



ДЕМИН

Андрей Александрович
(Бийский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова»)

DEMIN

Andrew Alexandrovich
(Biysk, Russian Federation, Biysk Technological Institute (branch) FGBOU VPO «Altai State Technical University named after I.I. Polzunov»)



ТИТОВ

Игорь Анатольевич
(Бийский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова»)

ТИТОВ

Igor Anatolevich
(Biysk, Russian Federation, Biysk Technological Institute (branch) FGBOU VPO «Altai State Technical University named after I.I. Polzunov»)

Обеспечение прочностных характеристик при сборке прессовых соединений с промежуточной деформируемой втулкой

А.А. Демин, И.А. Титов

Повышение несущей способности прессовых соединений является важной конструкторско-технологической задачей современного машиностроения. В научно-технической литературе отсутствуют описания исследований прочностных характеристик трехэлементных прессовых соединений, содержащих пластически деформируемый элемент с переменным распределением механических свойств. В исследованиях, выполненных авторами предлагаемой статьи, получены расчетные зависимости, позволяющие определить оптимальное распределение механических свойств по высоте промежуточной деформируемой втулки, обеспечивающее наибольшую несущую способность трехэлементного прессового соединения в осевом направлении. Разработанная математическая модель показала, что несущая способность в значительной степени зависит от градиента механических свойств втулки в осевом направлении, что подтверждено экспериментальными исследованиями. Результаты исследований позволяют назначать конструктивные параметры проектируемого соединения и режимы термообработки деформируемой втулки для обеспечения требуемого значения несущей способности.

Ключевые слова: прессовые соединения, сборка, промежуточная деформируемая втулка, распределение механических свойств.

Providing Strength Characteristics during Assembly Press Connection with Intermediate Deformable Sleeve

A.A. Demin, I.A. Titov

Bearing capacity press connection is an important design and engineering challenge of modern engineering. In the scientific literature there are no studies on strength characteristics of the three-piece pressing compounds containing a plastically deformable element with a variable distribution of mechanical properties. The article presents the calculated curves for determining the optimal distribution of mechanical properties of the height of intermediate deformable sleeve, and said determination offers the bearing capacity of a three-element press connection in the axial direction. The developed mathematical model showed that the bearing capacity is largely dependent on the gradient of mechanical properties of the sleeve in the axial direction, which is confirmed by experimental studies. The results allow assigning the design parameters of the designed compounds and conditions for heat treatment of the deformable sleeve for the desired values of bearing capacity.

Keywords: press connection, assembly, intermediate deformable sleeve, distribution of mechanical properties.

Одним из направлений повышения несущей способности, широко используемых в машиностроении прессовых соединений, является применение промежуточной втулки, устанавливаемой между охватываемой и охватывающей деталями [1, 2]. Втулка при сборке монтируется с радиальным зазором, а затем осаживается, создавая необходимый натяг за счет ее пластической деформации (рис. 1). Как показали проведенные исследования [3], в результате неравномерной деформации промежуточной втулки в зазоре между соединяемыми деталями несущую способность соединения обеспечивает только верхняя и частично средняя часть втулки.

Для равномерной деформации втулки при сборке, и, соответственно, распределения контактных давлений по всей высоте соединения, необходимо снизить прочностные характеристики втулки в нижней ее части по отношению к верхней, т. е. создать градиент механических свойств по высоте втулки. Технологически это можно обеспечить термическим разупрочнением нижней части втулки или упрочнением ее верхней части. При этом в зависимости от условий термообработки градиент может иметь различные значения (рис. 2), обеспечивающие, как показали экспериментальные исследования, значительное изменение несущей способности прессового соединения [4].

Определим влияние значения градиента и геометрических параметров деформируемой втулки на несущую способность соединения в осевом направлении.

