

К ПРОБЛЕМЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ И КАЧЕСТВА СБОРКИ МАШИН

О. М. Батищева, В. А. Папшев, Г. А. Родимов

Надежность и качество машин зависят от качества отдельных деталей, агрегатов, входящих в ее состав. Назначение подавляющего большинства агрегатов транспортных, транспортно-технологических машин – передача крутящего момента, следовательно, главным рабочим движением в этих агрегатах является вращение валов. К агрегатам с опорами валов на подшипниках качения относятся агрегаты трансмиссии автомобилей, транспортных, транспортно-технологических машин и других механизмов. Для агрегатов трансмиссии поверхностями рабочего движения являются поверхности качения колец подшипников, установленных неподвижно относительно корпуса и вала. Реальная форма поверхностей качения в подшипниковых узлах и их расположение формируются в результате сборки неподвижных соединений колец подшипников с корпусом и валом. Очевидно, что работоспособность и эксплуатационные показатели агрегата зависят от конструкторско-технологического обеспечения качества сборки подшипниковых узлов.

Неподвижные соединения подшипниковых узлов агрегатов автомобиля выполняются в основном методом запрессовки. При этом имеет место силовое воздействие на кольцо подшипника и сопрягаемую с ним деталь неподвижного соединения. Силовое воздействие, в свою очередь, отличается неравномерностью, которая вызвана многими технологическими факторами. Как показывают исследования [1–3], компенсировать некоторые из этих технологических факторов позволяет применение ультразвуковых колебаний при сборке неподвижных соединений с натягом.

К общим закономерным результатам влияния ультразвуковых методов сборки на качество подобных изделий относятся значительное улучшение микрогеометрии, в том числе несущей способности поверхностей, повышение точности, проявляющееся в уменьшении поля рассеяния контролируемого параметра и смещении центра группирования в сторону меньших отклонений. Введение в зону сопряжения деталей ультразвуковых колебаний является эффективным средством направленного регулирования основных показателей качества поверхностного слоя, в том числе тонкой кристаллической структуры, деформационного упрочнения и остаточных напряжений. Применение ультразвуковых методов сборки сопровождается значительным повышением усталостной прочности, контактной выносливости, контактной жесткости и износостойкости деталей [2, 3].

Одним из положительных эффектов введения ультразвука в зону сборки является значительное снижение сил, необходимых для образования соединения вследствие изменения условий контактного взаимодействия деталей. В частности, при ультразвуковой сборке происходит снижение сил сборки в 3...20 раз и повышение прочности соединений в 2...4 раза [3].

Также установлена эффективность использования возможностей ультразвука для получения поискового движения при сборке прессовых соединений, что позволяет компенсировать погрешности ориентации сопрягаемых поверхностей. Основное преимущество использования ультразвука при формировании прессовых соединений заключается в многократном снижении напряженности в зоне контакта сопрягаемых деталей [2, 3].

Проведенные экспериментальные исследования на физических моделях сопрягаемых деталей (валов и втулок) и последующий топографический анализ поверхностей после разборки показали, что поверхность валов после обычной сборки блестящая, состоит из кольцевых зон и характеризуется наличием продольных, длинных, часто расположенных рисок небольшой глубины. На внутренней поверхности втулок также наблюдаются кольцевые зоны, длина которых зависит от скорости запрессовки.

Как показывают результаты моделирования контакта поверхностей с помощью скольжения единичного индентора, имитирующего неровность, перед его передней поверхностью образуется опережающий наплыв деформируемого материала. При множественном контакте единичных неровностей образование опережающего наплыва при запрессовке увеличивает сопротивление пластической деформации до момента, когда происходит срыв опережающего наплыва, и вал с увеличенной скоростью проходит часть длины втулки до следующего цикла образования опережающего наплыва. При этом в месте, где произошел срыв опережающего наплыва, наблюдается увеличение высоты неровностей, а на участке, где вал перемещался с повышенной скоростью – срезание неровностей и уменьшение шероховатости. Последнее сопровождается уменьшением реальной величины натяга и прочности соединения. При запрессовке вал осуществляет прерывистое скачкообразное перемещение относительно втулки, что отрицательно влияет не только на качество сопрягаемых поверхностей и соединений в целом, но и приводит к значительным ударным нагрузкам и преждевременному выходу из строя сборочных агрегатов.

Микрорельефы поверхностей при ультразвуковой сборке зависят от схемы наложения ультразвуковых колебаний и характеризуются рядом особенностей по сравнению со сборкой в обычных условиях. Установлено, что после ультразвуковой сборки микрорельеф деформируется в меньшей степени и лишь небольшая часть наиболее высоких неровностей подвергается смятию или срезу, а на внутренней поверхности втулки кольцевых полос, отмечавшихся при обычной запрессовке, не наблюдается.

