

**ОБЩЕСТВО «ЗНАНИЕ» РОССИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
УНИТАРНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ
«НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ЭЛЕКТРОННО-МЕХАНИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ»
ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ПРИВОЛЖСКИЙ ДОМ ЗНАНИЙ**

***Всероссийская
научно-практическая конференция***

ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ СОВРЕМЕННЫХ ПРОИЗВОДСТВ

Сборник статей

Пенза 2019

УДК 620.22+621.77+621.91

ББК 30.3+30.6+65.2

Т38

Т38

**ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ СОВРЕМЕННЫХ
ПРОИЗВОДСТВ : сборник статей Всероссийской
научно-практической конференции. – Пенза:
Приволжский Дом знаний, 2019. – 124 с.**

ISBN 978-5-8356-1715-9

Под редакцией **В.А. Скрябина**, академика Академии
информатизации образования Российской
Федерации, почетного работника высшего
профессионального образования Российской
Федерации, доктора технических наук,
профессора ПГУ (г. Пенза)

Информация об опубликованных статьях предоставлена
в систему Российского индекса научного цитирования
(РИНЦ) по договору № 573-03/2014К от 18.03.2014.

ISBN 978-5-8356-1715-9

© АННМО «Приволжский Дом знаний», 2019

**Зверовщиков
Александр Евгеньевич**
Пензенский государственный
университет, г. Пенза, Россия
E-mail: azwer@mail.ru

Zverovshchikov A.E.
Penza State University,
Penza, Russia

Гурин Павел Александрович
Пензенский государственный
университет, г. Пенза, Россия
E-mail: sbgurin_pavel@list.ru

Gurin P.A.
Penza State University,
Penza, Russia

Альбеков Ирек Рашидович
Пензенский государственный
университет, г. Пенза, Россия
E-mail: ireckalbekov@yandex.ru

Albekov I.R.
Penza State University,
Penza, Russia

Долгачев Вадим Юрьевич
Пензенский государственный
университет, г. Пенза, Россия

Dolgachev V.Yu.
Penza State University,
Penza, Russia

УДК 621.77: 621.81: 621.88

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЦИКЛИЧЕСКОЙ
ПРОЧНОСТИ СОЕДИНЕНИЙ С НАТЯГОМ,
НАГРУЖЕННЫХ ИЗГИБАЮЩЕЙ СИЛОЙ**

И.И. Воячек, Д.В. Кочетков, С.Г. Митясов, В.С. Шинкарев

**TECHNOLOGICAL SECURITY OF CYCLIC STRENGTH
OF CONNECTIONS WITH TENSION, LOADED WITH
A BENDING FORCE**

I.I. Voyachek, D.V. Kochetkov, S.G. Mityasov, V.S. Shinkarev

Аннотация. Приведены результаты исследования влияния упрочняющей технологии на напряженно-деформированное состояние деталей, соединяемых с натягом, при нагружении изгибающей силой. Установлено, что при сборке соединений с применением анаэробных материалов существенно увеличивается сила трения и уменьшается вероятность развития фреттинг-коррозии. Некоторому увеличению концентрации растягивающих напряжений в поверхностном слое вала можно противодействовать путем уменьшения уровня натяга или применения местной поверхностно-пластической обработки.

Ключевые слова: соединение с натягом, циклическая прочность, анаэробный материал, сборка, изгибающая сила, метод конечных элементов.

Abstract. The results of the study of the effect of hardening technology on the stress-strain state of parts connected with tension, when loading with a bending force, are given. It has been established that when assembling compounds with the use of anaerobic materials, friction force significantly increases and the likelihood of fretting corrosion development decreases. Some increase in the concentration of tensile stresses in the surface layer of the shaft can be counteracted by reducing the tension level or using local surface plastic processing.

Keywords: stress connection, cyclic strength, anaerobic material, assembly, bending force, finite element method.

При нагружении соединений с натягом (СН) изгибающей силой их функциональные характеристики с течением времени, особенно в условиях переменного (циклического) нагружения, изменяются из-за наличия относительных микросдвигов контактирующих поверхностей и протекания процесса фреттинг-коррозии. Также негативным фактором, особенно для вала, является концентрация напряжений, приводящая к появлению усталостных трещин. Концентрация напряжений усиливается при действии изгибающей силы, так как установлено [1], что вал при этом нагружен крайне неравномерно.

В настоящей работе исследуется влияние упрочняющей технологии на напряженно-деформированное состояние деталей СН, нагруженных изгибающей силой. Упрочнение достигается путем сборки СН с применением анаэробных материалов (АМ), которые полимеризуются в пустотах зоны контакта и увеличивают силу трения вала и втулки [2, 3].

Моделирование несущей способности соединения осуществляется методом конечных элементов для схемы нагружения, показанной на рис. 1а, где в зоне контакта деталей обозначены точки, в которых снимались данные при моделировании. На рис. 1б представлена твердотельная модель СН.

