05 на крепежные изделия стоимость 100 высокопрочных болтов М24 длиной около 120 мм в комплекте с гайкой и двумя шайбами может быть принята равной 23 р. 28 к.

В табл. 29 дан расчет полной стоимости сдвигоустойчивых соединений, выполненных по четырем вариантам, отличающимся способом обработки поверхностей трения, способом натяжения болтов и механической прочностью болтов, принятых в соединении.

Таким образом, наиболее экономичным из рассматриваемых вариантов будет четвертый. В этом случае затраты на постановку 100 высокопрочных болтов по сравнению с основным (первым) вариантом составляет 11 р. 38 к., т. е. стоимость соединения снизится примерно на 22%. Однако выполнение соединений

Сравнение полной стоимости постановки 100 шт. высокопрочных болтов М24 в сдвигустойчивых соединениях при различных вариантах их выполнения

№ варианта	Характеристика технологического процесса			Затраты, руб.					Экономия	
	обработка поверхностей трения	способ натяжения болтов	временное сопротивление высокопрочных болтов, кгс/см ²	метизы	вспомогательные материалы (газ)	трудоуслуги (основная заработная плата)	накладные расходы	всего	руб.	%
1	огневая	по $M_{кр}$	110	25,28	2,80	11,10	11,10	50,28	—	—
2			110	25,28	2,80	8,92	8,92	45,92	4,36	8,7
3	металлическими щетками	по углу поворота гайки	110	29,07	—	7,81	7,81	44,69	5,59	9,3
4			135	25,28	—	6,81	6,81	38,90	11,38	22,6

по четвертому варианту встречается сегодня затруднения. Поэтому в качестве промежуточного решения необходимо принять третий вариант. В третьем варианте стоимость соединения снижается примерно на 9—10% и на 15—16% повышается производительность труда (см. табл. 28 и 29).

Сдвигустойчивые соединения на высокопрочных болтах имеют много производственных достоинств, способствующих их широкому применению. К ним относятся:

1) простота работы по сравнению с монтажной клепкой и сваркой;

2) отсутствие на строительной площадке шума, неизбежного при клепке;

3) небольшой состав бригады (2 человека);

4) снижение трудовых затрат по сравнению с монтажной клепкой и сваркой;

5) лучшие условия труда;

6) меньшее время, необходимое на обучение рабочих, устанавливающих болты;

7) применение на монтаже более легких подмостей, поскольку на них работает немного людей с легким инструментом;

8) существенно меньшая пожарная опасность;

9) сокращение времени монтажа сооружения, что может дать существенный экономический эффект благодаря более раннему вводу в эксплуатацию строящегося объекта.

Экономические показатели сдвигоустойчивых соединений на высокопрочных болтах обычно сравнивают с показателями клепанных при условии, что один высокопрочный болт заменяет одну заклепку. Исследования показали, что трудоемкость соединений на высокопрочных болтах примерно в 1,5 раза меньше, чем у клепанных.

Такое сравнение не характерно для наших условий, так как монтажная клепка применяется исключительно редко, а если и встречается, то в соединениях, в которых заклепки не могут быть заменены высокопрочными болтами.

В ЦНИИпроектстальконструкция исследована эффективность сдвигоустойчивых соединений на высокопрочных болтах в сравнении со сварными (на примере монтажа конструкций кислородно-конвертерного цеха с двумя конвертерами вместимостью по 350 т каждый). Корпус цеха представляет собой четырехпролетное здание общей шириной 102 м и длиной 192 м. Все пролеты оборудованы мостовыми кранами грузоподъемностью 20—450 т.

Сравнивалась трудоемкость монтажных соединений, выполненных в двух вариантах — сварными и сдвигоустойчивыми на высокопрочных болтах. Сравнительные расчеты проведены для стыков подкрановых балок, колонн, для узлов крепления стропильных ферм к колоннам и для узлов связей.

В сдвигоустойчивых соединениях применялись болты М24 из стали 40Х с временным сопротивлением $\sigma_b = 110 \text{ кгс/мм}^2$, поставленные с осевым усилием $P = 25 \text{ тс}$.

Сварные соединения в подкрановых балках и колоннах были приняты с V-образной разделкой кромок при толщине соединяемых элементов до 26 мм. При большей толщине листов принималась X-образная разделка кромок.

Узлы крепления ферм к колоннам выполнены на двух накладках. Аналогичное крепление принято и для связей.

В расчетах учитывалось, что все швы сваривались в рабочем положении конструкции.

Трудоемкость выполнения сдвигоустойчивых соединений на высокопрочных болтах определялась для установки болтов по крутящему моменту с подготовкой поверхности трения огневой обработкой (1-й способ) и с постановкой болтов по углу поворота гайки и подготовкой поверхности трения металлическими щетками (2-й способ). При определении трудозатрат постановки болтов по 2-му способу принималось, что количество болтов в соединении на 15% больше по сравнению с соединениями, выполненными по 1-му способу.

