

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ПОДГОТОВКИ ВЫСОКОПРОЧНЫХ БОЛТОВ К ПОСТАНОВКЕ В КОНСТРУКЦИИ

**В**ажным технологическим параметром в производстве высокопрочных метизов является обеспечение оптимальных условий трения в резьбе и по опоре гайки. Этот параметр характеризуется коэффициентом закручивания  $K_3$ , от величины и стабильности которого зависит качество контролируемой затяжки болтов при сборке соединений, а также уровень касательных напряжений, передаваемых стержню болта при его натяжении закручиванием гайки.

Заданное технической документацией усилие натяжения высокопрочных болтов обеспечивают закручиванием гайки с необходимым расчетным моментом закручивания (натяжением по моменту закручивания).

Расчетный момент закручивания  $M_3$ , необходимый для натяжения болта, определяют по формуле  $M_3 = K_3 Pd$ , где  $P$  – расчетное усилие натяжения болта, приведенное в технической документации;  $d$  – номинальный диаметра болта.

Высокопрочные болты, гайки и шайбы перед установкой в конструкцию должны быть очищены от грязи, консервирующего масла и подготовлены таким образом, чтобы при натяжении обеспечивались регламентированные стандартами значения  $K_3$  и исключалось загрязнение соединяемых болтами контактных поверхностей, как правило, фрикционных соединений. Гайка должна свободно (от руки) накручиваться по резьбе болта.

Согласно требованиям ГОСТ 22356-77 и ГОСТ Р 52644-2006 болты должны иметь коэффициент закручивания не более 0,20 и не менее 0,14.

Как показывают результаты исследований, при сухом трении в резьбовом соединении получаются очень высокие коэффициенты трения и, как следствие, высокий коэффициент закручивания. Консистентная смазка, нанесенная на сухие обезжиренные поверхности, не создает сплошной граничной пленки, и хотя коэффициент трения в резьбе снижается более чем в 2 раза, значение коэффициента закручивания остается еще высоким.

Резкое снижение рассматриваемых показателей наблюдается при нанесении на заводе консервирующей смазки на горячие (после термообработки) изделия. Эти результаты нельзя считать устойчивыми, так как часто болты под-



**Л.М. Рабер**

доцент  
Национальной металлургической  
академии Украины, к.т.н.,  
г. Днепр



**А.Е. Червинский**

ассистент  
Национальной металлургической  
академии Украины,  
г. Днепр



**В.К. Сидоренко**

старший преподаватель  
Национальной металлургической  
академии Украины,  
г. Днепр

вергаются консервации не сразу после термообработки, а в холодном состоянии. Кроме того, свойства смазки с течением времени изменяются: при хранении на приобъектном складе она высыхает, загрязняется абразивной пылью.

Дополнительное нанесение на смазанную при заводской консервации резьбу графитной смазки типа НК-50, солидола практически не влияет на коэффициент трения. Значительно снижает коэффициент трения в резьбе и коэффициент закручивания сернисто-молибденовая смазка. Почти такой же эффект получается при нанесении на обезжиренную и нагретую примерно до 100 °С поверхность тонкого слоя минерального масла. Особенно низкие значения коэффициента трения наблюдаются при нанесении парафина (нагретые болты и гайки окунают в расплав).

При выборе эффективных сортов смазок для высокопрочных болтов парафин был исключен из-за низкой температуры плавления и изменения свойств при отрицательной температуре. Сернисто-молибденовая смазка не получила широкого применения в связи с высокой стоимостью и дефицитностью.

Минеральная смазка не имеет указанных недостатков. Разработанный контейнерный способ ее нанесения позволяет за один прием [1] подготовить большое количество болтов и гаек. При этом их очистка от заводской консервирующей смазки и различных загрязнений осуществляется в следующем порядке. Размещенные в решетчатом контейнере изделия погружают в бак с кипящей водой. После небольшой выдержки контейнер вместе с нагретыми до температуры 70–80 °С изделиями перегружается в бак со смесью неэтилированного бензина с 10–15 % минерального масла типа «автол». В результате на трущихся поверхностях остается тонкая сплошная пленка смазки (бензин с нагретой поверхности испаряется), которая служит граничным слоем при трении. Испытания показали, что такой способ подготовки болтов обеспечивает стабильное среднее значение коэффициента закручивания 0,180 (среднеквадратическое отклонение 0,0086) и достаточно низкий уровень касательных напряжений в стержне болта от скручивания.

