

УДК 621.99.02

Богуцкий В. Б., Шрон Л. Б.

ВОССТАНОВЛЕНИЕ РАЗМЕРОВ ДЕТАЛЕЙ МАЛЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ СОПРЯЖЕНИЙ ПОВЫШЕННОЙ ТОЧНОСТИ ДЛЯ ПОВТОРНОЙ СБОРКИ

Приведені результати експериментальних досліджень доведення точних поверхонь методом нанесення вторинного мікрорельєфу пластичною поверхневою деформацією і показано, що сполучення по поверхнях, відновленим даним методом, відповідають встановленим експлуатаційним вимогам.

Ключові слова: точні поверхні, вторинний мікрорельєф, пластична поверхня.

Приведены результаты экспериментальных исследований доводки точных поверхностей методом нанесения вторичного микрорельефа пластическим поверхностным деформированием и показано, что сопряжения по поверхностям, восстановленным данным методом, отвечают установленным эксплуатационным требованиям.

Ключевые слова: точные поверхности, вторичный микрорельеф, пластичная поверхность.

The results of experimental researches of polishing of exact surfaces are resulted by the method of causing second microrelief by plastic superficial deformation and it is shown that interfaces on surfaces, by recovered this method, answer the set operating requirements.

Key words: accurate surface, second microrelief, plastic superfic.

Постановка проблеми. В процесі підгонки деталей прецизійної пари з малими припусками (1–2 мкм) можливі випадки зняття шару, перевищує припуск. В результаті цього при обробці компонентів не вдається отримати потрібний натяг (зазор). Стоїть така відмова висока через велику собівартість підготовлених до збирання деталей. В зв'язі з економічною доцільністю відновлювати зменшені розміри деталей для селективної збирання.

Аналіз літератури. Из известных методов восстановления размеров [1] для малых диамет-

ров сопрягаемых поверхностей часто используют гальванопокрытия, но их применение ограничивается эксплуатационными требованиями, например, для восстановления шеек (цапф) узлов электромеханических приборов, но выделяемый при гальванопокрытиях пар и сопутствующий нагрев могут изменить электромагнитные характеристики узла. В связи с этим возникает необходимость использования других методов восстановления.

Для восстановления размеров посадочных мест можно использовать метод поверхностного

пластического деформирования. Суть метода заключается в способности материала поверхностного слоя при пластическом деформировании перераспределяться по высоте. Высотные характеристики образующегося при деформировании вторичного микропрофиля превышают аналогичные параметры исходной поверхности, обуславливая увеличение ее геометрического зазора. Вторичным микропрофилем может служить резьба неполного профиля или кольцевые канавки, накатываемые с помощью соответствующих рифленых роликов и обкатанные гладкими роликами, либо притертые. По данным [2], высота наплывов при нанесении вторичных микрорельефов в среднем равна половине глубины выдавленных канавок (при их глубине до 10 мкм).

Расчеты по формулам, рекомендованные [3] для накатывания профиля резьбонакатными роликами с шагом 0,15–0,25 мм, показывают необходимость приложения радиальных усилий порядка 100 Н. Аналогичные результаты получаются при экстраполяции табличных данных в работе П. Д. Ермолаева [4]. Использование накатных роликов с шагом свыше 0,25 мм приводит к увеличению усилия накатки, которое может привести к деформации детали. Имеющиеся в литературе сведения не раскрывают в полной мере количественных характеристик микрорельефа, образующегося при накатывании неполной резьбы опорных поверхностей.

Цель статьи – описать и проанализировать восстановление размеров деталей малых цилиндрических сопряжений повышенной точности для повторной сборки.

Изложение основного материала. Одним из критериев для выбора условий восстановления размеров при накатке служит принятое на приборостроительных заводах положение о том, что контурная поверхность на уровне натяга по-

садки должна быть не менее 2/3 от номинальной. Эксперименты по восстановлению размеров на валах проводились на разработанной установке, позволяющей проводить доводку и восстановление цапф роторов. Схема обкатки позволяет одновременно с поднятием рельефа при накатке производить обкатку цапфы гладкими роликами, что сохраняет контурную поверхность на уровне натяга посадки не менее 2/3 от номинальной [5].