Эксплуатационные показатели соединений – прочность и контактная жесткость – во многом зависят от режимов сборки и параметров ультразвуковых колебаний. Исследованиями установлено, что увеличение амплитуды продольных колебаний вала при ультразвуковой сборке приводит к повышению статической прочности соединений P_p , причем наибольшая интенсивность роста P_p по сравнению с обычной запрессовкой наблюдается при натягах 0,005 и 0,010 мм. Так, при сборке с $\xi = 5$ мкм статическая прочность P_p увеличивается в 1,5 раза ($\delta = 0,005$ мм) и в 2 раза ($\delta = 0,010$ мм), а при $\xi = 20$ мкм соответственно в 3 и 3,5 раза. С увеличением натяга интенсивность роста прочности соединений замедляется: при $\xi = 20$ мкм на 57 % ($\delta = 0,015$ мм) и на 39 % ($\delta = 0,020$ мм) выше по сравнению с соединениями, собранными обычным способом [2].

Исследованиями напряженно-деформированного состояния, проведенного с использованием конечно-элементного анализа, установлено, что контактные напряжения при ультразвуковой сборке в несколько раз больше, чем при обычной, что является следствием меньшей деформации поверхностей [2].

Исследования физического состояния поверхностного слоя позволяют сделать вывод, что основным фактором, влияющим на повышение эксплуатационных показателей прессовых соединений, является увеличение фактической площади контакта соединяемых деталей в сочетании с большой степенью деформационного упрочнения посадочных поверхностей [2, 3].

Экспериментальные исследования микротвердости поверхностного слоя вала из стали 45 проводились при сообщении втулке из стали ШХ15СГ (HRC 62...64) радиальных (поперечных) ультразвуковых колебаний, на вал – тангенциальных (продольных) колебаний. Скорость запрессовки V выдерживалась постоянной.

Установлено, что величина степени (u_n) и глубины упрочнения (h) определяется амплитудой ультразвуковых колебаний, увеличиваясь с ростом последней. Так, если при обычной сборке u_n составляет 40 %, а глубина упрочнения $h = 75$ мкм, то при $\xi = 5$ мкм величина степени упрочнения u_n равна 55 %, глубина упрочнения $h = 90$ мкм. Дальнейший рост амплитуды до 20 мкм сопровождается повышением степени упрочнения до 73 % и глубины до 135 мкм.

Результаты проведенных исследований показывают, что введение в зону соединения тангенциальных ультразвуковых колебаний оказывает более интенсивное воздействие на пластическую деформацию поверхностного слоя по сравнению с радиальными. В частности, глубина h упрочненного слоя возрастает в среднем на 15 мкм, а степень упрочнения u_n – на (10...12) %.

Вместе с тем при больших значениях тангенциальных ультразвуковых колебаний наблюдается снижение микротвердости поверхности, причем при $\xi = 15$ мкм она даже ниже, чем у соединений, собранных с $\xi = 10$ мкм. Следующим фактором, во многом определяющим степень пластической деформации поверхностного слоя деталей, является скорость запрессовки. В эксперименте установлено, что увеличение скорости ведет к снижению степени и глубины упрочнения.

Так, если при $V = 0,001$ м/с, U_n составляет 16 %, $h = 150$ мкм, то при $V = 0,005$ м/с, u_n уменьшается до 68 %, при глубине зоны деформирования 105 мкм. Увеличение скорости запрессовки до 0,01 м/с, снижает u_n еще на 12 %, а h – до 90 мкм.

Ультразвуковая запрессовка подшипников на вал сопровождается образованием на поверхностях желобов внутренних и наружных колец пластических отпечатков глубиной $h = 0,4...3,2$ мкм, определяемой радиальным зазором в подшипнике, амплитудой колебаний, скоростью соединения деталей и натягом [4].

Исследования поверхности желобов внутренних колец подшипников после разборки показали, что максимальная глубина h отпечатков пропорционально зависит как от амплитуды ультразвуковых колебаний ξ , так и от натяга δ в соединении. Так, с увеличением ξ от 5 мкм до 20 мкм и δ от 0,005 мм до 0,020 мм глубина h отпечатков возрастает соответственно с 0,8 мкм до 3,2 мкм и с 0,42 мкм до 3,2 мкм. И, наоборот, с ростом радиального биения и скорости запрессовки глубина пластических отпечатков уменьшается.

Установлено, что основной причиной образования на поверхностях желобов пластических отпечатков является возникновение между валом и внутренними кольцами подшипника акустического контакта, в результате которого ультразвуковые колебания передаются с вала на кольцо, и происходит удар желоба о шарики. Действие сосредоточенных в одних и тех же точках многократных циклических нагрузок в условиях снижения под воздействием ультразвука физико-механических характеристик материалов, в частности твердости [5], приводит к образованию отпечатков и снижению долговечности подшипников.