Однако нанесенная таким способом смазка недолговечна. Подготовленные болты должны быть установлены в конструкции и затянуты до нормативного усилия в течение 10 дней.

Наличие на резьбе болтов и гаек минерального масла затрудняет сборку фрикционных соединений, поскольку смазка не должна попадать на специально подготовленные поверхности соединяемых элементов.

Кроме того метод требует повышенного внимания к пожарной безопасности, поскольку смазка содержит 85–90 % бензина. Тем не менее такой способ регламентирован и широко применяется при монтаже стальных конструкций различного назначения.

Точно такой способ смазки принят при монтаже стальных конструкций мостов. Отличие состоит в том, что очистку болтов, гаек и шайб от заводской консервирующей смазки производят в подогреваемом до 80–90 °С щелочном растворе [2]. Однако это отличие не способствует увеличению долговечности смазки.

**Метод проб и ошибок.** Устранению отмеченных недостатков в значительной мере способствует способ, разработанный Научно-производственным центром мостов [3].

Способ включает обезжиривание поверхности метизов раствором технического моющего средства О-БИСМ концентрацией 1,5–4,0 мас. %, содержащим кальцинированную соду и неионогенное ПАВ при температуре 45–55 °С в те-

чение 5–10 мин, первую сушку обдувом воздуха в течение 3–5 мин, последующее фосфатирование поверхности метизов в течение 30–60 мин ингибирующим составом, содержащим ортофосфорную кислоту, азотнокислый натрий, цинковый порошок, ингибитор НДА (нитрит дициклогексилламина), органический пигмент гелиоген зеленый L8730, этиловый спирт, воду, вторую сушку, комплектацию и упаковку метизов для транспортировки и/или хранения. Ингибирующий состав содержит следующие компоненты, мас. %: ортофосфорную кислоту, азотнокислый натрий 0,2–0,3, порошок цинка 10,0–12,0, ингибитор НДА (нитрит дициклогексилламина) 0,5–1,0, органический пигмент гелиоген зеленый L8730 0,15–0,17, этиловый спирт 0,5–1,0, вода – остальное. Способ позволяет обеспечить временную антикоррозионную защиту высокопрочных метизов еще на этапе изготовления, а также на период их транспортировки и хранения в течение одного года, исключая дополнительную подготовку при проведении монтажных работ.

Перед отгрузкой на монтаж в заводских условиях контролируют коэффициент закручивания.

Авторы приведенного способа рассматривают случаи, характеризующие исходное состояние болтов, имеющих различные загрязнения, коррозию, а также повторно используемых. От оценки исходного состояния зависит количественный состав компонентов, преимущественно ортофосфорной кислоты.

В случае, если после окончательной подготовки болтов полученные значения коэффициентов закручивания  $K_z$  не удовлетворяют регламентированным требованиям, то цикл подготовки, включая обезжиривание, повторяют. При этом варьируют количеством ортофосфорной кислоты методом проб и ошибок.

Причем исходное состояние болтов, в т.ч. после их обезжиривания и первой сушки, определяют визуально, т.е. субъективно. Поэтому совершенствование методов подготовки высокопрочных болтов остается актуальной проблемой.

**Экспериментально-аналитический метод.** Как свидетельствуют результаты проведенных авторами исследований, отмеченные недостатки могут быть устранены.

В ходе исследований в качестве варьируемых параметров принимали значения после первой сушки и количество ортофосфорной кислоты в ингибирующем составе. Результаты исследований приведены в таблице.

