

УДК 534-8+621.9.048.6

DOI:10.30987/2223-4608-2021-12-26-30

Р.И. Нигметзянов, к.т.н., С.К. Сундуков, к.т.н.,

А.В. Сухов, аспирант, Д.С. Фатюхин, д.т.н.

(Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ),

125319, г. Москва, Ленинградский проспект, 64)

E-mail: sukhov-aleksandr96@mail.ru

Особенности сборки резьбовых соединений различных размеров при использовании сдвиговых ультразвуковых колебаний*

Рассмотрены проблемы, возникающие в результате сборки резьбовых соединений. Определено перспективное направление решения возникающих проблем. Представлены результаты исследования влияния ультразвуковых колебаний сдвиговой поляризации на параметры резьбового соединения.

Ключевые слова: сборка; резьбовые соединения; ультразвук; колебания.

R.I. Nigmatzyanov, Can.Sc.Tech., S.K. Sundukov, Can.Sc.Tech.,

A.V. Sukhov, post-graduate student, D.S. Fatyukhin, Dr. Sc.Tech.

(Moscow Automobile and Road Engineering State Technical University (MADI),

64, Leningradsky Prospekt, Moscow, 125319)

Assembly features of threaded fastenings having various sizes when using shear ultrasonic vibrations

The problems that arise from threaded fastenings assembly have been considered. A promising direction for solving emerging problems has been found. Research results of the effect of shear polarization ultrasonic vibrations on the parameters of the threaded fastenings are presented.

Keywords: assembly; threaded fastenings; ultrasound; ultrasonic vibrations.

Введение

После сборки в резьбовом соединении могут возникать различные проблемы, среди которых можно отметить неравномерность распределения нагрузки по виткам резьбы и «схватывание поверхностей» при сборке соединений больших диаметров.

Эти проблемы рассматриваются во многих

* Материал подготовлен в рамках научных исследований по проекту №FSFM-2020-0011 (2019-1342), экспериментальные исследования проведены с использованием оборудования центра коллективного пользования МАДИ.

источниках. Например, в [1] рассматривается неравномерность распределения нагрузки по виткам резьбы и «схватывание» поверхностей при сборке гребных винтов судов ледового класса, причем «схватывание» поверхностей рассматривается исследователями как результат неравномерности распределения нагрузки. Используемые при сборке болты имеют большой размер, и для их затяжки требуется существенный момент затяжки.

Для изготовления таких болтов в качестве материалов применяются нержавеющие стали, склонные к схватыванию поверхностей резьбы, что в отдельных случаях приводит к невозможности затягивания и ослабления болта.

Поверхность резьбы, модифицированная различными средствами, такими как напыление медью и использование противозадирных смазок снижает вероятность схватывания резьбы, однако полностью проблемы не устраняет [1]. Особенно сильно данная проблема выражена в судостроительной отрасли, где используются различные нержавеющие материалы [2, 3]. Это обуславливается следующими причинами [2]:

1) недостаточная точность изготовления крупногабаритных крепежных элементов, ведущая к перекосу осей скрепляемых деталей из-за особенностей технологии изготовления гребных винтов;

2) особенности поведения покрытий, нанесенных на поверхность нержавеющих материалов.

Снизить неравномерность распределения нагрузки можно различными путями, среди которых можно отметить увеличение шага резьбы и выполнение кольцевой выточки на поверхности стыка фланца лопасти вокруг отверстия под болт. Данные методы увеличивают трудоемкость изготовления соединения, и зачастую применяются только на этапе изготовления элементов соединения, что ограничивает применение этих методов. При этом увеличение зазоров локально снижает силу трения на витках резьбы, что может привести к эффекту самооткручивания.

Перспективным способом повышения качества сборки резьбового соединения является применение ультразвуковых колебаний, которое не требует увеличения трудоемкости изготовления элементов соединения. Наложение ультразвуковых колебаний даже на один элемент резьбового соединения позволяет снизить силу трения на контактных поверхностях за счет изменения характера трения [4, 5].

Наиболее исследованными процессами являются наложения колебаний продольной и крутильной поляризации, при этом колебания сдвиговой поляризации практически не рассмотрены. Кроме того, в подавляющем большинстве источников в рамках одной работы исследуются соединения одного типоразмера, что не позволяет провести точного сравнения между исследованиями.