Для рационального использования этого эффекта предложено совместить процесс сборки с упрочнением колец поверхностным пластическим деформированием, для этого при запрессовке вала необходимо вращать наружное кольцо подшипника.

С целью оптимизации процесса ультразвуковой сборки подшипниковых узлов были проведены исследования, включавшие определение степени и глубины деформационного упрочнения, величины и глубины залегания остаточных напряжений, контактной прочности.

Анализ приведенных данных позволяет сделать вывод, что при высокочастотном, циклическом нагружении деформация локализуется в области, непосредственно примыкающей к шарик, и не распространяется на большую глубину. Напротив, увеличение натяга частично компенсирует радиальное биение и способствует возрастанию статической нагрузки на поверхности качения, что в сочетании с ультразвуковыми колебаниями увеличивает глубину их деформирования.

Эффективность предлагаемой технологии подтверждается результатами стендовых испытаний подшипников на долговечность.

Таким образом, ультразвуковая сборка позволяет совместить операции сборки с упрочнением поверхностей, что способствует повышению качества поверхностного слоя деталей. При этом определяющее влияние на характеристики качества оказывают параметры ультразвуковых колебаний и режим сборки, оптимизация которых является значительным резервом повышения эксплуатационных показателей соединений.

Список литературы

1. Влияние ультразвуковых колебаний на интенсивность изнашивания металлов / Г. А. Родимов, О. М. Батищева, В. А. Папшев, А. И. Гудков // Труды Междунар. симп. Надежность и качество. – 2013. – Т. 2. – С. 176–178.
2. Штриков, Б. Л. Автоматизированная система научных исследований процессов ультразвуковой сборки / Б. Л. Штриков, В. Г. Шуваев, В. А. Папшев // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2007. – № 12. – С. 19–22.
3. Батищева, О. М. Модификация статистических характеристик микрогеометрии поверхностей деталей при ультразвуковой сборке / О. М. Батищева, В. А. Папшев, В. Г. Шуваев // Труды Междунар. симп. Надежность и качество. – 2010. – Т. 2. – С. 121–124.
4. Штриков, Б. Л. Особенности сборки подшипниковых узлов / Б. Л. Штриков, О. М. Батищева, Г. А. Родимов // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2003. – № 1. – С. 3–6.
5. Батищева, О. М. Технологическое обеспечение надежности и качества сборки машин / О. М. Батищева, В. А. Папшев, Г. А. Родимов // Труды Междунар. симп. Надежность и качество. – 2015. – Т. 1. – С. 28–29.

Батищева Оксана Михайловна

кандидат технических наук, доцент,
заведующий кафедрой транспортных процессов
и технологических комплексов,
Самарский государственный технический университет
(443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244)
E-mail: omb@list.ru

Папшев Валерий Александрович

кандидат технических наук, доцент,
кафедра транспортных процессов
и технологических комплексов,
Самарский государственный технический университет
(443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244)
E-mail: pva_samara@mail.ru

Родимов Геннадий Александрович

кандидат технических наук, доцент,
кафедра транспортных процессов
и технологических комплексов,
Самарский государственный технический университет
(443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244)
E-mail: pva_samara@mail.ru

Аннотация. Проведены экспериментальные исследования на физических моделях сопрягаемых деталей. Представлены результаты исследований. Предложен способ технологического обеспечения качества сборки подшипниковых узлов путем применения ультразвуковых колебаний.

Ключевые слова: подшипники качения, сборка, ультразвуковые колебания, упрочнение.

УДК 621. 787

Батищева, О. М.

К проблеме технологического обеспечения надежности и качества сборки машин / О. М. Батищева, В. А. Папшев, Г. А. Родимов // Надежность и качество сложных систем. – 2015. – № 3 (11). – С. 65–68.

Batishcheva Oksana Mikhaylovna

candidate of technical sciences, associate professor,
head of sub-department of transport processes
and technological complexes,
Samara State Technical University
(443100, 244 Molodogvardeyskaya street, Samara, Russia)

Papshev Valeriy Aleksandrovich

candidate of technical sciences, associate professor,
sub-department of transport processes
and technological complexes,
Samara State Technical University
(443100, 244 Molodogvardeyskaya street, Samara, Russia)

Rodimov Gennadiy Aleksandrovich

candidate of technical sciences, associate professor,
sub-department of transport processes
and technological complexes,
Samara State Technical University
(443100, 244 Molodogvardeyskaya street, Samara, Russia)

Abstract. The paper presents the results of the performed experimental studies on the physical analogues of mating parts. It provides with technology support methods of bearings assembly quality using ultrasonic vibrations.

Key words: rolling bearings, assembly, ultrasonic vibrations, hardening.