На рис. 1 показана схема нанесения вторичного микрорельефа на восстанавливаемой поверхности сопряжения цапфы путем обкатывания последней одновременно одним рифленным и двумя гладкими роликами.

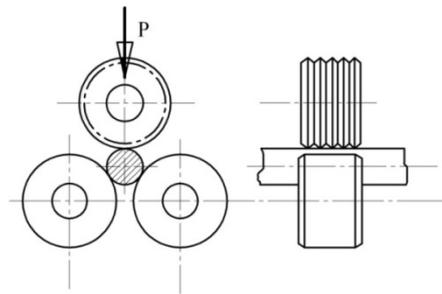


Рис. 1. Схема нанесения вторичного микропрофиля с целью восстановления тремя роликами.

Рабочая поверхность рифленого ролика выполняется в виде кольцевых канавок треугольного профиля или в виде резьбы. В последнем случае может быть обработан валик (цапфа) любой длины, поскольку его подача в осевом направлении будет осуществляться самим рифленным роликом.

При этом профиль поднятой поверхности будет иметь вид, показанный на рис. 2, где F_1 – площадь сечения, образованная внедренным инструментом, F_2 – площадь сечения, обусловленная поднятым слоем. Очевидно, без учета усадки, $F_1 = F_2$.

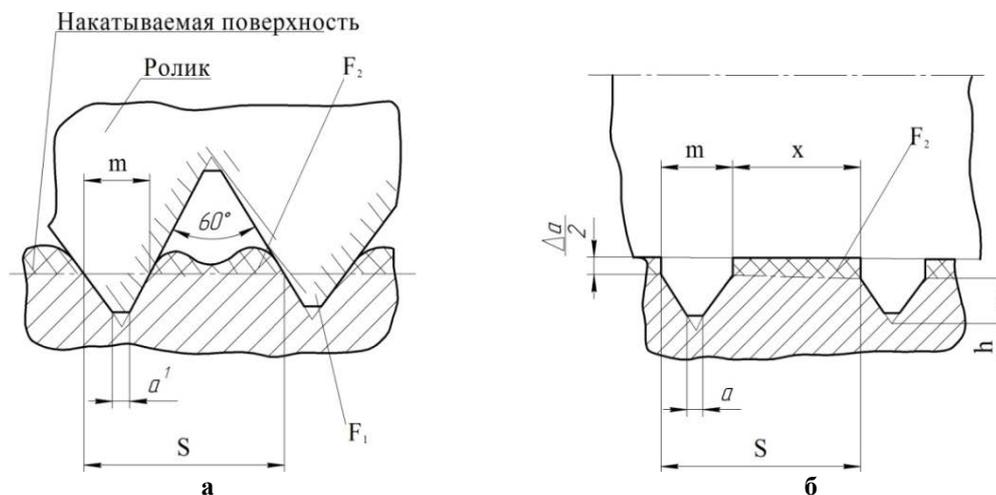


Рис. 2. Схема профиля поднятой поверхности: а – после обкатки рифленным роликом, б – после обкатки гладким роликом.

Из рис. 2б:

$$m + x = S; x \times \frac{\Delta d}{2} = F_2; x = \frac{2}{3}S; \frac{S \times \Delta d}{3} = F_2.$$

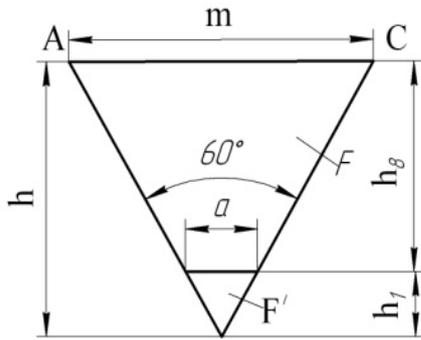


Рис. 3. Схема профиля выдавливаемой впадины на восстанавливаемой поверхности.