Состав работ и трудоемкость на постановку 100 высокопрочных болтов в расчетах принималось по табл. 27:

Для 1 способа постановки болтов			
Полная трудоемкость		19,97	чел.-час.
Трудоемкость только затяжки болтов		11,22	»
Для 2 способа постановки болтов			
Полная трудоемкость		16,27	чел.-час.
Трудоемкость только затяжки болтов		7,52	»

Состав звена при установке высокопрочных болтов принят в два человека (один — 4-го разряда и один 3-го разряда). Кроме того, учитывалась работа одного монтажника 2-го разряда. Сварку конструкций ведут сварщики 5—6-го разрядов. Трудозатраты на выполнение сварочных работ определены по ЕНиР на строительные, монтажные и ремонтно-строительные работы (1969 г.). Так как нормы, приведенные в этом сборнике, не учитывают затрат труда на выполнение электроприхваток или постановку сборочных болтов, контроль качества сварных швов, снятие усиления швов на верхнем поясе подкрановых балок и ряд других работ, то в расчетах затраты на эти работы учтены введением соответствующих коэффициентов.

В результате детальных расчетов определена трудоемкость выполнения монтажных соединений по всем конструкциям каркаса здания (табл. 30). Причем для 2-го способа выполнения соединений полученные в расчетах значения увеличены на 15%, поскольку замена болтов марки 40Х с временным сопротивлением $\sigma_b = 110 \text{ кгс/мм}^2$ на более прочные, например из стали марки 38ХС с временным сопротивлением $\sigma_b = 150 \text{ кгс/мм}^2$, пока не реальна.

ТАБЛИЦА 30

Трудоемкость (чел.-час) монтажных соединений каркаса конвертерного цеха при двух вариантах выполнения (на сварке и на высокопрочных болтах)

Конструкция	На сварке, чел.-час	На высокопрочных болтах по способу (чел.-час)			
		1		2	
		на затягивание болтов	полная	на затягивание болтов	полная
Подкрановая балка	1210	1075	1917	725	1050
Колонна	3618	3036	5402	2050	3040
Ферма	1095	1227	2187	830	1230
Связи	550	425	756	270	425
Итого (чел.-час)	6475	5763	10262	3875	5775
(%)	100	90	159	60	89

Из табл. 30 видно, что трудоемкость всех операций по выполнению сдвигоустойчивых соединений на высокопрочных болтах по 1-му способу равна 10 262 чел.-час и примерно в полтора раза выше трудоемкости соединений на сварке; однако сама затяжка болтов менее трудоемка, чем сварка. Несмотря на увеличение количества болтов в соединениях по 2-му способу, трудоемкость его оказалась ниже, чем при сварке.

Таким образом, переход на затяжку болтов по углу поворота гайки и отказ от огневой обработки поверхностей трения существенно снизят трудоемкость выполнения монтажных соединений.

Скорость выполнения монтажных соединений на высокопрочных болтах выше, чем на сварке, так как установка болтов ведется звеном в 2 чел., поэтому для определения затрат времени на постановку болтов величины, приведенные в табл. 30, должны быть разделены пополам.

По данным ЦНИИПСК трудоемкость сварки монтажных соединений, без учета дополнительных работ, определена в 4170 чел.-час.

Таким образом, продолжительность выполнения монтажных соединений на каркасе здания кислородно-конвертерного цеха в случае сварки равна 4170 чел.-час. При работе в две смены (по 5 сварщиков) продолжительность сварки всех монтажных соединений

$$\frac{4170}{2 \times 8 \times 5} = 52 \text{ дн.}$$

Продолжительность выполнения сдвигоустойчивых соединений, также при работе в две смены (по пять бригад в смену), при 1-м способе

$$\frac{2880}{2 \times 8 \times 5} = 36 \text{ дн.}$$

при 2-м способе

$$\frac{1940}{2 \times 8 \times 5} = 25 \text{ дн.}$$

Ясно, что применение в конструкциях сдвигоустойчивых соединений на высокопрочных болтах благоприятно сказывается на сокращении сроков выполнения монтажных соединений, а это ведет к уменьшению продолжительности строительства всего объекта.

Сокращение сроков монтажа сооружения, сокращение расходов на эксплуатацию монтажного оборудования, снижение стоимости монтажных работ и, что особенно важно, выпуск дополнительной продукции предприятием вследствие досрочного ввода его в эксплуатацию — такова экономическая эффективность сдвигоустойчивых соединений на высокопрочных болтах.

Продолжительность монтажа металлических конструкций каркаса конвертерного цеха при двухсменной работе сократилась на 12 рабочих дней.

Экономический эффект, получаемый в результате этого, определен:

От снижения стоимости монтажных работ	— 6,8 тыс. руб.
» сокращения времени эксплуатации монтажных механизмов	— 1,3 » »
» выпуска дополнительной продукции	— 46,1 » »
<hr/>	
Всего	54,2 » »

Этот расчет свидетельствует о том, что соединения на высокопрочных болтах должны стать основными в стальных строительных конструкциях.

VI. БОЛТОКЛЕЕНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ НА ВЫСОКОПРОЧНЫХ БОЛТАХ

В настоящее время для соединения элементов металлических конструкций часто применяются синтетические клеи.

В сочетании с высокопрочными болтами клеевое соединение образует новое комбинированное — болтоклеевое соединение.

Сущность такого соединения состоит в совместной работе клеевой прослойки, нанесенной на сопрягаемые поверхности, и высокопрочных болтов, поставленных с большим осевым усилием.

