электронный научно-технический журнал
ИНЖЕНЕРНЫЙ ВЕСТНИК
Издатель ФГБОУ ВПО "МГТУ им. Н.Э. Баумана". Эл No. ФС77-51036. ISSN 2307-0595

Расчётно-экспериментальная оценка надёжности деталей резьбовых соединений при низких температурах

07, июль 2015

Байков Б. А.[1], Богачев В. Н.[1], Аникина В. С.[1,*]

УДК: 621.882

[1]Россия, МГТУ им. Н.Э. Баумана
*vinsina@rambler.ru

Опыт эксплуатации машин в условиях низких температур показывает, что одной из причин отказа деталей этих машин является хрупкое разрушение. Обеспечение надёжности элементов конструкции в отношении хрупкого разрушения имеет существенное значение в связи с непрерывным ростом парка машин, работающих в районах Крайнего Севера и Сибири.

Многочисленными исследованиями и анализом хрупких разрушений конструкции и деталей машин [1, 2] было показано, что причина хрупкого разрушения кроется не только в механических свойствах металла, а в значительной степени в возникновении условий перехода металла в хрупкое состояние, связанных с конструктивными, технологическими и эксплуатационными факторами. К таким факторам относятся:

- температурные условия эксплуатации;
- объёмное напряжённое состояние с растягивающими напряжениями;
- увеличение абсолютных размеров элементов конструкции;
- повторность нагружения, благоприятствующая образованию и развитию трещин хрупкого разрушения;
- появление однократных и повторных ударных перегрузок и повышение скоростей нагружения и некоторые другие.

Как показывает анализ хрупких разрушений, величина номинальных напряжений при разрушении, как правило, меньше предела текучести, а в некоторых случаях оказывалась на уровне всего лишь 10÷30% от предела текучести. Это говорит о том, что опасность появления хрупких разрушений не может быть в достаточной мере устранена путём повышения запасов прочности и снижения допускаемых напряжений и что вопросам

обеспечения надёжности в отношении хрупкого разрушения должно уделяться внимание при проектировании, изготовлении, монтаже и эксплуатации конструкций.

Учёт технологических и эксплуатационных факторов, способствующих возникновению хрупкого состояния, может быть произведён при проектировании детали. Для этой цели предварительно необходимо произвести выбор критериев, использование которых при расчёте позволило бы достаточно надёжно характеризовать несущую способность детали в конкретных условиях эксплуатации. Кроме того, использование их в расчётах должно быть практически удобным.

Как показали проведённые эксперименты, использование в качестве критериев непосредственных характеристик прочности, а именно предела текучести или прочности, не определяет действительного ресурса несущей способности детали в отношении хрупкого разрушения. Последний значительно лучше определяется косвенными характеристиками, главными из которых можно назвать температуру начала резкого снижения пластичности (температурный порог хрупкости) и величину среднего относительного удлинения на некоторой базе вблизи места разрушения.

В произведённых исследования для оценки хладостойкости резьбовых деталей были использованы значения температур, при которых начиналось интенсивное снижение пластичности, характеризуемое остаточной деформацией ε_p, замеренной после разрушения резьбовой детали на базе нескольких витков резьбы.

Учитывая, что разрушение происходит, в основном, в зоне опорной поверхности гайки (значительно реже в зоне сбега резьбы или посередине свободного участка резьбы), замеры остаточной деформации производились в первых двух случаях на базе 5 витков с одной стороны от зоны разрушения, а в последнем случае на базе 10 витков с двух сторон от зоны разрушения, когда деформация была симметричной относительно места разрушения.

С учётом того, что изменение показателя пластичности ε_p в функции температуры имеет плавный характер (рис. 1), в качестве показателя перехода резьбовой детали в хрупкое состояние (температурный порог хрупкости) принята величина $\frac{d\varepsilon_p}{dt} = 0,2$ (рис. 2).

Величина остаточной деформации ε_p определялась по формуле:

$$\varepsilon_p = \frac{\Delta_p - \Delta}{\Delta},$$

где Δ_p - размер базы после разрушения;

Δ - размер базы в начальном состоянии.