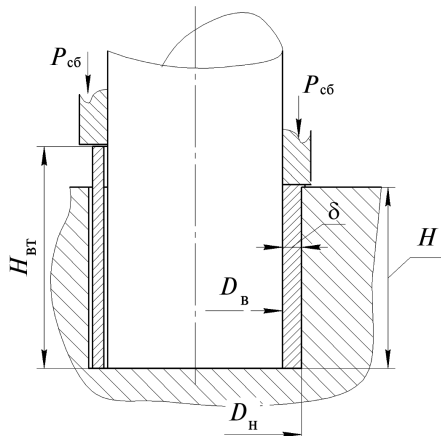


Рис. 1. Схема сборки прессового соединения с промежуточной втулкой

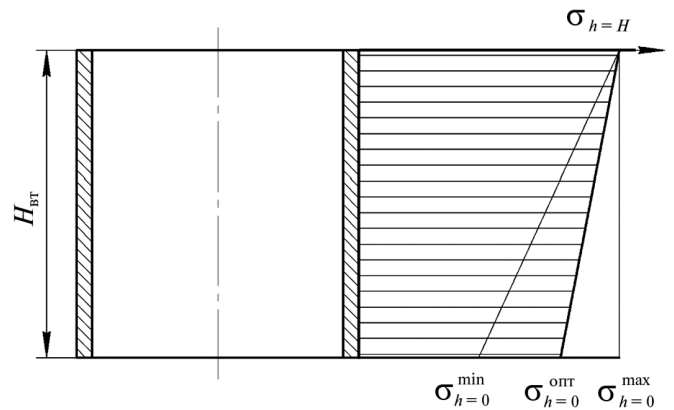


Рис. 2. Распределение механических свойств по высоте втулки (линейная аппроксимация)

Несущую способность P_{oc} соединения в осевом направлении можно вычислить, зная закон распределения радиальных напряжений. Приняв допущение об осевой симметрии напряженно-деформированного состояния прессового соединения, считаем, что радиальные напряжения $\sigma_r(h)$ будут зависеть только от одной координаты — текущей высоты h соединения, следовательно:

$$P_{oc} = \int_0^H \sigma_r(h) f_{тр} \pi D_в dh, \quad (1)$$

где $\sigma_r(h)$ — радиальные напряжения, возникающие вследствие приложения усилия $P_{сб}$ на торцевую поверхность втулки; $D_в$ — диаметр охватываемой детали; $f_{тр}$ — коэффициент трения.

Для нахождения радиальных напряжений, возникающих во втулке после ее деформации и заполнения монтажного зазора, воспользуемся методом тонких сечений [5]. Выделим элемент втулки, имеющий бесконечно малую высоту dh (рис. 3).

Из условия равновесия сил, действующих на выделенный элементарный объем, переходя от усилий к напряжениям, получим дифференциальное уравнение первого порядка с разделяющимися переменными:

$$\frac{\pi(D_н^2 - D_в^2)}{4} d\sigma_z(h) = (D_н + D_в) \pi f_{тр} \sigma_r(h) dh, \quad (2)$$

где $\sigma_z(h)$ — осевые напряжения, возникающие вследствие приложения усилия $P_{сб}$ на торцевую

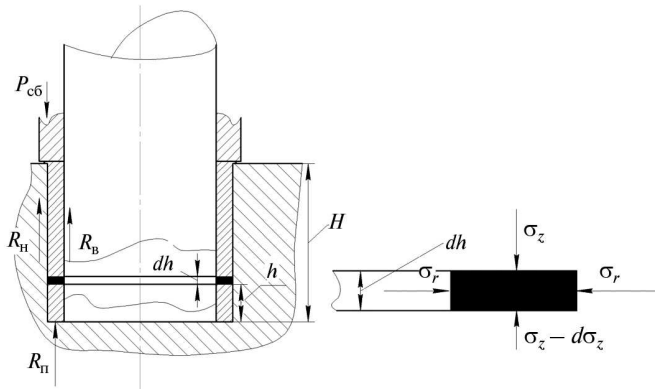


Рис. 3. Расчетная схема осадки промежуточной втулки
поверхность втулки; D_n — диаметр охватывающей детали.

