

УДК 621.81.004.17:620.191.355.001.5

**ВЛИЯНИЕ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ НА УСИЛИЕ
РАСПРЕССОВКИ ПРЕССОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ**

А.Ю. Иванов, Д.Б. Леонов

Приводятся результаты экспериментального исследования влияния шероховатости поверхности на усилие распрессовки прессовых соединений с использованием непараметрических критериев оценки и контроля микрогеометрии поверхностей. Разработана методика, позволяющая определить лучшую из возможных в конкретных производственных условиях шероховатость поверхности, обеспечивающую необходимое усилие распрессовки соединений.

Ключевые слова: шероховатость поверхности, непараметрический метод, усилие распрессовки прессовых соединений.

Введение

Изделия приборостроения и машиностроения представляют совокупность взаимосвязанных между собой деталей. Отклонения размеров, формы и расположения поверхностей даже в одной из деталей вызывают отклонения формы или отклонения в расположении других деталей сборочной единицы. Эти отклонения в сумме оказывают определенное воздействие на эксплуатационные показатели изделий, что обуславливает необходимость оптимизации всех факторов, которые могут повлиять на их качество.

По способу сопряжения деталей в прессовых посадках различают соединения, получаемые:

- путем приложения осевой силы, обеспечивающей взаимное смещение сопрягаемых деталей в заданное положение – продольная запрессовка;
- за счет температурных деформаций одной из деталей (или обеих), вводимых без натяга одна в другую – поперечная запрессовка [1].

В обоих случаях необходимая прочность соединения достигается созданием при сборке монтажного натяга, который определяет величину контактного давления, возникающего на сопрягаемых поверхностях. Эксплуатационные показатели прессовых соединений зависят от многих конструкторско-технологических факторов: макро- и микрогеометрии сопрягаемых поверхностей, отклонения их формы, например, от цилиндричности, фактического натяга между сопрягаемыми деталями и т.д.

На сегодняшний день имеется ряд работ, связанных с определением и расчетом параметров прессовых соединений [1–4], но в них шероховатость поверхности рассматривается с точки зрения параметрических критериев. Известно, что при продольной запрессовке часть микронеровностей деформируется или срезается, снижая напряженно-деформированное состояние соединения. При создании соединений поперечной запрессовкой такого явления не происходит, поэтому логично предположить, что шероховатость сопрягаемых поверхностей в них существенно влияет на усилие распрессовки таких соединений. Целью работы является экспериментальная проверка этого предположения с использованием непараметрических критериев оценки и контроля микрогеометрии поверхностей (в качестве которых используются графические изображения функций плотности распределения ординат или тангенсов углов наклона профилей и т.п.) [5–7], позволяющих более информативно описать исследуемую поверхность.

Объект исследования

На рис. 1 изображено соединение, полученное поперечной запрессовкой за счет температурных деформаций одной из деталей.

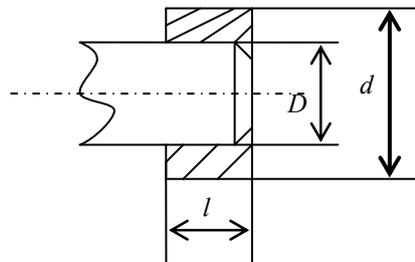


Рис. 1. Соединение, полученное поперечной запрессовкой: номинальный диаметр сопряжения $D = 20$ мм; наружный диаметр втулки $d = 30$ мм; длина сопряжения $l = 20$ мм

Детали изготовлены из стали 40. Модули упругости материала втулки и вала $E_1 = E_2 = 206$ ГПа; предел текучести стали $\sigma_T = 313$ МПа; коэффициент трения при продольном смещении деталей $f_1 = 0,14$;

μ_1, μ_2 – коэффициенты Пуассона (для стали $\mu \approx 0,3$); по условиям эксплуатации соединение нагружено осевой силой $F = 6,65 \cdot 10^3$ Н. Расчет прочности соединения проводился по классическим формулам [8]. У посадок с натягом неподвижность сопрягаемых деталей под действием нагрузок обеспечивается силами трения, возникающими при упругой деформации деталей, создаваемой натягом. Минимальный допускаемый натяг определяется исходя из возможных наибольших сил, действующих на сопряжение:

$$N_{\min}^F = \frac{F}{\pi l f_1} \left(\frac{C_1}{E_1} + \frac{C_2}{E_2} \right) = 0,19 \cdot 10^{-3} \text{ мм},$$

