

УДК 673.6.0

В. А. Усынин, аспирант  
А. В. Щенятский, доктор технических наук, профессор  
ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

## МНОГОСЛОЙНЫЕ ПРЕССОВЫЕ СОЕДИНЕНИЯ С ПРОСЛОЙКОЙ ИЗ КОМПАУНДА

*В данной научной статье на основе анализа результатов исследования многослойных соединений с натягом и методов их расчета определено место соединений с прослойкой из компаунда, рассмотрено влияние погрешности изготовления деталей и особенности применения композита в клевоом соединении с натягом. Кроме того, подведены итоги анализа процесса трения и износа поверхностей сопрягаемых деталей.*

**Ключевые слова:** соединение, прослойка, трение, износ, компаунд, сборка, нагрузочная способность.

Одним из распространенных видов соединений в машиностроении являются многослойные соединения с натягом. Необходимое качество таких соединений, которое принято характеризовать нагрузочной способностью (НС), обеспечивается высокой точностью обработки сопрягаемых поверхностей деталей, соответствующей 5–7-му качеству. Как показывает практика [1], прочность соединений, особенно при незначительных габаритных размерах, может изменяться в несколько раз даже в пределах заданных допусков на изготовление собираемых деталей. Большое влияние в этом случае оказывает шероховатость и макро- и микрогеометрические параметры сопрягаемых поверхностей.

Поэтому в настоящее время, особенно в условиях мелкосерийного производства, эффективно применение таких видов многослойных соединений с натягом, в которых все погрешности компенсируются промежуточным элементом. Отличительным признаком является использование в данном соединении прослойки из наноструктурированного компаунда, который вводится под высоким давлением между охватывающей и охватываемой деталями или между одной из двух перечисленных деталей и дополнительным деформируемым промежуточным элементом. В одних случаях обеспечивается повышенная нагрузочная способность, снижаются требования к точности изготовления и качеству сопрягаемых поверхностей деталей, в других положительный эффект не достигается и уровень нагрузочной способности остается прежним. Следовательно, параметры деталей соединения были назначены неправильно. Повышение эффективности многослойных соединений с прослойкой из компаунда требует развития оригинального метода расчета, в том числе и технологических параметров. Внедрение прессовых соединений с прослойкой из компаунда сдерживается следующими обстоятельствами:

- недостаточной изученностью влияния наноструктурированных компаундов на нагрузочную способность соединения;
- сложностью назначения оптимальных технологических параметров, обеспечивающих требуемое качество соединения;

- отсутствием исследований, устанавливающих взаимосвязь между геометрическими и нагрузочными параметрами процесса сборки и параметрами качества получаемых соединений;

- отсутствием инженерных методик проектирования и прогнозирования нагрузочной способности получаемых соединений;

- отсутствием статистических данных о прочности соединений в зависимости от различных внешних факторов.

Качество, надежность, ремонтпригодность и другие важные показатели соединений с натягом закладываются на первых этапах жизненного цикла изделия: проектирование, изготовление и сборка. В соответствии с этим можно выделить конструкторский и технологический методы достижения и повышения нагрузочной способности (подготовка и сборка деталей соединения). На рис. 1 представлен технологический метод обеспечения и контроля НС.

Различные технологические методы сборки позволяют производить и обратную операцию – разборку соединения. Для этих целей широко применяется гидропрессовый и термический методы, применение которых почти не влияет на НС повторно собранного соединения [2]. Условно можно сказать, что это разъемное соединение, т. к. его можно разобрать без разрушения, но повторная сборка-разборка снижает надежность.

После сборки соединения диаметр  $d$  становится общим для вала и втулки. При этом на поверхности контакта развивается нормальное давление  $p$  (рис. 2, б), которое является следствием упругих и упругопластических деформаций деталей соединения при сборке. Как следствие давления, в контакте также развивается сила трения, которая обеспечивает полную неподвижность соединения при действии внешних сил.

Сборка соединения с натягом может производиться: прессованием (запрессовкой); нагревом охватывающей детали; охлаждением охватываемой детали; гидрозапрессовкой.