Принимая во внимание фактор расположения резьбового соединения, можно отметить, что применение сдвиговых колебаний позволит расширить область применения ультразвука при сборочно-разборочных операциях для малых и средних диаметров резьб. Например, в труднодоступных местах, где не-

возможно использование торцевого инструмента. Для больших диаметров использование сдвиговых колебаний является предпочтительным из-за особенностей ультразвукового оборудования и его габаритных размеров.

Методика исследований

Для проведения экспериментальных исследований в качестве элементов с наружной резьбой использовались оцинкованные болты М8; М10; М12; М14; М16 с крупным шагом резьбы, нормальной точности, класс прочности 5.8. В качестве элемента с внутренней резьбой использовались гайки М8; М10; М12; М14; М16 соответственно.

Момент затяжки соединения контролировался с помощью динамометрического ключа. Диапазон измерений: 0...50 Н·м; цена деления шкалы: 1 Н·м. Крутящий момент для соединений М8; М10; М12; М14; М16 составлял 24,5 Н·м; 31,85 Н·м; 34,3 Н·м; 49 Н·м; 49 Н·м соответственно.

Используемая при исследовании трёхполуволновая колебательная система способна реализовать амплитуды от 2 до 70 мкм при рабочей частоте 22 кГц, в качестве преобразователя энергии используется магнитоstrictionный стержневой преобразователь. Схема проведения эксперимента представлена на рис. 1.

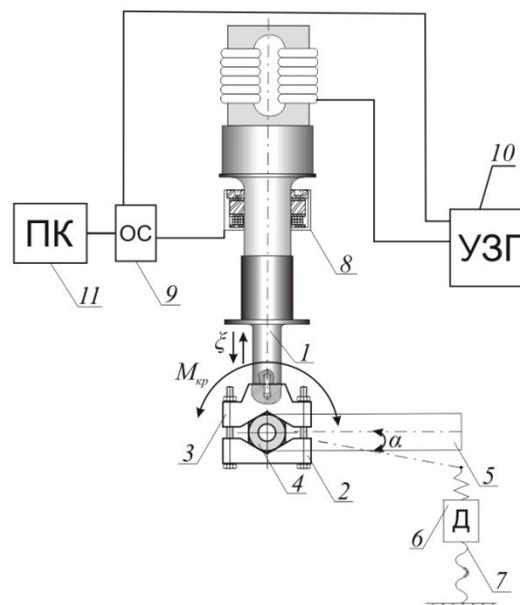


Рис. 1. Схема проведения эксперимента:

1 – рабочий инструмент ультразвуковой колебательной системы; 2, 3 – скобы; 4 – болт; 5 – ключ; 6 – динамометр; 7 – винтовая передача; 8 – электродинамический виброметр; 9 – компоненты системы обратной связи; 10 – ультразвуковой генератор; 11 – компьютер

На торце рабочего инструмента 1 ультразвуковой колебательной системы жестко закреплялось приспособление для крепления гайки, состоящее из скоб 2 и 3. Между ними закреплялась гайка, в которую закручивался болт 4 с помощью ключа 5. Момент закручивания измерялся по шкале динамометра 6. Изменение момента закручивания осуществлялось с помощью винтовой передачи 7. Подобная конструкция необходима для обеспечения возможности плавного регулирования момента закручивания соединения.

После закручивания с помощью динамометрического ключа и контроля величины момента закручивания $M_{закр}$ включался источник колебаний. После включения колебаний определялось снижение момента закручивания $\Delta M_{закр}$ и проводилось дозакручивание соединения до нормативного значения $M_{закр}$.

В качестве изменяемого фактора была выбрана амплитуда колебаний ξ , поскольку она оказывает наибольшее влияние на процессы сборки и разборки резьбовых соединений [6]. В процессе исследования значения ξ варьировались в пределах 1...9 мкм. Такой диапазон выбран в связи с тем, что после превышения 9 мкм соединение нагревается, что существенно влияет на условия сборки и разборки.