Преобразуем выражение (2), заменив $\delta = (D_n - D_b) / 2$:

$$d\sigma_z(h) = \frac{2f_{тр}}{\delta} \sigma_r(h) dh. \quad (3)$$

Полагаем, что осевые напряжения $\sigma_z(h)$ равномерно распределены по поперечному сечению, т. е. $\sigma_z(h) \approx \sigma_r(h)$, а радиальные напряжения $\sigma_r(h)$ изменяются линейно по высоте втулки:

$$\sigma_r(h) = kh + \sigma_{h=0},$$

где k — градиент механических свойств по высоте втулки; $\sigma_{h=0}$ — напряжение текучести материала втулки на ее нижнем торце.

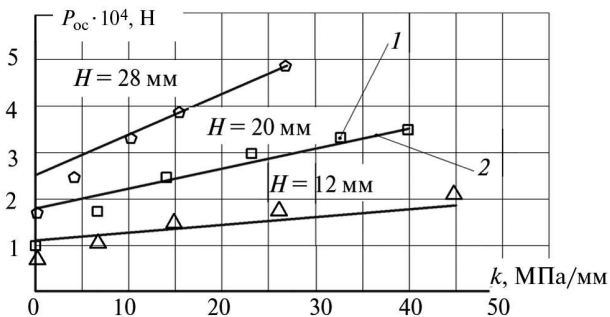


Рис. 4. Зависимость несущей способности соединения от градиента механических свойств k для втулок различной высоты:

1 — экспериментальные значения; 2 — расчет по зависимости (7)

Разделив переменные и интегрируя уравнение (3) с использованием граничных условий $\sigma_z(H) = \sigma_{h=H}$, $\sigma_z(0) = \sigma_{h=0}$ получим выражение, определяющее значение $\sigma_{h=0}$:

$$\sigma_{h=0} = \frac{\sigma_{h=H} \delta - f_{тр} k H^2}{2f_{тр} H + \delta}. \quad (4)$$

Поскольку зависимость $\sigma_r(h)$ предполагается аппроксимировать прямой (см. рис. 2)

$$k = \frac{\sigma_{h=H} - \sigma_{h=0}}{H}, \quad (5)$$

то, подставив в (4) выражение (5) получим

$$\sigma_{h=0} = \sigma_{h=H} \frac{\delta - f_{тр} H}{\delta + f_{тр} H}. \quad (6)$$

Используя выражение (1), с учетом зависимостей (5) и (6) можно найти несущую способность соединения в осевом направлении:

$$P_{ос} = \frac{kH^2}{2} \pi D_b f_{тр} + \sigma_{h=0} \pi D_b H f_{тр}. \quad (7)$$

Следует отметить, что предлагаемая зависимость (7) несущей способности соединения от градиента k механических свойств втулки имеет линейный характер (рис. 4). При малом значении градиента, т. е. менее 5...15 МПа/мм, расхождения между экспериментальными и расчетными значениями составляют 20...35 %.

Расхождение экспериментальных и расчетных данных можно объяснить тем, что при малых значениях градиента, как показали экспериментальные исследования, в момент начала осадки верхняя выступающая часть втулки деформируется с образованием фланца (рис. 5). При этом усилие от сборочного инструмента перераспределяется с основной части втулки, которая находится в зазоре между деталями, на образовавшуюся фланцевую часть, расположенную между рабочей поверхностью сборочного инструмента и торцевой поверхностью корпусной детали. В результате перераспределения усилия сборки, необходимое для осуществления пластического продвижения материала в зазор между деталями от верхней выступающей части втулки в нижнюю часть соединения, резко возрастает. При этом в нижней части соединения может остаться радиаль-