При моделировании использовались следующие исходные данные: наружный и внутренний диаметры втулки $D = 40$ мм и $d = 20$ мм; диаметр вала $d_1 = 20,03$ мм; длина втулки (соединения) $l = 50$ мм; длина выступающей части вала $l_1 = 20$ мм; материал втулки и вала – сталь 20 ($E = 2 \cdot 10^5$ МПа, $\mu = 0,29$). Натяг в соединении $N = 0,03$ мм. Изгибающая сила (нагрузка) $F = 3000$ Н была распределена по торцу выступающей части вала (см. рис. 1б). Упрочнение СН моделировалось изменением коэффициента трения ($f = 0,1$ и $f = 0,3$).

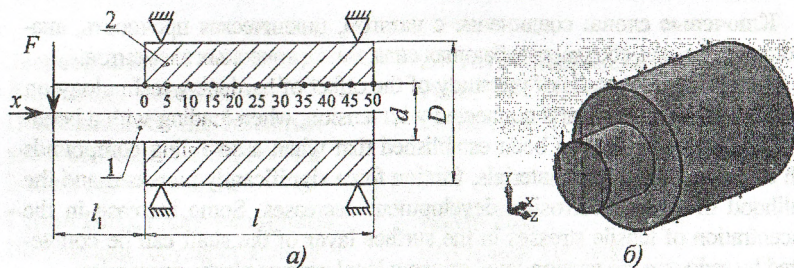


Рис. 1. Схема нагружения ССН изгибающей силой F (а, 1 – вал, 2 – втулка) и твердотельная модель ССН (б)

На рис. 2 представлены перемещения точек вала и втулки и напряженное состояние деталей ССН по оси x при действии изгибающей силы.

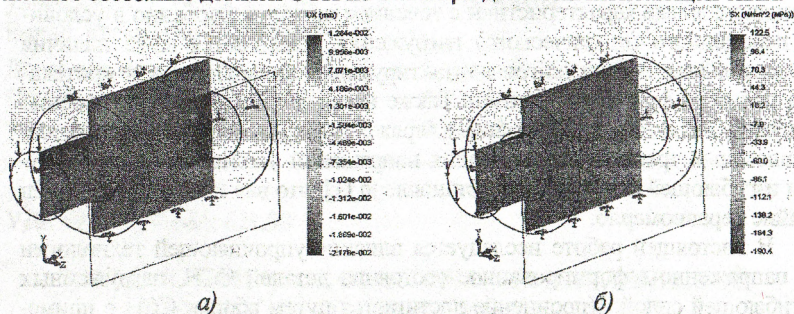


Рис. 2. Перемещения (а) и напряженное состояние (б) деталей ССН по оси x

Критерием интенсивности воздействия нагрузки на соединение и вероятности развития процесса фреттинг-коррозии являлась, как и в работе [3], разность перемещений точек вала и втулки в зоне их контакта (по оси x) при действии эксплуатационной нагрузки и без нее. На рис. 3 показана разность перемещений точек вала и втулки Δ_{1-2} по оси x при приложении изгибающей нагрузки. Результаты моделирования показывают, что по критерию разности перемещений точек вала и втулки (зависимость 1) соединение нагружено крайне неравномерно. Большая часть нагрузки воспринимается участком соединения со стороны приложения изгибающей силы на длине 20 мм. Максимальная разность перемещения вала и втулки в первой точке при $l = 0$ мм (см. рис. 1а) составляет $\Delta_{1-2} = 5,8$ мкм. При упрочнении ССН (зависимость 2) относительные перемещения поверхностей вала и втулки существенно уменьшаются (в 4,7 – 4,8 раза в точке

$l = 0$ мм). При этом вероятность микросдвигов поверхностей вала и втулки, приводящих к фреттинг-коррозии и к потере соединением несущей способности, значительно снижается.

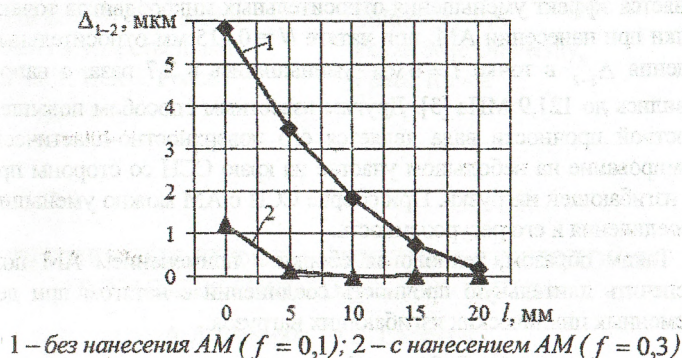
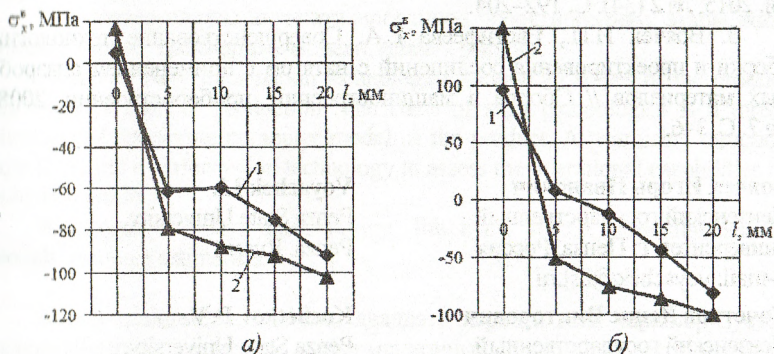