Среднее значение $K'_3$ после первой сушки (обезжиривание)	Количество ортофосфорной кислоты, ОФ, %	$\frac{ОФ}{K'_3}$	Среднее значение $K_3$ после второй сушки	Коэффициент вариации $v = \frac{\sigma_{кв}^*}{K_3} \cdot 100\%$
0,2	15	75	0,21	20
	20	100	0,17	8
	25	125	0,1	10
0,3	25	83	0,25	10
	30	100	0,18	7
	35	117	0,12	20
0,4	35	88	0,28	15
	40	100	0,2	8
	45	113	0,2	25
0,5	45	90	0,3	22
	50	100	0,2	10
	55	110	0,18	30

$\sigma_{кв}^*$  – среднеквадратическое отклонение (стандарт)

Как видно из таблицы, влияние субъективной (визуальной) оценки исходного состояния резьбы устраняется инструментальным определением  $K'_3$  после первой сушки. При этом наилучший результат по величине и стабильности, т.е.  $0,17 \leq K_3 \leq 0,20$ , а коэффициент вариации  $v$  находится в пределах 7–10 %, достигается при условии когда  $ОФ = 100 \cdot K'_3$

Причем область существования этой зависимости находится в пределах  $0,20 \leq K_3 \leq 0,50$ .

Целесообразность такого ограничения объясняется тем, что после первой сушки не бывает значения  $K'_3 < 0,2$ .  $K'_3 > 0,5$  встречается в затянутых до нормативных усилий болтах, которые длительное время находились в эксплуатации. Как показали опыты, при таких усилиях (удельных давлениях) и длительном неподвижном контакте на участках сопряжения резьбы болта и гайки образуются мостики холодной сварки. При повороте гайки одновременно с разрушением этих мостиков деформируются поверхностные слои (пропахивание). Такие болты и гайки не могут быть повторно использованы.

В отдельных случаях (3-я и 6-я строки таблицы)  $K_3$  находится ниже регламентированного стандартом уровня. Для натяжения таких болтов потребуются меньший момент закручивания. Это способствует снижению трудоемкости выполнения соединений. Однако в динамически нагруженных конструкциях такие значения  $K_3$  неприемлемы, поскольку при действии циклических, вибрационных и других динамических нагрузок натяжение болтов может уменьшиться (легко закрутить, легко и открутить). Кроме того, при  $\frac{ОФ}{K'_3} > 100$  наблюдается

избыток ортофосфорной кислоты. В этом случае приходится применять промывку метизов водой от остатков кислоты.

Необходимые для реализации способа значения  $K'_3$  и  $K_3$  можно определить по методике, рекомендованной ГОСТ 22356-77, ГОСТ Р 52643-2006, в лабораторных условиях. В производственных условиях – способом согласно патенту на изобретение [4].

Количество болтов, подлежащих испытанию, определяется принятой доверительной вероятностью и доверительной оценкой точности измерения  $K_3$ .

**Вывод.** Таким образом, разработанный экспериментально-аналитический метод подготовки высокопрочных метизов даёт возможность объективно учитывать их исходное состояние. Это достигается тем, что вместо визуальной предложена инструментальная оценка. При этом многооперационный метод проб и ошибок в ходе приготовления смазочного состава заменен одной вычислительной операцией с использованием простой зависимости, область существования которой подтверждена практическим опытом.

Метод защищён патентом Украины [5] и может быть успешно использован в ходе монтажа, ремонта и реновации металлоконструкций различного назначения.

- [1] Рекомендации и нормативы по технологии постановки болтов в монтажных соединениях металлоконструкций. М.: ЦНИИПроектстальконструкция им. Мельникова, 1988. 23 с.
- [2] СТП 006-97. Устройство соединений на высокопрочных болтах в стальных конструкциях мостов. – М.: Трансстройиздат, 1998, с. 13–15.
- [3] Патент РФ на изобретение №2354748. Способ подготовки высокопрочных метизов для монтажа крупногабаритных конструкций и ингибирующий состав для их обработки / Агеев В.С., Кабанов Е.Б., Кунин С.С., Хусид Р.Г. – Заявл. 23.05.2007, Опубл. 10.05.2009. Бюл. №14.

- [4] Патент РФ на изобретение №2148805. Способ определения коэффициента закручивания резьбового соединения / Рабер Л.М., Кондратов В.В., Хусид Р.Г., Миролобов Ю.П. – Заявл. 26.11.1997, Опубл. 10.05.2000. Бюл. №13.
- [5] Патент України на корисну модель №107131. Спосіб підготовки високоміцних болтів для монтажу металлоконструкцій / Рабер Л.М., Червінський А.Є. – Заявл. 10.11.2015, Опубл. 25.05.2016. Бюл. №10

Надійшла 30.05.2016 р.