

Таким образом, на основании того, что методикой проведения испытаний на интенсивность износа предусмотрено проведение двух параллельных определений, показатель повторяемости методики проведения испытаний материалов на износ по изменению линейных размеров составляет 28 %, по потере массы – 9 %.

Вывод

В случае применения оптического микроскопа для оценки линейных размеров испытуемых на интенсивность износа образцов методика характеризуется показателем повторяемости, равным 28 % при оценке величин 250...450 мкм/м.

Если для фиксирования потери массы при испытаниях на абразивное изнашивание применяются веса 2-го класса точности, то показатель повторяемости составляет 9 % для величин I_G в интервале 5,0...15,0 мг/м.

Показатель повторяемости методики проведения испытаний материалов на износ по изменению линейных размеров, фиксируемых с помощью оптического микроскопа, больше, чем соответствующий показатель при испытаниях на износ по потере массы (весы 2-го класса точности). Выявленное различие в значениях показателей повторяемости методик обусловлено, по-видимому, образованием пластической волны металла на образце в процессе истирания и, как следствие, влияния субъективного фактора на оценку линейного размера испытуемого образца с помощью оптического микроскопа.

Список литературы

1. Хрущов, М. М. Абразивное изнашивание / М. М. Хрущов, М. А. Бабичев. – М. : Наука, 1970. – 251 с.
2. ГОСТ 17367–71. Металлы. Метод испытания на абразивное изнашивание при трении о закрепленные абразивные частицы.
3. Хрущов, М. М. Закономерности абразивного изнашивания // Износостойкость. – М. : Наука, 1975. – С. 5–28.
4. Сергеев, А. Г. Метрология : учебник. – М. : Логос, 2004. – 288 с.

УДК 621.81

А. Б. Турыгин, кандидат технических наук, доцент
Ижевский государственный технический университет

ПОВЫШЕНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ПРЕССОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Рассматриваются вопросы расчета напряженно-деформированного состояния и экспериментального исследования усталостной прочности многослойных прессовых соединений.

Надежность является важнейшим показателем качества продукции. Одной из составляющих данного комплексного показателя является долговечность. Поэтому вопросы, связанные с повышением долговечности деталей машин, в частности соединений с натягом, являются актуальными. Долговечность прессовых соединений в условиях переменных нагрузок определяется усталостной прочностью охватываемых деталей.

Одним из эффективных путей повышения усталостной прочности валов является введение в зону контакта тонкой металлической прослойки. Особенностью

предлагаемого многослойного прессового соединения (МПС) является нанесение тонких металлических покрытий как на охватываемую, так и на охватывающую детали (рис. 1).

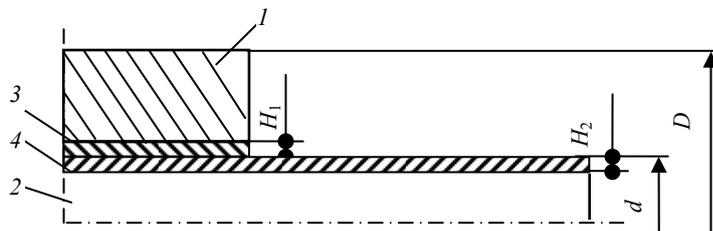


Рис. 1. Многослойное прессовое соединение: 1 – охватывающая деталь; 2 – охватываемая деталь, 3 – медное гальваническое покрытие на охватывающей детали; 4 – цинковое гальваническое покрытие на охватываемой детали

Проведенные расчеты напряженно-деформированного состояния (НДС) МПС в процессе нагружения внешней силой с помощью метода конечных элементов (МКЭ) показали, что в многослойном прессовом соединении при нагружении чистым изгибом действуют уравновешенные фрикционные силы. Это явление вызвано деформацией сопрягаемых деталей. Так, при нагружении чистым изгибом охватывающая деталь в осевом направлении в верхней части уменьшается, а в нижней – увеличивается и стремится вернуться в исходное или близкое к исходному положение при упругих или упругопластических деформациях, соответственно. Возникающие при этом фрикционные силы в зоне контакта, направленные в стороны, противоположные смещениям, повышают давление в зоне контакта на величину, которая пропорциональна коэффициенту трения.

