

УДК 621.9.048.6

DOI: 10.30987/article\_5ce675a19ef690.18259732

**Д.С. Фатюхин**, д.т.н., **Р.И. Нигметзянов**, к.т.н., **С.К. Сундуков**, к.т.н.,  
**С.Ю. Кузнецов**, аспирант, **А.В. Сухов**, студент  
(Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ),  
г. Москва, Ленинградский пр-т, д. 64)  
E-mail: mitriy@yandex.ru; lefmo@yandex.ru

## Технологический процесс получения заклёпочного соединения с помощью ультразвукового ударного воздействия

*Рассмотрены вопросы повышения эффективности получения заклёпочных соединений. Представлена схема ударной ультразвуковой клёпки. Предложен технологический процесс создания заклёпочного соединения. Приведены результаты испытаний соединений, полученных ударной ультразвуковой клёпкой.*

**Ключевые слова:** ультразвук; машиностроение; клёпка; технология; деформация.

**D.S. Fatyukhin**, Dr. Sc. Tech., **R.I. Nigmatzyanov**, Can. Sc. Tech., **S.K. Sundukov**, Can. Sc. Tech.,  
**S.Yu. Kuznetsov**, Post graduate student, **A.V. Sukhov**, Student  
(Moscow Auto-Road State Technical University (MADI), 64, Leningradsky Avenue, Moscow)

## Engineering process of manufacturing riveted joint using ultrasonic percussive impact

*The matters of riveted joint production effectiveness increase are considered. A circuit of percussive ultrasonic riveting is presented. There is offered an engineering process for riveted joint production. The test results of joints manufactured by percussive ultrasonic riveting are shown.*

**Keywords:** ultrasound; mechanical engineering; riveting; technology; deformation.

### Введение

Несмотря на то, что в машиностроении для получения неразъёмных соединений чаще всего используют сварку, пайку, запрессовку и клей [1, 2], в ряде случаев рациональным является применение заклёпок, которые обеспечивают надёжность соединений при больших вибрационных или ударных нагрузках. При этом качество заклёпочного соединения во многом определяется величиной и равномерностью распределения остаточных сжимающих напряжений по всей толщине пакета.

При выполнении соединений ударной и прессовой клёпкой для заклёпок  $d_3 = 1,0 \dots 10$  мм повышенной точности по ГОСТ 14802-85 диаметр отверстий составляет  $d_3 + 0,1$  мм. Заполнение зазора материалом заклёпки обес-

печивается её стеснением. Очевидно, что уменьшение зазора при установке заклёпки способствует уменьшению величины деформации заклёпки, которая необходима для создания требуемой величины радиальных напряжений в соединении. Однако при установке заклёпки без зазора возрастает установочное усилие, что может привести к деформации элементов соединения.

Установить заклёпку в отверстие с минимальным зазором без приложения значительной нагрузки можно при передаче ей высокочастотных колебаний. Одним из способов повышения эффективности сборки соединений с натягом является ультразвуковой, который в настоящее время широко используют для получения соединений в машиностроении [3, 4]. Основным механизмом воздействия ультра-

звука является передача деталям значительных ускорений и изменение характера сухого трения, которое при наличии быстрых вибраций приобретает особенности квазивязкого [5].

Другим фактором, определяющим усталостную прочность, является равномерность распределения радиальных напряжений, создаваемых стержнем заклепки, по всей толщине соединяемого пакета. При ударном расклепывании стержень заклепки деформируется неравномерно, принимая бочкообразную форму. В результате наибольшие напряжения возникают в среднем сечении стержня, а вблизи закладной головки они могут отсутствовать. При этом снижается прочность и герметичность соединения.

При применении ультразвука в процессах обработки материалов давлением [6] наблюдается снижение статического напряжения пластического деформирования. Монокристаллы деформируются путем двойникования или изгиба, а поликристаллы разрушаются на границе зерен. Таким образом, ультразвуковые колебания снижают статическое напряжение текучести аналогично нагреву.

