

ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ

УДК 621.97

Железков О.С., Лизов С.Б., Макаров Б.Б.

СИЛОВЫЕ ПАРАМЕТРЫ ПРОЦЕССА ШТАМПОВКИ ТОРЦЕВЫХ ВЫСТУПОВ ОСАЖИВАЕМОЙ ШАЙБЫ ФРИКЦИОННЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Аннотация. В строительстве, тяжелом машиностроении и авиастроении широко используются фрикционные соединения с высокопрочными крепежными изделиями. Надежность и работоспособность конструкций с фрикционными соединениями зависит от усилия затяжки применяемого крепежа. В отечественной промышленности усилие затяжки контролируется либо по крутящему моменту, который измеряется с помощью тарированного динамометрического ключа, либо по углу поворота гайки на конечном этапе закручивания. Вышеотмеченные методы контроля усилия затяжки обладают повышенной трудоемкостью. За рубежом широко применяются фрикционные соединения с контролем усилия затяжки крепежа по деформированию отдельных элементов. В Японии и США используются высокопрочные болты с контролем усилия затяжки по скручиванию торцевого элемента. Другой эффективный способ контроля усилия затяжки фрикционных соединений заключается в использовании специальной шайбы с торцевыми осаживаемыми выступами, которые в процессе затяжки деформируются. Контроль усилия затяжки осуществляют путем замера зазора между шайбами. Зазор измеряют в процессе затяжки крепежа специальным щупом. Используя метод конечных элементов на базе программного комплекса «DEFORM-3D», выполнено моделирование процесса штамповки выступа шайбы, осаживаемого при затяжке. Механические свойства материала штампуемой заготовки (сталь 35) задавались из базы данных программного комплекса, а штамповый инструмент (матрица и пуансон) рассматривались как абсолютно твердые тела. По результатам выполненных расчетов построен график зависимости усилия F штамповки осаживаемого выступа шайбы от перемещения Δh пуансона. Для аппроксимации полученной кривой $F = f(\Delta h)$ использовался полином 5-й степени.

Ключевые слова: фрикционные соединения, высокопрочные крепежные изделия, болт, гайка, шайба, усилие затяжки крепежа, моделирование процесса штамповки, метод конечных элементов, усилие штамповки

Введение

В настоящее время в строительстве и тяжелом машиностроении, а также в авиационной промышленности находят широкое применение фрикционные соединения с высокопрочными крепежными изделиями (болты, гайки и шайба) [1, 2]. Работоспособность и надежность собираемых конструкций существенно зависят от усилия затяжки крепежа [3], которое регламентируется соответствующей нормативно-технической документацией. Поэтому при монтаже конструкций в обязательном порядке контролируется усилие затяжки. Для контроля усилия используются различные технические подходы и решения.

В отечественной промышленности контроль усилия затяжки высокопрочных болтов фрикционных соединений, в основном, осуществляется либо по крутящему моменту, прикладываемому к специально применяемому динамометрическому ключу, либо по углу закручивания гайки на конечном этапе монтажа [4]. Применяемые методы обладают повышенной трудоемкостью, носят субъективный характер и не всегда обеспечивают требуемую точность регламентированного усилия затяжки.

За рубежом находят широкое применение фрикционные соединения с высокопрочными крепежными изделиями, контроль затяжки которых осуществляют по деформированию отдельных элементов крепежа. В Японии и США широко используются высокопроч-

ные болты с контролем усилия затяжки по скручиванию торцевого элемента болта [5, 6]. Такие болты выполняются с полусферической головкой, гладким и резьбовым участками. На конце резьбового участка выполняется торцевой элемент в виде многогранника, за который осуществляется закручивание болта. Между резьбовым участком и торцевым элементом выполняется цилиндрическая канавка строго определенных размеров. При окончательной затяжке резьбового соединения гайка остается неподвижной, а кручение осуществляют за торцевой многогранный элемент и при достижении определенного крутящего момента, а следовательно и усилия затяжки, происходит скручивание торцевого элемента по цилиндрической канавке.

Другой широко применяемый за рубежом эффективный способ контролируемой затяжки фрикционных соединений заключается в деформировании торцевых выступов специальной шайбы и замера возникающего зазора [7]. Крепежные детали для контроля усилия затяжки по деформированию выступов осаживаемой шайбы представлены на рис. 1.