Поэтому проведение исследований на больших значениях амплитуды не проводилось.

После докручивания производилось измерение угла докручивания α . Затем измерялся момент откручивания M_0 без наложения ультразвуковых колебаний. Определение момента докручивания проводилось по методике [6] после определения угла α .

Результаты и обсуждение

Обработка результатов экспериментов проводилась в программах MS Excel, где рассчитывались значения по экспериментально полученным данным, и в программе Statistica, где после математической обработки проводилось построение зависимостей, которое велось с помощью инструмента «Диаграммы рассеяния» с подгонкой методом наименьших квадратов.

Экспериментальные исследования показали, что для любого типоразмера с увеличением амплитуды колебаний M_0 растет (рис. 2). Наиболее активный рост для всех рассмотренных типоразмеров происходит между амплитудами 2...5 мкм. После 5 мкм интенсивность роста снижается.

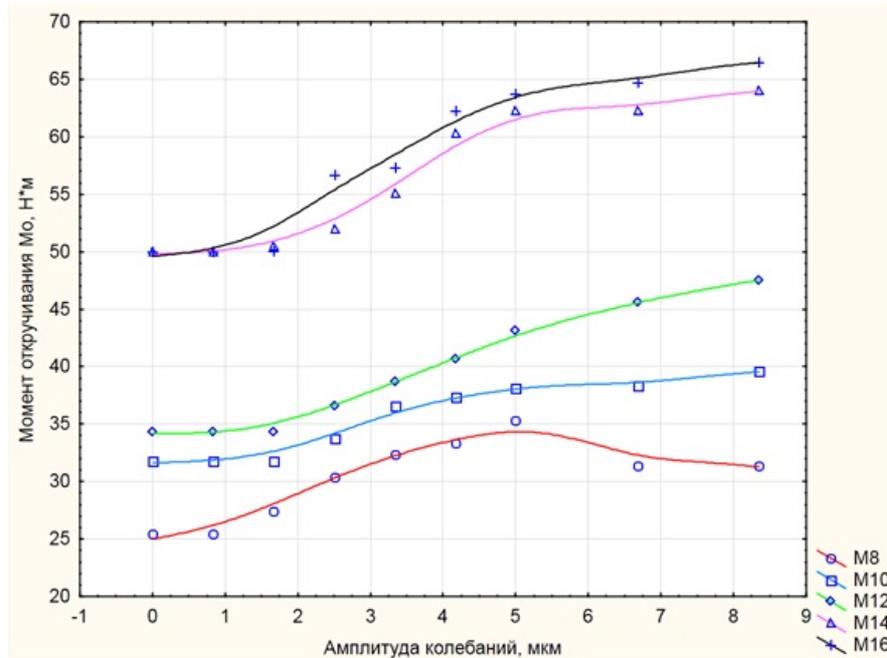


Рис. 2. Зависимость момента откручивания M_0 от амплитуды колебаний для резьб M8...M16

Также имеют схожий между собой характер значения $\Delta M_{закр}$ для всех рассматриваемых размеров резьбовых соединений (рис. 3). Максимальное снижение $\Delta M_{закр}$ при воздействии

ультразвуковых колебаний, т.е. эффективность ультразвукового воздействия, наблюдается в диапазоне 2...5 мкм, затем эффективность снижается.