Из рис. 3:

$$h_1 = \sqrt{d^2 - \frac{d^2}{4}} = a \frac{\sqrt{3}}{2} = 0,87a.$$

Примем притупление вершины инструмента $a = 5$ мкм, тогда

$$h_1 = 0,87 \times 5 = 4,34.$$

$$\text{Аналогично: } h = 0,87m; m = \frac{h}{0,87}.$$

$$F' = \frac{1}{2}a \times h_1 = \frac{1}{2} \times 5 \times 4,34 = 10 \text{ мкм}^2 \approx 11 \text{ мкм}^2.$$

Площадь всего треугольника ABC:

$$F'' = \frac{1}{2}m \times h = \frac{1}{2} \times \frac{h}{0,87} \times h \approx \frac{h^2}{1,7}.$$

$$F_1 = F'' - F' = \frac{h^2}{1,7} - 11.$$

Исходя из условия, что $F_1 = F_2$, можем записать:

$$\frac{h^2}{1,7} - 11 = \frac{1}{3}S \times \Delta d. \quad (1)$$

По данным [6], радиальная сила для накатывания резьбы равна:

$$\rho = 35 \sqrt{\frac{\sigma_s^3}{E} \times \frac{D_p}{D_p \times d_1}} \times d_1 \left(a + \frac{d_3 - d_1}{\cos \frac{\alpha}{2}} \right) \times n, \text{ Н},$$

где σ_s – предел текучести металла в момент накатывания резьбы в Н/мм²;

D_p – наружный диаметр накатного ролика в мм;

a – ширина вершины и впадины резьбы в мм;

d_3 – диаметр заготовки в мм;

d_1 – внутренний диаметр резьбы в мм;

n – число накатываемых ниток резьбы;

E – модуль упругости, принят $2,0 \cdot 10^5$ Н/мм².

Преобразуя это выражение к виду, используем для данного случая параметры, получим:

$$\rho = 3,5 \sqrt{\frac{\sigma_s^3}{E} \times \frac{D_p}{D_p \cdot (d_3 - 2h)}} \times (d_3 - 2h) \left(a + \frac{d_3 - d_1}{\cos \frac{\alpha}{2}} \right) \times n \times 9,8H \quad (2)$$

где h – глубина внедрения инструмента в мм (рис. 4); так как значение $h_1 \approx 4$ мкм при $a = 5$ мкм очень мало, принимаем $h_b = h$ (см. рис. 3).

Эта формула позволяет получить силовые зависимости для выбора целесообразных границ h и S по формуле (1).

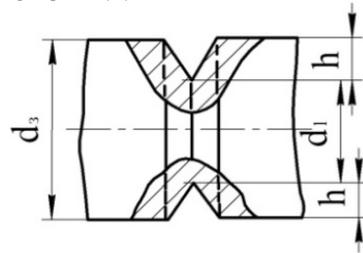


Рис. 4. Схема единичной кольцевой канавки на восстанавливаемой поверхности.

Совместное решение (1) и (2) показано на номограмме (рис. 5), которая представляет собой графические зависимости, состоящие из трех частей.

Первая часть показывает зависимость между глубиной внедрения инструмента в обрабатываемую поверхность и увеличением диаметра Δd восстановленной цапфы при использовании накатных роликов с разным шагом канавок треугольного профиля ($S = 100 \dots 400$ мкм).

Вторая часть отражает зависимость между глубиной внедрения h инструмента в обрабатываемую поверхность и радиальной силой P из расчета на одну кольцевую канавку (одну нитку накатываемой резьбы) для восстанавливаемых цапф диаметрами $d_3 = 3 \dots 6$ мм (материал $\sigma_s = 220$ МПа, например 2Х18Н9) накатными роликами $D_p = 25$ мм.