Клей должен быть нейтральным по отношению к металлам, т. е. не вызывать коррозии и не способствовать ее развитию, во время его твердения не должно происходить выделения летучих, так как в клеевом шве могут образоваться пузырьки и пустоты, обладать высокой прочностью на сдвиг и сохранять прочностные свойства при любых температурах, обладать малой усадкой и иметь коэффициент термического расширения, близкий к коэффициенту термического расширения соединяемого металла, твердение должно происходить без подогрева. Клей должен хорошо заполнять все зазоры и пустоты между склеиваемыми деталями.

Всем этим требованиям наиболее полно отвечают клеи на основе эпоксидных смол. Твердение клея происходит без усадки и выделения каких-либо побочных продуктов; клей имеет хорошую адгезию к металлам, плотно заполняет зазоры; клеевой шов может быть большой толщины; твердение происходит как при нормальной температуре, так и при нагреве; соединения с клеями на основе эпоксидных смол достаточно прочны и водостойки. Эпоксидные клеи имеют высокую стойкость к большинству растворителей, кислотам и щелочам, к жидкому топливу и маслам, хорошие диэлектрические и механические свойства. Клеевая

пленка, нанесенная на металлическую поверхность, является надежной защитой от коррозии.

Отечественная химическая промышленность выпускает несколько марок эпоксидных смол: ЭД-5, ЭД-6, ЭД-13, Э-40 и др.

В исходном состоянии эпоксидные смолы представляют собой высоковязкие жидкости или твердо-пластические тела янтарно-желтого цвета.

Для приготовления эпоксидных клеев, используемых в строительных конструкциях, применяют преимущественно смолы ЭД-5 и ЭД-6. Они представляют собой высоковязкие жидкости (до 200 000 сПз), которые при составлении композиций необходимо слегка подогреть (50—60°C). При составлении клеев к основному связующему материалу (смоле) добавляют пластификатор, отвердитель, ускоритель и наполнитель.

В качестве пластификаторов эпоксидных смол применяют дибутилфталат, полиэфиркрилаты, низкомолекулярные эпоксидные смолы, пластифицирующие отвердители и др.

Важнейшим критерием для выбора отвердителя является жизнеспособность клея, т. е. продолжительность сохранения клеем состояния, при котором им удобно пользоваться для нанесения на склеиваемые поверхности.

Из условий технологии изготовления болтоклеевых соединений и узлов строительных конструкций, склеивание которых должно происходить без подогрева, для составления эпоксидного клея должны применяться отвердители, не требующие нагрева, например гексаметилендиамин, полиэтиленполиамин и др.

В качестве наполнителей в эпоксидных клеях используют цемент, маршалит, корундовые порошки, каолин, тальк, железный, алюминиевый и чугунный порошки и пр. Роль наполнителя заключается в повышении прочности соединений и обличении коэффициентов термического расширения клея и склеиваемого металла, а также в снижении стоимости клея. Процент наполнения клея для болтоклеевых соединений равен 80%.

Из всего многообразия клеевых композиций на основе эпоксидных смол для болтоклеевых соединений могут быть использованы клеи, приведенные в табл. 31.

Клеевые композиции этих составов обладают следующими свойствами: 1) температура отверждения 18—20°C; 2) жизнеспособность при 20°C 1,5—2 ч; 3) время желатинизации при 20°C не менее 5 ч; 4) клеи наносятся кистью или шпателем; 5) клеи хорошо удерживаются на вертикальных поверхностях; 6) необходимая толщина клеевого слоя сохраняется при больших удельных давлениях.

Прочностные характеристики болтоклеевых соединений зависят от ряда технологических и конструктивных факторов (от способа подготовки сопрягаемых поверхностей, величины осевого натяжения высокопрочных болтов, площади склеивания, приходящейся на один болт, т. е. от расстояния между болтами, и пр.).

Компоненты	ГОСТ или ТУ	Содержание компонентов (г) в клеях	
		ЦНИИПСК	УП-5-147
Смолы			
ЭД-5	ГОСТ 10587—72	—	100
ЭД-6	ОСТ 30-14026—68	100	—
Пластификаторы			
Полиэфир МГФ-9	ТУ-БУ 17—56	50	—
Эпоксидная смола УП-563	ТУ 11—212—69	—	100
Отвердители			
Полиэтиленполиамин И-5-М	ТУ 49—2529—62	10	—
	ВТУ ОП—302—68	—	80
Ускорители			
УП 606/2	МРТУ 6—09—6101—69	—	9
Наполнители			
Электрокорунд № 20	ГОСТ 3647—71	80	80

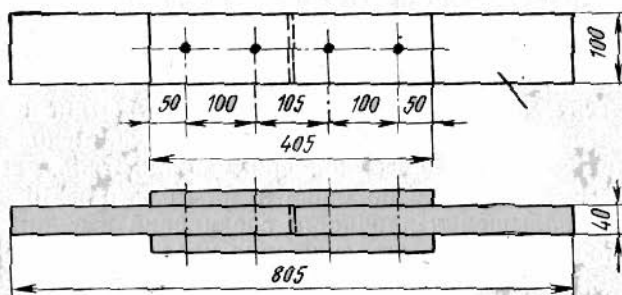


Рис. 41. Образец болтоклевого соединения

Характеристика и размеры образцов

№ образца	l_1		l_2		l		a	f
	через d	мм	через d	мм	через d	мм		
1	1	25	1	25	2	50	50	100
2	1,5	35	1,5	35	3	70	70	140
3	2	50	2	50	4	100	100	200
4	3	75	3	75	6	150	150	300
5	3	75	4	100	8	200	350	350

В ЦНИИпроектстальконструкция были исследованы свойства болтоклеевых соединений. Образцы представляли собой соединение двух плоских элементов, перекрываемых двумя накладками (рис. 41). Площадь склеивания, приходящаяся на один болт, представляет собой квадрат 100×100 мм. Толщины деталей образца принимались из расчета, чтобы в момент разрушения клеевого слоя, при приложении растягивающих нагрузок в соединяемых элементах и накладках не появлялись напряжения текучести.