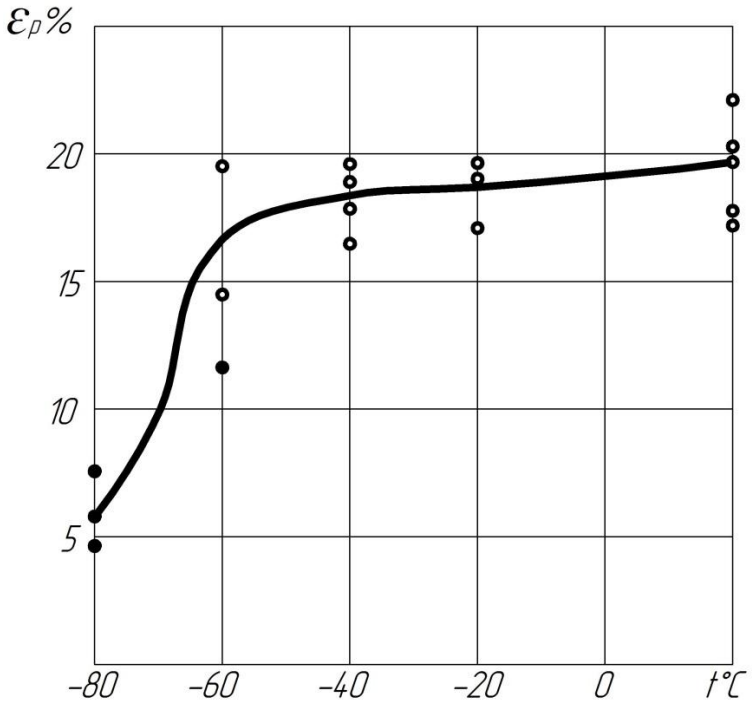

Рис. 1.

На рис. 1 показана экспериментальная кривая $\varepsilon_p = f(t)$, полученная при испытании болтов М12х1,75 с нарезанной резьбой, выполненных из стали 45 (нормализованной).

Как видно из рис. 1 пластичность сохраняется до температуры -40°С, а при дальнейшем снижении температуры пластичность начинает резко снижаться. Такой же характер кривых установлен в исследованиях [3], когда испытывались болты разных диаметров. Установлено, что при уменьшении диаметров болтов происходит заметное смещение температурного порога хрупкости в зону более низких температур.

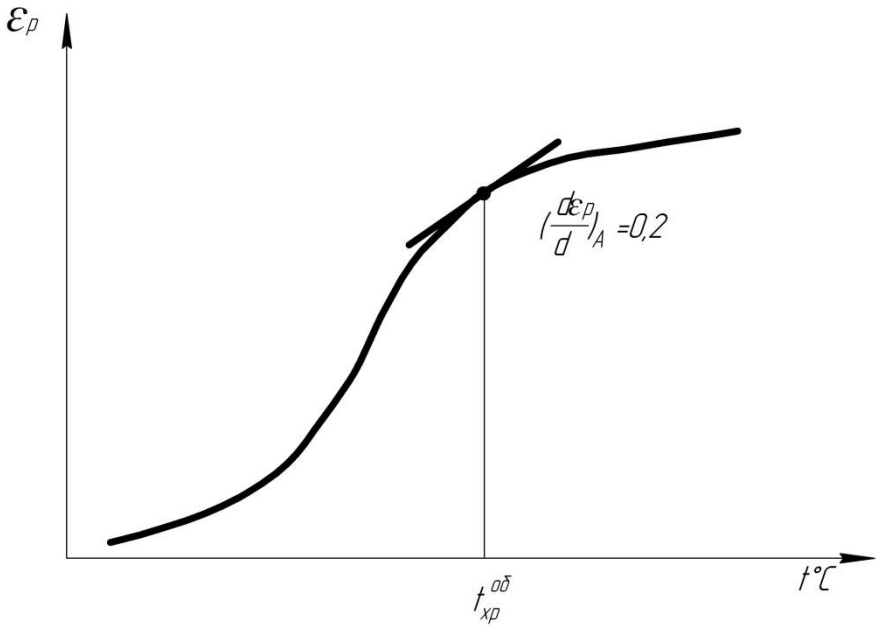

Рис. 2

Определение температурного порога хрупкости для болта определённого размера с учётом условий эксплуатации предложено произвести по формуле:

$$t_{хр}^{б} = t_{хр}^{об} + \sum \Delta t \le t_{э} \ , \qquad (1)$$

где $t_{хр}^{б}$ - температура хрупкости используемого в конструкции типоразмера болта с учётом условий эксплуатации;

$t_{хр}^{об}$ - температура хрупкости образца - болта с резьбой М12х1,75 (нарезанной), определённой по кривой рис. 1 для значения температуры, где

$$\frac{d\varepsilon_{p}}{dt} = 0,2 \ ;$$

$t_{э}$ - наиболее низкая эксплуатационная температура;

$\sum \Delta t$ - смещение температуры хрупкости в результате сочетания действия отдельных факторов, изменяющих температурную границу хрупкости.