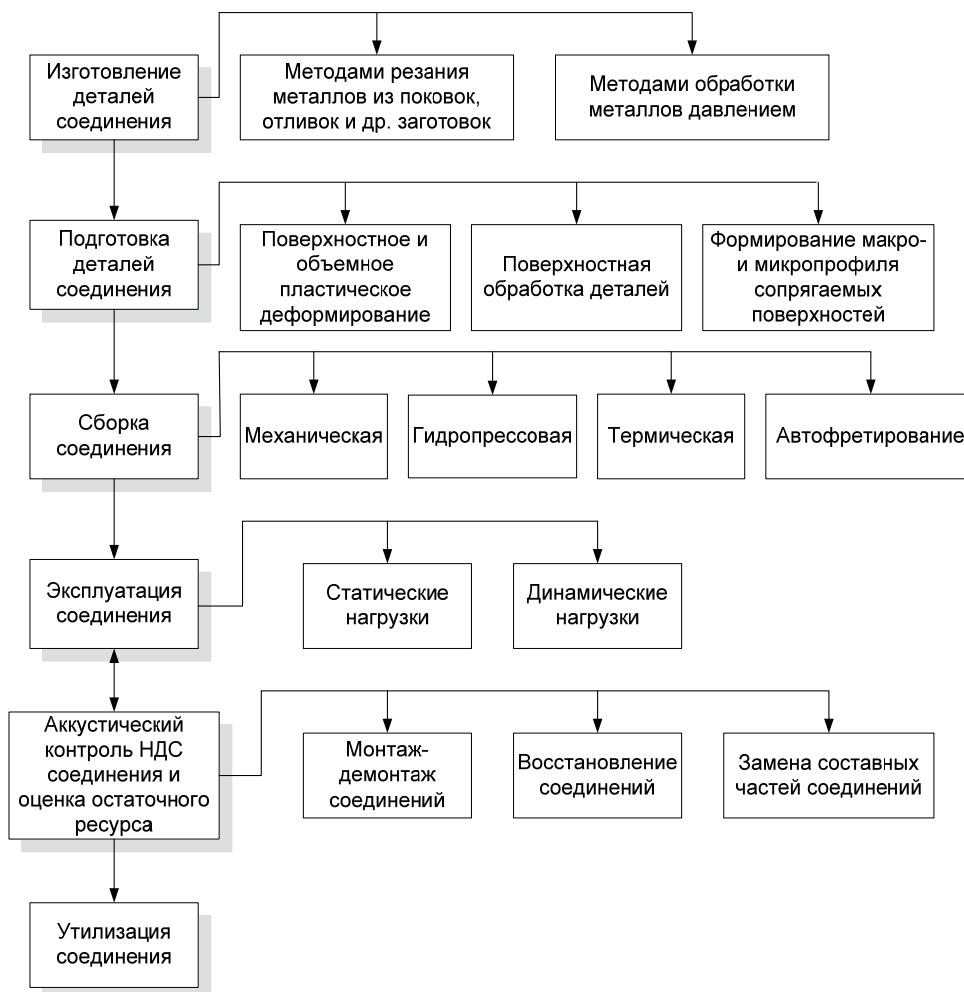


Рис. 1. Технологический метод обеспечения и контроля НС

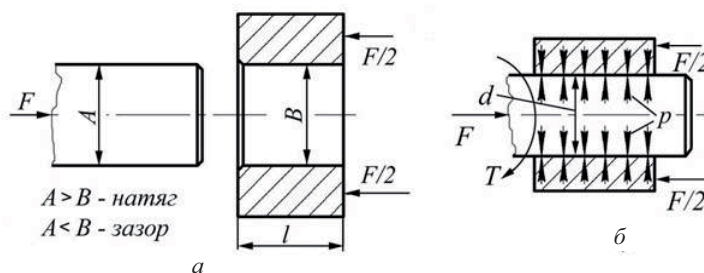


Рис. 2. Соединение с натягом: а – до запрессовки; б – после запрессовки

Запрессовка – наиболее распространенный и сложный способ сборки. Основной недостаток – срез (смятие) неровностей поверхностей при запрессовке и уменьшение шероховатости поверхности, что снижает прочность соединения [3].

Нагрев охватываемой детали (до 230 °С) – распространенный способ. Недостаток – возможно коробление деталей, появление окалины и изменение структуры при более высокой температуре, поэтому рекомендуется нагревать детали в машинном масле [4].

Охлаждение охватываемой детали (до –9 °С – углекислота и –196 °С – пары жидкого азота) очень выгодно применять для посадки малых деталей на большие (массивные) детали.