За прочность соединения принималась максимальная растягивающая нагрузка, при которой происходило разрушение клеевой пленки и смещение соединяемых элементов относительно накладок. Характеристикой прочности соединения является усилие сдвига, отнесенное к единице площади (предел прочности при сдвиге), а также усилие сдвига, приходящееся на один болт.

На прочность болтоклевого соединения элементов решающее влияние оказывает состояние сопрягаемых поверхностей, зависящее от предварительной обработки. Цель предварительной обработки — удаление посторонних примесей, обеспечение максимальной однородности поверхности и максимальной по размерам эффективной площади.

Способы предварительной подготовки сопрягаемых поверхностей можно разделить на три вида:

1) химический способ — очистка растворителями, щелочами и кислотами, электролитическая анодизация, которая заключается в травлении в водном растворе смеси высококонцентрированных серной и фосфорной кислот, а также окислирование;

2) механический способ — обработка наждачной бумагой, абразивными камнями, пескоструйная обработка, металлической щеткой;

3) термический (огневой) способ — очистка ацетилено-кислородным пламенем.

Химический способ подготовки сопрягаемых поверхностей наиболее приемлем при склеивании элементов из алюминиевых сплавов и других цветных металлов. Применять химический способ очистки для болтоклеевых соединений на монтаже трудно.

При механической очистке на поверхности металла образуются шероховатости, которые в одних случаях улучшают смачиваемость поверхности, в других случаях снижают ее (табл. 32). Следовательно, прочность соединения зависит от формы шероховатости. Наиболее благоприятной формой является открытая, т. е. конусообразная, шероховатость. Такая форма чаще всего получается при очистке поверхностей абразивными камнями, пескоструем, механической щеткой или огневом способом (в том случае, если слой окислы полностью прокорродирован).

Максимальная прочность болтоклеевых соединений получается при очистке сопрягаемых поверхностей пескоструйным способом или наждачным камнем (см. табл. 32). Огневой способ

**Прочность болтоклеевых соединений в зависимости от способа
обработки сопрягаемых поверхностей**

Способ обработки поверхностей	Усилие сдвига, отнесенное к одному болту, кгс	Предел прочности при сдвиге, кгс/см ²
Огневой	34500—37700 35200	183,5—200,5 189,9
Металлической щеткой	34100—38100 35620	181,3—202,6 189,1
Пескоструйный	40850—46000 42470	216,3—244 224,8
Наждачным камнем	41300—45600 44030	219—242 233,6

Примечание. В числителе даны наименьшее и наибольшее значения, а в знаменателе — среднее.

очистки и очистка металлической щеткой дают снижение прочности болтоклевого соединения на 15—20%, что должно учитываться при проектировании и расчетах соединений.

Чтобы получить надежный клеевой шов в болтоклеевых соединениях, необходимо обеспечить плотное прилегание друг к другу сопрягаемых поверхностей. Достигается это тщательной правкой деталей и сжатием собранного пакета высокопрочными болтами.

Величина осевого натяжения высокопрочных болтов влияет на прочность соединения, которая повышается с увеличением осевого натяжения болтов. Однако повышение прочности происходит до определенной величины, а затем приостанавливается.

На графике (рис. 42) видно, что прирост прочности болтоклевого соединения наиболее интенсивно происходит при натяжении болтов в пределах от 5 до 18 тс. Дальнейшее увеличение натяжения болтов дает незначительное увеличение прочности. Поэтому в болтоклеевых соединениях за оптимальное натяжение высокопрочного болта следует принять (для болтов М24) 20 тс.

На прочность соединения влияет и величина площади сопряжения. Если увеличить площадь склеивания, приходящуюся на один болт, т. е. увеличить зону влияния одного болта, то прочность болтоклевого соединения возрастет.

Исследования, проведенные на образцах, отличающихся размерами площадей сопряжения (рис. 43), показали, что одновременно с увеличением общей прочности соединения и усилия сдвига, отнесенного к одному болту, происходит снижение предела прочности при сдвиге (табл. 33).