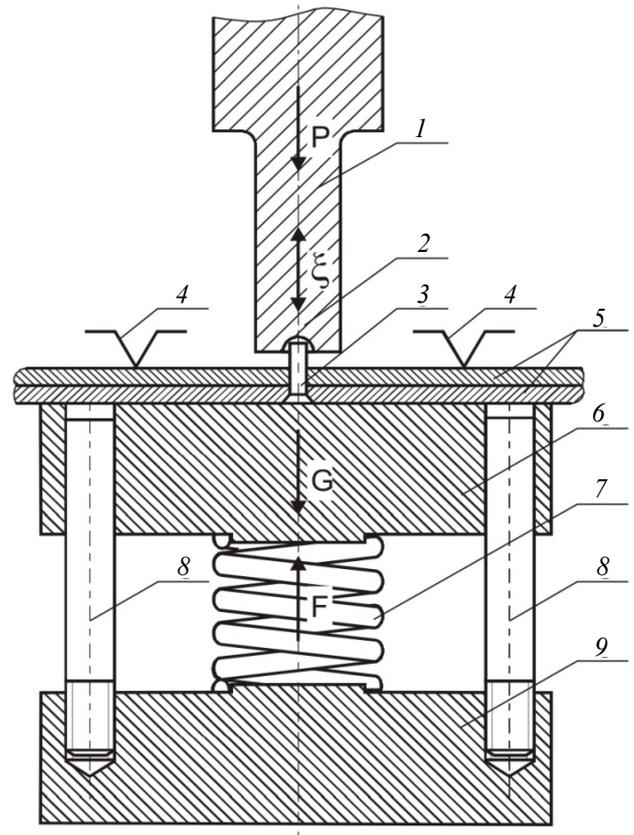
При получении клепаных соединений, исследования [7] по воздействию ультразвуковых колебаний на зону деформирования показывают значительное снижение усилий при стеснении стержня и формировании замыкающей головки заклепки за счет увеличения пластичности материала в зоне соединения.

Таким образом, эффективность применения ультразвука в процессе клепки определяется двумя основными факторами: снижением трения при установке заклепки и уменьшением сопротивления пластическому деформированию в зоне деформации.

### Схема образования заклепочного соединения

Повышение качества заклепочных соединений достигается при использовании различных схем передачи колебаний для деформации заклепки [8]. Схемы основаны на передаче микроударной нагрузки заклепке рабочим инструментом колебательной системы непосредственно или через промежуточный элемент. Использование схемы с промежуточным элементом наиболее эффективно, поскольку позволяет снизить усилие и время деформации заклепки.

Наиболее перспективной для производства является схема, представленная на рис. 1.



**Рис. 1. Схема образования заклепочного соединения:** 1 – ультразвуковой излучатель; 2 – профилированная обжимка; 3 – заклепка; 4 – прижим; 5 – пакет соединяемых деталей; 6 – упор; 7 – пружина; 8 – направляющая; 9 – основание;  $P$  – сила прижима;  $F$  – сила упругости пружины;  $G$  – сила тяжести упора;  $\xi$  – амплитуда колебаний

Заклепку 3 устанавливают в отверстие в пакете 5 соединяемых деталей. Пакет 5 соединяемых деталей с заклепкой 3 устанавливают на упор 6 и жестко закрепляют на нем прижимами 4. Упор 6 соединен с основанием 9 пружиной 7, с возможностью вертикального перемещения упора 6 по направляющим 8. Ультразвуковой излучатель 1 поджимает стержень заклепки 3, при этом стержень входит в профилированную обжимку 2. Упор 6 с пакетом 5 соединяемых деталей и заклепкой 3 перемещается вниз по направляющим 8 под действием усилия прижима  $P$ , создаваемого излучателем 1.