где C_1, C_2 – вспомогательные коэффициенты, определяемые по формулам (1) и (2)

$$C_1 = \frac{1 + \left(\frac{D}{d}\right)^2}{1 - \left(\frac{D}{d}\right)^2} + \mu_1 = 2,87, \quad (1)$$

$$C_2 = \frac{1 + \left(\frac{d_1}{D}\right)^2}{1 - \left(\frac{d_1}{D}\right)^2} - \mu_2 = 0,7, \quad (2)$$

где d_1 – диаметр осевого отверстия, $d_1 = 0$. Максимальное давление P_{\max} определяется из условия прочности сопрягаемых деталей. В качестве P_{\max} берется меньшее из допустимых значений давлений – $P_{\text{доп}}$, которые рассчитываются по следующим формулам:

– для втулки: $P_{\text{доп}} = 0,58 \sigma_T \left[1 - \left(\frac{D}{d_2}\right)^2 \right] = 101,6$ МПа;

– для вала: $P_{\text{доп}} = 0,58 \sigma_T \left[1 - \left(\frac{d_1}{D}\right)^2 \right] = 181,5$ МПа.

Так как максимальный натяг рассчитывается из условий прочности деталей, определяем величину максимально допустимого натяга для данного сопряжения:

$$N_{\max}^P = P_{\max} D \left(\frac{C_1}{E_1} + \frac{C_2}{E_2} \right) = 0,036 \text{ мм}.$$

С учетом полученных результатов определяем допуски прессового соединения по ГОСТ [9] и выбираем посадку:

$$N_{\max} = 0,035 \text{ мм} < N_{\max}^P = 0,036 \text{ мм}; \quad N_{\max} = 0,001 \text{ мм} > N_{\min}^P = 0,19 \cdot 10^{-3} \text{ мм}; \quad \varnothing 20 \frac{H7^{(+0,021)}}{p6^{(+0,035) / (+0,022)}}.$$

Определяем температуру нагрева охватывающей детали, необходимую для поперечной запрессовки [10]:

$$t = \frac{\Delta}{d\alpha} + t_0 = \frac{0,036}{20 \cdot 12,4 \cdot 10^{-6}} + 20 = 170^\circ\text{C},$$

где Δ – максимальный натяг в соединении, мм; α – коэффициент линейного расширения материала охватывающей детали, $\alpha = 12,4 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$; t_0 – температура помещения, $^\circ\text{C}$.

Проведенные теоретические расчеты показывают, в каких пределах должен находиться действительный натяг в соединении при проведении экспериментальных исследований.

Экспериментальные результаты и обсуждение

Для экспериментального исследования влияния шероховатости поверхности на усилие распрессовки прессового соединения из материала сталь 40, изготовлено 9 образцов, которые разделены на 3 группы. Образцы в этих группах существенно отличаются только шероховатостью их функциональных поверхностей. Чтобы создать разный исходный микрорельеф, на каждом образце (группе образцов) используются различные методы и режимы обработки. При этом технология обработки каждого образца и режимы обработки представлены в табл. 1. Все изготовленные образцы подвергаются распрессовке соединения с фиксацией приложенного усилия (табл. 2). Распрессовка соединения проводилась на разрывной машине RAUENSTEIN ZDM 10/91.

Из табл. 2 видно, что при одинаковом значении действительного натяга в прессовых соединениях с разной шероховатостью поверхности меняется усилие распрессовки (образцы 3, 5, 8).

Учитывая, что шероховатость поверхности влияет на усилие распрессовки прессовых соединений, появляется возможность оптимизировать это влияние. Задача оптимизации шероховатости не решается с использованием стандартных параметров шероховатости [11]. Такую возможность обеспечивают непараметрические критерии оценки и контроля шероховатости, позволяющие установить лучшую микрогеометрию этих поверхностей. В качестве критериев принято использовать графические изображения различных функций, таких как плотности распределения ординат и тангенсов углов наклона профилей, функций распределения ординат и тангенсов углов наклона профилей, опорных кривых профиля (кривых Аббота). На рис. 2 показаны кривые плотностей распределения тангенсов углов наклона профилей испытываемых поверхностей.

