

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПЛАСТИЧЕСКИ ДЕФОРМИРУЕМЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИ СБОРКЕ СОЕДИНЕНИЙ С НАТЯГОМ

А.А. ДЕМИН, аспирант

И.А. ТИТОВ, канд. техн. наук, профессор  
(БТИ (филиал) АлтГТУ, г. Бийск)

Статья поступила 31 июля 2012 года

Демин А.А. – 659305. г. Бийск, ул. Трофимова, 27,  
Бийский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВПО Алтайского государственного  
технического университета, e-mail: presskov@mail.ru

Рассмотрен способ повышения несущей способности соединений с натягом при повышенных допусках на изготовление сопрягаемых деталей за счет создания градиента распределения механических свойств вдоль оси промежуточной втулки.

**Ключевые слова:** соединения с натягом, градиент механических свойств, точность изготовления, зазор, прочность соединения.

Несущая способность прессовых соединений главным образом зависит от площади реального контакта сопрягаемых поверхностей и от величины натяга [1]. Причем шероховатость и волнистость сопрягаемых поверхностей значительно уменьшают фактическую площадь контакта. При высоте микронеровностей от 2,5 до 8 мкм после развертывания и шлифования фактическая площадь контакта составляет 10 %. При высоте микронеровностей от 0,8 до 2,5 мкм для тех же методов обработки площадь повышается до 40 %, при алмазном точении и обычной притирке – достигает 63 %, а в результате тонкого шлифования, алмазного выглаживания, тонкой притирки и суперфиниша 80...90 %.

Несущая способность соединения с натягом существенно изменяется также от изменения фактических размеров в пределах назначаемых допусков. Особенно существенный вклад вносят погрешность формы и размеров в прочность соединений деталей малого диаметра, поскольку в измеряемый диаметр отверстия и вала входит высота микронеровностей, которые при запрессовке сминаются [2].

Следует отметить, что повышение точности деталей всегда приводит к резкому увеличению трудоемкости их изготовления и еще к более резкому темпу удорожания их производства. Поэтому нецелесообразно обеспечивать прочность соединений с гарантированным натягом только за счет повышения требований к качеству обработки сопрягаемых деталей.

Известен способ сборки [3], при котором используется промежуточная втулка 2, которую устанавли-

вают во время сборки с гарантированным зазором между охватываемой 3 и охватывающей 1 деталями (рис. 1); затем втулку деформируют методом осадки, в результате чего материал втулки заполняет зазоры, образуя при этом прессовое соединение.

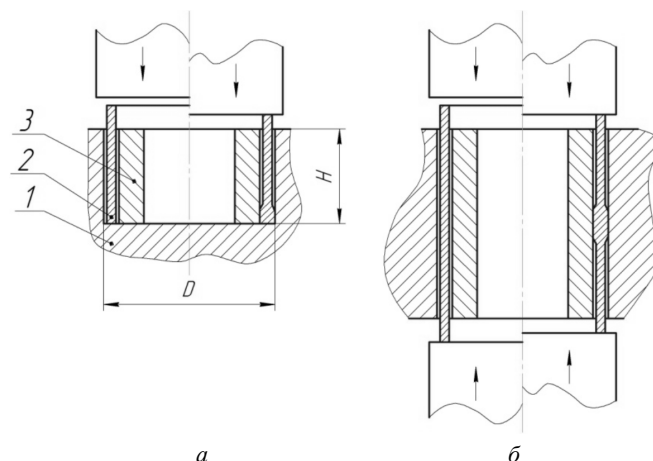


Рис. 1. Сборка прессового соединения с промежуточной втулкой

Проведенное моделирование на основе метода конечных элементов и экспериментальные исследования процесса сборки показали, что применение втулки, имеющей постоянную продольную жесткость, приводит к тому, что при запрессовке концевая часть втулки под воздействием рабочего инструмента уже в самом начале процесса запрессовки раздается и упирается в стенки охватываемой и охватывающей деталей. Происходит срез неровности микрорельефа

и уменьшение коэффициента трения между контактными поверхностями. К тому же за счет заземления и образования наплыва в верхней части втулки пластическое течение материала в нижнюю часть соединения затруднено, что приводит к неравномерному распределению контактных напряжений (рис. 2) по длине соединения, т.е. полученное таким образом прессовое соединение имеет пониженную прочность и качество.

