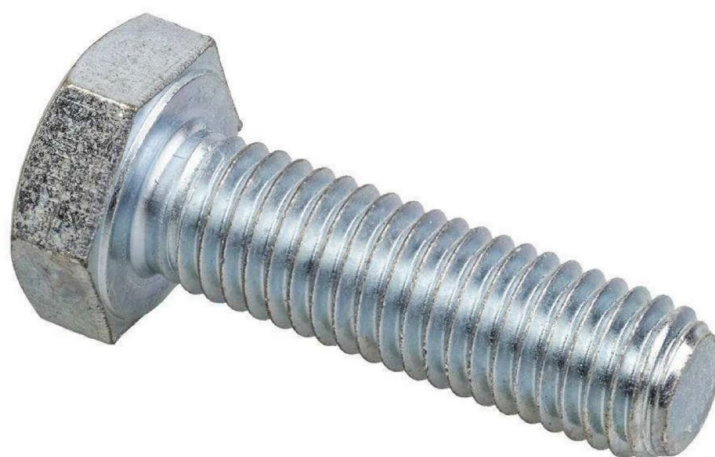


**Библиотека журнала
«Крепёж, клеи, инструмент и...»**

О качестве болтов



Сборник статей

2021

Содержание

1. О качестве высокопрочного крепежа
2. О качестве высокопрочного крепежа для транспортного строительства
3. Статистическая оценка качества высокопрочных болтов для аэровокзального комплекса «Внуково–1»
4. Сравнение качества высокопрочных болтов класса прочности 12.9, изготовленных различными производителями
5. Проблемы качества болтов класса прочности 5.8 для строительных конструкций
6. Пути совершенствования методов контроля качества болтов класса прочности 5.8

Гук В.О., к.т.н., технический директор
ООО «Болт.Ру»

О КАЧЕСТВЕ ВЫСОКОПРОЧНОГО КРЕПЕЖА

В последнее время возрос спрос на высокопрочный крепёж, используемый в конструкциях сооружений, работающих в жёстких климатических условиях и при больших знакопеременных нагрузках. Возможность обеспечения сроков эксплуатационной годности конструкций определяется надёжностью используемого высокопрочного крепежа, к которому по действующей международной классификации относятся изделия с временным сопротивлением на разрыв более 800 МПа.

Используемые производителем материалы и технологии, в том числе по холодной и горячей высадке заготовок болтов (гаек), накатке резьбы и нанесению коррозионностойкого защитного покрытия, определяют качество и надёжность продукции, а также её стоимость. Снижение стоимости высокопрочного крепежа (класс прочности более 8.8) не должно происходить за счёт отступлений от установленных технологических производственных операций или использования некачественных низколегированных сталей с высоким содержанием вредных примесей. Так, например, операция по нарезке резьбы не применима для высокопрочного материала. Накатка резьбы исключает перерезание волокон металла и обеспечивает более высокую их прочность за счёт упрочнения поверхностных слоев материала.

Марка материала, определяемая по его химическому составу, и режимы термообработки связаны с основными контролируемыми по ГОСТ Р 52643-2006 механическими свойствами:

- максимальной разрушающей нагрузкой, достигнутой в процессе испытаний на растяжение;
- пробной нагрузкой, являющейся контрольной величиной, в испытаниях на одноосное растяжение без разрушения изделия;
- твёрдостью;
- ударной вязкостью на изгиб;
- коэффициентом закручивания.

Все эти широко известные показатели обычно должны быть представлены в сертификате качества готовой продукции или в протоколах испытаний.

ГОСТ Р 52643-2006 «Болты и гайки высокопрочные и шайбы для металлических конструкций. Общие технические условия», заменивший ранее действовавший (до 1 января 2008 г.) ГОСТ 22356-77, предъявляет более

жёсткие требования к прочностным показателям, сужая интервал разброса показателей временного сопротивления на разрыв и твёрдости для высокопрочных болтов М16–М36 класса прочности 10.9.

Получаемые от зарубежного производителя сертификаты на готовую продукцию с климатическим исполнением ХЛ в ряде случаев ограничиваются показателем ударной вязкости до температуры не ниже минус 40 °С, что не всегда учитывает суровые климатические условия эксплуатации в нашей стране. Предотвратить хрупкое разрушение при температуре минус 60 °С в болтах класса 10.9 согласно ГОСТ Р 52643-2006 возможно только в материале с ударной вязкостью KCU-60 ≥ 39 Дж/см².

Установка резьбового соединения класса прочности 10.9 и выше требует дополнительного контроля за усилием натяжения болта, величина которого может колебаться в интервале 75–90 % от величины пробной нагрузки. Это усилие принято называть усилием предварительной затяжки. Высокое усилие предварительной затяжки не позволяет гайке самопроизвольно откручиваться во время эксплуатации, образуя фрикционное соединение элементов.

К сожалению, отечественное метизное производство далеко не в полной мере обеспечивает потребителя термообработанным высокопрочным крепежом классов прочности 9.8 — 12.9, особенно диаметром до 20мм (кл. пр. 10.9 и 12.9) и диаметром свыше М30 (М36, М39, М42 и М48) этих же классов прочности, хотя потребность в них сегодня достаточно велика. В связи с этим обстоятельством, а также по экономическим соображениям, на отечественном рынке высокопрочного крепежа присутствует множество фирм, поставляющих высокопрочный крепёж из более чем 5 стран Европы и Юго-Восточной Азии. Основным вопросом здесь является проблема качества, т.е. соответствие свойств поставляемого крепежа требованиям российских стандартов. Поэтому с целью сравнительной оценки качества высокопрочного крепежа класса прочности 10.9, изготовленного фирмой Peiner, с требованиями отечественных нормативов, в ЦНИИПСК им. Н.П. Мельникова были проведены исследования геометрических параметров и механических свойств импортных болтов и гаек. В табл.1–4 представлены механические свойства болтов и гаек фирмы Peiner.

Таблица 1. Механические свойства болтов фирма Reiper

Наименование объекта исследования	№ образца	Разрушающая нагрузка Р, Н	Временное сопротивление σ_v , Н/мм ²	Относит. сужение ψ , %	Относит. удлинение δ , %
Болт М16 х 80	1	183 000	1167,3	—	—
	2	181 000	1154,8	—	—
	3	178 360	1136,0	—	—
	4	176 400	1123,6	—	—
	5	181 300	1154,8	—	—
Требования ГОСТ 22356-77* к болтам М16		Мин. 173000	1100—1350	>40	>8
Требования ГОСТ Р 52643-2006 к болтам М16		Мин. 169200	1078—1274	>35	>8
Болт М36 х 150	1	950 600	1164,9		
	2	948 640	1162,5		
	3	955 500	1158,9		
	4	951 580	1166,1		
	5	945 700	1158,9		
Требования ГОСТ 22356-77 к болтам М36		898 000	1100—1550	>35	>9
Требования ГОСТ Р 52643-2006 к болтам М36		Мин. 879 600	1000—1200	>35	>9

**) Кроме требований ГОСТ Р 52643-2006, в таблицах 1-4 приводятся нормативные характеристики по ГОСТ 22356-77, который, несмотря на прекращение действия с 01.01.2008г. на территории РФ, является востребованным на территории СНГ.*

Таблица 2. Твёрдость высокопрочных болтов и гаек фирмы Reiper

Изделие	№ п/п	Твёрдость по Бринеллю, НВ
Болт М16 х 80	1	317, 321, 325
	2	321, 329, 329
	3	321, 321, 317
	4	325, 317, 321
	5	321, 329, 321
Требования ГОСТ 22356-77 к болтам от М16 до М27		≤388
Требования ГОСТ Р 52643-2006 к болтам от М16 до М27		331—388
Гайка М16	1	325, 321, 321
	2	285, 302, 298
	3	292, 285, 285
	4	302, 292, 292
	5	321, 321, 302
Требования ГОСТ 22356-77 к гайкам от М16 до М27		241—341
Требования ГОСТ Р 52643-2006 к гайкам от М16 до М27		272—353
Болт М36 х 150	1	321, 321, 317
	2	317, 321, 317
	3	321, 321, 325
	4	317, 317, 321
	5	321, 317, 321
Требования ГОСТ 22356-77 к болтам М36		≤388
Требования ГОСТ Р 52643-2006 к болтам М36		300—363
Гайка М36	1	269, 269, 272, 270
	2	269, 269, 266, 268
	3	269, 272, 269, 270
	4	266, 269, 269, 268
	5	272, 269, 269, 270
Требования ГОСТ 22356-77 к гайкам М36		229—341
Требования ГОСТ Р 52643-2006 к гайкам М36		272—353

Таблица 3. Результаты испытаний на ударный изгиб

Наружный диаметр резьбы болта, мм	№ образца	Температура испытания, °С	Ударная вязкость КСУ, Дж/см ²	Доля волокна в изломе, %
M16 x 80	1	20	124,5	100
	2	-40	96,0	70
	3	-40	94,1	78
	4	-60	76,4	55
	5	-60	83,3	60
M36 x 150	1	20	120,5	100
	2	-40	57,8	50
	3	-40	67,6	50
	4	-60	50,0	30
	5	-60	61,7	25
По ГОСТ 22356-77 для болтов исполнения ХЛ ударная вязкость при температуре 20 °С				КСУ ⁺²⁰ ≥ 50 Дж/см ²
По ГОСТ Р 52643-2006 для высокопрочных болтов класса прочности 10.9 ударная вязкость при температуре 20 °С				КСУ ⁺²⁰ ≥ 49 Дж/см ²
По ГОСТ Р 52643-2006 для высокопрочных болтов исполнения ХЛ твёрдостью 364-388 НВ ударная вязкость при температуре -60 °С				КСУ ⁻⁶⁰ ≥ 39 Дж/см ²

Таблица 4 Определение коэффициента закручивания

Номинальный диаметр резьбы болтов и гаек, мм	№ п/п	Коэффициент закручивания K _з	Номинальный диаметр резьбы болтов и гаек, мм	№ п/п	Коэффициент закручивания K _з
M16	1	0,174	M36	1	0,175
	2	0,175		2	0,174
	3	0,172		3	0,150
	4	0,170		4	0,172
	5	0,172		5	0,165
Требования к высокопрочным болтам по ГОСТ 22356-77				0,14 ≤ K _з ≤ 0,20	
Требования к высокопрочным болтам по ГОСТ Р 52643-2006				0,14 ≤ K _з ≤ 0,20	

Как следует из представленных данных, высокопрочный крепёж фирмы Peiner удовлетворяет всем требованиям отечественных стандартов (кроме небольших отклонений по характеристикам твёрдости — на 2–11 ед. НВ для болтов M16x80 и на 2–4 ед. НВ для гайки M36 от требований ГОСТ Р 52643-2006) и даже превосходит их, особенно по показателю ударной вязкости, что особенно важно для исполнения ХЛ. Немаловажным фактором высокопрочного крепежа фирмы Peiner является



возможность поставки его в горячеоцинкованном виде с толщиной коррозионно-защитного цинкового покрытия 45–60 мкм (в отличие от отечественных производителей, которые поставляют высокопрочный крепёж без защитного покрытия).

Представителем фирмы Peiner Umformtechnik GmbH в России является фирма ООО «Болт.РУ». Более подробную информацию о крепеже фирмы Peiner можно получить у автора статьи, вопросы можно направлять по e-mail: guk@bolt.ru.