Третья часть дает соотношение между радиальной силой P_1 на одну кольцевую канавку (нитку накатываемой резьбы) и радиальной силой P на одновременно накатываемых $n = 10 \dots 60$ кольцевых канавок (ниток резьбы). Количество канавок (ниток) взято как частное от деления B – ширины накатного ролика на S – шаг кольцевых канавок (ниток резьбы).

Особенность схемы накатывания вторичного профиля на цапфах для восстановления заключается в том, что нужный вторичный микропрофиль создается за счет одновременного обкатывания цапф тремя роликами (один из которых – рифленый, а два – гладких), с одинаковой для всех радиальной силой P . Ширина роли-

ка B и шаг канавок (ниток) S на нем определяет-ся в зависимости от величины изменения диа-метра цапфы Δd , на которую нам нужно восста-новить цапфу и от диаметра цапфы d_3 .

На номограмме (см. рис. 5) показан пример определения радиальной силы P для увеличения диаметра цапфы на $\Delta d = 5$ мкм, если $d_3 = 6$ мм, $S = 150$ мкм, $B = 6$ мм.

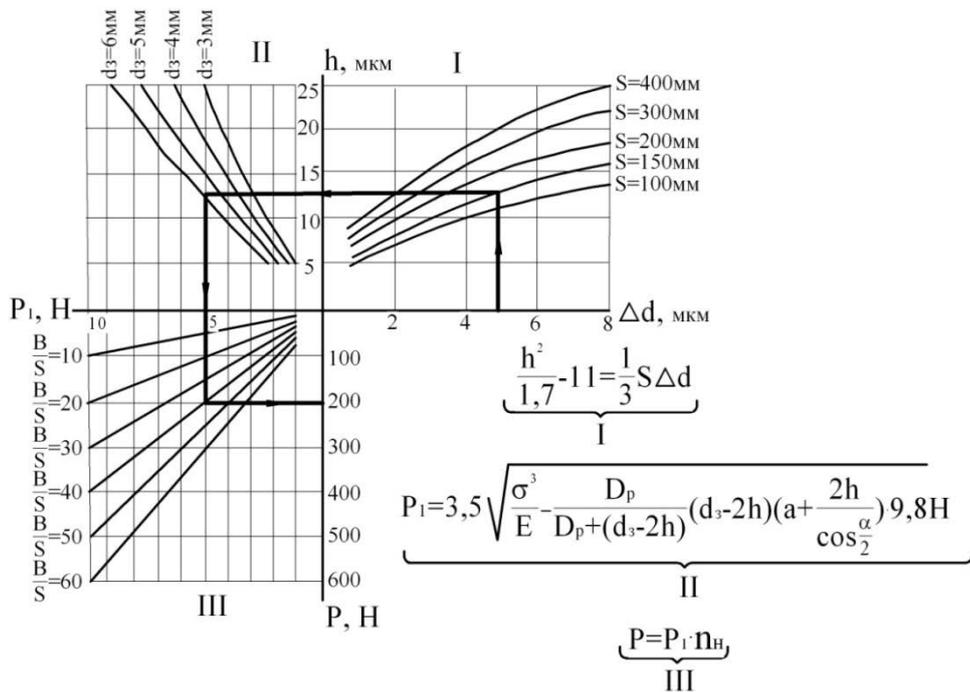


Рис. 5. Зависимость увеличения диаметра Δd восстанавливаемой поверхности от шага канавок S накатного ролика, количества одновременно накатываемых ниток n , диаметра восстанавливаемой поверхности d_3 и усилия накатывания P .

Номограмма позволяет связать основные условия восстановления размеров деталей при сохранении контурной поверхности не менее 2/3 номинальной с величиной подъема профиля, шага накатных роликов, глубину их внедрения и радиального усилия. Анализ номограммы показывает, что для восстановления размеров в соответствии со схемой, приведенной на рис. 2, по-

требуются накатные ролики с шагом канавок 0,15...0,25 мм и усилия не более 300 Н. Такие усилия вполне допустимы при обработке роторов и не производят их ощутимых деформаций.