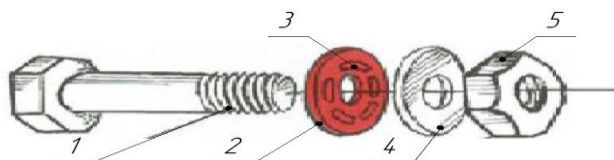


Рис. 1. Крепежные детали для контроля усилия затяжки по деформированию выступов осаживаемой шайбы

Процесс сборки и контроль усилия затяжки осуществляются следующим образом. Высокопрочный болт 1 вставляется в отверстие соединяемых деталей. Со стороны резьбового участка болта одеваются специальная шайба с торцевыми осаживаемыми выступами 3 и плоская шайба 4, а затем закручивается гайка 5. При закручивании гайки 5 выступы 3 шайбы 2 деформируются. Контроль усилия затяжки осуществляется по зазорам между шайбами 2 и 4, которые замеряются с помощью щупа.

На рис. 2 детально представлены некоторые разновидности шайб с осаживаемыми выступами.

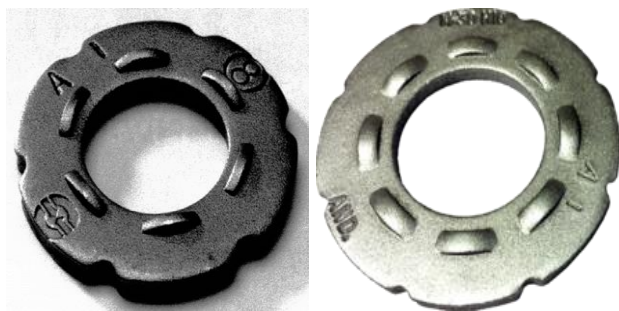


Рис. 2. Разновидности шайб с осаживаемыми выступами

При выборе кузнечно-прессового оборудования и проектировании технологического инструмента для реализации процесса штамповки шайб с торцевыми осаживаемыми выступами необходима информация об усилиях, возникающих в процессе деформирования [8]. Моделирование процесса штамповки торцевого выступа шайбы осуществлялось с использованием программного комплекса «DEFORM-3D», в основу которого положен метод конечных элементов [9, 10].

Так как в известных конструкциях шайб количество осаживаемых выступов может быть различным (на рис. 1 их 5, а на рис. 2 их 6 и 7), то для сокращения времени расчета рассматривался процесс штамповки одного торцевого выступа шайбы. Схема процесса деформирования представлена на рис. 3.

При конечно-элементном моделировании процесса штамповки выступа шайбы заготовка 1 размещалась на торцевой поверхности матрицы 2, у которой выполнено центральное отверстие 3. Пуансону 4, который размещался соосно отверстию 3 матрицы, сообщалось движение вниз. Механические свойства материала заготовки 1 задавались из базы данных программного комплекса «DEFORM-3D», которые были близки к свойствам стали 35, применимой при изготовлении шайб. Инструмент (матрица 2 и пуансон 4) рассматривался как абсолютно твердые тела.

По результатам расчетов построен график зависимости усилия деформирования F от перемещения Δh пуансона, который представлен на рис. 4.

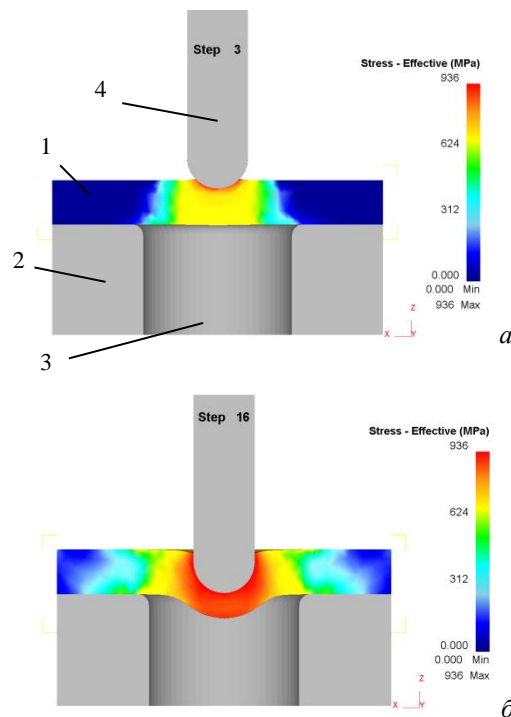


Рис. 3. Схема процесса штамповки и поля интенсивности напряжений при формировании торцевого осаживаемого выступа шайбы: а – начальный этап деформирования; б – конечный этап деформирования