Анализ напряженно-деформированного состояния деталей соединения при нагружении чистым изгибом показал, что напряжения распределяются неравномерно по сечению образца. Наибольшие радиальные напряжения у втулки наблюдаются в зоне контакта, максимальное значение находится у торца соединения. Осевые напряжения охватывающей детали имеют наибольшее значение на наружной поверхности сжатия, максимальное значение они принимают в средней части втулки. У охватываемой детали наибольшие напряжения возникают на поверхности контакта: радиальные – в зоне торца ступицы, осевые – в середине.

Отличие распределения радиальных напряжений у соединений с прослойкой и без нее состоит в том, что у соединений с прослойкой у вала и втулки в средней и разгруженной частях оно больше на 2...4 %, чем у соединений без прослойки. В зоне сжатия у торца охватываемой детали радиальные напряжения у МПС меньше на 9...11 %.

Окружные напряжения по деталям соединения распределяются следующим образом. Максимальные напряжения у охватывающей детали находятся на поверхности контакта и убывают в направлении к наружной поверхности. Отличие в распределении окружных напряжений у многослойных и обычных прессовых соединений состоит в том, что у первого соединения напряжения в средней зоне торца меньше на 4...6 %, чем у второго.

Анализ данных расчетов показывает, что введение мягкой металлической прослойки в зону контакта на первом этапе при толщине прослойки 0,005 мм приводит к резкому снижению (на 10...15 %) уровня интенсивности напряжений в зоне торца

ступицы. Это объясняется тем, что при приложении внешней нагрузки увеличивается интенсивность деформаций в зоне контакта на наиболее нагруженной поверхности контакта, а также связано с выдавливанием материала прослойки в зоны с более низким контактным давлением, что вызывает уменьшение объема прослойки в данной зоне и приводит к снижению максимума контактного давления. Вследствие этого происходит перераспределение уровня интенсивности напряжений в многослойном прессовом соединении по сравнению с обычным соединением. Наблюдается уменьшение уровня интенсивности напряжений в наиболее нагруженном сечении у торца ступицы. Увеличивается длина зоны с максимальной интенсивностью напряжений.

Полученные значения напряжений в сопрягаемых деталях позволили исследовать один из основных факторов, определяющих усталостную прочность охватываемых деталей – теоретический коэффициент концентрации напряжений. Большое влияние на теоретический коэффициент концентрации напряжений оказывает толщина металлической прослойки (рис. 2). Анализ показывает, что применение мягкой металлической прослойки ведет к уменьшению значения теоретического коэффициента концентрации. Причем на первом этапе наблюдается резкое снижение значений (на 14...16 %), а на втором этапе практически не наблюдается значительное изменение значения. Это объясняется тем, что введение прослойки в зону контакта вызывает снижение уровня напряжений вследствие особенностей физико-механических свойств материала прослойки.

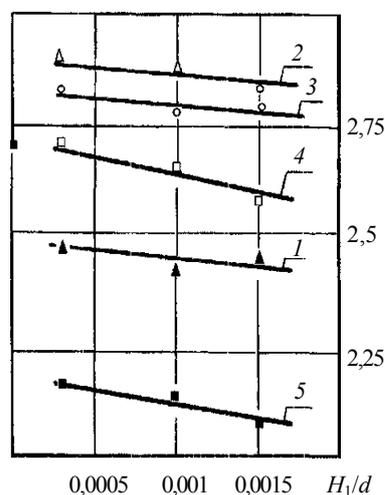


Рис. 2. Влияние толщины прослойки на теоретический коэффициент концентрации напряжений ($P = 100 H$): 1 – $D/d = 2,0; L/d = 1,0; H_2/d = 0,0007; N/d = 0,0016$; 2 – $D/d = 2,0; L/d = 1,0; H_2/d = 0,0007; N/d = 0,0033$; 3 – $D/d = 2,0; L/d = 1,0; H_2/d = 0,0016; N/d = 0,0033$; 4 – $D/d = 2,0; L/d = 1,5; H_2/d = 0,0007; N/d = 0,0033$

Таким образом, проведенное исследование позволило получить новые данные о напряженно-деформированном состоянии деталей многослойных прессовых соединений при сложном нагружении внешней силой и оценить влияние прослойки на долговечность по значениям теоретического коэффициента концентрации.

Далее проводилось экспериментальное исследование усталостной прочности МПС.