При включении ультразвукового излучателя 1 продольные колебания с амплитудой  $\xi$  передаются на заклепку 3, упор 6 и пакет 5 соединяемых деталей. При перемещении торца излучателя 1 вниз заклепка 3 и упор 6 с пакетом 5 соединяемых деталей и заклепкой 3 отклоняются на величину  $\xi/2$ . Поскольку между заклепкой 3 и ультразвуковым излучате-

лем 1 нет жёсткого соединения, а упор 6 с пакетом 5 соединяемых деталей и заклёпкой 3 обладают значительной инертностью, то при перемещении торца излучателя 1 вверх происходит разрыв механической связи между ними. Через промежуток времени, значительно больший периода колебания ультразвукового излучателя 1, под действием силы упругости  $F$ , создаваемой пружиной 7, упор 6 с пакетом 5 соединяемых деталей и заклёпкой 3 перемещаются вверх до столкновения с торцом ультразвукового излучателя 1. Происходит удар, в результате которого заклёпка 1 деформируется. Далее процесс повторяется. Формирование замыкающей головки заклёпки 3 осуществляется обжимкой 2 в условиях полустесненной осадки, что приводит к повышению радиального натяга в соединении.

В результате реализации способа клёпки в момент удара на заклёпку вместе с силой, возникающей при перемещении торца излучателя, действует сила упругости  $F$ , что позволяет повысить скорость и степень деформации заклёпки. Выполнение подпружиненным упором с регулируемым усилием 20...1000 Н позволяет осуществлять согласование колебаний упора и торца излучателя в зависимости от амплитуды его колебаний, а также в зависимости от толщины пакета собираемых деталей и механических свойств заклёпки, так, чтобы удар происходил в момент движения торца излучателя и заклёпки навстречу друг другу.

### Технологический процесс получения заклёпочного соединения

На основании проведённых теоретических и экспериментальных исследований разработана блок-схема комплексного технологического процесса получения заклёпочного соединения, которая представлена на рис. 2.

Технологический процесс предусматривает получение сборочной единицы с последующим ее помещением в специальную межоперационную тару.

Учитывая специфику использования заклёпочных соединений, технология и оборудование предназначены для серийного производства. При этом на большинстве рабочих мест выполняется одна рабочая операция. Закрепление за каждым рабочим местом одной технологической операции позволяет широко использовать специальное оборудование, механизировать и автоматизировать трудоёмкие процессы.

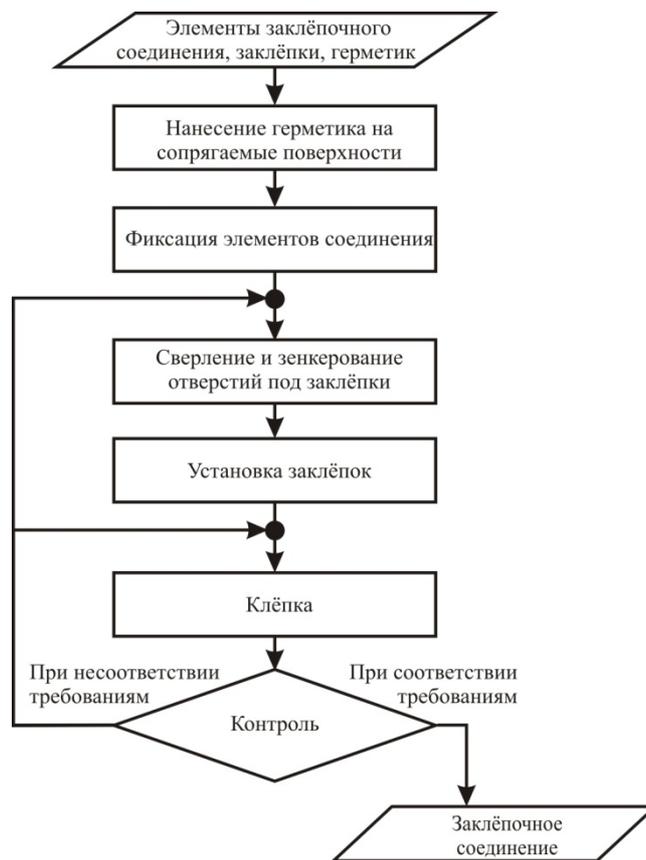


Рис. 2. Блок-схема комплексного технологического процесса получения заклёпочного соединения

Предлагаемый технологический процесс получения заклёпочного соединения состоит из следующих операций.