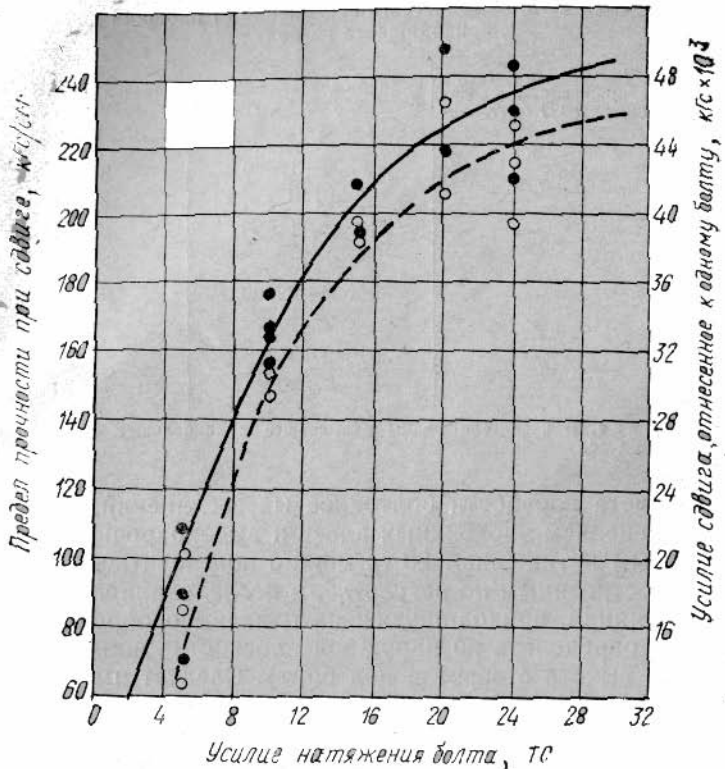


Рис. 42. Изменение прочности болтоклевого соединения в зависимости от величины осевого усилия в болтах
 ● — предел прочности при сдвиге; ○ — усилие сдвига, отнесенное к одному болту

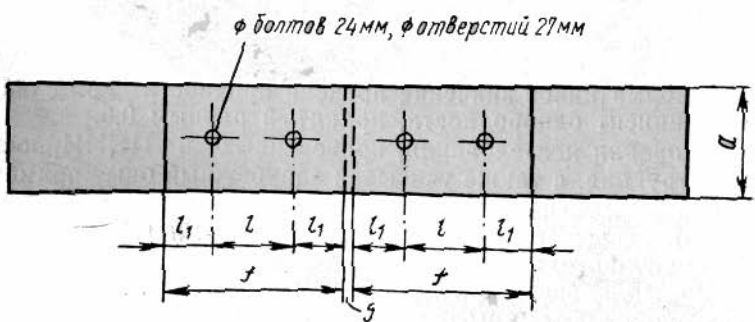


Рис. 43. Образцы с различной зоной влияния болтов

Зависимость прочности болтоклевого соединения от площади сопряжения, приходящейся на болт

№ образца	Размеры площади сопряжения, приходящиеся на 1 болт, см ²	Усилия сдвига, отнесенное к одному болту, кгс	Предел прочности при сдвиге, кгс/см ²
1	25	9500—10850	381—434
		9740	391
2	50	13650—14650	274—298
		14230	283
3	100	20650—22800	207—228
		22300	223
4	350	21500—31375	62—84
		27590	74

Примечание. В числителе даны наименьшее и наибольшее значения, а в знаменателе — среднее.

Для расчета прочности болтоклевых соединений, выполняемых с применением эпоксидных клеев и высокопрочных болтов М24, с осевым натяжением 20 тс можно пользоваться графиком (рис. 44), построенным по результатам исследований. Величину площади влияния, приходящуюся на один высокопрочный болт, необходимо определять по наружной плоскости прикрепляемой детали (без вычета отверстия под болт). Следует иметь в виду, что приведенные в графике величины усилий предусматривают в соединении две плоскости сдвига (двухсрезное соединение). В случае, если в соединении только одна плоскость сдвига (односрезное соединение), величины усилия сдвига, отложенные по оси ординат, надо уменьшить вдвое.

В таблице к рис. 44 приведены значения сдвигающих усилий и предела прочности при сдвиге, определенные из графика. Эти величины должны рассматриваться как нормативные. Для расчетов их следует брать с коэффициентом однородности. Расчетное значение предела прочности при сдвиге

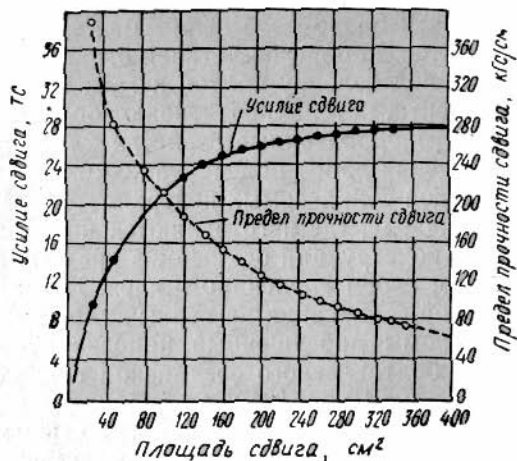
$$R = k R_n,$$

где R_n — нормативное значение предела прочности при сдвиге; k — коэффициент однородности, принятый равным 0,6.

На основании исследований, проведенных в ЦНИИпроект-стальконструкция, а также учитывая зарубежный опыт применения болтоклевых соединений в строительных конструкциях, могут быть определены расстояния между болтами (шаг болта) и расстояния от болтов до обрезов деталей.

В табл. 34 приведены рекомендуемые максимально допустимые расстояния между высокопрочными болтами и от болтов до обрезов деталей в зависимости от диаметров высокопрочных болтов и от толщины наружной, наиболее тонкой, детали.