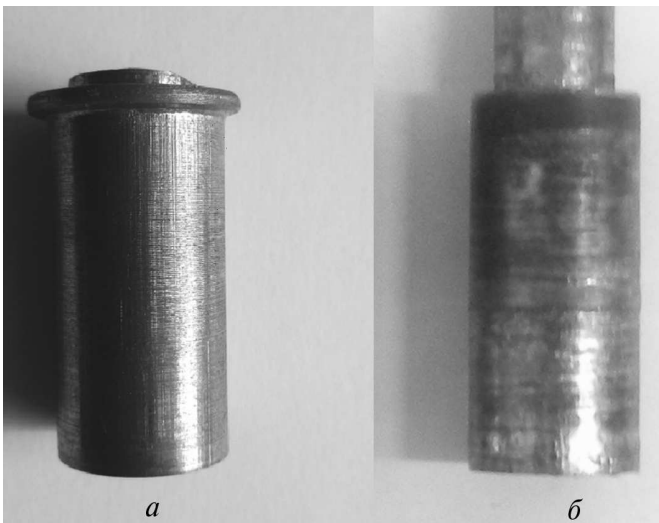


Рис. 5. Втулка после демонтажа соединения:

a — градиент $k = 1$ МПа/мм;
б — градиент $k = 17$ МПа/мм

ный зазор, вследствие чего действительные значения несущей способности будут уменьшены по сравнению с расчетом.

С увеличением градиента происходит полное затекание материала в зазор и более равномерное распределение контактных напряжений по всей высоте соединения.

Зависимость (7) наиболее точно соответствует экспериментальным результатам в диапазоне значений градиента от 8...15 МПа/мм до

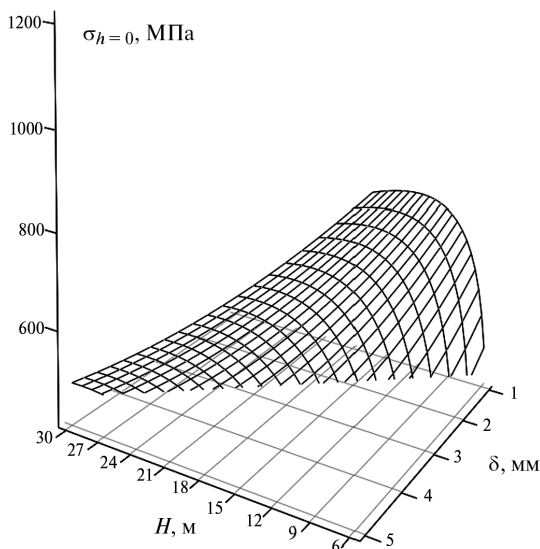


Рис. 6. Диаграмма напряжений на нижнем торце втулки для различных геометрических параметров втулки (материал втулки — сталь 45)

максимально возможного значения, ограниченного физическими свойствами материала и технологическими условиями термической обработки.

Диаграмма значений механических свойств материала на нижнем торце втулки, необходимых для обеспечения максимальной несущей способности соединения, от геометрических параметров: (внутреннего диаметра втулки D_v и толщины δ стенки втулки) представлена на рис. 6. Как видно на рисунке, для повышения несущей способности наибольшее значение градиента необходимо обеспечивать для высоких тонкостенных втулок малого диаметра.

Выводы

1. Разработанная на основе метода тонких сечений математическая модель сборки трех-элементного прессового соединения позволяет определить изменение механических свойств материала по высоте втулки, которое обеспечивает наибольшую несущую способность соединения в осевом направлении.

2. На основе разработанной модели можно назначить конструктивные параметры проектируемого соединения и режимы термообработки деформируемой втулки для обеспечения требуемого значения несущей способности соединения.