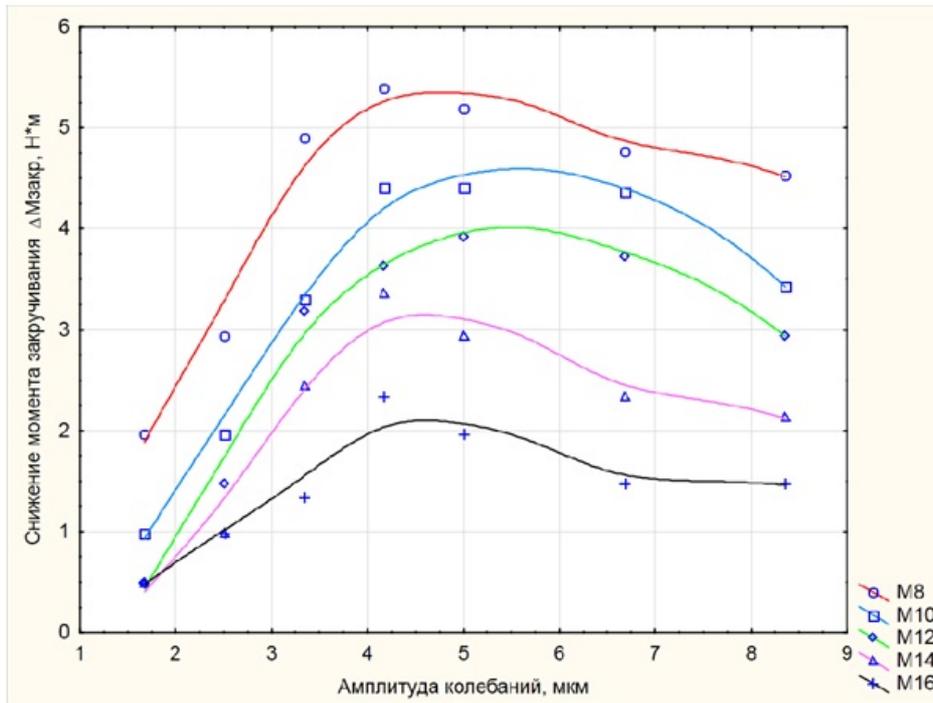


Рис. 3. Зависимость снижения момента закручивания $\Delta M_{\text{закр}}$ от амплитуды колебаний для резьб М8...М16

Изменение величины угла α практически коррелирует с изменением $\Delta M_{\text{закр}}$ (рис. 4). Активное увеличение угла происходит в диапа-

зоне 2...4 мкм, затем рост замедляется и после амплитуды ~5 мкм увеличение угла α происходит незначительно.

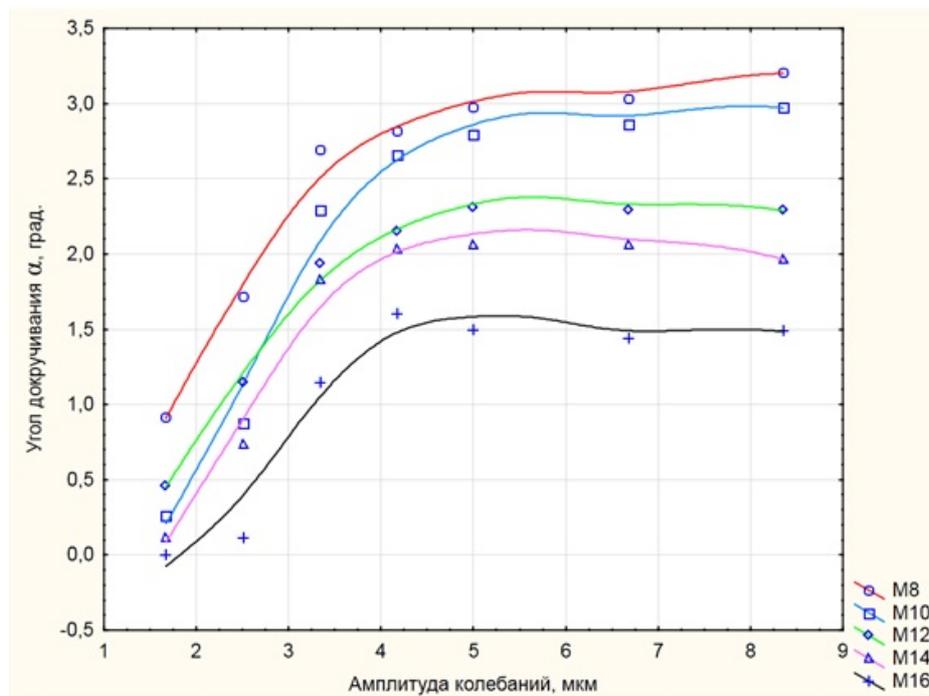


Рис. 4. Зависимость угла докручивания α от амплитуды колебаний для резьб М8...М16

Эффективность ультразвуковой обработки в диапазоне 2...5 мкм объясняется преобразованием вида трения из сухого в квазивязкое [4]. После достижения амплитуды колебаний в

5 мкм рост замедляется, что обуславливается возрастающим влиянием эффектов, способствующих самораскручиванию. Этим же объясняется и падение значений $\Delta M_{\text{закр}}$ при стаби-

лизации угла α в диапазоне амплитуд 5...9 мкм.