Агеев В.С., к.т.н., генеральный директор
НПЦ мостов

О КАЧЕСТВЕ ВЫСОКОПРОЧНОГО КРЕПЕЖА ДЛЯ ТРАНСПОРТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА



В период с 2001 по 2007 год наша организация возглавляла авторский коллектив по разработке ГОСТ Р 52643-2006 — ГОСТ Р 52646-2006 на высокопрочные метизы для строительных конструкций, машиностроения и судостроения. Работа [1] выполнялась по заказу Министерства путей сообщений РФ и в сотрудничестве с ТК № 229 «Крепёжные изделия» Росстандарта РФ*.

Потребность в создании новых стандартов была обусловлена технической отсталостью метизных производств и, как следствие, низким качеством продукции, несоответствующим международным стандартам. Объём бракованной продукции мы имели возможность отслеживать, когда к нам обращались для проведения экспертных испытаний или в процессе строительного контроля, который мы осуществляем на объектах ОАО «РЖД».

Несмотря на длительный период разработки стандартов и участие в этом процессе научно-исследовательских организаций, заводов ОАО «Мостостройиндустрии» и ООО «Мостовой инспекции», к моменту введения их в действие 01.01.2008 года заводы страны и ближнего зарубежья оказались не готовы к выпуску продукции по новым требованиям. Проведённый НПЦ мостов по

**) здесь приводится статья в сокращённом виде, с полным текстом статьи можно ознакомиться на странице сайта <http://www.npcmostov.ru/?cat=information>*

заказу ОАО «РЖД» в январе 2008 года технический аудит метизных производств это подтвердил. Для подготовки к выпуску продукции по ГОСТ Р 52643-2006 — ГОСТ Р 52646-2006 заводам потребовалось полтора года.

Именно в этот период на российском строительном рынке появились высокопрочные метизы совместного российско-китайского производства, выпускаемые по российским стандартам на одном из предприятий в КНР. Организаторами этого предприятия преследовались цели: получение болтов требуемого качества и решение проблемы нехватки высокопрочных метизов из-за возросшего в 2007–2008 годах строительного производства в России. Было очевидно, что потребности многочисленных заводов металлоконструкций в товарных метизах не обеспечивались. В этот же период европейские производители стали активно предлагать свою продукцию, однако она не нашла спроса из-за высокой цены. Высокопрочный крепёж российско-китайского производства успешно конкурировал с продукцией отечественных поставщиков как по качеству продукции, так и по снижению затрат на устройство болтового соединения.

Отличительной особенностью высокопрочных метизов зарубежного производства является наличие на них защитного покрытия, исключающего необходимость их подготовки перед использованием на строительной площадке и защищающего их от коррозии в период хранения и во время эксплуатации. На основе этих болтов для ОАО «РЖД» нашей организацией разработана современная технология [2] комплексной защиты металлоконструкций от коррозии, позволяющая повысить эксплуатационную долговечность конструкций и снизить затраты на строительство. В настоящее время ни одно метизное производство в России не имеет собственных участков антикоррозионной защиты высокопрочных метизов, а имеющиеся в стране мощности могут удовлетворить не более 1–5% потребности строителей в таких метизах.

Для высокопрочных метизов зарубежного производства характерна высокая точность резьбы, обеспечивающая стабильный коэффициент закручивания болтов. Собранный нами статистика по некоторым объектам (например, реконструкция мостов через Обводный канал в Санкт-Петербурге на Октябрьской ж.д.) свидетельствует, что при использовании высокопрочных метизов российско-китайского производства уровень брака не

превышает 1%. При этом браком считается прокручивание болтов при приёмке собранного болтового соединения, причиной которого является характерный для этих болтов пониженный коэффициент трения по плоскости контакта между головкой болта и шайбой. На мосту на 245 км линии Санкт-Петербург — Москва Октябрьской ж.д. по этой причине было заменено 4 (!) болта из 7000 болтов, установленных на монтаже. В настоящее время наша организация совместно с производителем метизов работает над решением данной проблемы.

Введение новых российских стандартов сыграло свою положительную роль в производстве метизов. Отечественные заводы были вынуждены начать реконструкцию метизного производства и его техническое перевооружение. Сегодня некоторые из них уже достигли требуемого уровня качества продукции. На других предприятиях ситуация с качеством продукции остается по-прежнему неблагоприятной. Во многом это связано с тем, что отечественные стандарты на резьбонарезной инструмент не соответствуют современным требованиям к точности резьбы, и производители, использующие его, испытывают вполне закономерные трудности в её обеспечении.

Много вопросов по качеству высокопрочных метизов возникает из-за прочности болтов, гаек и их резьбы. Новые отечественные стандарты сохранили отечественные требования к уровню прочности болтов, который несколько выше, чем в зарубежных нормах. Это обеспечивает несущую способность болтовых соединений в типовых проектах пролётных строений мостов, разработанных до введения новых стандартов. Следует помнить, что маркировка класса прочности

на болтах «110» (1075 МПа) — не то же самое что маркировка класса прочности «10.9» (1040 МПа). Непонимание этого, в условиях отсутствия долговременной статистики величины коэффициента закручивания по различным производителям, может привести и уже приводило к срыву резьбы болтов во время сборки соединения.

Для болтов был введён нижний порог твёрдости и эталон микроструктуры, что должно гарантировать равномерность прочностных свойств по всему поперечному сечению болта. Специалистам известно, что с увеличением диаметра резьбы свыше M22 обеспечить сквозную прокаливаемость стали 40X становится сложнее. Этим стимулируется поиск новых сталей для изготовления высокопрочных болтов.

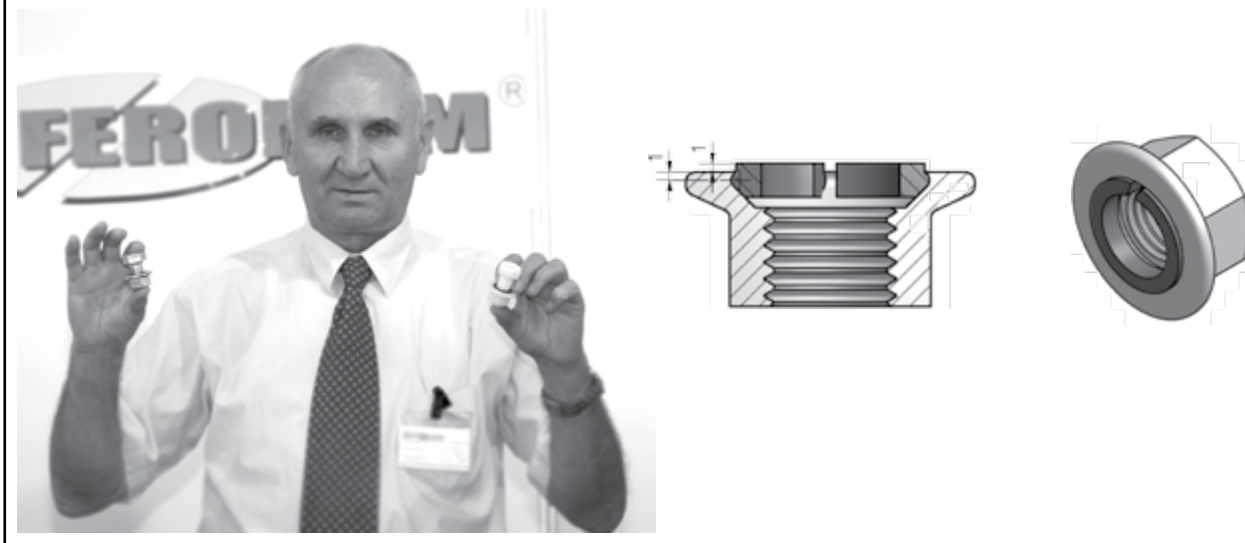
Для гаек был повышен уровень пробной нагрузки, который согласно стандартам ИСО принят равным верхнему пределу прочности болтов, вместо нижнего предела, как в предыдущих российских стандартах. Это гарантирует резьбовое соединение от отказов во время его эксплуатации.

В новых стандартах особое внимание уделяется проблеме обезуглероживания резьбы при изготовлении метизов. Это проблема носит как системный характер, поскольку многие производители получают прокат с обезуглероженным по поверхности слоем, так и характер случайной ошибки, вызванной сбоем в технологии производства. Периодический металлографический контроль резьбы и постоянный контроль за характером разрушения при испытании целых болтов на разрыв позволяет предотвращать поступление на строительную площадку метизов со скрытым браком.



САМОКОНТРЯЩАЯСЯ ГАЙКА ISTLOCK — ПРИЗЁР КОНКУРСА В ШТУТГАРТЕ

На конкурсе инноваций в области крепежа на выставке Fastener Fair Stuttgart обновился состав призёров. Среди новых изделий почётное третье место заняло изобретение Джозефа Доменика (фирма «Феродом», Словакия) — самоконтрящаяся гайка IstLock. Что из себя представляет эта гайка, думаем, понятно из рисунка. Она может быть использована в тех случаях, когда по каким-либо причинам нельзя применять гайки с нейлоновым вкладышем (DIN 985 или DIN 982) или клеевые фиксаторы резьбовых соединений. В гайке IstLock материалом стопорящего вкладыша может быть пластик или, для более широкого диапазона рабочих температур, — мягкий металл, например, медь.



Очевидно, что новые стандарты поставили перед производителями много задач. При этом с позиций качества продукции не так важно, кто, какими техническими средствами, на территории какого государства будет обеспечивать все требования российских стандартов, как это предусмотрено в Федеральном законе «О техническом регулировании». Открытость рынка является, по общепринятому в мире мнению, стимулятором улучшения качества продукции и услуг.

Многочисленные случаи поставки некондиционной продукции привели к необходимости принятия потребителями защитных мер. В ОАО «РЖД» постановлением № 1191р от 08.07.2009 года было ограничено количество поставщиков высокопрочных метизов, в число которых вошли лишь организации, изготавливающие одновременно металлоконструкции и метизы к ним. Это ЗАО «Воронежстальмост», ЗАО «Курганстальмост», ЗАО «Улан-Удэстальмост» и ООО «НПО «Мостовик». Принятое решение, на наш взгляд, сохранило здоровую конкуренцию и обеспечило стимул для технического совершенствования метизного производства в отрасли. Эти организации или уже провели добровольную сертификацию своей продукции на соответствие отечественным стандартам, или планируют это сделать в ближайшие месяцы.

Хочу подчеркнуть, что наша организация по заявкам потребителей и совместно с органом сертификации постоянно отслеживает качество продукции различных производителей либо в качестве независимой контролирующей организации, принимающей продукцию на заводе, либо независимой испытательной лаборатории. Объективность оценки, как и отрицательные результаты испытаний, зачастую не нравятся некоторым производителям и контролирующим их организациям. Однако мы видим, что в отрасли между производителями преобладает уважительное отношение к достижениям других, что заводы правильно понимают стоящие перед ними задачи по совершенствованию производства. Бесспорно, только в таких условиях можно рассчитывать на улучшение качества продукции при росте объемов производства.

Литература

1. Агеев В.С. и др. Высокопрочные болты с накатной резьбой для мостостроения. // Крепёж, клеи, инструмент и... №1(19), 2007, с. 16...18.
2. Агеев В.С. и др. Консервация контактных поверхностей металлоконструкций и крепёжных изделий на период предмонтажной подготовки. // Крепёж, клеи, инструмент и... №2(20), 2007, с. 21...29.