Рис. 44. Изменение прочности болтоклевого соединения в зависимости от размеров зоны влияния болтов

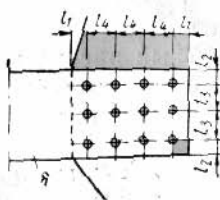


Значения сдвигающих усилий и предела прочности при сдвиге

Площадь сдвига, см ²	Усилие сдвига, тс	Предел прочности сдвига, кгс/см ²	Площадь сдвига, см ²	Усилие сдвига, тс	Предел прочности сдвига, кгс/см ²
25	9,8	390	220	26	115
50	14,2	285	240	26,4	110
80	19	232	260	26,8	103
100	21	210	280	27	96,5
120	23	190	300	27,2	85
140	23,8	170	320	27,4	80,5
160	24,8	155	350	27,6	79
180	25,2	140	360	27,8	73
200	25,6	128	400	27,9	69,5

ТАБЛИЦА 34

Рекомендуемые максимально допустимые расстояния между высокопрочными болтами и от болтов до обрезов деталей в болтоклеевых соединениях



Размер	Максимально допустимая величина
l_1	3 d или 4 δ
l_2	4 » » 8 »
l_3	8 » » 12 »
l_4	8 » » 12 »

Наименьшие расстояния между высокопрочными болтами и от болтов до обрезов деталей ограничиваются условиями постановки под головку болтов и гаек шайб, а также размером инструмента, которым затягивают болты.

Антикоррозионные свойства клея можно использовать для упрощения работ при монтаже конструкций. Это достигается обработкой сопрягаемых поверхностей не на монтажной площадке, а на заводе, где изготавливаются конструкции. На заводе поверхности конструкций очищают в пределах соединения и покрывают тонким слоем эпоксидного клея. На монтажной площадке перед сборкой соединения на первый слой, промытый теплой водой или ацетоном и просушенный, наносят второй клеевой слой. Прочность болтоклевого соединения с двухслойным покрытием снижается на 10—15% из-за увеличения толщины клеевой пленки.

Способность клея заполнять зазоры между деталями может быть использована в болтоклеевых соединениях для выравнивания депланаций между соединяемыми элементами. Ввиду того что при этом увеличивается толщина клеевой пленки между деталями, происходит некоторое снижение прочности. Так, если разность толщин соединяемых элементов не превышает 3 мм, то прочность снижается на 10—15%, а при разности 5 мм — уже на 25—30%.

Несмотря на снижение прочности, применение клея для выравнивания толщин соединяемых элементов целесообразно, так как отпадает необходимость изготовления дополнительных выравнивающих прокладок.

Выполнение болтоклеевых соединений производится по следующей технологической схеме: а) подготовка сопрягаемых поверхностей; б) подготовка высокопрочных болтов; в) приготовление клея; г) нанесение клея на сопрягаемые поверхности; д) сборка соединения и постановка высокопрочных болтов; е) затягивание высокопрочных болтов до проектного усилия; ж) контроль качества соединения.

Наиболее простыми способами подготовки поверхностей с технологической точки зрения является обработка абразивными кругами и металлической щеткой, которые могут быть механизированы применением электрических или пневматических шлифовальных машин.

Приготовлению клеев из отдельных компонентов следует уделять серьезное внимание, так как от качества приготовленного клея зависит прочность болтоклевого соединения.

На строительных площадках, где разовый расход клеев небольшой (1,5—2 кг), их надо готовить в специально оборудованных помещениях с соблюдением необходимых технологических требований.

Клееприготовительные помещения на монтажных площадках должны быть оборудованы: а) механическими клеемешалками с рабочим объемом от 1 до 10 кг. Целесообразно использовать

Вертикальные клеешалжи с планетарным вращением смесительных лопаток, а также компактные вертикальные клеешалжи с ветречным вращением смесительных лопаток; б) весами тарелочными с полным набором разновесов для отвешивания компонентов клея; в) мерной посудой различной вместимости; г) бачками с крышками; д) щетками и ершами для мытья посуды; е) стеллажами для посуды; ж) нагревательными приборами.

Необходимы также контрольно-измерительные приборы а) термометры для определения температуры клея; б) часы для контроля за временем приготовления клея и его использования.

Посуда для клеев должна быть из нержавеющей стали, дюралюминия, а также из полиэтилена и второпласта. Для готового клея она должна быть чистой и сухой.

Приготовление клеев заключается в смешивании отдельных компонентов в определенной последовательности. Готовить клей следует в количестве, не превышающем потребности на 1,5—2 ч работы. Для более точного отвешивания смолу необходимо разогреть до жидко-текучего состояния. Сначала в смолу вводят пластификатор, а затем, перед нанесением клея, — отвердитель, ускоритель и наполнитель.

Клеи для болтоклеевых соединений обладают высокой вязкостью, которая вызвана технологическими требованиями (клей должен хорошо удерживаться на вертикальных поверхностях). Поэтому механизация процесса нанесения клея несколько затруднена и на сопрягаемые поверхности его наносят кистью или шпателем. Сопрягаемые поверхности после нанесения на них клея собирают, а отверстия заполняют высокопрочными болтами.