Номер группы образцов (вал и втулка)	Вид обработки	Режимы обработки	R_z , мкм	
			Вала	Втулки
1	Строгание	$S = 0,7$ мм/об, $n = 355$ об/мин	17,64	15,04
2	Шлифование	$n = 180$ об/мин, $V = 35$ м/сек	12,69	10,05
3	Полирование	$n = 1400$ об/мин	2,1	2,65

Таблица 1. Виды и режимы обработки образцов: S – подача; n – обороты; V – скорость резания; R_z – высота неровностей профиля по десяти точкам (параметрический критерий оценки шероховатости поверхности)

Номера образцов		Усилие распрессовки, Н	Действительный натяг, мм
1 группа	1	$10,9 \cdot 10^3$	0,023
	2	$11,8 \cdot 10^3$	0,024
	3	$13,3 \cdot 10^3$	0,028
2 группа	4	$15,4 \cdot 10^3$	0,025
	5	$17,6 \cdot 10^3$	0,028
	6	$16,2 \cdot 10^3$	0,027
3 группа	7	$22 \cdot 10^3$	0,026
	8	$26,6 \cdot 10^3$	0,028
	9	$26 \cdot 10^3$	0,028

Таблица 2. Результаты эксперимента

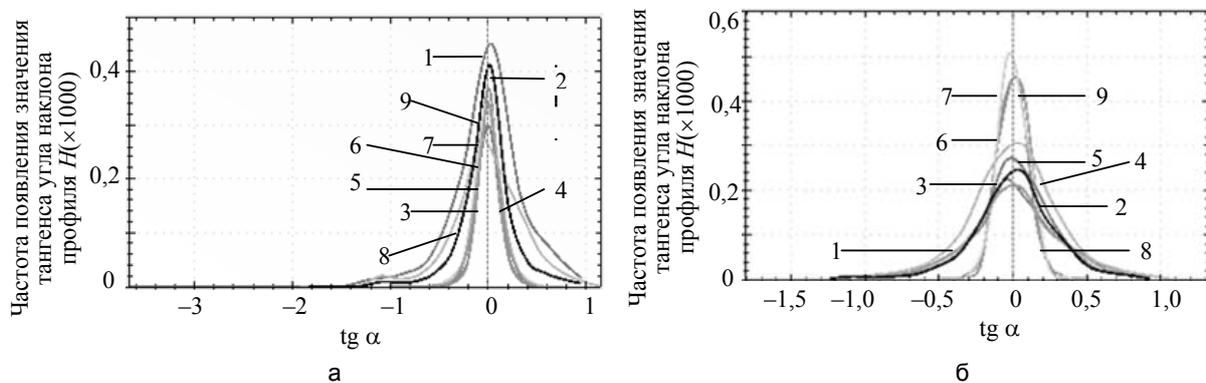


Рис. 2. Графики непараметрического критерия «Плотность распределения тангенсов углов наклона профиля» для валов (а); втулок (б). Номер графика соответствует номеру образца из табл. 2

Согласно данной методике, получены графики непараметрических критериев, шероховатости поверхностей втулок и валов из табл. 2, где номер графика соответствует номеру образца. По графикам можно судить, как меняется шероховатость поверхности в результате применения разных видов и режимов обработки, и при достаточном для статистической обработки количестве экспериментов можно определить лучшую из возможных в данных условиях (эталонную) микрогеометрию сопрягаемых поверхностей, обеспечивающую наибольшее усилие распрессовки прессовых соединений (рис. 3).

Средняя кривая показывает эталонное значение, а две других – допуски на отклонение этой величины. Эти кривые, принятые в качестве эталонных, относятся к поверхностям образцов, которые, при прочих равных условиях, показали наилучшие результаты эксперимента. Это также означает, что, если соответствующие непараметрические критерии шероховатости поверхностей серийных деталей будут соответствовать эталонным (рис. 3), то после описанной выше запрессовки требуемое усилие распрессовки будет гарантировано. Вероятно, существуют шероховатости поверхностей, которые могут

обеспечить, при прочих равных условиях, большее усилие распрессовки, но в данной работе была определена лучшая микрогеометрия, обеспечиваемая условиями производства конкретного предприятия.