Горицкий В.М., д.т.н., заведующий отделом
Гусева И.А., н. с., к.т.н.
Сотсков Н.И., к.т.н., заведующий отделом
ЦНИИПСК им. Мельникова

Гук В.О., технический директор
Захаров В.В., директор
ООО «БОЛТ.РУ»

СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВЫСОКОПРОЧНЫХ БОЛТОВ ДЛЯ АЭРОВОКЗАЛЬНОГО КОМПЛЕКСА «ВНУКОВО-1»

Наиболее частой причиной отказа высокопрочных болтов является замедленное хрупкое разрушение [1, 2]. С целью предотвращения травматизма людей при отстреле (разрушении) болтов используют ограждающие сетки. Однако применение этих сеток в зданиях общественного назначения уродует эстетичный вид пространства.

В металлоконструкциях покрытия Аэровокзального комплекса «Внуково-1» использованы болтовые соединения с применением высокопрочных болтов М24 производства немецкой фирмы «Reiper». Площадь покрытия здания, выполненного в форме капли, выполненного с использованием высокопрочных болтовых соединений, составляет более 100 тыс. м² (13000 т металла). Для оценки надёжности болтовых соединений был применён выборочный входной контроль высокопрочных болтов, гаек и шайб. Всего в болтовых соединениях использовано приблизительно 13000 болтов М24 с длиной стержней от 50 до 110 мм.

Представляет практический интерес статистическая оценка качества высокопрочного крепежа фирмы «Reiper». Были исследованы болты, изготовленные из 18 плавок стали. Как видно из табл. 1, химический состав болтов производства фирмы «Reiper» по содержанию марганца и хрома близок по составу к стали марки 40Х-селект по ГОСТ 22356-77. Среднее содержание углерода составляет 0,33 % по массе. Кроме того, в металле высокопрочных болтов присутствует бор в количестве 0,002–0,003 % по массе (в одном случае зафиксировано содержание В < 0,001 % по массе) и небольшое количество ванадия (0,006–0,016 % по массе). Отличительной особенностью

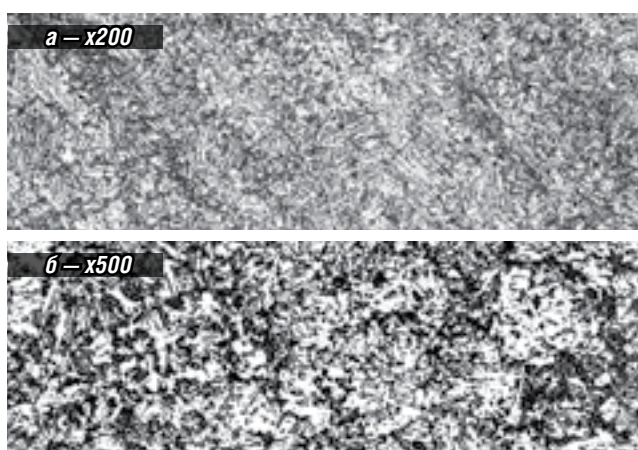


Рисунок 1. Микроструктура металла болтов М24х145 класса прочности 10.9 фирмы «Reiper».

исследуемой стали является её высокая чистота по содержанию вредных примесей: серы (не более 0,010 % по массе) и фосфора (не более 0,014 % по массе).

Введение в сталь 40Х бора в количестве 0,002–0,003 % существенно повышает её прокаливаемость. По всему сечению болтов М24 структура представлена сорбитом отпуска (рис. 1). По данным [3] одновременное присутствие в стали титана и бора упрочняют границы бывших аустенитных зёрен, являющихся в условиях коррозионного растрескивания под напряжением местом преимущественного зарождения и распространения трещин. Концентрируясь вблизи границ бывших аустенитных зёрен, бор повышает их прочность, снижая свободную энергию и препятствуя диффузии к ним и накоплению ионов водорода.

Таблица 1. Диапазон варьирования химического состава болтовой стали

	C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Cu	Al	Ti	V	B
1	0,30–0,37	0,07–0,19	0,73–0,80	0,003–0,010	0,006–0,014	1,02–1,07	0,03–0,15	0,03–0,15	0,025–0,037	0,002–0,0035	0,006–0,016	—
2	0,37–0,42* ±0,01	0,10–0,37 ±0,02	0,50–0,80 ±0,02	< 0,035	< 0,035	0,80–1,10						

1 — Химический состав стали болтов фирмы «Reiper».

2 — Диапазон варьирования химических элементов в стали 40Х-селект по ГОСТ 4543-71.

*) Содержание углерода в стали 40Х-селект по ГОСТ 22356-77 и по ГОСТ Р52643-2006 для высокопрочных болтов.

***) В одной плавке содержание В < 0,001 % по массе.

На рис. 2 представлена гистограмма распределения значений твёрдости в высокопрочных болтах. Измерения (по 5 уколов) производили на гранях головки болтов. Согласно ГОСТ Р 52643-2006 твёрдость для высокопрочных болтов регламентируется в интервале значений 331–388 НВ. Только 2,3% болтов производства фирмы «Reiper» имеют твёрдость менее 330 НВ.

Значения временного сопротивления стали 40Х, определённые на образцах, изготовленных из болтов М24, полностью удовлетворяют требованиям ГОСТ Р52643-2006, предъявляемым к высокопрочным болтам класса прочности 10.9 (σ_b не менее 1078 и не более 1274 МПа) (рис. 3, а). Испытания на разрыв

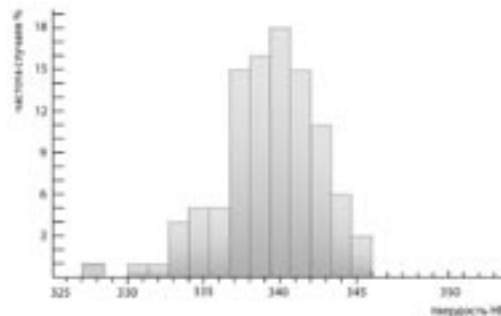


Рисунок 2. Гистограмма распределения значений твёрдости НВ в болтах М24.

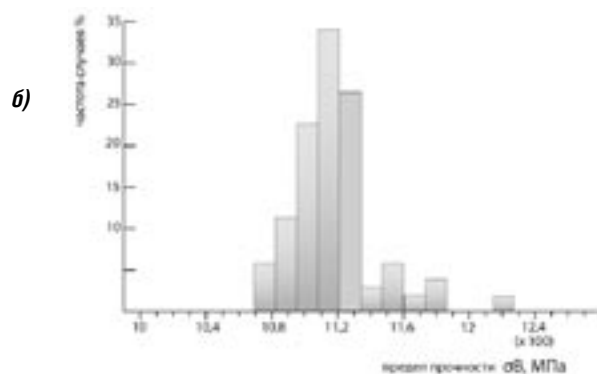
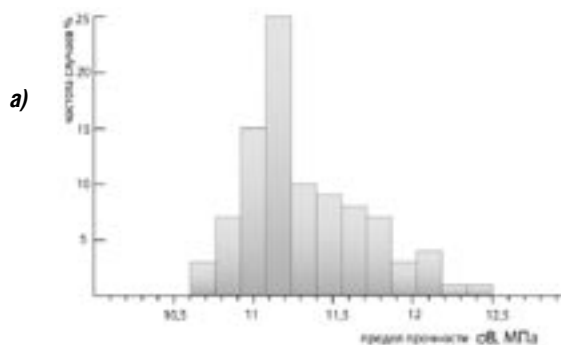
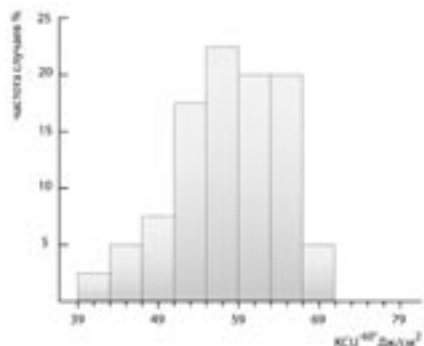


Рисунок 3. Гистограмма распределения значений временного сопротивления на образцах, изготовленных из болтов (а), и на болтах М24, испытанных на разрыв на косой шайбе (б)

Таблица 2. Статистические характеристики механических свойств высокопрочных болтов

Характеристика механических свойств	Объём выборки	Среднее значение	Геометрическое среднее	Стандартное отклонение	Стандартная ошибка
Временное сопротивление σ_b образцов, МПа	33	1162,8	1162,4	33,1	5,8
Временное сопротивление разрыву болтов на косо́й шайбе, МПа	51	1112,4	1112,0	30,8	4,3
Ударная вязкость КСУ при -60°C , Дж/см	27	58,7	58,5	5,5	1,1
Относительное удлинение δ , %	33	16,2	15,8	3,6	0,6
Относительное сужение ψ , %	33	55,6	55,4	3,6	0,6

Рисунок 4. Гистограмма распределения значений ударной вязкости болтовой стали при температуре испытания -60°C .

на косо́й шайбе целых болтов показывают более узкий диапазон рассеяния значений временного сопротивления (рис. 3, б). В обоих случаях выявляется одномодельный характер распределения значений σ_b , что предполагает стабильность технологии изготовления и термообработки болтов. Разница между средними значениями временного сопротивления, полученными на образцах и целых болтах, составляет 50,4 МПа.

Ударная вязкость стали болтов М24 производства фирмы «Reiner» показывает полное соответствие требованиям ГОСТ Р 52643-2006. При температуре испытания -60°C не зафиксировано ни одного случая, чтобы ударная вязкость была равна или ниже нормируемого уровня ($\text{КСУ}^{-60} > 39 \text{ Дж/см}^2$) (рис. 4). В 90 % случаев ударная вязкость больше 50 Дж/см². Последнее указывает на значительный запас вязкостных свойств болтовой стали. Среднее значение относительного удлинения (см. табл. 2) показывает двукратное превышение нормативных ($\delta > 8\%$) требований ГОСТ Р 52643-2006. Существенное превышение нормативного значения ($\psi \geq 40\%$ для болтов исполнения ХЛ) демонстрирует и другая характеристика пластичности — относительное сужение ψ (см. табл. 2).

Таким образом, высокопрочные болты М24х50-110 производства фирмы «Reiner» обладают высоким и стабильным комплексом механических свойств, обеспечивая надёжную работу болтовых соединений в ответственных металлоконструкциях. Не выявлено ни одного случая отказа высокопрочных болтов при

монтаже болтовых соединений в металлоконструкциях покрытия Аэровокзального комплекса «Внуково-1».

Литература

1. Горицкий В.М., Гусева И.А., Сотсков Н.И., Кулёмин А.М. Установление причины разрушения высокопрочных болтов М30 класса прочности 12.9 импортного производства // Промышленное и гражданское строительство. 2009, № 5, с. 21–24.
2. Горицкий В.М. Диагностика металлов // М: Металлургия. 2004, с. 408.
3. Гладштейн Л.И., Горицкий В.М., Евтушенко Н.А. Влияние титана и бора на склонность к коррозионному растрескиванию сталей для высокопрочных болтов // Физико-химическая механика материалов. 1984, № 4, с. 91–95.

Читайте ранее
вышедшие
номера
журнала,
сохранив их
в формате PDF,
или в режиме
online на сайте
www.fastinfo.ru

Горицкий В. М., зав. отделом экспертизы металлов, д.т.н.

Гусева И. А., научный сотрудник отдела экспертизы металлов, к.т.н.

Сотсков Н. И., зав. лабораторией исследования коррозии стали и защиты крепежа, к.т.н.

ЗАО «ЦНИИПСК им. Мельникова»

Гук В. О., технический директор, к.т.н.