На рис. 6 показаны результаты экспериментального восстановления размеров цапф валов диаметром 4...6 мм из стали 2Х18Н9, 1Х17Н2, 3Х13.

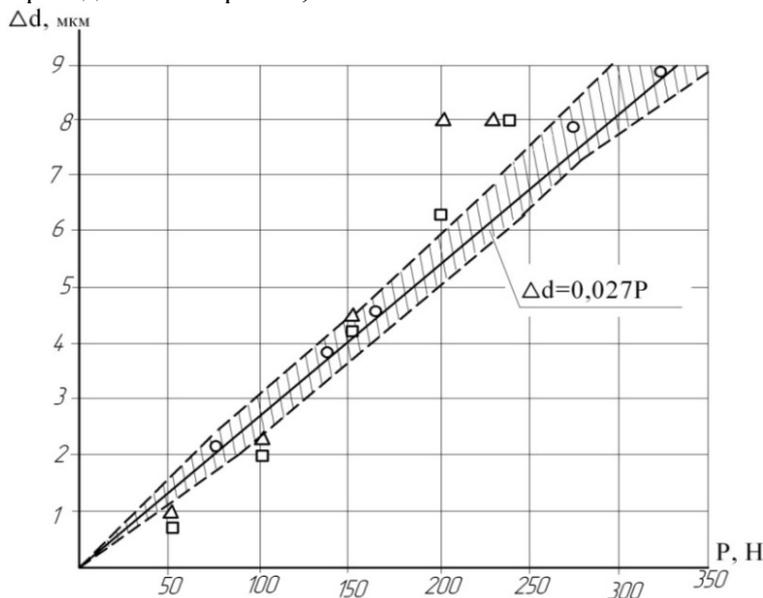


Рис. 6. Зависимость подъема размера от радиального усилия, \circ – экспериментально, Δ – по номограмме для $d_3=4$ мм, \square – по номограмме для $d_3 = 5$ мм.

Кружочками отмечены значения, полученные экспериментально, треугольниками – по номограмме (см. рис. 5). Прямая линия отражает функциональную зависимость подъема размера от радиального усилия. Штриховыми линиями показаны доверительные пределы значений Δdc

доверительной вероятностью 0,9. Средняя ошибка ординат не превышает 6%.

На рис. 7 показана профилограмма восстановленной поверхности. Там же отмечена опорная длина профиля t_y на уровне натяга на сторону 0,25...0,5 мкм.



Рис. 7. Профилограмма восстановленной поверхности.

Экспериментальные исследования показали, что микрогеометрия, макрогеометрия и микротвердость восстановленных поверхностей такие же, как и шеек, обкатанных после чистового точения. В табл. 1 приведены характеристики при-

легания восстановленных, а затем притертых и обкатанных поверхностей на различных уровнях натяга, а на рис. 8 – графическая зависимость между относительной опорной длиной и абсолютным сближением для этого случая.

Таблица 1.

Опорные поверхности для абсолютных сближений восстановленных, а затем доведенных деталей.

Натяг цилиндрического сопряжения в мкм на сторону		0,125	0,25	0,375	0,5	0,75	1,0
Относительная опорная длина в %	Поверхность восстановления	35	68	74	76	78	80
	Поверхность восстановления после обкатывания	42	69	77	78	79	82
	Поверхность восстановления после притирки	9	31	60	68	75	80