Выводы

Проведенный анализ показал, что применение ультразвуковых колебаний является эффективным приемом для снижения силы трения на контактных поверхностях. Кроме того, использование ультразвуковых колебаний сдвиговой поляризации на этапе сборки резьбовых соединений позволяет повысить качество сборки, что подтверждается повышением M_0 и $\Delta M_{\text{закр}}$ для всех рассматриваемых размеров, что говорит о повышении усилия затяжки соединения.

Наиболее значимым параметром обработки является амплитуда колебаний, для рассматриваемых размеров резьбовых соединений оптимальная амплитуда $\xi = 4...5$ мкм.

Применение метода сборки резьбового соединения по предлагаемой схеме обработки дает возможность интенсифицировать процесс сборки в труднодоступных местах, где невозможно применение торцевого инструмента. Также целесообразно применение данного метода в случае сборки резьбовых соединений больших размеров.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Малыгин, В.И., Кремлева, Л.В., Лобанов, Н.В., Васильев, А.В. Распределение нагрузок в витках резьбы болтовых соединений сборных гребных винтов // Тяжелое машиностроение. – 2014. – №8. – С. 25-29.
2. Веселков, В.В., Лобанов, Н.В., Васильев, А.В. Исследование поведения покрытий на нержавеющей материалах в условиях высоких контактных нагрузок // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. – 2017. – Т. 9. – №6. – С. 1234-1241.

3. Малыгин, В.И., Лобанов, Н.В., Васильев, А.В. Фрикционные характеристики материалов резьбовых соединений сборных гребных винтов // Тяжелое машиностроение. – 2014. – №11-12. – С. 46-49.

4. Nigmatzyanov, R.I., Sundukov, S.K., Fatyukhin, D.S. Ultrasonic Assembly of Press-Fit Joints / Russian Engineering Research, 2017, Vol. 37, №12, PP. 1044-1047.

5. Нигметзянов, Р.И., Приходько, В.М., Сундуков, С.К., Фатюхин, Д.С. Способы ультразвуковой разборки соединений деталей // Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2017. – №2. – С. 41-46.

6. Исследование воздействия ультразвуковых колебаний на процесс сборки резьбовых соединений / Р.И. Нигметзянов, С.К. Сундуков, А.В. Сухов и др. // СТИН. – 2021. – №3. – С. 35-37.

REFERENCES

1. Malygin, V.I., Kremleva, L.V., Lobanov, N.V., Vasiliev, A.V. Load distribution in the turn of bolted joints threads in prefabricated marine screws. Heavy engineering, 2014, No. 8, pp. 25-29.

2. Veselkov, V.V., Lobanov, N.V., Vasiliev, A.V. Investigation of the behavior of coatings on stainless materials under high contact loads. Bulletin of the Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping, 2017, Vol. 9, No. 6, pp. 1234-1241.

3. Malygin, V.I., Lobanov, N.V., Vasiliev, A.V. Friction characteristics of materials of threaded connections of prefabricated marine screws. Heavy engineering, 2014, No. 11-12, pp. 46-49.

4. Nigmatzyanov, R.I., Sundukov, S.K., Fatyukhin, D.S. Ultrasonic Assembly of Press-Fit Joints / Russian Engineering Research, 2017, Vol. 37, №12, PP. 1044-1047.

5. Nigmatzyanov, R.I., Prikhodko, V.M., Sundukov, S.K., Fatyukhin, D.S. Methods of ultrasonic disassembling of joint assembled parts. Repair. Recovery. Modernization, 2017, No. 2, pp. 41-46.

6. Investigation of the effect of ultrasonic vibrations on the assembly process of threaded fastenings/ R.I. Nigmatzyanov, S.K. Sundukov, A.V. Sukhov, et. al., STIN, 2021, No. 3, pp. 35-37.

*Рецензент д.т.н.
Виктор Дмитриевич Александров*