ООО «Болт. Ру»

СРАВНЕНИЕ КАЧЕСТВА ВЫСОКОПРОЧНЫХ БОЛТОВ КЛАССА ПРОЧНОСТИ 12.9, ИЗГОТОВЛЕННЫХ РАЗЛИЧНЫМИ ПРОИЗВОДИТЕЛЯМИ

Возведение вместительных развлекательно-спортивных комплексов, стадионов, выставочных залов, высотных зданий с большими пролётами и толщиной элементов металлоконструкций 60–120 мм обуславливает интерес строителей к высокопрочным (в/п) болтам с более высоким классом прочности. Замена сварных соединений на болтовые сокращает сроки строительства и снижает требования к квалификации строителей. Кроме того, увеличение класса прочности болтов сокращает количество отверстий под болты и время их установки. По данным [1] при замене болтов из стали 40X по ГОСТ Р 52643-2006 [2] с временным сопротивлением 1078 МПа на болты класса прочности 12.9 с временным сопротивлением 1274 МПа или на сверхпрочные болты с временным сопротивлением 1400 МПа и выше теоретическое снижение количества болтов в соединениях составит соответственно 15% и 23% и более.

В связи с введением с 01.01.2006 г. ГОСТ Р 52643-2006, открывшим для практического применения класс прочности болтов 12.9, возникает вопрос об их качестве и надёжности, под последним чаще всего понимают обеспечение длительной долговечности болтов в болтовых соединениях металлоконструкций. Согласно ГОСТ Р 52643-2006, для болтов класса прочности 12.9 рекомендуется сталь 20X2НМТРБ (авторское свидетельство СССР на изобретение 954493). Опытные партии болтов М24 с временным сопротивлением 1590 МПа, т. е. с классом прочности значительно выше 12.9, из этой стали успешно выдержали испытания в промышленной атмосфере крупных предприятий горного и металлургического комплекса и при ускоренных испытаниях в условиях воздействия слабоагрессивной промышленной атмосферы с SO₂. Снижение содержания углерода в высокопрочной хромистой стали и дополнительного её легирования элементами Ni, Mo, Nb, Ti, В позволяют повышать сопротивление коррозионному растрескиванию (КР) и водородному охрупчиванию (ВО) в слабоагрессивной промышленной атмосфере болтов из стали 20X2НМТРБ (по сравнению с болтами из стали 40X) [3]. Устойчивыми против КР после закалки с низким отпуском при температуре 240 °С оказались стали 30X2НМАФ, 20X2СНМФТАР, 20X2НМФТАР и

20СМТАР [4]. На сталь 25X2НМФАТ получено авторское свидетельство СССР № 1347493, кл. С22 С38/50 1987 г.

Последующие события перестройки прервали переход к промышленному производству в/п болтов класса прочности 12.9 из стали 20X2НМТРБ и из других марок стали. В настоящее время болты класса прочности 12.9 поставляются зарубежными фирмами.

С целью гарантии качества крепежа для ответственных объектов применяется входной контроль. Так, при возведении металлоконструкций покрытия аэровокзального комплекса «Внуково-1» был использован входной контроль высокопрочных болтов М24 производства фирмы PEINER. Площадь покрытия здания составила 100 тыс. м². В болтовых соединениях использовали 13 000 болтов М24 с длиной стержней от 50 до 110 мм.

Благодаря контролю качества болтов за весь период строительства не было ни одного случая разрушения болтов М24 класса прочности 10.9 [5]. Переход к высокопрочным болтам более высокого класса прочности 12.9 требует увеличения внимания к качеству этих болтов.

Проведена работа по сравнению качества высокопрочных болтов, производимых фирмами PEINER (ФРГ) и GEM-YEAR INDUSTRIAL CO. LTD (Китай). Химический состав исследованных сталей приведён в табл. 1.

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

Измерения твёрдости по методу Бринелля проводили согласно ГОСТ Р 52627-2006 на гранях шестигранных болтов на твердомере 2109ТБ. Определение механических характеристик целых болтов при испытании на разрыв на косой шайбе осуществляли на гидравлическом прессе П-250. Испытания на динамический изгиб производили на маятниковом копре КМ-30 на образцах тип 1 по ГОСТ 9454-78, изготовленных из болтов М24x155, М30x220 и М30x155. Испытания на замедленное хрупкое разрушение (ЗХР) проводили на образцах, выточенных из болтов в соответствии с ГОСТ Р 52643-06 (Приложение Б). Образцы закрепляли в динамометре совместно с захватными приспособлениями в электрохимической ячейке, заполненной наводораживающим раствором (0,05 н. раствор H₂SO₄ +

20 мг/л SeO₂). Катодную поляризацию осуществляли источником постоянного тока плотностью 45–50 мА/см². В качестве анода использовали платину.

Необходимое растягивающее усилие создавали в образце с резьбой М10 путём закручивания гайки обычным ключом. Уровень растягивающего напряжения устанавливали по автоматическому электронному измерителю деформаций АИД-4. Уровень напряжений в образцах варьировали в диапазоне (0,6–0,8)· σ/σ_B , где σ_B — фактическое временное сопротивление образца, изготовленного из болта.

Металл болтов М24х155 производства фирмы PEINER по содержанию Mn, Cr, Ti близок к химическому составу стали 30ХГТ по ГОСТ 4543-71. Сталь 30ХГТ для изготовления высокопрочных болтов по ГОСТ Р 52643-2006 не предусмотрена. Металл болтов М24х155, по сравнению с марочным составом стали 30ХГТ, содержит 0,003% бора и 0,010% ванадия. Бор существенно повышает прокаливаемость стали, а ванадий измельчает зерно стали 30ХГТ. Оба типоразмера болтов М30 изготовлены из стали марки 38ХМ по ГОСТ 4543-71 с пониженным (на 0,02%) содержанием молибдена и повышенным (на 0,03–0,06%) содержанием марганца. Близость по химическому составу болтов М30х155 и М30х95 указывает на то, что их изготовили из одной плавки.

Общим свойством сравниваемых болтов М24 и М30 является высокая степень чистоты металла по вредным примесям: S 0,005–0,008% и P 0,010–0,014%. Высокий уровень чистоты сравниваемых сталей 30ХГТ и 38ХМ выявляется и по содержанию цветных примесей: никелю и меди (см. табл. 1).

Болты класса прочности 12.9 производства фирмы GEM-YEAR INDUSTRIAL CO. LTD (Китай), были отобраны от небетонированных конструкций 61-63 аутригерных этажей башни «Восток» комплекса «Федерация». Кроме того, с небетонированных участков конструкций были отобраны 3 разрушенных болта для установления их фактических механических свойств. Количество разрушенных болтов не превышало 0,1% от общего количества установленных болтов. В металлоконструкции фермы 61TR-9, узел 9-5В выявлено 3 разрушенных болта М30х155, что составляет 1,8% от общего количества болтов в этом узле (168 штук) и существенно превышает процентное соотношение разрушенных болтов в пределах обследованной небетонированной конструкции (рис. 1).

В табл. 2 представлены результаты испытаний на разрыв на косой шайбе целых болтов производства фирм GEM-YEAR INDUSTRIAL CO. LTD и PEINER. Как видно из табл. 2, один из исследованных болтов М30х220 китайского производства имеет повышенное временное сопротивление (на 53 МПа) по сравнению с нормируемым значением по ГОСТ Р 52643-2006 для болтов класса прочности 12.9. На этом болте установлены повышенные значения твёрдости (432...435 НВ). Остальные болты производства GEM-YEAR INDUSTRIAL CO. LTD и PEINER удовлетворяют требованиям, предъявляемых ISO 898/1:1999 к высокопрочным болтам ($\sigma_B \geq 1220$ МПа).

Согласно результатам измерения твёрдости, выполненного на гранях головок болтов, выявлено заметное различие

Таблица 1. Химический состав исследованных болтов

Типоразмер болта	Условный номер болта	Фирма-производитель	Содержание элементов, % по массе										
			C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Cu	Al	Ti	Другие элементы
М24х155	1	PEINER	0,31	0,20	0,87	0,007	0,010	1,15	0,09	0,12	0,039	0,030	V 0,010 Mo 0,02 B 0,003
М30х220	2	GEM-YEAR INDUSTRIAL CO. LTD	0,40	0,26	0,70	0,006	0,011	0,96	0,03	0,07	–	–	Mo 0,16
М30х155	3	GEM-YEAR INDUSTRIAL CO. LTD	0,40	0,27	0,71	0,008	0,014	0,97	0,03	0,08	–	–	Mo 0,16
30ХГТ ГОСТ 4543-71	–	–	0,24– 0,32 ±0,01	0,17– 0,37 ±0,05	0,80– 1,10 ±0,05	≤0,035	≤0,035	1,00– 1,30 ±0,05	–	–	–	0,03– 0,09 ±0,02	–
38ХМ ГОСТ 4543-71	–	–	0,35– 0,42 ±0,01	0,17– 0,37 ±0,02	0,35– 0,65 ±0,02	≤0,035	≤0,035	0,9– 1,3 ±0,02	0,3– 0,05	0,3	–	–	Mo 0,2–0,3 ±0,02

Таблица 2. Результаты испытаний на разрыв на косой шайбе

Фирма-производитель	Типоразмер болта	Максимальная нагрузка P _{max} , Н	Временное сопротивление σ _B , МПа
PEINER	24х155	490000	1388
GEM-YEAR INDUSTRIAL CO. LTD	М30х220	852600	1519
	М30х220	882000	1572
	М30х155	826140	1472
ГОСТ Р 52643-2006	М16–М30 класса прочности 12.9	–	Не менее 1274 Не более 1519

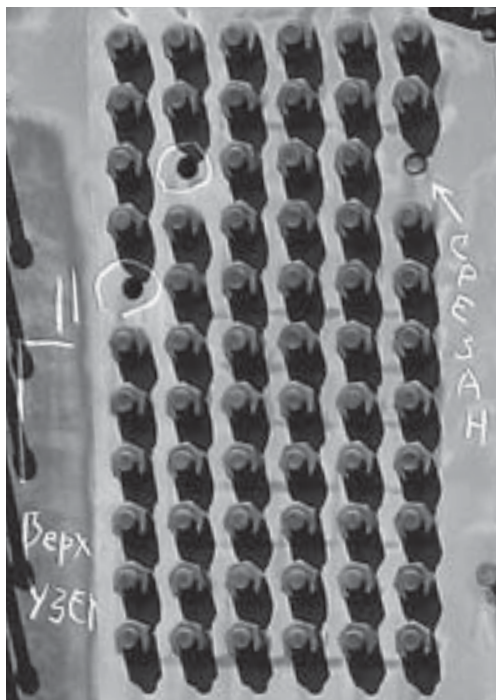


Рис. 1. Общий вид узла 9-5В фермы 61TR-9 в месте присоединения фасонки и раскоса к узлу 9Н

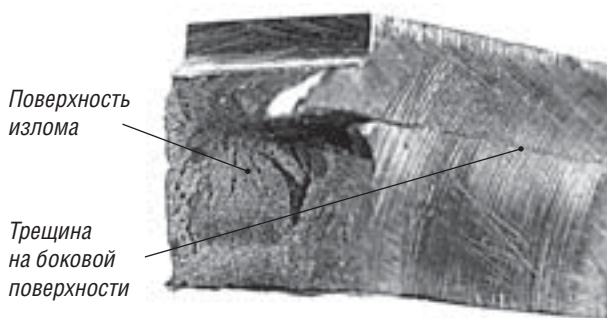


Рис. 2. Внешний вид половины ударного образца, изготовленного из болта М30х220 после испытаний

между болтами производства фирмы PEINER и GEM-YEAR INDUSTRIAL CO. LTD (табл. 3). Если все значения твёрдости болтов М24х155 удовлетворяют требованиям, предъявляемым ГОСТ Р 52643-2006 к высокопрочным болтам класса прочности 12.9, то для некоторых болтов М30х220 и М30х155 наблюдается отклонение от этих требований.