Рис. 3. Разность перемещений вала и втулки по оси x

Что касается концентрации напряжений, то наиболее вероятно появление усталостных трещин на поверхности вала в точке $l = 0$ мм, в которой при действии изгибающей нагрузки увеличиваются растягивающие напряжения по оси x σ_x^B (см. рис. 2б). При сборке без упрочнения напряжения увеличиваются с 5,1 МПа до 95,5 МПа (рис. 4 а и б). При сборке с упрочнением увеличение более существенно – с (14 – 17) МПа до (149 – 152) МПа.



1 – без нанесения АМ ($f = 0,1$); 2 – с нанесением АМ ($f = 0,3$)

Рис. 4. Осевые напряжения в поверхностном слое вала (по оси x), возникающие при сборке ССН (а) и при действии изгибающей нагрузки (б)

Если данный уровень напряжений значителен по сравнению с прочностными характеристиками материалов деталей, то уменьшить концентрацию напряжений можно путем снижения уровня натяга. При этом сохраняется эффект уменьшения относительных микросдвигов точек вала и втулки при нанесении АМ: при натяге $N = 0.015$ мм относительные перемещения Δ_{1-2} в точке $l = 0$ мм уменьшились в 2,7 раза, а напряжения снизились до 121,9 МПа [3]. Другим известным способом повышения усталостной прочности вала является его поверхностно-пластическое деформирование на небольшом участке на краю ССН со стороны приложения изгибающей нагрузки. При сборке ССН с АМ можно уменьшить длину соединения и его ресурсоемкость.

Таким образом, технология сборки с применением АМ позволяет обеспечить длительную прочность соединений с натягом при действии переменных циклических изгибающих нагрузок.

Библиографический список

1. Воячек И.И., Кочетков Д.В., Митясов С.Г. Влияние силы трения на напряженно-деформированное состояние деталей соединений с натягом при действии изгибающей нагрузки // Системы проектирования, моделирования, подготовки производства и управление проектами CAD/CAM/CAE/PDM: сборник статей IX Международной научно-практической конференции. Пенза : Приволжский Дом знаний, 2015. С. 3–9
2. Воячек И.И., Кочетков Д.В., Митясов С.Г. Избирательное упрочнение соединений с натягом при сборке с анаэробными материалами // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. 2015. № 2 (34). С. 192–204.
3. Воячек И.И., Евстифеева Е.А. Совершенствование технологии сборки и проектирования соединений с натягом с применением анаэробных материалов // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2008. № 7. С. 3–6.

Воячек Игорь Иванович
Пензенский государственный
университет, г. Пенза, Россия
E-mail: voyachek@list.ru

Кочетков Денис Викторович
Пензенский государственный
университет, г. Пенза, Россия
E-mail: denis.kochetkov80@yandex.ru

Voyachek I.I.
Penza State University,
Penza, Russia

Kochetkov D.V.
Penza State University,
Penza, Russia

Митясов Сергей Геннадьевич
ООО «СтанкоМашСтрой»,
г. Пенза, Россия

Шинкарев Вадим Сергеевич
Пензенский государственный
университет, г. Пенза, Россия
E-mail: tms@pnzgu.ru

Mityasov S.G.
ООО "Stankomashstroy",
Penza, Russia

Shinkarev V.S.
Penza State University,
Penza, Russia

УДК 658.512.2

СОВРЕМЕННЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

А.Л. Федоров, М.В. Сафонов

NEW INFORMATION TECHNOLOGIES IN INDUSTRIAL PRODUCTION

A.L. Fedorov, M.V. Safonov

Аннотация. Современные информационные технологии охватывают все этапы жизненного цикла изделий современных производств. Основой таких технологий является трехмерная твердотельная компьютерная модель изделия. Перспективным направлением в настоящее время является применение информационных технологий для оценки эксплуатационных возможностей изделий промышленности.

Ключевые слова: автоматизированное проектирование, этапы жизненного цикла, трехмерные модели, оценка ресурса.

Abstract. New information technologies include all stages of the product life cycle of modern production. The basis of such technologies is a three-dimensional solid-state computer model of the product. A promising direction now is the use of information technology to assess the operational capabilities of industrial products.

Keyword: computer-aided design, life cycle stages, three-dimensional models, resource estimation.

Конец двадцатого – начало двадцать первого века характеризуется скачкообразным развитием информационных технологий. Это подняло процессы проектирования изделий и технологий современных производств на качественно новый уровень. В настоящее время информационные технологии охватывают все этапы жизненного цикла продукции современных промышленных производств [1]. Вообще, согласно стандартам