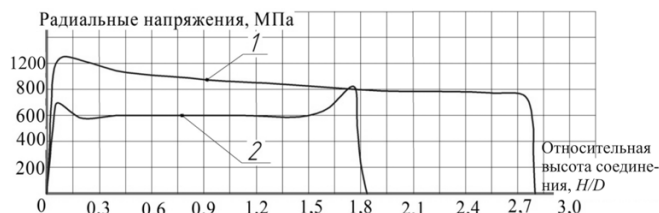


Рис. 2. Распределение радиальных напряжений на сопрягаемых поверхностях соединения:

1 – соединение, содержащее втулку с градиентным распределением механических свойств; 2 – соединение, содержащее втулку с равномерным распределением механических свойств

Для устранения этого недостатка предложено деформируемую втулку выполнять из материала, предел текучести которого увеличивается от ее нижнего края к верхнему, если отверстие в корпусной детали глухое (рис. 1, а), и от середины к обоим краям, если отверстие в корпусной детали сквозное (рис. 1, б). При этом обеспечивается равномерное распределение контактных напряжений вдоль оси соединения, повышающее несущую способность и качество прессового соединения.

Переменную жесткость промежуточной втулки в продольном направлении технически можно получить, изменяя толщину стенки втулки по ее длине, либо созданием градиента механических свойств втулки методом локальной термообработки токами высокой частоты (ТВЧ).

Целью проведенных исследований являлось определение размеров, конфигурации промежуточной втулки, подбор для нее материала и назначение оптимального режима термообработки, которые обеспечили бы требуемую несущую способность соединения в широком диапазоне зазоров.

В ходе проведенных экспериментальных исследований было выявлено влияние характера распределения механических свойств промежуточной втулки, полученных в результате различных режимов ее локальной термообработки ТВЧ, на прочность соединения. При этом верхняя часть втулки получала максимальную твердость 50...53 HRC, а нижняя часть 26...29 HRC. Максимальное значение твердости ограничивалось тем обстоятельством, что после сборки прессового соединения на верхней упрочненной части втулки наблюдались следы хрупкого раз-

рушения. Минимальное значение твердости было ограничено только лишь технологическими возможностями операции отжига ТВЧ.

С увеличением высоты упрочненной части втулки при монтажном зазоре, соответствующем границе 14-го квалитета допуска на изготовление деталей, контактное взаимодействие с охватываемой и охватываемой деталями получала только та часть втулки, которая была упрочнена не более чем до 40...45 HRC. Это видно (рис. 3) по более светлым участкам, которые образовались в результате снятия темной оксидной пленки при контакте с соединяемыми деталями.

На рис. 3 представлены в качестве примера соединения с диаметром вала 10 мм и относительной высотой 2,8. При этом первый образец (рис. 3, а), имеющий термически упрочненную часть, равную 0,8 от высоты втулки, имел несущую способность, равную 10 кН. Второй образец (рис. 3, б), имеющий термически упрочненную часть, равную 0,6 от высоты втулки, имел несущую способность соединения, равную 22 кН. Третий образец (рис. 3, в), имеющий термически упрочненную часть, равную 0,15 от высоты втулки, имел несущую способность соединения, равную 50 кН.