В общем машиностроении детали соединений наиболее часто изготавливаются из конструкционных среднеуглеродистых сталей. Толщина ступицы охватывающих деталей, оцениваемая параметром D/d , находится в пределах 1,4...2,2, а величина длиннового параметра $L/d - 1,0...2,5$. Поэтому нижний уровень фактора D/d принят равным 1,5, а верхний – 2,0. Нижний уровень фактора L/d равен 1,0, а верхний – 1,5.

Влияние величины натяга оценивается отношением величины натяга к диаметру посадки (N/d). Верхний уровень выбран из условия отсутствия пластических деформаций охватывающей детали, $N/d = 0,0033$.

Величины уровней фактора толщины прослойки были выбраны из следующих соображений. Посадочные поверхности сопрягаемых деталей были изготовлены с шероховатостью $Ra = 6,3$ мкм. Верхний уровень был выбран из условия полного заполнения микронеровностей материалом прослойки микронеровностей сопрягаемых деталей и равен 12 мкм, а нижний уровень – из условия заполнения материалом прослойки микронеровностей сопрягаемых деталей наполовину и равен 6 мкм. В качестве материала прослойки используется медь и цинк.

Эксперимент проводился согласно матрице планирования на МУИ-6000 при нагружении чистым изгибом в следующей последовательности: усталостные испытания валов в соединениях осуществлялись по ускоренному методу ступенчато увеличивающейся нагрузкой, что привело к значительному сокращению продолжительности эксперимента и уменьшению числа образцов. Ориентируясь на ожидаемый предел выносливости по результатам предварительных испытаний, первоначальное напряжение валов σ у торца втулки было принято равным 200 МПа. Продолжительность испытаний образцов на каждой ступени и приращение напряжений от ступени к ступени были приняты 10^5 циклов и 20 МПа соответственно.

Искомое значение предела выносливости определялось из условия разрушения таким образом:

$$\sum_{i=1}^P \frac{n_i}{N_i} = \sum_{i=1}^P n_i 10^k = 1,$$

где

$$k = (0,027 y_R + 1,4) \lg y_1 - 0,997(0,027 y_R + 2,4) \lg y_R - v;$$

$$v = 4,0 + 0,5(2,5 - \lg y_R)^2;$$

n – число циклов нагружения на i -м уровне напряжения; N_i – усталостный ресурс на i -м уровне напряжения; σR – искомый предел выносливости; P – число ступеней нагрузки при испытании.

Результаты экспериментов статистически обрабатывались: однородность дисперсии проверялась по критерию Кохрена, значимость коэффициентов регрессии – по t -критерию Стьюдента, адекватность полученного уравнения – по критерию Фишера.

Статистическая обработка опытных данных позволила представить математическую модель в следующем виде, МПа:

$$\sigma_{-1d} = 705,06 - 251,246(D/d) + 35,592(L/d) + 12,5(H_1/d) + 11,7(H_2/d) - 125,6(N/d) + 27,7(D/d)(L/d) + 41(H_1/d)(L/d) - 37,274(H_2/d)(N/d).$$

Проверка полученного уравнения по критерию Фишера при 5%-м уровне значимости показала, что математическая модель адекватно описывает указанную зависимость в диапазоне значений варьирования факторов.

Оценка значимости факторов производилась с помощью *t*-критерия Стьюдента при 5%-м уровне значимости.

Фактор толщины стенки охватывающей детали оказывает существенное влияние на выносливость валов в зоне напрессовки и с увеличением D/d увеличивается σ_{-1d} . Повышение усталостной прочности валов можно объяснить тем, что при одинаковых контактных давлениях уровень тангенциальных напряжений на сопрягаемой поверхности втулки после сборки меньше в соединениях с большим соотношением D/d . Последнее приводит к увеличению касательной вероятности возникновения проскальзывания, вызывающего фреттинг и уменьшение усталостной прочности валов.

Большое влияние на усталостную прочность валов оказывает длина сопряжения (L/d). С увеличением длины соединения значение σ_{-1d} растет. Такое влияние длины сопряжения объясняется тем, что удлинение охватываемой и сокращение охватывающей деталей возрастают. Тем самым достигается увеличение относительного сдвига поверхностей в зоне торцов соединения, что приводит к увеличению интенсивностей деформаций прослойки в этой зоне. Происходит выжимание материала мягкой металлической прослойки в зоны с более низким давлением, что приводит к уменьшению значения максимального контактного давления.