Высокопрочные болты затягивают механическими гайковертами ИП-3106. Натяжение контролируют по крутящему моменту (тарировочными ключами типа КТР-3) или другим способом.

Излишки клея, выдавленные при затягивании болтов, должны быть удалены скребками.

Контроль за качеством болтоклеевого соединения осуществляется в процессе его выполнения и заключается в том, чтобы следить за тщательной подготовкой сопрягаемых поверхностей, приготовлением клея, его своевременным нанесением на поверхности, тщательным затягиванием высокопрочных болтов.

Впервые болтоклеевые соединения были применены при сооружении металлических пролетных строений двух мостов через канал Липпе-Зайтек (ФРГ); первый из них закончен строительством в 1955 г., а второй — в 1963 г.

При монтаже применялся клей на основе полиэфирной смолы; в первом случае — чистый клей, во втором — клей наполнялся порошком корунда.

В отечественной практике болтоклеевые соединения были применены в опытно-поисковом порядке при строительстве городского моста через р. Пенза.

Болтоклеевые соединения стальных конструкций применялись при сооружении павильона «Космос» на ВДНХ в Москве (1971 г.). Они применялись при монтаже балок встроженных конструкций и представляют собой прикрепление балок к колоннам, выполненным с двухсторонними накладками.

На сопрягаемые поверхности наносился эпоксидный клей, а элементы стягивались высокопрочными болтами М24.

Исследования советских и зарубежных ученых, а также опыт применения болтоклеевых соединений в строительстве показали их высокую эффективность и выявили целый ряд преимуществ, которыми они обладают по сравнению с соединениями на высокопрочных болтах.

К достоинствам болтоклеевых соединений следует отнести:

- а) увеличение расчетной прочности при равных размерах соединения и одинаковом количестве болтов на 30—40%;
- б) равномерность распределения напряжений в соединении, что повышает их вибрационную прочность;
- в) герметичность соединения;
- г) перенесение операции очистки сопрягаемых поверхностей на завод-изготовитель, что упрощает технологию монтажа;
- д) снижение количества высокопрочных болтов, что делает соединение более экономичным.

Наряду с этим болтоклеевые соединения обладают и рядом недостатков:

- а) отсутствие методов надежного контроля готовых соединений (определение качества клеевого шва);
- б) снижение прочности клеевой прослойки при старении;
- в) отсутствие в настоящее время композиций клеев, наносимых на склеиваемые поверхности при пониженных температурах;
- г) пока еще высокая стоимость эпоксидных смол.

Недостатки эти со временем легко устранимы, и можно полагать, что болтоклеевые соединения найдут широкое применение в металлических конструкциях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Богданов Т. М. Высокопрочные болты для соединения элементов стальных конструкций. НИИ мостов при ЛИИЖТе. Сообщение № 58. М., Трансжелдориздат, 1959.
2. Богданов Т. М. Соединения металлических конструкций на высокопрочных болтах. М., Трансжелдориздат, 1963.
3. Вейнблат Б. М. Высокопрочные болты в конструкциях мостов. М., «Транспорт», 1971.
4. Вейнблат Б. М., Мамлин Г. А., Цальман Л. Б., Вишневский И. И. К нормированию механических характеристик высокопрочных болтов. «Транспортное строительство», 1968, № 2.
5. Вейнблат Б. М., Вишневский И. И. К выбору технологии натяжения высокопрочных болтов. «Транспортное строительство», 1971, № 6.
6. Волок В. П. Опыт монтажа металлоконструкций с соединениями на высокопрочных болтах. В сб.: «Соединения конструкций на высокопрочных болтах». М., ЦБТИ Госмонтажпечестроя, 1965.
7. Вишневский И. И., Цальман Л. Б. Натяжение высокопрочных болтов механизированным инструментом. «Транспортное строительство», 1970, № 2.
8. Вишневский И. И., Цальман Л. Б. Натяжение высокопрочных болтов поворотом гайки на заданный угол. «Транспортное строительство», 1970, № 7.
9. Вишневский И. И., Цальман Л. Б. Натяжение высокопрочных болтов механическим инструментом. «Транспортное строительство», 1970, № 2.
10. Гладштейн Л. И., Левитанский И. В., Горожний В. А. Болтовые соединения в конструкциях из термоупрочненной стали. «Промышленное строительство», 1964, № 7.
11. Довженко А. С. О несущей способности стальных конструкций с соединениями на высокопрочных болтах. «Промышленное строительство», 1961, № 8.
12. Мамлин Г. А. Некоторые вопросы технологии изготовления металлических конструкций на высокопрочных болтах. «Транспортное строительство», 1969, № 8.
13. Мамлин Г. А. Динамометрический контрольный прибор. «Транспортное строительство», 1969, № 11.
14. Михайлов И. И., Колобова З. Н., Батизат В. П. Технология склеивания металлов. М., «Машиностроение», 1965.
15. Рогачевский А. Г., Тимошина Л. И., Моисеева В. М. Механические свойства и структура высокопрочных болтов. В сб. трудов НИИметиза «Производство металлоизделий промышленного назначения», 1969.
16. Хрулев В. М. Синтетические клеи и мастики. М., «Высшая школа», 1970.
17. Цальман Л. Б., Вишневский И. И. Опыт применения высокопрочных болтов на монтаже. В сб.: «Соединения конструкций на высокопрочных болтах». М., ЦБТИ. Госмонтажпечестроя, 1965.
18. Чесноков А. С. Сборка сдвигоустойчивых соединений металлических конструкций на высокопрочных болтах. «Промышленное строительство», 1965, № 1.
19. Чесноков А. С. Соединение алюминиевых конструкций на стальных высокопрочных болтах. «Промышленное строительство», 1965, № 5.