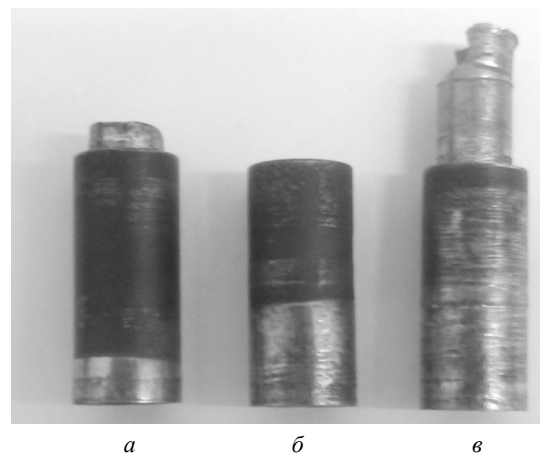


Рис. 3. Втулки с различным характером распределения механических свойств после демонтажа соединения

В ходе экспериментальных исследований подвергали различным режимам термообработки также одновременно всю втулку, в результате чего в зависимости от режима термообработки втулки приобретали различную твердость и пластичность и имели постоянную продольную жесткость. Наибольшую прочность соединения при этом удалось получить при использовании втулок, которые подвергали рекристаллизационному отжигу, так как максимальные пластические свойства втулки обеспечили большую площадь контакта сопрягаемых поверхностей соединения даже при максимальных значениях за-

зора и относительной высоте соединения вплоть до 1,8 (см. рис. 2). Однако несущая способность такого соединения была ограничена низкой прочностью отожденного материала. При увеличении же прочностных характеристик материала промежуточной втулки уменьшается ее пластичность, поэтому с увеличением монтажного зазора заполнение пространства между охватываемой и охватывающей деталями затрудняется, что приводит к сокращению площади контакта и снижению прочности соединения.

Из сказанного следует, что втулка с градиентным распределением механических свойств обладает одновременно преимуществами втулки, имеющей высокие пластические свойства, которые позволяют заполнять зазор между соединяемыми деталями, и вместе с тем свойствами термически упрочненной втулки, позволяющей обеспечить высокую прочность соединения.

Сравнительные исследования влияния точности изготовления деталей для традиционного (двухэлементного) прессового соединения и соединения с промежуточной втулкой показали следующее.

С увеличением допуска на изготовление деталей происходит снижение несущей способности всех исследуемых типов соединения (рис. 4). Однако несущая способность двухэлементного прессового соединения изменяется даже в пределах заданной посадки Н7/р6 в 7 раз. К тому же при неблагоприятном сочетании диаметральных размеров на верхних границах посадки натяг, а следовательно, и несущая способность соединения практически равны нулю. При этом высота микронеровностей для обеспечения необходимой несущей способности соединения должна быть существенно меньше минимального натяга, что предъявляет повышенные требования к качеству сопрягаемых поверхностей.

В качестве примера на рис. 4 и 5 представлены результаты моделирования – сплошные линии и результаты экспериментальных исследований – точки для прессовых соединений, имеющих диаметр вала 10 мм.

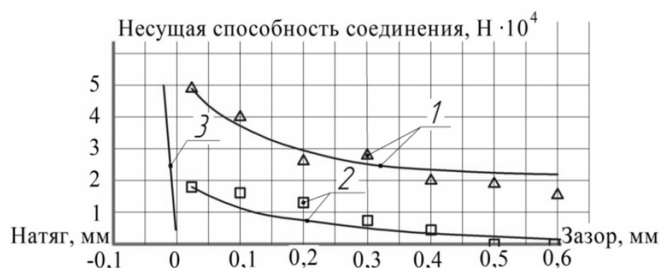


Рис. 4. Зависимость несущей способности соединения от допуска на ее изготовления (монтажного зазора):

1 – соединение, содержащее втулку с градиентным распределением механических свойств; 2 – соединение, содержащее втулку с равномерным распределением механических свойств; 3 – двухэлементное прессовое соединение

При использовании промежуточной пластически деформированной втулки с постоянными механическими свойствами несущая способность соединения изменяется приблизительно в 2 раза в пределах зазора, обусловленного 14-м качеством точности изготовления деталей. При использовании втулки с градиентным распределением механических свойств вдоль оси соединения имеет двукратное превосходство по величине несущей способности на границе 7-го качества точности, и с увеличением монтажного зазора преимущество только возрастает по сравнению с соединениями, в которых использовалась втулка с равномерным распределением механических свойств.