1. *Нанесение герметика на сопрягаемые поверхности (при необходимости) и фиксация соединения.* Перед нанесением герметика проводится обезжиривание поверхностей промывкой. Нанесение герметика на сопрягаемые поверхности для внутришовной герметизации может осуществляться точками или швом. В качестве наиболее универсального герметика, применяемого в авиа- и машиностроении, может использоваться Виксинт У-2-28.

Фиксация и сжатие пакета производятся до изготовления отверстий, поскольку под действием осевого усилия сверла материал может не прорезаться, а отгибаться, образуя заусенцы. Кроме того, предварительное сжатие позволяет обеспечить соосность отверстий в элементах соединения. В качестве устройств фиксации используются механические струбцины или ручной гидропресс.

2. *Сверление и зенкерование отверстий под заклёпки.* Выбор инструмента и параметров сверления осуществляется по нормативным справочникам в зависимости от толщины и материала элементов соединения. В случае

применения в соединении потайных заклепок необходимо зенкерование гнезда под закладную головку. Наиболее рациональным в этом случае является применение комбинированного инструмента «сверло-зенкер», позволяющего за один проход получить отверстие с уже готовым гнездом.

3. *Установка заклёпок.* Установка заклёпки производится со статическим усилием не более 50 Н и наложением на неё продольных ультразвуковых колебаний. Передача колебаний позволяет значительно снизить усилие сборки и предотвратить деформацию элементов соединения в случае установки заклёпки без зазора.

4. *Клёпка.* Клепка производится по схеме, представленной на рис. 1. При ультразвуковом ударном воздействии регулируемые параметрами обработки являются амплитуда колебаний, сила прижима, величина начальной деформации пружины. Они выбираются в зависимости от размеров и материала заклёпки.

5. *Контроль.* После изготовления заклёпочного соединения производится его визуальный контроль формы и размеров закладных и замыкающих головок, а также плотности прилегания соединяемых деталей в готовом шве. При необходимости проводятся испытания герметичности соединения. В случае обнаружения утечек производят дополнительную герметизацию, устанавливая заклепки большего диаметра или нанося дополнительный слой герметика.

### Заключение

Испытания полученных заклёпочных соединений проводились на универсальной испытательной машине УТС-110М-50-0У. В результате проведения испытаний соединений с заклёпками Ø3 мм удалось выявить, что при ультразвуковом ударном способе, по сравнению с запрессовкой, напряжение на срез увеличилось с 160...165 МПа до 200...210 МПа, что составляет 12 ... 13 %.

Кроме изменения напряжения на срез на диаграмме испытания в координатах «усилие – перемещение» отмечено заметное уменьшение взаимного смещения элементов соединения до разрушения. При испытании прессового соединения разрушение происходило при смещении элементов на 1,4...2,0 мм; у соединения, полученного ультразвуковым ударным способом, эта величина составила 0,6...1,2 мм. Поскольку заклёпка начинает работать на срез только после сдвига сопрягаемых деталей на величину радиального зазора между стержнем

заклепки и стенками отверстия, уменьшение перемещения при ультразвуковом способе показывает большее заполнение отверстия материалом заклёпки.