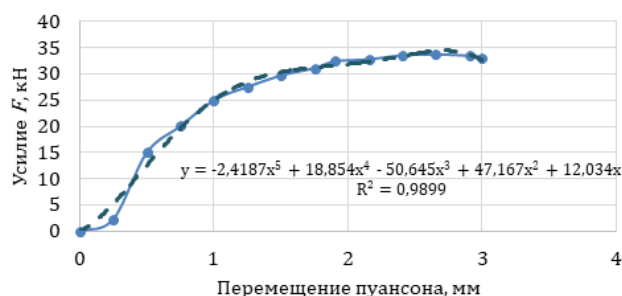


Рис. 4. Изменение усилия F штамповки при формировании выступа шайбы

Для аппроксимации полученной кривой использовался полином 5-й степени в виде уравнения

$$F = -2,4187(\Delta h)^5 + 18,854(\Delta h)^4 - 50,645(\Delta h)^3 + 47,167(\Delta h)^2 + 12,034(\Delta h). \quad (1)$$

Уравнение (1) достаточно точно описывает зависимость $F = f(\Delta h)$, так как коэффициент детерминации имеет высокое значение ($R^2 = 0,9899$).

Для обобщения полученных результатов и возможности их использования при анализе процессов деформирования выступов, подобных вышеизложенному, вводились безразмерные параметры: относительное удельное усилие p штамповки и относительное перемещение e_i пуансона, для определения которых использовались следующие зависимости.

Относительное удельное усилие

$$p = \frac{F}{\sigma_s A}, \quad (2)$$

где σ_s – предел текучести материала заготовки;
 A – площадь поперечного сечения пуансона.

Относительное перемещение пуансона

$$\varepsilon_i = \frac{\Delta h}{h}, \quad (3)$$

где Δh – перемещение пуансона на i -м этапе деформирования;
 h – высота исходной заготовки.

Используя безразмерные параметры (2) и (3), выполнены соответствующие расчеты и построен график зависимости относительного удельного усилия p от относительного перемещения пуансона ε_i , который представлен на рис. 5.

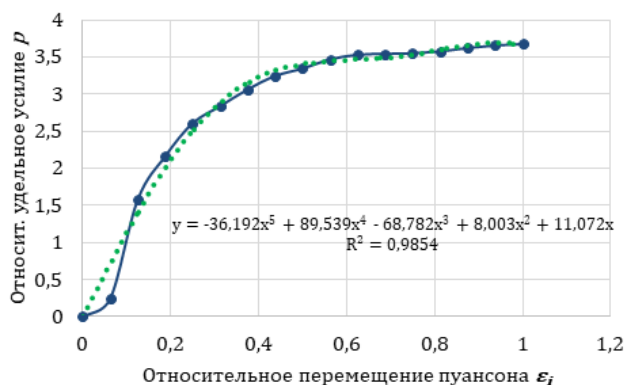


Рис. 5. Зависимость относительного усилия p от относительного перемещения пуансона ε_i

Полученная зависимость $p = f(\varepsilon_i)$ аппроксимировалась полином 5-й степени в виде уравнения

$$p = -36,192 \varepsilon_i^5 + 89,539 \varepsilon_i^4 - 68,782 \varepsilon_i^3 + 8,003 \varepsilon_i^2 + 11,072 \varepsilon_i \quad (4)$$

Уравнение (4) достаточно точно описывает зависимость $p = f(\varepsilon_i)$, так как коэффициент детерминации имеет высокое значение ($R^2 = 0,9854$).

Полученные результаты исследований могут быть использованы при совершенствовании технологических процессов изготовления шайб с осаживаемыми торцевыми выступами, при выборе оборудования для их штамповки и при проектировании технологического инструмента.

Выводы

1. Выполнен анализ известных способов контроля усилия затяжки высокопрочных крепежных изделий, применяемых при сборке фрикционных соединений. Отмечена эффективность применения способов контроля затяжки по деформируемому элементу (болты со скручивающимся торцевым хвостовиком и шайбы с осаживаемыми выступами).

2. По результатам конечно-элементного моделирования с использованием программного комплекса «DEFORM-3D» установлены закономерности изменения усилий штамповки выступа осаживаемой шайбы в зависимости от перемещения пуансона. Полученные зависимости с высокой точностью аппроксимированы полиномом 5-й степени.

3. Результаты выполненных исследований рекомендуется использовать при проектировании технологического инструмента для штамповки шайб с осаживаемыми выступами и выборе кузнечно-прессового оборудования для реализации процесса изготовления шайб в условиях ОАО «ММК-Метиз».