Несущая способность прессового соединения с промежуточной втулкой, как показали проведенные исследования, зависит также от соотношения высоты и диаметра втулки. Так, с увеличением относительной высоты от 0,8 до 2,8 (рис. 5) и соответственно номинальной площади контакта в 3,5 раза прочность соединения увеличивается лишь в 1,8 раза. Таким образом, рост несущей способности соединения значительно замедляется с увеличением ее относительной высоты, и при достижении значения относительной высоты, равной 1,7...1,9, дальнейшее увеличение прочности соединения при использовании втулки с равномерным распределением механических свойств не происходит. Данное обстоятельство можно объяснить тем, что с увеличением относительной высоты соединения увеличивается пространство между охватываемой и охватывающей деталями, поэтому появляется необходимость увеличения высоты промежуточной втулки. При этом наступает такой момент, когда с увеличением относительной высоты соединения выступающая свободная часть промежуточной втулки приобретает критическую высоту, приводящую к потере устойчивости при осадке втулки. На начальном этапе сборки прессового соединения происходит раздача верхней части удлиненной



Рис. 5. Зависимость несущей способности соединения от ее относительной высоты (монтажный зазор при сборке соединений 0,02 мм):

1 – соединение, содержащее втулку с градиентным распределением механических свойств; 2 – соединение, содержащее втулку с равномерным распределением механических свойств

втулки с образованием фланца. При этом усилие от сборочного инструмента передается преимущественно на образовавшийся фланец, так как площадь фланца превосходит площадь поперечного сечения втулки в основной ее части.

Как показали проведенные исследования, применение втулки с градиентным распределением механических свойств при сборке прессового соединения позволяет повышать относительную высоту соединения с сохранением высокого темпа увеличения несущей способности соединения (рис. 5).

### Выводы

1. Применение способа сборки прессовых соединений с промежуточной втулкой позволяет снизить требования к точности изготовления деталей до *IT13-IT14* и повысить несущую способность соединения. При этом несущая способность соединения с промежуточной втулкой, по сравнению с двухэлементным прессовым соединением, в меньшей степени зависит от величины допуска на изготовление деталей.

2. Промежуточные втулки с переменной жесткостью вдоль оси по сравнению с втулками с постоянным распределением механических свойств обеспечивают повышение несущей способности прессовых соединений более чем в 2 раза.

3. Оптимальное отношение высоты к диаметру сопрягаемых поверхностей, дающее высокое значение несущей способности прессового соединения с промежуточной втулкой, находится в пределах от 0,8 до 1,8.

4. Техничко-экономический эффект при использовании предложенного способа сборки наиболее существен для прессовых соединений диаметром от 5 до 30 мм.

### Список литературы

1. *Гречищев Е.С., Ильященко А.А.* Соединения с натягом: расчеты, проектирование, изготовление. – М.: Машиностроение, 1981. – 247 с.
2. *Орлов П.И.* Основы конструирования: Справочно-методическое пособие. В 2-х кн. Кн. 2.– М.: Машиностроение, 1988. – 544 с.
3. *Авторское свидетельство СССР № 602337*, 23.03.1987.

### Using plastically deformable element in building connections with interference

A.A. Demin, I.A. Titov

A method for increasing the carrying capacity of compounds with interference at high manufacturing tolerances of mating parts, due to a gradient distribution of mechanical properties along the axis of the intermediate sleeve.

**Key words:** connections with interference, the gradient of mechanical properties, precision manufacturing, the gap, the strength of the connection.