Литература

1. Кравченко Ю.Г., Ворохов А.А. Способ изготовления неразъемных соединений деталей: А. с. № 602337 СССР. Заявл. 10.11.1985; Оpubл. 23.03.87. Бюл. № 11.
2. Ефимов О.И., Максименко В.П., Максименко Ю.А., Прусс Л.В., Черненко В.И. Герметичное соединение охватываемой детали с охватываемой. А. с. № 497461 СССР. Заявл. 21.03.1984; Оpubл. 28.02.87. Бюл. № 8.
3. Демин А.А., Титов И.А. Использование пластически деформируемых элементов при сборке соединений с натягом // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). 2012. № 3. С. 12—15.
4. Демин А.А., Титов И.А. Моделирование процесса сборки прессовых соединений с промежуточной деформируемой втулкой // Южно-сибирский научный вестник: Научно-технический журнал. № 2. 2012. С. 28—29.
5. Томсен Э., Янг Ч., Кобаяши Ш. Механика пластических деформаций при обработке металлов. М.: Машиностроение, 1969. 504 с.

References

1. Kravchenko Yu.G., Vorokhov A.A. Sposob izgotovleniia nerazremnykh soedinenii detalei [A method of making permanent

joints details]. Avtorskoe svidetel'stvo SSSR [USSR Author's Certificate]. No. 602337, 1987.

2. Efimov O.I., Maksimenko V.P., Maksimenko Iu.A., Pruss L.V., Chernenko V.I. Germetichnoe soedinenie okhvatyvaishchei detali s okhvatyvaemoi [Tight connection with the male female part]. Avtorskoe svidetel'stvo SSSR [USSR Author's Certificate]. No. 497461, 1987.

3. Demin A.A., Titov I.A. Ispol'zovanie plasticheski deformiruemykh elementov pri sborke soedinenii s natiagom [Using plastically deformable element in building connections with interference]. *Obrabotka metallov (tekhnologiya, oborudovanie, instrumenty)*, 2012, no. 3, pp. 12–15.

4. Demin A.A., Titov I.A. Modelirovanie protsessa sborki pressovykh soedinenii s promezhutochnoi deformiruemoi vtulkoj [Simulation of the mold assembly of new compounds with intermediate deformable sleeve]. *South-Siberian Scientific Bulletin*, no. 2, 2012, pp. 28–29.

5. Erich G. Thomsen, Charles T. Yang, Shiro Kovayashi. Mechanics of plastic deformation in metal processing, Macmillan, New York, 1965. (Russ. ed.: Tomsen E., Iang Ch., Kobaiashi Sh. *Mekhanika plasticheskikh deformatsii pri obrabotke metallov*. Moscow, Mashinostroenie publ., 1969. 504 p.

Статья поступила в редакцию 07.02.2013

Информация об авторах

ДЕМИН Андрей Александрович (Бийск) — аспирант кафедры «Ракетные двигатели и высокоэнергетические устройства автоматических систем». Бийский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова» (659305, Алтайский край, Бийск, Российская Федерация, ул. Трофимова, 27, e-mail: presskov@mail.ru).

ТИТОВ Игорь Анатольевич (Бийск) — кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры «Ракетные двигатели и высокоэнергетические устройства автоматических систем». Бийский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова» (659305, Алтайский край, Бийск, Российская Федерация, ул. Трофимова, 27, e-mail: titov@bti.secna.ru).

Information about the authors

DEMIN Andrew Alexandrovich (Biysk) — Post-Graduate «Rocket Motors and Automatic Systems of High-Devices» Department. Biysk Technological Institute (branch) FGBOU VPO «Altai State Technical University named after I.I. Polzunov» (659305, Altai Territory, Biysk, Russian Federation, Trofimova, 27, e-mail: presskov@mail.ru).

TITOV Igor Anatolievich (Biysk) — Cand. Sc. (Eng.), Associate Professor, Professor «Rocket Motors and Automatic Systems of High-Devices» Department. Biysk Technological Institute (branch) FGBOU VPO «Altai State Technical University named after I.I. Polzunov» (659305, Altai Territory, Biysk, Russian Federation, Trofimova, 27, e-mail: titov@bti.secna.ru).