На двух болтах М30х155 (усл. № 12 и № 13) из трёх исследованных установлены повышенные значения твёрдости (417...429НВ) по сравнению с нормированными значениями по ISO 898/1:1999 (<414 НВ) и ГОСТ Р 52643-2006 (≤ 415 НВ).

Определение твёрдости на торцах стержней трёх разрушенных болтов М30х220 (табл. 4) показывает заметное

Таблица 3. Результаты измерения твёрдости болтов

Фирма-производитель	Типоразмер болта	Условный номер болта	Твёрдость
PEINER	М24х155	1	388;390;388
		2	388;385;385
		3	380;388;388
		4	385;388;390
GEM-YEAR INDUSTRIAL CO. LTD	М30х220	1	388;388;383
		2	375;373;383
		3	393;375;388
		4	393;393;401
		5	404;406;406
		6	435;432;432
		7	363;388;375
		8	393;388;405
		9	388;388;388
		10	383;383;375
ГОСТ Р 52643-2006	М16-М30 класса прочности 12.9	11	395;388;388
		12	417;429;415
		13	415; 420;420

Таблица 4. Результаты измерения твёрдости по сечению стержня болтов

Условный номер болта	Твёрдость НВ
1 р	401; 373; 401
2 р	406; 398; 401
3 р	406; 345; 401

различие в значениях твёрдости по сечению стержня. Максимальная разница между значениями твёрдости у края резьбы и в центральной части стержня достигает 61 НВ.

Результаты испытаний высокопрочных болтов на ударный изгиб представлены в табл. 5. Видно, что болты М24х155 и М30х220 удовлетворяют требованиям, предъявляемым ГОСТ Р 52643-2006 к высокопрочным болтам класса прочности 12.9 исполнения ХЛ. Полученные значения ударной вязкости на образцах № 11 и № 14 не являются показательными, так как эти образцы имели дефект в виде продольной трещины (рис. 2).

Один из двух образцов, изготовленных из болта М30х155, показывает KCU всего лишь на ~4 Дж/см² ниже нормативного значения. Учитывая достаточно заметный уровень вязкой составляющей в изломе двух испытанных образцов при температуре -60 °С, следует признать удовлетворительными результаты испытаний на ударный изгиб болтов М30х155.

С целью более надёжной оценки качества болтов М30х155 были проведены испытания на замедленное хрупкое разрушение (табл. 6).

Видно, что время до разрушения образцов при нагрузке $0,6 \sigma_B$ выше нормативного значения по ГОСТ Р 52643-2006. При нагрузках $0,7 \sigma_B$ и $0,8 \sigma_B$ получены неоднозначные результаты: на одном образце (из двух исследованных) время до разрушения ниже

Таблица 5. Результаты испытаний на ударный изгиб

Фирма-производитель	Типоразмер болта	Номер образца	Температура испытания, °С	Ударная вязкость КСУ, Дж/см ²	Доля вязкой составляющей в изломе, %	
PEINER	M24x155	1	+20	84,5	50	
		2	-60	45,2	6	
		3	-60	41,6	15	
		4	-60	43,6	13	
GEM-YEAR INDUSTRIAL CO. LTD	M30x220 (образцы 1-6 из болта №3 и 11-16 из болта №4)	1	+20	62,0	62	
		2	+20	64,1	65	
		3	+20	68,1	75	
		4	-60	43,2	10	
		5	-60	44,0	12	
		6	-60	39,1	10	
		11	-60	17,0*	5*	
		12	-60	44,2	7	
		13	-60	39,8	8	
		14	-60	29,0*	18*	
	15	-60	46,1	10		
	16	-60	42,0	20		
		M30x155	1	-60	42,1	20
			2	-60	34,9	16
	ГОСТ Р 52643-2006	M16-M30 класса прочности 12.9	-	+20	≥ 49	-
			-	-60	≥ 39	-

* В образцах на боковой поверхности выявлена продольная трещина.

нормативного значения. Однако следует иметь в виду, что коэффициент концентрации напряжений K_t для болта M30 составляет 2,40, а для используемого образца с резьбой M10 $K_t = 2,75$. Таким образом, при уровне напряжений $0,7 \sigma_B \dots 0,8 \sigma_B$ есть вероятность обнаружения склонности некоторых болтов к ЗХР. Последнее действительно выявлено при обследовании болтовых соединений металлоконструкций 59-65 аутригерных этажей башни «Восток» комплекса «Федерация». При этом контроль натяжения болтов по моменту закручивания с помощью динамометрического ключа с мультипликатором не выявил ослабленных болтов. Средняя величина момента затяжки составила 2400 Нм. Фактическая средняя величина усилия натяжения высокопрочных болтов после 2,5 лет эксплуатации составила 473 кН (48,3 тс).

ВЫВОДЫ

1. По результатам испытаний на разрыв болтов на косоугольной шайбе, твёрдость и ударную вязкость в/п болты класса прочности 12.9 производства фирмы PEINER обладают большей стабильностью механических характеристик относительно требований ГОСТ Р 52643-2006 по сравнению с болтами фирмы GEM-YEAR INDUSTRIAL CO. LTD.

2. Высокопрочные болты M30x220 производства фирмы GEM-YEAR INDUSTRIAL CO. LTD обладают удовлетворительным сопротивлением замедленному хрупкому разрушению, однако при уровне напряжений $0,7 \sigma_B$ и $0,8 \sigma_B$ отдельные болты могут обнаружить склонность к замедленному хрупкому разрушению.

Таблица 6. Результаты испытаний на ЗХР

Условный номер образца	Нагрузка в рабочей зоне образца, σ/σ_B	Критерии стойкости к ЗХР Время разрушения, мин	
		Исследованный образец	ГОСТ Р 52643-2006
1.2	0,6	270	≥ 220
1.2	0,7	140	≥ 150
2.1	0,7	157	
2.1	0,8	92	≥ 90

ЛИТЕРАТУРА

1. Гладштейн Л.И., Бабушкин В.М. Высокопрочные болты класса прочности 12.9 в монтажных соединениях строительных металлоконструкций // Промышленное и гражданское строительство. 2011, № 6, с. 37-39.
2. ГОСТ Р 52643-2006. Болты и гайки высокопрочные и шайбы для металлических конструкций. Общие технические условия.
3. Сотсков Н.И., Горицкий В.М., Морозова Л.Н. Сравнение склонности к коррозионному растрескиванию болтов из сталей 40Х и 20Х2НМФТРБ в слабоагрессивной среде // Физ.-хим. механика материалов. 1990, № 3, с. 115-117.
4. Склонность стали для высокопрочных болтов к коррозионному растрескиванию и водородному охрупчиванию. Шляфирнер А.М., Сотсков Н.И., Панфилова Л.М., Подольская Э.П. // Физ.-хим. механика материалов. 1987, № 3, с. 105-110.
5. Горицкий В.М., Гусева И.А., Сотсков Н.И., Гук В.В., Захаров В.В. Статистическая оценка качества высокопрочных болтов для аэровокзального комплекса «Внуково-1» // Крепёж, клеи, инструмент и ... 2010, № 3, с. 21-23.

Горицкий В. М., д. т. н., зав. лабораторией,
Сотсков Н. И., к. т. н., зав. лабораторией
ЗАО «ЦНИИПСК им. Мельникова»
Гук В. О., к. т. н., технический директор
ООО «ТК Болт.Ру»

ПРОБЛЕМЫ КАЧЕСТВА БОЛТОВ КЛАССА ПРОЧНОСТИ 5.8 ДЛЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

В строительной практике широко применяются резьбовые соединения с использованием болтов класса прочности 5.8. В течение многих лет для изготовления болтов этого класса, наиболее востребованного в нашей стране, применяли стали марок 10 и 20 по ГОСТ 1050–2013. Вследствие простого химического состава эти стали широко распространены в производстве и дешёвы в изготовлении. Поэтому строители широко используют болты из этих сталей для соединения различных металлических конструкций.

В связи с переходом на стандарты Евросоюза для болтов класса прочности 5.8, согласно ГОСТ ISO 898–1–2014, рекомендованы стали следующего химического состава: $C \leq 0,55$, $P \leq 0,05$, $S \leq 0,06$. Под это требование подходят как низко- и среднеуглеродистые стали марок 10, 20, 30 и даже 40, так и стали обыкновенного качества (ОК) — Ст3, Ст5. И многие производители, считая класс прочности 5.8 наиболее простым и неотвественным, используют стали ОК, что, на наш взгляд, непозволительно, учитывая большие допустимые содержания в них вредных примесей P и S %.

В связи с этим часто возникают нестандартные ситуации, связанные с разрушением болтов класса прочности 5.8 особенно большого диаметра в момент установки или через некоторое время после этого, причём довольно часто разрушенные болты имели удовлетворительные механические свойства, т. е. соответствовали установленным в ГОСТ ISO 898–1–2014 требованиям, в т. ч. по химическому составу.

Настоящая работа выполнена в связи с обращением потребителя о разрушении при установке в конструкциях до достижения нормативного усилия (момента) затяжки купленных болтов М30÷М42 класса прочности 5.8.

Целью работы является проверка возможности оценки качества поставляемых на отечественный рынок болтов класса прочности 5.8 согласно нормативным требованиям ГОСТ ISO 898–1–2014.

Для исследования были выбраны болты класса прочности 5.8 следующих типоразмеров: М30х120 мм, М36х190 мм, М42х150 мм и М42х200 мм, изготовленных в Китае по требованию заказчика из стали не менее марки 30.

Таблица 1 — Химический состав исследованного металла

Типоразмер болта, № п/п	Содержание элементов, % по массе								
	C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Cu	Другие элементы
М30х120 № 1	0,43	0,22	0,59	0,011	0,021	0,02	0,01	0,01	Al 0,004 Ti 0,006
М36х190 № 8	0,39	0,22	0,62	0,049	0,025	0,06	0,03	0,04	Al 0,004 Ti 0,006
М42х150 № 13	0,44	0,23	0,60	0,010	0,021	0,01	0,01	0,01	Al ≤ 0,002 Ti 0,003
М42х200 № 20	0,49	0,21	0,60	0,011	0,024	0,04	0,02	0,01	Al ≤ 0,010 Ti 0,003
Сталь 40 ГОСТ 1050–2013	0,37–0,45 ±0,01	0,17–0,37 ±0,02	0,50–0,80 ±0,03	≤0,030 ±0,005	≤0,035 ±0,005	≤0,25	≤0,30	≤0,30	–
Сталь 45 ГОСТ 1050–2013	0,42–0,50 ±0,01	0,17–0,37 ±0,02	0,50–0,80 ±0,03	≤0,030 ±0,005	≤0,035 ±0,005	≤0,25	≤0,30	≤0,30	–
Болты кл. пр. 5.8 ГОСТ ISO 898–1–2014	≤0,55	–	–	≤0,060	≤0,050	–	–	–	–

В табл. 1 приведён химический состав этих болтов, который показал: болты М36х190 мм изготовлены из стали 40, остальные болты — из стали 45. Если сравнивать требования по вредным примесям к сталям 40 и 45 по ГОСТ 1050–2013 и ГОСТ ISO 898–1–2014, то в первом случае они более жёсткие. При этом в болтах М36х190 мм (сталь 40) содержание серы достигает 0,049 %, существенно превышая предельные значения для этой стали согласно ГОСТ 1050–2013.