20. Чесноков А. С. Техническая помощь при постановке высокопрочных болтов. В сб.: «Соединение конструкций на высокопрочных болтах», М., ЦБТИ Госмонтажспедстрой, 1965.

21. Чесноков А. С. О качестве высокопрочных болтов для строительных конструкций. «Промышленное строительство», 1968, № 3.

22. Чесноков А. С., Княжев А. Ф. Комбинированные соединения стальных конструкций на высокопрочных болтах и клее. «Промышленное строительство», 1967, № 5.

23. Шапиро Г. А. Работа заклепочных соединений стальных конструкций. М., Стройиздат, 1949.

24. Эйнштейн Г. Склеивание металлов. Пер. с англ. М., Оборонгиз, 1960.

25. Временные указания по применению высокопрочных болтов при изготовлении и монтаже строительных стальных конструкций (СН 299—64), М., 1964.

26. Инструкция по устройству соединений на высокопрочных болтах в стальных конструкциях. М., Оргтрансстрой, 1970.

27. ТУ 14-4-87-72 «Технические условия. Высокопрочные термически обработанные болты и гайки диаметром М16—М27 для строительных стальных конструкций».

28. Указания по склеиванию строительных конструкций с применением пластмасс, алюминия и асбоцемента. М., Стройиздат, 1965.

29. Specifications for structural joints using ASTM A325 or A490 bolts (Research Council on Riveted and Bolted Structural Joints of the Engineering Foundation, 1964).

30. Galgöczy G. Die neuesten ungarischen Versuchsergebnisse über die Wirkungsweise von gleitfesten HV—Schraubenverbindungen sowie die Grundprinzipien des daraus resultierenden neu erarbeiteten Entwurfes über Berechnungs- und Ausführungsrichtlinien Der Stahlbau ausgabe für die Bautechnik Neft 12, 1969.

31. Munse W. H. Assemblage par boulons H R aux USA Engineering Journal N 1, 1967.

32. Vorläufige Richtlinien für Berechnung Aus Führung und bauliche Durchbildung von gleitfesten Schraubenverbindungen (HV—Verbindungen) für stählerne Ingenieur- und Hochbauten, 2 Ausgabe. Köln: Stahlbau—Verlag, 1963.

33. Munse W. H. and Birkemoe P. C. «High Strength Bolting of Galvanizing Connections». Symposium: Bolting Galvanized Connections and New Steel Design Specifications, The Australian Institute of Steel Construction and Australian Zinc Development Association, Melbourne, August, 1968.

ОПЕЧАТКИ

Стр.	Строка	Напечатано	Следует читать
49	4-я снизу	работа двухкамерных	работа однокамерных
		по $M_{кр}$	по $M_{кр}$
		110	110
104	Табл. 29, графы 3 и 4	110	по углу
		по углу поворота	поворота
		110	гайки
		135	135

I. Введение	3
II. Прочность сдвигоустойчивых соединений	13
III. Высокопрочные болты, гайки и шайбы для сдвигоустойчивых соединений	33
IV. Выполнение сдвигоустойчивых соединений на высокопрочных болтах	44
1. Основные требования, обеспечивающие качество выполнения	44
2. Обработка поверхностей трения	48
Пескоструйная обработка	49
Термическая обработка	52
Обработка металлическими щетками	55
Повторная обработка поверхностей трения	56
3. Инструмент для постановки высокопрочных болтов	58
Ручные ключи	58
Механические гайковерты	62
Тарировка и настройка ключей и гайковертов	69
4. Постановка высокопрочных болтов	71
Патяжение болтов по величине крутящего момента	72
Патяжение высокопрочных болтов по углу поворота гайки	82
V. Экономические показатели сдвигоустойчивого соединения на высокопрочных болтах	98
VI. Болтоклеевые соединения на высокопрочных болтах	108
Список литературы	119

Александр Степанович Ческоков
Александр Федорович Княжев

СДВИГУСТОЙЧИВЫЕ СОЕДИНЕНИЯ НА ВЫСОКОПРОЧНЫХ БОЛТАХ

Редактор издательства А. В. Болотниа
Внешнее оформление художника К. Д. Юрченко
Технические редакторы И. В. Панова, В. Д. Павлова
Корректоры В. С. Серова, А. М. Введенская

Сдано в набор 11/Х—1973 г.

формат 60X90^{1/16} д. л.

Тираж 5 000 экз.

Изд. № АУГ—3559

Подписано к печати 16/ХI—1973 г.

Бумага типографская № 2, 7,5 печ. л. (уч.-изд. л.)

Зак. 570

Цена 12 коп.

Средиздат

125777, Москва, Кузнецкий мост, д. 9

Подольская типография Союзполиграфпрома Государственного комитета
Система Министров СССР по делам издательства, полиграфии и книжной торговли
г. Подольск, ул. Кирова, 25