При гидрозапрессовке осуществляется нагнетание масла под давлением в зону контакта. Этот метод наиболее эффективен при сборке деталей больших диаметров и конических соединений. Недостаток – требует специального оборудования [5].

Области применения соединений: для посадки подшипников качения, ходовых колес, зубчатых колес, кулачков и т. п. на валы.

*Преимущества:*

1. Простота и технологичность, что обеспечивает низкую себестоимость и возможность применения в массовом производстве.

2. Хорошее центрирование (базирование) соединяемых деталей.

3. Возможность передачи больших знакопеременных нагрузок.

*Недостатки:*

1. Нагрузочная способность зависит от рассеивания значений коэффициента трения и колебаний действительных посадочных размеров.

2. Высокие сборочные напряжения.

3. Сложность сборки и особенно разборки при больших натягах.

Целью расчета подобных соединений является определение величины требуемого натяга и выбора по нему стандартной посадки. Значение этих параметров зависит от требуемого контактного давления  $p$  на посадочной поверхности. Это давление должно быть таким, чтобы сила трения на указанной поверхности оказалась больше внешних сдвигающих сил и моментов. Определим величину этого давления, исходя из условия его равномерного распределения по контактной поверхности для наиболее распространенных случаев (рис. 2, 3):

1) Соединение нагружено осевой силой [6].

Условие отсутствия сдвига вала относительно втулки:

$$KF \geq F_r, \quad (1)$$

где  $K = 2 \div 4$  – коэффициент запаса сцепления.

Сила трения в контакте:

$$F_r = \pi d l f p, \quad (2)$$

где  $d$  – посадочный диаметр;  $f$  – коэффициент трения;  $l$  – длина посадочной поверхности.

Используя известное решение задачи о напряжениях и деформациях в толстостенных полых цилиндрах, задачу Ляме [7], приведенные в курсе сопротивления материалов, можно определить расчетный натяг:

$$N_p = p d \left( \frac{C_1}{E_1} + \frac{C_2}{E_2} \right), \quad (3)$$

где  $C_1$  и  $C_2$  – коэффициенты жесткости;  $d$  – диаметр отверстия охватываемой детали;  $E_1$  и  $E_2$  – модули упругости и коэффициенты Пуассона материалов вала и ступицы: для стали  $E_1 = 2,1 \cdot 10^5$  МПа; для бронзы  $E_2 = 0,98 \cdot 10^5$  МПа.

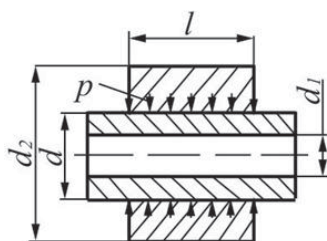


Рис. 3. Схема соединения с натягом

Для учета влияния температурного фактора вводят поправку на температурную деформацию:

$$\Delta_t = d [t_2 - 20) \alpha_2 - (t_1 - 20) \alpha_1], \quad (4)$$

где  $t_1$  и  $t_2$  – температура деталей соединения в процессе работы, °С;  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  – температурные коэффициенты линейного расширения материала деталей (для стали  $\alpha = 12 \cdot 10^{-6} \text{C}^{-1}$ ).

Изучая литературу, обратим внимание на статью А. Г. Холодкова, канд. техн. наук, проф., Московский государственный машиностроительный университет (МАМИ), «Сборка комбинированных клеевых соединений». Следует отметить, что склеивание – один из способов получения неразъемных соединений деталей по цилиндрическим, плоским поверхностям. Этот процесс обусловлен тем, что между клеем (адгезивом) и склеиваемой поверхностью возникают силы адгезии. Природа адгезии достаточно сложна, она объясняется межмолекулярными и химическими связями между клеем и склеиваемыми поверхностями. Прочность клеевого соединения определяется не только адгезионным взаимодействием, но и прочностью самого клеевого слоя (когезионная прочность).

К преимуществам клеевых соединений относят: высокую усталостную прочность, возможность соединения разнородных материалов; равномерность распределения напряжений в соединении (повышается сопротивление вибрациям); высокую прочность на сдвиг; уменьшение объема механической обработки (отпадает надобность сверления отверстий для крепежа); герметичность и коррозионную стойкость; в ряде случаев уменьшение массы и себестоимости изготовления изделия.