Следует отметить, что к болтам класса прочности 5.6 предъявляются те же требования, что и к болтам класса прочности 5.8, но в отличие от болтов класса прочности 5.8 им в качестве основного выставляется требование по работе удара $KV^{-20} \geq 27$ Дж (или ударной вязкости $KCV^{-20} \geq 34$ Дж/см²). Отсутствие для класса прочности 5.8 этого показателя значительно затрудняет оценку качества последних.

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Испытания на разрыв целых болтов выполнены на гидравлическом прессе П–250. Испытания на растяжение образцов, изготовленных из болтов, проведены на универсальной испытательной машине ЦД–40. Измерения твёрдости выполнены на твёрдомере 2109ТБ. Ударную вязкость определяли на маятниковом копре КМ–30 в основном на образцах типа 1 по ГОСТ 9454–78. Металлографические исследования выполнены на оптическом микроскопе Неофот–32 при увеличении от 2,6 до 200 крат. Травление шлифов проведено в 3 %-ном растворе HNO_3 в этиловом спирте.

Оценка качества болтов класса прочности 5.8 производится по следующим показателям:

- 1) пределу прочности на растяжение $R_m \geq 520$ МПа;
- 2) условному пределу текучести при остаточном удлинении 0,0048d для полноразмерного болта $R_{pf} \geq 420$ МПа;
- 3) напряжению от пробной нагрузки $S_p \geq 380$ МПа;
- 4) удлинению после разрыва полноразмерного образца $A_f \geq 0,22$;
- 5) твёрдости по Бринеллю $HB \geq 152–209$.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты испытаний на статическое растяжение полноразмерных болтов приведены в табл. 2. Значения временного сопротивления болтов (701–907 МПа) существенно выше номинального значения (520 МПа) по ГОСТ ISO 898–1–2014 для болтов класса прочности 5.8 и могут быть отнесены к классу прочности 8.8. Кроме того, разрушающие нагрузки значительно превосходят минимальные (нормативные) разрушающие нагрузки для болтов класса прочности 5.8. При этом разрушение болтов всех типоразмеров за исключением болта №23 из партии М42х200 мм имело ярко выраженные признаки хрупкого кристаллического разрушения. Разрушение болта №23 произошло по смешанному типу: вязкая часть и хрупкая кристаллическая.

Как следует из табл. 3, условный предел текучести образцов, вырезанных из болтов класса прочности 5.8, обнаруживает высокий уровень значений, приближаясь к значениям временного сопротивления R_m . Для болтов

Таблица 2 — Результаты испытаний на статическое растяжение полноразмерных болтов

Типоразмер болта, маркировка	Усл. № болта	Механические свойства			Зона разрушения, характер излома
		Min разрушающая F_m и пробная F_p нагрузки, Кн**	Разрушающая нагрузка $R_{факт}$, Кн	Временное сопротивление разрыву R_m , МПа	
Болт М30х120, BR 5.8	4	292/213	427	762	по резьбе, хрупко
	5	292/213	423	754	по резьбе, хрупко
	6	292/213	422	753	по резьбе, хрупко
Болт М36х190*, BR 5.8	10	425/310	725	733	по галтели с шейкой, хрупко
	11	425/310	693	701	по галтели с шейкой, хрупко
	12	425/310	695	703	по галтели с шейкой, хрупко
Болт М42х150, BR 5.8	16	582/426	1015	907	по резьбе, хрупко
	17	582/426	1013	905	по резьбе, хрупко
	18	582/426	1019	910	по резьбе, хрупко
Болт М42х200, BR 5.8	22	582/426	1094	977	по резьбе, хрупко
	23	582/426	500	446	по резьбе, хрупко
	24	582/426	1100	982	по резьбе, хрупко

Примечания: Номинальная площадь расчётного сечения болтов: М30 — 561 мм², М36 — 817 мм², М42 — 1120 мм²;
* расчётное сечение галтели болта 989 мм²; ** по ГОСТ ISO 898–1–2014.

M42x200 мм это различие не превышает 26–51 МПа, что составляет 0,96 R_{pf}/R_m . Такая же ситуация свойственна и для болтов M36x190 мм ($R_m - R_{pf} = 10 - 20$ МПа) и M42x150 мм ($R_m - R_{pf} = 31 - 70$ МПа).

Существенное сближение значений R_m и R_{pf} указывает на склонность стали к хрупкому разрушению. Менее опасной видится ситуация для болтов M30x120 мм из стали 45 ($R_m - R_{pf} = 150 - 175$ МПа).

Значения относительного удлинения, не являющегося обязательным показателем для болтов класса прочности 5.8, определённые на образцах, изготовленных из болтов M36x190 мм, M42x150 мм и M42x200 мм, находятся в интервале 4,6–7,4 %, что характеризует чрезвычайно низкую пластичность последних.

Результаты замеров твёрдости приведены в табл. 4, из которых следует, что болты M42x150 мм по уровню значений твёрдости удовлетворяют требованиям стандарта. В партиях болтов M36x190 мм и M42x200 мм два образца из шести исследованных имеют значения твёрдости, превышающие нормативное, что составляет 33 % брака. В партии M30x120 мм доля брака 16 %. Следовательно, болты M36x190 мм, M42x150 мм и M42x200 мм не соответствуют ГОСТ ISO 898-1-2014.

Результаты испытаний ударных образцов типа 1 по ГОСТ 9454-78, изготовленных из исследуемых болтов, приведены на рис. 1. В качестве нормативного значения работы удара была выбрана величина $KV = 27$ Дж при $t = -20$ °С, что соответствует ударной

Таблица 3 — Результаты испытания на растяжение образцов, изготовленных из болтов

Типоразмер болта	Условный номер образца	Механические свойства			
		Временное сопротивление разрыву R_m , МПа	Условный предел текучести R_{pf} , МПа	Относительное удлинение A , %	Относительное сужение Z , %
M30x120, BR 5.8	1	761	586	15,5	40,1
	2	809	659	12,3	28,8
M36x190, BR 5.8	7	837	827	10,6	32,5
	8	863	843	7,4	26,2
	9	859	848	5,5	20,3
M42x150, BR 5.8	13	909	869	6,0	27,9
	14	932	901	6,2	25,5
	15	939	919	7,2	24,6
M42x200, BR 5.8	19	948	897	5,5	23,6
	20	941	915	4,6	23,7
	21	971	931	6,1	22,2
Болты кл. пр. 5.8 по ГОСТ ISO 898-1-2014		≥520	-	-	-

Таблица 4 — Результаты замера твёрдости болтов

Типоразмер маркировка	Усл. №	HB ₁	HB ₂	HB ₃	HB _{ср}	Типоразмер маркировка	Усл. №	HB ₁	HB ₂	HB ₃	HB _{ср}
M30x120, BR 5.8	1	187	192	183	187	M42x150, BR 5.8	13	195	197	197	196
	2	198	196	197	197		14	199	195	197	197
	3	197	198	196	197		15	197	198	195	196
	4	205	217	217	216		16	197	192	187	192
	5	187	192	187	189		17	198	197	199	198
	6	187	197	198	194		18	187	185	189	187
M36x190, BR 5.8	7	192	194	190	192	19	217	217	218	217	
	8	207	197	201	202	20	206	201	202	203	
	9	212	218	217	215	21	207	201	207	205	
	10	201	196	198	198	22	217	217	217	219	
	11	192	197	197	195	23	198	210	196	198	
	12	218	219	216	216	24	207	209	205	207	
Болты кл. пр. 5.8 ГОСТ ISO 898-1-2014		152÷209 HB				Болты кл. пр. 5.8 ГОСТ ISO 898-1-2014		152÷209 HB			

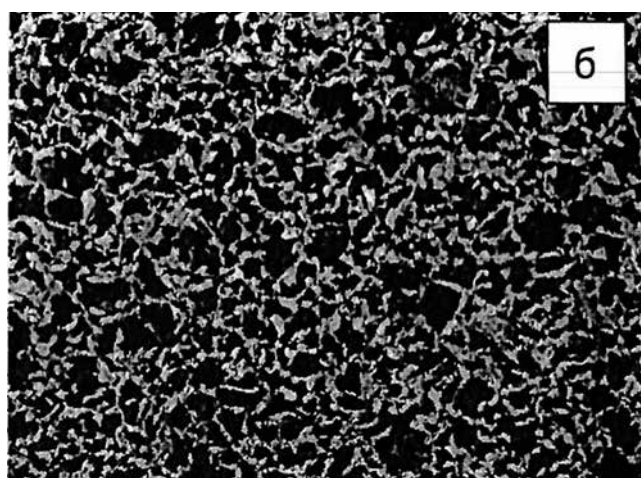
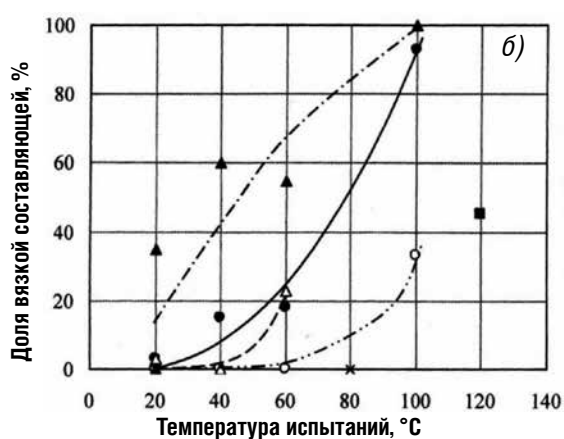
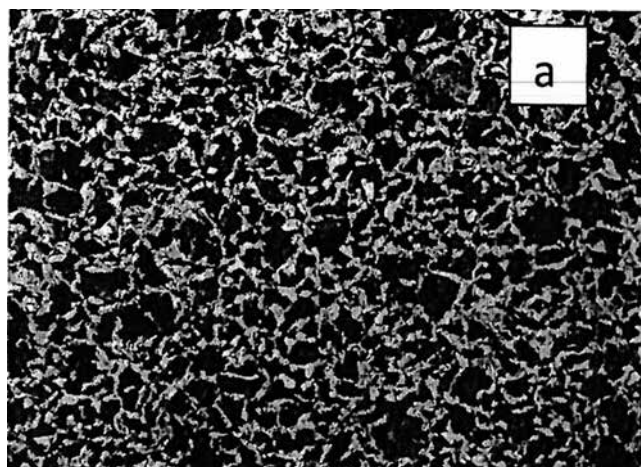
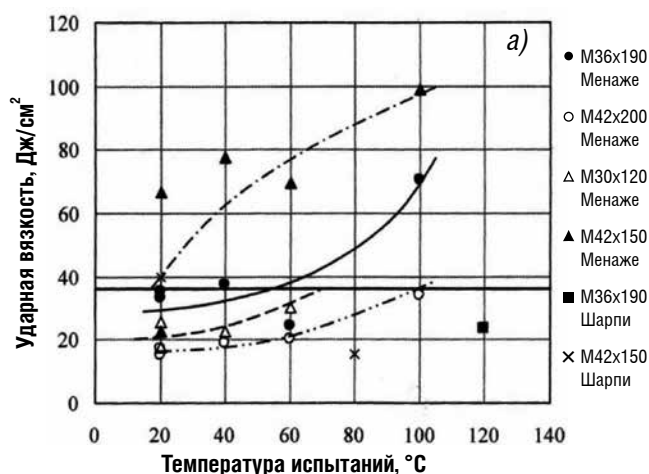


Рис. 1. Зависимость ударной вязкости KCU (KCV) (а) и доли вязкой составляющей в изломе (б) от температуры испытаний болтовой стали класса прочности 5.8

Рис. 2. Структура стали болтов M30x120 (а) и M42x150 (б); а, б — x200

вязкости в 34 Дж/см², установленной для болтов класса прочности 5.6. Согласно ГОСТ ISO 898-1-2014, болты классов прочности 5.6 и 5.8 имеют одинаковый химический состав и механические свойства за исключением ненормируемых для класса прочности 5.8 условного предела текучести R_{p1} и относительного удлинения при растяжении образцов, вырезанных из болтов.