Значительное влияние на выносливость валов оказывает величина натяга в соединении, причем с ростом отношения N/d при постоянных значениях других факторов выносливость и значение σ_{-1d} падают. Снижение предела выносливости при возрастании натяга, которое ведет к увеличению контактного давления, возможно по двум причинам. Во-первых, возрастает концентрация напряжений от посадки; во-вторых, повышается уровень тангенциальных напряжений на контактирующих поверхностях, возможность возникновения фреттинг-коррозии возрастает.

Неоднозначное влияние на выносливость охватываемой детали оказывает наличие прослойки в зоне контакта, а также место ее нанесения и физико-механические свойства. Анализ показывает, что наиболее эффективным является одновременное нанесение покрытий на охватывающую и охватываемую детали, чем покрытие одной из деталей (рис. 3, 4). Установлено, что заметное увеличение предела выносливости наблюдается при толщине прослоек 6 мкм, при большей толщине увеличение предела выносливости происходит плавно.

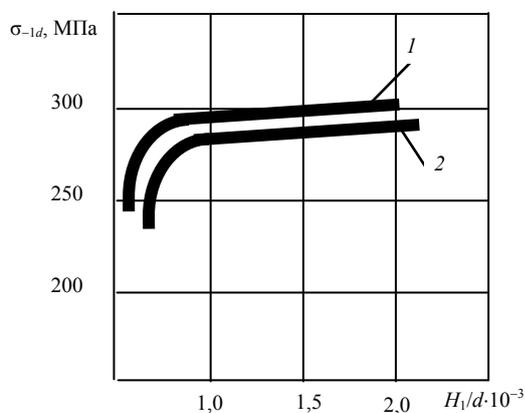


Рис. 3. Зависимость предела усталости валов МПС от толщины медной прослойки: 1 – $t_{zn} = 12$ мкм; 2 – $t_{zn} = 9$ мкм

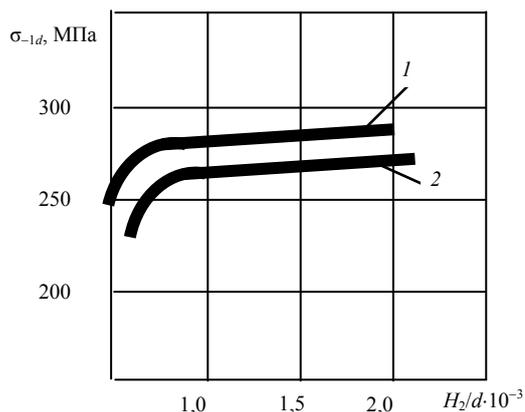


Рис. 4. Зависимость предела усталости валов МПС от толщины цинковой прослойки (1 – $t_{Cu} = 12$ мкм; 2 – $t_{Cu} = 6$ мкм)

Проведенные исследования показывают, что одновременное применение тонких металлических прослоек (Cu, Zn) в соединениях с натягом приводит к увеличению усталостной прочности валов на 20...25 %.

УДК 631.363.25:681.521.71

О. С. Федоров, старший преподаватель
Ижевская государственная сельскохозяйственная академия

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ЗЕРНОВЫХ МОЛОТКОВЫХ ДРОБИЛОК

Рассматриваются вопросы модернизации конструкций зерновых молотковых дробилок. Анализируются основные недостатки существующих схем дробления. Предлагается принципиально новый способ разделения воздушно-продуктовой массы (дерти). Приводятся результаты экспериментальных исследований.

В настоящее время при дроблении фуражного зерна широко применяются молотковые дробилки, в которых для регулирования степени измельчения зерна установлены специальные решета в дробильной камере или они вынесены из зоны активного действия молотков. Регулирование осуществляется сменой или перестановкой сепарирующих решет с различным диаметром отверстий. В первом случае наличие решет в зоне активного воздействия рабочих органов приводит к интенсивному образованию мучной пыли, износу решет и молотков, повышенному расходу энергии. Кроме того, в силу характера рабочего процесса в готовом продукте содержатся неразрушенные зерна, которые плохо или совсем не усваиваются животными и по существу являются прямыми потерями концентрированных кормов [1].