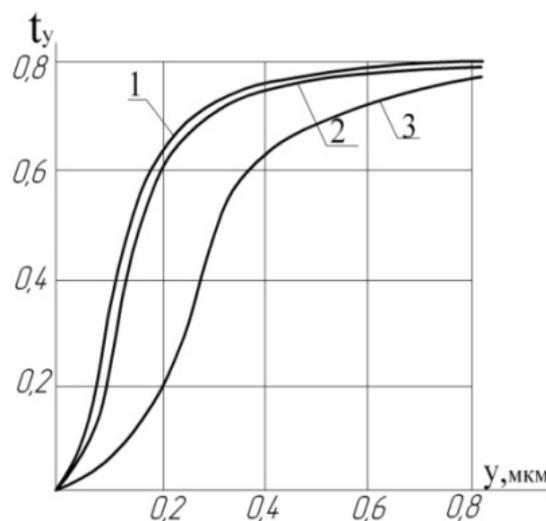


Рис. 8. Кривые опорных поверхностей для абсолютного сближения: 1 – поверхность восстановленная, затем обкатанная; 2 – поверхность восстановленная; 3 – поверхность восстановленная, затем притертая.

На рис. 9 приведены зависимости средних значений изменения осевого усилия при повторных касательных нагружениях подшипниковых прецизионных сопряжений с использованием

восстановленных цапф роторов микромашин. Штриховыми линиями показаны доверительные пределы значений с доверительной вероятностью 0,9.

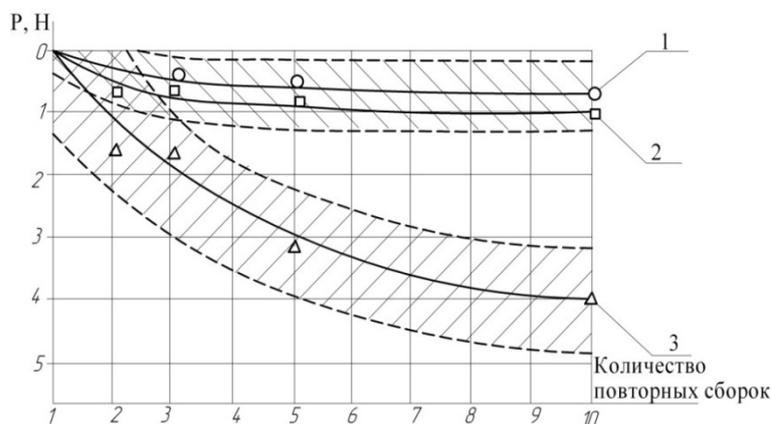


Рис. 9. Изменение средних значений усилия сборки при повторных сборках подшипниковых сопряжений повышенной точности с использованием восстановленных цапф роторов микромашин: 1 – цапфа восстановленная и затем обкатанная; 2 – восстановленная, 3 – восстановленная и затем притертая.

Выводы. Полученные результаты показывают, что сопряжения по поверхностям, восстановленным методом нанесения вторичного микрорельефа пластическим поверхностным деформированием, отвечают установленным эксплуатационным требованиям и соответствуют поверхностям, обкатанным гладким роликом после чистового точения. Кроме этого, после обкатки и притирки усилие сборки восстановленных деталей значительно ниже. Построенная номограмма позволяет использовать результаты исследований для инженерных расчетов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гельберг Б. Т. Вопросы технологии и организации ремонта оборудования / Б. Т. Гельберг, Г. Д. Пе-

келис. – М. : Профтехиздат, 1960. – 288 с.

2. Шнейдер Ю. Г. Образование регулярных микрорельефов на деталях и их эксплуатационные свойства / Ю. Г. Шнейдер. – Л. : Машиностроение, 1972. – 185 с.
3. Справочник технолога-машиностроителя / [под ред. А. К. Малова]. – М. : Машиностроение, 1972. – Т. 2. – 658 с.
4. Ермолаев П. Д. Обработка давлением деталей приборов / П. Д. Ермолаев. – Л. : Изд-во «Судпромгиз», 1960. – 185 с.
5. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / [Ю. П. Адлери и др.]. – М. : Наука, 1971. – 285 с.
6. Никифоров А. Д. Точность и технология изготовления метрических резьб / А. Д. Никифоров. – М. : Высшая школа, 1963. – 180 с.