Как видно из рис. 1, ударная вязкость болтов всех исследованных типоразмеров даже при комнатной температуре испытания не достигает нормативного значения в 34 Дж/см². Результаты определения критических температур хрупкости: а) T_{34} , под которой понимается температура, принимаемая за температурную границу изменения характера разрушения материала от хрупкого к вязкому и б) T_{50} , при которой доля вязкой составляющей в изломе равна 50 %, представлены в табл. 5. Болты M42x200 мм, M36x190 мм и M30x120 мм обладают повышенной склонностью к хрупкому разрушению: значения критических температур хрупкости T_{34} достигают следующих температурных значений: +100, +55 и +70 °С соответственно. Для болтов M42x150 мм значение T_{34} располагается несколько ниже темпера-

туры +20 °С, обнаруживая при этом большой разброс значений KCV при комнатной температуре (см. рис. 1). Значения T_{50} также располагаются в области повышенных температур (от +43 до +108 °С).

Таким образом, несмотря на соответствие механических характеристик болтов требованиям ГОСТ ISO 898-1-2014, все четыре партии болтов нельзя использовать в качестве крепёжных элементов конструкций ввиду их склонности к хрупкому разрушению.

Для сравнения с болтами класса прочности 5.6 на болтах класса прочности 5.8 были произведены испытания на образцах Шарпи (тип II по ГОСТ 9454-78). Как видно из рис. 1, даже при температурах +80 °С для болтов M42x150 мм и +120 °С для болтов M36x190 мм ударная вязкость не достигает значений 34 Дж/см². При этом образец из болта M42x150 мм обнаруживает полностью хрупкий кристаллический излом.

По данным металлографических исследований, все исследуемые типоразмеры болтов имеют ферритно-перлитную структуру, представленную на рис. 2.

Колонии перлита располагаются предпочтительно по границам зёрен феррита. Средний размер зёрен феррита, измеренный на травленных шлифах

Таблица 5 — Значения критических температур хрупкости

Типоразмер, маркировка болтов	T_{34} , °C	T_{50} , °C	Примечание
M42x200, BR 5.8	+100	+108	экстраполяция в интервале 8 °C
M36x190, BR 5.8	+55	+78	—
M30x120, BR 5.8	+70	>+60	интерполяция в интервале 10 °C
M42x150, BR 5.8	+18	+43	—

на расстоянии 1/4 радиуса от поверхности болта, составляет для болтов M30x120 мм, M36x190 мм, M42x150 мм, M42x200 мм значения 12,2; 14,2; 11,5 и 15,0 мкм соответственно. Вариация средних размеров зерна феррита не превышает 3,5 мкм. Наблюдается тенденция к укрупнению зёрен феррита по мере приближения к центральным зонам болтов.

На рис. 3 представлена связь критической температуры хрупкости T_{34} с долей перлита f_p в болтовых сталях (линия 1). Наблюдается существенное влияние перлита на сопротивление разрушению. Из этой зависимости выпадает значение, обнаруживающее наибольшее сопротивление хрупкому разрушению. Следовательно, на это отклонение влияет другой фактор. Линия 2 показывает связь T_{34} с величиной отклонения $1/\sqrt{d}$, где d — средний размер зерна феррита. Таким образом, в болтовых сталях на хладостойкость болтов класса 5.8 существенное влияние оказывают два структурных фактора: размер зерна феррита и доля перлита в ферритно-перлитной стали.

Представленные на рис. 3 данные указывают, что увеличения хладостойкости болтовых сталей следует добиваться как снижением содержания углерода (доли перлита), так и измельчением зерна феррита. Учитывая нечётко оформленные требования по механическим свойствам при растяжении, необходима коррекция ГОСТ ISO 898-1-2014.

Доля вязкой составляющей в изломе ударных образцов подтверждает высокую склонность исследованных болтов к хрупкому разрушению. Так, для болтов M42x200 мм в интервале температур испытания от +20 °C до +60 °C доля вязкой составляющей в изломе ударных образцов составляет 0–3 %. Склонность болтов M42x200 мм к хрупкости подтверждается фактом разрушения этих болтов при выполнении монтажа на строительной площадке. Хрупкое строение изломов ударных образцов характерно и для болтов M36x190 мм и M42x150 мм, испытанных при комнатной температуре. Для болтов M30x120 мм хрупкое строение изломов свойственно для температур испытания от +20 °C до +40 °C.

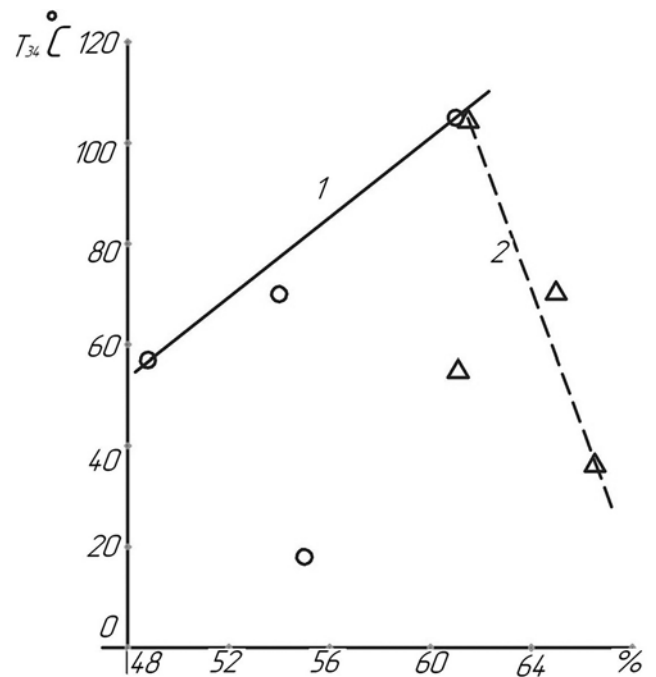


Рис. 3. Связь критической температуры хрупкости T_{34} с долей перлита f_p (1) и размером зерна феррита $1/\sqrt{d}$ (2) в ферритно-перлитной болтовой стали класса прочности 5.8

ВЫВОДЫ

1. Ударная вязкость КСЧ болтов M30x120 мм, M36x190 мм и M42x200 мм класса прочности 5.8 характеризует их повышенную склонность к хрупкому разрушению: критическая температура хрупкости T_{34} , установленная по работе разрушения для болтов класса прочности 5.6, составляет +70, +55 и +100 °C соответственно. Для болтов M42x150 мм значения критической температуры хрупкости T_{34} располагаются ниже +20 °C, обнаруживая почти трёхкратный разброс значений КСЧ = 23–66 Дж/см² при комнатной температуре испытания.

2. Доля вязкой составляющей (0–3 %) в изломе ударных образцов (тип 1 по ГОСТ 9454-78) при температуре испытания от +20 °C до +60 °C для болтов M42x200 мм; при температуре испытания +20 °C для болтов M36x190 мм и M42x150 мм и при температурах испытания от +20 °C до +40 °C для болтов M30x120 мм показывает опасность их применения при монтаже и эксплуатации. Это подтверждается фактом разрушения болтов M42x200 мм при выполнении монтажа на строительной площадке.

3. С целью снижения риска хрупкого разрушения в процессе эксплуатации для болтов класса прочности 5.8 необходима их обязательная аттестация на ударную вязкость. Кроме того, целесообразно внесение изменений в ГОСТ ISO 898-1-2014 в разделе «Химический состав стали» и верхних границ механических свойств болтов.

Ивченко А. В., к. т. н., с. н. с.

Рабер Л. М., к. т. н., доцент

Национальная металлургическая академия Украины

ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА БОЛТОВ КЛАССА ПРОЧНОСТИ 5.8

Данная публикация навеяна анализом и размышлениями относительно проблемы, озвученной в статье [1]. Суть проблемы состоит в том, что наблюдаются случаи, когда часть болтов класса прочности 5.8 из закупленных партий, при якобы полном соответствии требованиям нормативного документа (НД) ГОСТ ISO 898-1-2014 по химическому составу и механическим свойствам, разрушались в момент их установки (затяжки) или со временем при монтаже металлоконструкций. В статье на основании результатов испытаний полноразмерных болтов и обработанных образцов сделаны предположения, что НД имеет ряд недостатков, которые не дают возможности контролировать качество болтов из-за вероятности их хрупкого разрушения. Основные недостатки ГОСТ ISO 898-1-2014 авторы видят в следующем:

1. Отсутствие требований по ограничению верхних пределов характеристик прочности болтов.

2. Отсутствие требований по ударной вязкости к болтам класса 5.8.

3. Широкий разброс химического состава сталей для производства болтов класса прочности 5.8 по содержанию углерода, фосфора и серы ($\%C \leq 0,55$; $\%P \leq 0,05$; $\%S \leq 0,06$).

Однако анализ представленных в статье данных свидетельствует о том, что не всё так однозначно и убедительно в раскрытии сути обозначенной проблемы качества болтов класса 5.8. Несколько примеров:

1. Приводится перечисление показателей, по которым, согласно ГОСТ ISO 898-1-2014, должно оцениваться качество болтов класса прочности 5.8, но при этом в исследовании на самом деле применён контроль только по двум пунктам из пяти (определение предела прочности и твёрдости). Испытания на статическое растяжение полноразмерных болтов выполнены с определением только одной характеристики — временного сопротивления разрыву. Показано значительное превышение предела прочности болтов всех типоразмеров нормируемого значения (≥ 520 МПа). Однако на основании представленных результатов нельзя говорить о соответствии механических характеристик данных болтов требованиям НД ввиду того, что не определялось удлинение после разрыва полноразмерного крепёжного

изделия (A_f), предусмотренное ГОСТ ISO 898-1-2014. При определении уровня A_f для исследуемых болтов могло бы оказаться, что значение этой характеристики составляет менее 0,22, и эти болты могли изначально не соответствовать требованиям НД, а все последующие исследования, рассуждения и умозаключения относительно хрупкости болтов были бы лишены смысла.

2. Металлографические исследования также не дают полной информации относительно хрупкости болтов в связи с отсутствием их привязки к технологии изготовления болтов (которая в статье просто не упоминается) и места отбора проб для шлифов. Если относительно технологии специалисты ещё могут догадываться, что имеет место горячая штамповка, то дальше появляется много вопросов:

— вся ли заготовка под болт нагревалась или только та часть, где формировалась головка болта;

— какова температура нагрева;

— условия охлаждения изделия после штамповки;

— температура заготовки болта (или участка) перед накаткой резьбы;

— место отбора шлифов (головка болта, стержневой участок болта, резьбовой участок болта).