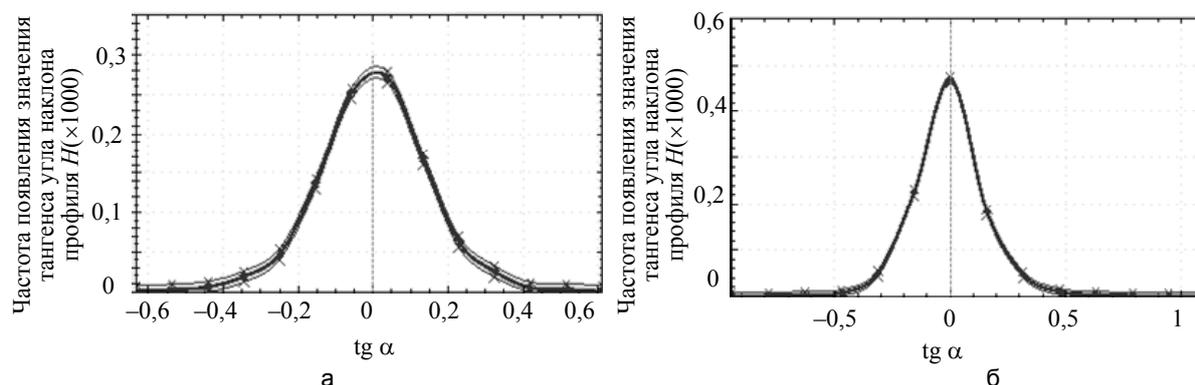


Рис. 3. «Эталонный» график «Плотность распределения тангенсов углов наклона профиля» с указанием поля допусков на отклонение для валов (а), втулок (б). Средняя кривая – эталонное значение

Заключение

Практическая значимость исследования состоит в разработке методики определения влияния шероховатости поверхности на усилие распрессовки прессовых соединений и нахождения лучшей из возможных микрогеометрий в данных производственных условиях. Можно утверждать, что разработанная методика позволяет найти лучшую из возможных микрогеометрию для любого предприятия и не имеет значения, каким образом будут получены эталонные кривые при обработке поверхностей – такие поверхности будут гарантировать ожидаемые свойства. Но в условиях серийного производства данного предприятия для надежности использованы параметры, давшие лучшие результаты, полученные в ходе эксперимента.

Литература

1. Буканова И.С., Роговой В.М. О прочности прессового соединения втулка–корпус // Материалы конференции студентов, аспирантов и профессорско-преподавательского состава, посвященная 60-летию Алтайского ГТУ им. И.И.Ползунова. – Ч. 11. Инженерно-физический факультет. – Барнаул: изд-во АлтГТУ, 2002. – С. 37.
2. Буканова И.С., Татаркин Е.Ю., Ятло И.И. Технологическое обеспечение повышенной несущей способности неподвижных соединений типа «корпус-втулка» // Ползуновский вестник. – 2009. – № 1–2. – С. 183–187.
3. Воячек И.И. Расчет прочности соединений с натягом, собранных поперечным методом // Изв. вузов. Машиностроение. – 1996. – № 4–6. – С. 15–25.
4. Григорьева О.А. Технологическое обеспечение прочности профильных неподвижных соединений упругопластическим деформированием элементов соединения: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Омск, 2004. – 20 с.
5. Мусалимов В.М., Валетов В.А. Динамика фрикционного взаимодействия. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2006. – 191 с.
6. Валетов В.А., Иванов А.Ю. Непараметрический подход к оценке качества изделий // Металлообработка. – 2010. – № 6. – С. 55–59.
7. Валетов В.А. Оптимизация микрогеометрии поверхностей деталей в приборостроении. – Л.: ЛИТМО, 1989. – 100 с.
8. Анухин В.И. Допуски и посадки. Выбор и расчет, указание на чертежах: Учебное пособие. – 2-е изд., перераб. и доп. – СПб: Изд-во СПбГТУ, 2001. – 219 с.
9. ГОСТ 25347-82. Основные нормы взаимозаменяемости. Единая система допусков и посадок. Поля допусков и рекомендуемые посадки. – Введ. 01.01.78. – М.: Изд-во стандартов, 1983. – 53 с.
10. Морозов И.М., Шамин В.Ю. Основы технологии сборки в машиностроении: Учебное пособие. – 2-е изд., перераб. и доп. – Челябинск: ЮУрГУ, 2006. – 72 с.
11. Иванов А.Ю., Леонов Д.Б. Технологические методы обеспечения качества изделия // Научно-технический вестник СПбГУ ИТМО. – 2011. – № 5 (75). – С. 111–113.

Иванов Андрей Юрьевич

– Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, кандидат технических наук, доцент, ivaanur72@mail.ru

Леонов Димитян Божидаров

– ВМЗ АО Сопот, Болгария, зам. директора, аспирант, dimilqn@mail.ru