Список литературы

1. Мокринский В.И., Железков О.С. Новые прогрессивные виды и технологические процессы изготовления крепежных изделий / Сер. Метизное производство. Вып. 2. М.: Ин-т Черметинформация, 1990. С. 22.
2. Крепежные изделия для современного машиностроения / И.А. Воробьев, С.В. Овчинников, Г.В. Бунатян и др. Нижний Новгород: МПК-сервис, 2016. 520 с.
3. Каптелин С.Ю. Контроль натяжения высокопрочных болтов при устройстве фрикционных соединений // Путь и путевое хозяйство. 2019. № 2. С. 33-37.
4. Гладштейн Л.И., Бабушкин В.М., Какулия Б.Ф. Высокопрочные болты для строительных стальных конструкций с контролем натяжения по срезу торцевого элемента // Труды ЦНИИПС им. Мельникова. Промышленное и гражданское строительство. 2008. № 5. С. 11-13.
5. JSS 11-09-1966: Society of Steel Construction of Japan – Sets of Torshear Type High Strength Bolt, Hexagon Nut and Plain Washers for Structural Joints.
6. Tan, W., 2004. Installation Behavior of ASTM F1852 Twist-Off Type Tension Control Bolts. Department of Civil Engineering, University of Toronto.
7. ASTM F959/F959M-2017. Standard Specification for Compressible-Washer-Type Direct Tension Indicators for Use with Structural Fasteners, Inch and Metric Series. docs.cntd.ru. / 01.12. 2017
8. Развитие теории и технологии проектирования машин, агрегатов и инструмента в процессах обработки давлением и резания / С.И. Платов, Н.Н. Огарков, Д.В. Терентьев и др. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2014. № 1. С. 112-114.

9. Norrie D.H., de Vries G. The Finite Element Method – Fundamentals and Applications. Academic Press. New York, 1973. 322 p.
10. Сегерлинд Л.Д. Применение метода конечных элементов. М.: Мир, 1979. 240 с.

Сведения об авторах

Железков Олег Сергеевич – доктор технических наук, профессор кафедры механики, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск, Россия. E-mail: ferumoff@mail.ru

Лизов Салимжан Бурамбаевич – аспирант, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск, Россия. E-mail: salimzhan.1996@mail.ru.

Макаров Богдан Борисович – студент, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск, Россия. E-mail: nexusbionics@yandex.ru

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

POWER PARAMETERS OF THE STAMPING PROCESS OF THE END PROJECTIONS OF THE DEPOSITED WASHER OF FRICTION JOINTS

Zhelezkov Oleg S. – Dr. Sci. (Eng.), Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: ferumoff@mail.ru.

Lizov Salimgan B. – graduate student, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: salimzhan.1996@mail.ru.

Makarov Bogdan B. – student, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: nexusbionics@yandex.ru.

Abstract. Friction joints with high-strength fasteners are widely used in construction, heavy machinery and aircraft construction. The reliability and operability of structures with friction joints depends on the tightening force of the fastener used. In the domestic industry, the tightening force is controlled either by the torque, which is measured using a calibrated torque wrench, or by the angle of rotation of the nut at the final stage of tightening. The above-mentioned methods of controlling the tightening force have increased labor intensity. Friction joints with control of the tightening force of fasteners for deformation of individual elements are widely used abroad. In Japan and the USA, high-strength bolts are used with the control of the tightening force on the twisting of the end element. Another effective way to control the tightening force of friction joints is to use a special washer with end-mounted protrusions that deform during tightening. The tightening force is controlled by measuring the gap between the washers. The gap is measured during the tightening of the fastener with a special probe. Using the finite element method based on the "DEFORM-3D" software package, the modeling of the stamping process of the washer protrusion, which is deposited during tightening, is performed. The mechanical properties of the material of the stamped workpiece (steel 35) were set from the database of the software package, and the die tool (matrix and punch) they were considered as absolutely solid bodies. Based on the results of the calculations performed, a graph of the dependence of the punching force F of the deposited protrusion of the washer on the movement of the punch is constructed. To approximate the resulting curve $F = f(\Delta h)$, a polynomial of the 5th degree was used.

Keywords: friction joints, high-strength fasteners, bolt, nut, washer, fastener tightening force, modeling of the stamping process, finite element method, stamping forces.

Ссылка на статью:

Железков О.С., Лизов С.Б., Макаров Б.Б. Силовые параметры процесса штамповки торцевых выступов осаживаемой шайбы фрикционных соединений // Теория и технология металлургического производства. 2023. №1(44). С. 30-33.
Zhelezkov O.S., Lizov S.B., Makarov B.B. Power parameters of the stamping process of the end projections of the deposited washer of friction joints. *Teoria i tehnologija metallurgiceskogo proizvodstva*. [The theory and process engineering of metallurgical production]. 2023, vol. 44, no. 1, pp. 30-33.