Многие из перечисленных вопросов относительно технологии изготовления болтов оказывают существенное влияние на характер их разрушения. Есть предположение, что данные болты после изготовления подвергались охлаждению в воде (закалке), что не предусмотрено НД для болтов класса 5.8 (см. Таблица 2, колонка «Материал и термическая обработка» ГОСТ ISO 898-1-2014). Такое охлаждение вызвало формирование неблагоприятных структур по границам зёрен, что привело к повышенной хрупкости болтов. Наличие закалки болтов в воде подтверждается также высокими значениями прочностных характеристик.

3. Для производства болтов класса прочности 5.8 применение сталей с содержанием углерода $\leq 0,55$ %; фосфора $\leq 0,05$ % и серы $\leq 0,06$ % было введено ещё ГОСТом 1759.4-87. И данное требование перекочёвывается из стандарта в стандарт на протяжении более 30 лет. И вдруг, спустя 30 лет (в 2017 г.), появляется проблема качества болтов класса 5.8, и авторы причину видят в

недостатках ГОСТ ISO 898-1-2014. Но ведь до этого проблема не проявлялась. Так может дело не в новом НД? Упоминается, что в ГОСТ 1050 было более благоприятное нормирование содержания фосфора и серы. Однако в сталях, из которых изготовлены исследуемые болты только для одного типоразмера (М36х190 мм), содержание серы в стали превысило требование ГОСТ 1050, для других типоразмеров болтов содержание серы в стали было ниже допустимого по ГОСТ 1050, а содержание фосфора было ниже допустимого по ГОСТ 1050 для всех типоразмеров. Поэтому в данном случае содержание серы и фосфора в стали не является причиной хрупкости болтов.

4. Представлен большой объём результатов по испытанию стандартных образцов на ударный изгиб, изготовленных из исследуемых болтов класса 5.8, которые сопоставлялись с требованиями данных испытаний для болтов класса 5.6. Однако испытания проведены с использованием двух типов образцов с различной остротой надреза и только при положительных температурах, что не соответствует требованиям ГОСТ ISO 898-1-2014. Поэтому полученные значения ударной вязкости (работы удара) засвидетельствовали повышенную склонность к хрупкому разрушению болтов класса 5.8 всех типоразмеров независимо от содержания углерода в стали, но не дали исходной информации для предлагаемого нормирования данной характеристики при внесении изменений в стандарт.

На основании представленных материалов авторами статьи [1] предлагается с целью снижения риска хрупкого разрушения в процессе эксплуатации для болтов класса прочности 5.8 осуществлять обязательный контроль их ударной вязкости, а также внести изменения в ГОСТ ISO 898-1-2014 в разделе «Химический состав стали» и установить границы максимальных значений прочностных свойств болтов. То есть выдвигается ряд предложений по дополнению и корректировке действующего стандарта.

Здесь необходимо отметить, что ранее на конференциях и в публикациях уже звучали предложения по совершенствованию НД на болты [2, 3]. Но, как показала практика, они остались незамеченными специалистами ТК 229 «Крепёжные изделия» и не нашли отражения в ГОСТ ISO 898-1-2014. Поэтому и новые предложения, по-видимому, останутся на уровне пожеланий.

Однако проблема качества болтов класса прочности 5.8 для строительных конструкций обозначена и требует своего решения. Некоторые соображения по поводу установления верхних пределов характеристик прочности для болтов класса прочности 5.8 и введения требований по ударной вязкости представлены в статье [4].

Ниже излагаются предложения по дополнительным методам контроля качества болтов класса прочности 5.8 для строительных конструкций, которые первоначально

могут быть регламентированы отдельным стандартом организации (СТО) или техническими условиями (ТУ).

1. Метод определения работы удара на специальных образцах

Наряду с нормированием величины работы удара для болтов класса 5.8 следует изменить тип применяемого ударного образца. В ГОСТ ISO 898-1-2014 оценка хрупкости образцов из болтов путем испытания на ударный изгиб методически прописана слабо. Вместо ударной вязкости контролируется работа удара образцов из болтов не менее М16 и только на одном типе образцов, и только при одной температуре испытания. При этом образец из болтов крупных типоразмеров имеет надрез на стороне, удалённой от поверхности болта, что искажает значения характеристики работы удара. Известно, что болтам, независимо от состояния (термически обработанные, деформированные после горячей объёмной штамповки), присуще наличие градиента структуры и свойств по поперечному сечению. Поэтому надрез на поверхности образца, располагаемой во внутренних слоях болта, не отражает истинных свойств металла при ударных испытаниях. Тем более, что в реальных условиях разрушение болта начинается от его поверхности.

В свете вышеизложенного представляется целесообразным для оценки работы удара болтов применять полунатурные образцы, близкие по сечению к стандартным (рисунки) с одной необработанной стороной (поверхностью реального крепёжного изделия), где в качестве надрезов будет выступать непосредственно резьба. Изготовление таких образцов менее трудоёмко, чем образцов по НД. При этом такие образцы можно будет изготавливать из болтов сортаментом менее М16 как с полной, так и неполной резьбой, а также из шпильки. Для последнего вида крепежа актуальность такого типа ударного образца возрастает, так как все манипуляции производителей, которые уменьшают угол резьбы до 45° и 30°

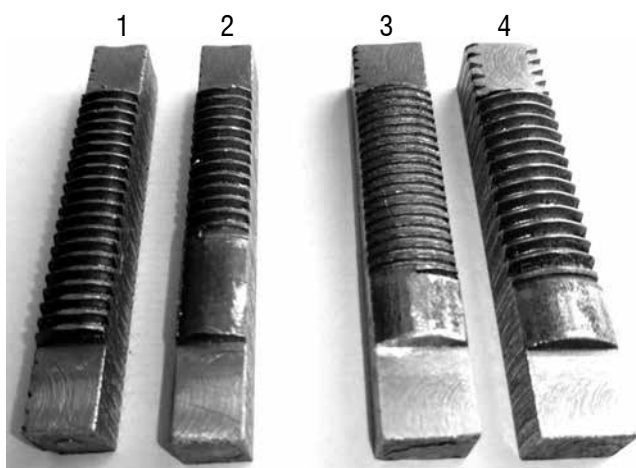


Рисунок — Внешний вид образцов на ударный изгиб, изготовленных из болтов М12 (1 — с полной, 2 — с неполной резьбой) и М16 (3 — с мелким, 4 — с крупным шагом)

(с целью снижения себестоимости изделий) проявятся в низких значениях работы удара такой продукции.

Таким образом, применяя предлагаемую конструкцию образцов для проведения испытаний на ударный изгиб металла болтов и других стержневых крепёжных изделий, можно при использовании существующего испытательного оборудования и оснастки получать более достоверные результаты. При этом определяется надёжность и работоспособность крепежа, основываясь на фактических свойствах материала, так как разрушение развивается с поверхностных, наиболее информативных слоёв изделий.

2. Метод определения пластических свойств болтов при испытании полноразмерных крепёжных изделий на осевое растяжение

Наряду с нормированием величины удлинения после разрыва полноразмерных крепёжных изделий (A_4) представляется целесообразным установить требование по величине δ_p (относительного равномерного удлинения). Данная характеристика определяется путём испытания полноразмерных болтов на растяжение по методике [5, 6]. Суть метода заключается в том, что для определения характеристики относительного равномерного удлинения (δ_p) нагружение образца (болта, шпильки) ведут только до максимальной нагрузки и прерывают испытание, не проводя разрыва образца. После разгрузки измеряют абсолютную остаточную деформацию образца, используя точки на гребнях резьбы на расстоянии, равном нескольким виткам (n шагов резьбы). Для любого крепёжного изделия в исходном состоянии шаг резьбы имеет фиксированное стандартное значение, что позволяет применять резьбу в качестве разметки. После растяжения образца, производя замер расстояния по тем же точкам (на инструментальном микроскопе), вычисляют значение характеристики δ_p . Использование в качестве расчётного участка непосредственно резьбы изделия позволяет определить значение абсолютного остаточного удлинения образца после растяжения до максимальной нагрузки без применения предварительной разметки путём нанесения каких-либо меток и прочего. Всё перечисленное способствует повышению точности измерений и упрощению проведения испытаний.

Определение предлагаемым методом характеристики δ_p менее трудоёмко, чем определение характеристики A_4 и не требует специального оборудования для записи диаграммы растяжения при испытании полноразмерного крепёжного изделия.

3. Метод входного контроля

Наряду с гарантируемыми Поставщиком свойствами представляется целесообразным проведение входного контроля качества поставляемой продукции. Методика входного контроля пошаговая с учётом вышеизложенных предложений (п.п. 1 и 2).

Целесообразность каждого шага зависит от результата предыдущего и ожидаемых результатов последующего [7]. В своё время, благодаря такому контролю,

удалось практически полностью исключить замедленные хрупкие разрушения высокопрочных болтов, поставляемых по ГОСТ 22353-77 — ГОСТ 22356-77, а накопленный опыт нашёл отражение в ходе разработки других нормативных и инструктивных документов.

Другие предложения по новым методам контроля качества болтов различных классов прочности, которые сейчас разрабатываются, будут опубликованы после их проверки и получения патентов.

Выводы:

1. Метод контроля работы удара крепёжных изделий с использованием специальных образцов более информативен и может быть применён при сдаточных испытаниях крепёжных изделий, а также при оценке свойств новых видов крепёжной продукции, при сопоставительных или сертификационных испытаниях.

2. Метод определения пластических свойств стержневых резьбовых крепёжных изделий при испытании на растяжение позволяет определять важную характеристику пластичности (относительное равномерное удлинение — δ_p), низкие значения которой могут косвенно указывать на склонность изделий к хрупкому разрушению.

3. Метод входного контроля может служить основанием для предъявления Поставщикам соответствующих претензий, а также даёт возможность не допустить установку в конструкции некондиционных болтов.

Литература

1. Горицкий, В. М. Проблемы качества болтов класса прочности 5.8 для строительных конструкций / В. М. Горицкий, Н. И. Сотсков, В. О. Гук // Крепёж, клеи, инструмент и... — 2018. — № 1. — С. 22–26.
2. Ивченко, А. В. О правомерности определения механических свойств высокопрочных болтов путём испытания обработанных (обточенных) образцов / А. В. Ивченко, Ю. П. Гуль, М. Ю. Амбражей // Крепёж, клеи, инструмент и... — 2010. — № 4. — С. 6–10.
3. Ивченко, А. В. О правомерности регламентации состава сырья и технологии изготовления в стандартах на крепёжные изделия / А. В. Ивченко, Г. В. Бунатян // Сталь. — 2012. — № 10. — С. 65–67.
4. Ивченко, А. В. О нормировании верхних пределов характеристик прочности и требований по ударной вязкости для болтов класса прочности 5.8 / А. В. Ивченко // Сталь. — 2018. — № 4. — С. 36–39.
5. Ивченко, А. В. Новые подходы к определению пластических свойств стержневых резьбовых крепёжных изделий / А. В. Ивченко, Ю. П. Гуль, П. В. Кондратенко, А. А. Семёнов // Крепёж, клеи, инструмент и... — 2016. — № 1. — С. 38–40.
6. Патент 2622487 RU. Способ определения пластических свойств стержневых резьбовых крепёжных изделий / А. А. Семёнов, А. В. Ивченко, Ю. П. Гуль и др. // Бюл. № 17. — Заявл. № 2016112146 от 31.03.2016; опубл. 15.06.2017.
7. Вишневицкий, И. И. Инструкция по входному контролю качества высокопрочных болтов, гаек и шайб / И. И. Вишневицкий, Л. М. Рабер // В кн.: Проектирование стальных конструкций стационарных котлов. — М.: Минтяжмаш СССР, 1990. — С. 8–15. — С. 65–66.