Недостатками клеевых соединений являются: низкая прочность на отрыв (отдир, расслаивание); «старение» – меньшая долговечность по сравнению со сварными и клепаными соединениями, незначительная тепловая стойкость ряда клеев. Эти недостатки удается компенсировать при выполнении комбинированных соединений. Так, например, устранение зазора в клеевом соединении может быть обеспечено при использовании комбинированного соединения: с натягом и клеем. Сочетание двух методов с применением термовоздействия – нагрева охватываемой детали и нанесения анаэробного клея на сопрягаемую поверхность охватываемой детали – позволяет устранить недостатки, присущие каждому из этих методов. Соединения, получаемые комбинированным методом, имеют более высокую прочность: в 2,5...3 раза больше, чем у соединений, полученных запрессовкой, и в 1,3...1,5 раза больше, чем у соединений, полученных склеиванием.

Достаточно большая величина критического зазора и позволяет собирать сопрягаемые детали простыми по конструкции исполнительными механизмами при одном поступательном движении. С учетом температурной стойкости клея можно определить область применения комбинированного метода для различных диаметров соединения и величин натягов. Определив величину тепловых деформаций, можно рассчитать тепловую монтажный зазор для сопрягаемых стальных деталей (при использовании анаэробного клея L620, имеющего температурную стойкость, равную 200 °С). Область применения данного метода выделена рамкой. Применение дан-

ного метода ограничивается также величиной давления  $p$ , зависящего от величины натяга, рассчитываемого по методике.

Результаты расчета величин давления  $p$ , анаэробный клей L620 по данным фирмы «Loctite» в полимеризованном виде воспринимает давление 18...22 МПа, поэтому область применения этого метода ограничена посадками Н7/р6 для диаметров соединения от 50 мм и более (обл. 18...22 МПа).

При введении анаэробных материалов в зону сопряжения и после его полимеризации характер контакта в резьбовом соединении изменяется. При отвинчивании необходимо срезать слой клея, расположенный примерно на 60...80 % площади сопряжения в пустотах зоны контакта, возникающих из-за неплотного прилегания рабочих сторон витков резьбы и головки болта, гайки.

Проведенный анализ показал, что возможная область применения прессовых соединений с прослойкой из компаунда может быть значительно расширена, при этом следует уделить больше внимания развитию метода расчета таких соединений и обоснованию выбора технологических режимов сборки.

#### Библиографические ссылки

1. Абрамов И. В. Исследование и совершенствование гидропрессового метода сборки соединений с натягом: Автореф... канд. техн. наук. – Пермь, 1970. – 20 с.
2. Абрамов И. В., Щенятский А. В., Соснович Э. В. К вопросу моделирования гидропрессовой сборки методом конечных элементов // Избранные ученые записки ИжГТУ. В 3 т. – Т. II: Моделирование технических объектов и систем. Приборостроение. Измерительная техника. Экономика. Системология. – Ижевск : Изд-во ИжГТУ, 1998. – С. 37–41.
3. Балацкий Л. Т. Прочность прессовых соединений. – Киев : Техника, 1982. – 151 с.
4. Андреев Г. Я. Расчет теплового режима при сборке соединений с натягом // Вестник машиностроения. – 1974. – № 7. – С. 21–34.
5. Андреев Г. Я. Тепловая сборка колесных пар. Харьков : Издательство Харьковского университета, 1965.
6. Крагельский И. В. Трение и износ. – М. : Машиностроение, 1968. – С. 56–64.
7. Беляев Н. М. Сопrotивление материалов. – М. : Наука, 1965. – С. 219.

\*\*\*

V. A. Usymyn, Post-graduate, Kalashnikov ISTU

A. V. Schenyatsky, DSc in Engineering, Professor, Kalashnikov ISTU

#### Multilayer pressure joints with a layer of compound

*On the basis of analyzing the investigations results for multi-layer pressure joints and their calculation methods, this scientific paper states the position of pressure joints with a compound multi-layer. The influence of manufacture errors and features of applying the composite in the glue pressure joint are considered. In addition, the results of analyzing the processes of friction and wearing for surfaces of conjugated parts are summed up.*

**Keywords:** joint, layer, friction, wear, compound, construction, load capacity.

Получено: 26.04.16