Таким образом, предлагаемая технология позволяет обеспечить равномерное распределение остаточных сжимающих напряжений по всей толщине соединяемого пакета, при одновременном снижении усилия, необходимого для образования заклёпочного соединения, что, в свою очередь, позволяет повысить его надежность.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Аноприенко, А.К., Баурова, Н.И. Формирование конструкторско-технологического решения при клееклепаной технологии сборки // Ремонт. Восстановление. Модернизация. – 2018. – № 4. – С. 44-47.
2. Коноплин, А.Ю., Аноприенко, А.К., Баурова, Н.И. Клееварная и клееклепанная технологии для проведения ремонта дорожных машин // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2015. – № 3(73). – С. 31-33.
3. Приходько, В.М., Нигметзянов, Р.И., Фатюхин, Д.С. Ультразвуковые технологии обеспечения и повышения качества и конкурентоспособности изделий машиностроения // Научно-технические технологии в машиностроении. – 2015. – № 7 (49). – С. 39-44.
4. Приходько, В.М., Нигметзянов, Р.И., Фатюхин, Д.С. Инновационные технологии ультразвуковой обработки // Научно-технические технологии в машиностроении. – 2014. – № 7 (37). – С. 15-20.
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. Казанцев, В.Ф., Лужнов, Ю.М., Нигметзянов, Р.И., Сундуков, С.К., Фатюхин, Д.С. Выбор и оптимизация режимов ультразвукового поверхностного деформирования // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). – 2016. – № 4 (47). – С. 26-32.
7. Кузнецов, С.Ю., Нигметзянов, Р.И., Фатюхин, Д.С. Совершенствование технологического процесса получения клепаных соединений // Научно-технические технологии в машиностроении. – 2015. – № 10 (52). – С. 40-48.
8. Малкина, И.В. Повышение качества сборочных соединений объектов машиностроения путём наложения ультразвуковых колебаний // Научно-технические технологии в машиностроении. – 2016. – № 6 (60). – С. 43-48.

### REFERENCES

1. Anoprienko, A.K., Baurova, N.I. Formation of design-technological solution at adhesive-rieveting technology of assembly // *Repair. Reconstruction. Updating.* – 2018. – No.4. – pp. 44-47.

2. Konoplin, A.Yu., Anoprienko, A.K., Baurova, N.I. Adhesion-welding and adhesion-riveting technologies for road-building equipment repair // *Science and Engineering in Road Industry*. – 2015. – No.3(73). – pp. 31-33.

3. Prikhodko, V.M., Nigmatzyanov, R.I., Fatyukhin, D.S. Ultrasonic technologies for support and increase of quality and competitive ability of engineering products // *Science Intensive Technologies in Mechanical Engineering*. – 2015. – No.7 (49). – pp. 39-44.

4. Prikhodko, V.M., Nigmatzyanov, R.I., Fatyukhin, D.S. Innovation technologies of ultrasonic processing // *Science Intensive Technologies in Mechanical Engineering*. – 2014. – No.7(37). – pp. 15-20.

5. Nigmatzyanov, R.I., Prikhodko, V.M., Sundukov, S.K., Fatyukhin, D.S. Ways for parts joints ultrasonic dismantling // *Repair. Reconstruction. Updating*. 2017. – No.2. – pp. 41-46.

6. Kazantsev, V.F., Luzhnov, Yu.M., Nigmatzyanov, R.I., Sundukov, S.K., Fatyukhin, D.S. Mode choice and optimization for ultrasonic surface deformation // *Bulletin of Moscow Auto-Road State Technical University (MADI)*. – 2016. – No.4(47). – pp. 26-32.

7. Kuznetsov, S.Yu. Nigmatzyanov, R.I., Fatyukhin, D.S. Engineering process updating for riveted joint manufacturing // *Science Intensive Technologies in Mechanical Engineering*. – 2015. – No.10(52). – pp. 40-48.

8. Malkina, I.V. Assembly joint quality increase at mechanical engineering objects through ultrasonic oscillation application // *Science Intensive Technologies in Mechanical Engineering*. – 2016. – No.6(60). – pp. 43-48.

Рецензент д.т.н. Л.Г. Петрова

**Реклама Вашей продукции в нашем журнале –  
один из способов достижения Вашего успеха!**

Журнал «Научно-технические технологии в машиностроении» читают руководители и специалисты предприятий машиностроительного комплекса.

Публикация рекламного объявления в нашем журнале даст Вам возможность:

- найти партнеров, заинтересованных в современных исследованиях, а также внедрении Ваших идей и разработок в области машиностроения;
- установить контакты с организациями и фирмами России и стран ближнего и дальнего зарубежья;
- наладить обмен информацией.

**Обращайтесь в редакцию! E-mail: [naukatm@yandex.ru](mailto:naukatm@yandex.ru)**