Сумма температурных поправок $\sum \Delta t$ определяется по формуле

$$\sum \Delta t = \Delta t_{c} + \Delta t_{ш} + \Delta t_{д} + \Delta t_{v}$$

и учитывает:

1) способ выполнения резьбы (Δt_{c});
2) шаг резьбы ($\Delta t_{ш}$);
3) диаметр резьбы ($\Delta t_{д}$);
4) скорость нагружения (Δt_{v}).

Ниже приведены рекомендуемые значения некоторых температурных поправок, которые могут быть использованы при расчётах болтов, выполненных из углеродистых и низколегированных сталей.

Следует заметить, что эти данные приведены по результату испытания болтов, выполненных из одной, максимум двух-трёх марок сталей. Поэтому впоследствии эти значения должны быть экспериментально проверены на других марках сталей.

Поправка Δt_{c} принимается равной нулю в случае нарезанной резьбы; при использовании накатанной резьбы температурная граница хрупкости смещается в сторону более высоких температур. До проведения более обстоятельных исследований эта величина может быть принята равной 20°.

Поправка $\Delta t_{ш}$ в случае применения резьб с мелким шагом смещает температурную границу хрупкости в сторону низких температур. В частности, при отношении $\frac{d}{S} = 12 \div 15$ значение $\Delta t_{ш}$ может быть принято равным -30°.

Величина $\Delta t_д$ для резьб М6÷М24 может быть определена с помощью графика (см. рис. 3). Используя экстраполяцию, для первого приближения можно несколько расширить указанный диапазон размеров.

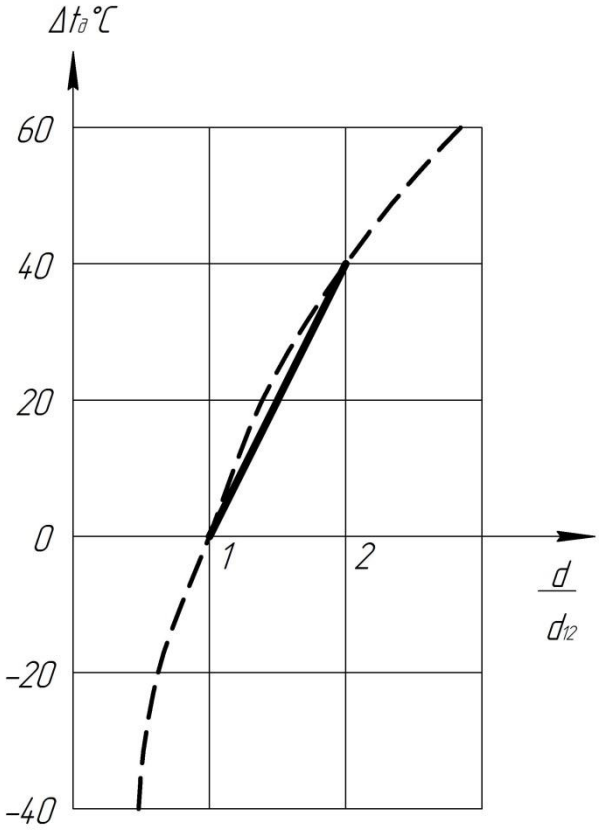

Рис. 3

Величина поправки Δt_v, учитывающей ударный характер нагружения резьбового соединения, зависит от многих факторов, в частности от величины ударного импульса. Оценка ударной нагрузки, воспринимаемой болтами в конструкции, является задачей весьма сложной. Характер ударной нагрузки, приложенной к болту, зависит как от характера внешнего импульса, так и от параметров конструкции (жёсткости, конструктивного исполнения и т.п.). Поэтому предполагается в тех случаях, когда в задании оговорена возможность появления в процессе работы ударных нагрузок можно рекомендовать до проведения более обстоятельных исследований принимать величину Δt_v равной 30°.

Следует заметить, что в случае наложения влияния нескольких факторов простое суммирование поправок по отдельным факторам может дать некоторое отклонение от действительного значения, однако, как правило, суммарное действие факторов появляется в меньшей мере, чем в случае простого суммирования. Это следует учитывать при получении поправок на те или иные сочетания факторов.

Список литературы

1. Винокуров В.А., Куркин С.А., Николаев Г.А. Сварные конструкции. Механика разрушения и критерии работоспособности / Под ред. Б.Е. Патона. М.: Машиностроение. 1996. 576 с.
2. Розенштейн И.М. Хрупкое разрушение стальных сварных конструкций // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2008. № 7. С. 48 – 51.
3. Дроздов Н.А., Байков Б.А., Тибанов В.Н. Исследование сопротивления деталей машин разрушению при низких температурах // Проблемы прочности. 1970. № 10. С. 88-93.