

**МИНИСТЕРСТВО ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ  
(МИИТ)**

---

**КАФЕДРА ТЕХНОЛОГИИ ТРАНСПОРТНОГО  
МАШИНОСТРОЕНИЯ И РЕМОНТА ПОДВИЖНОГО СОСТАВА**

**Г.С. МАЗИН**

УТВЕРЖДЕНО  
РЕДАКЦИОННО-ИЗДАТЕЛЬСКИМ  
СОВЕТОМ УНИВЕРСИТЕТА

**РАСЧЕТ ДЕФОРМАЦИИ ТОНКОСТЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ  
ТИПА КОЛЕЦ ПРИ ШЛИФОВАНИИ**

**Методические указания к практическим занятиям по дисциплине  
“ ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ”  
для студентов 4 курса специальности 1201  
“Технология машиностроения”**

**Москва – 2003**

УДК 621.7.06; 621.9.06

М-13

МАЗИН Г.С. Расчет деформации тонкостенных деталей типа колец при шлифовании. Методические указания. -М.: МИИТ, 2003, -15 с.

В методических указаниях изложен порядок выполнения лабораторной работы и обработки результатов при определении жесткости технологической системы.

© Московский государственный университет  
путей сообщения ( МИИТ ), 2003.

В процессе термической обработке деталей типа колец (закалке) в последних создаются остаточные напряжения. При этом возникает термическая деформация колец, величина которой зависит от вида термообработки, жесткости и конструкции кольца. Исследования показывают, что независимо от толщины стенки характер распределения напряжений в кольцах одинаков: напряжение растяжения вблизи наружной и внутренней поверхностей колец и сжимающие в центральной зоне сечения (Рис.1).

Эти напряжения являются главным обременением следствием обезуглероживания поверхностных слоев при закалке. Они имеют наибольшую величину у поверхности и по мере удаления в глубину детали сначала резко снижается, а затем изменяются плавно. Максимальная величина термических напряжений  $\sigma_z$  и толщина слоя с высокими напряжениями  $Z$  зависят от вида закалки. На рис. 2 показана зависимость величины остаточных термических напряжений от их глубины при закалке с нагревом в различной среде: в вакууме, в защитной атмосфере и в воздушной атмосфере. Результаты получены при закалке кольцевых образцов диаметром 70, шириной 20 и толщиной 5 мм из стали ШХ-15. Температура нагрева 850 °С, время нагрева 50-55 мин.

Обобщая результаты многочисленных исследований закалки различных колец можно сделать следующие выводы:

-Максимальные напряжения на поверхности после закалки с нагревом в вакууме составляют  $14 \text{ кгс/мм}^2$ , в защитной атмосфере -  $18 \text{ кгс/мм}^2$  и в воздушной атмосфере -  $30 \text{ кгс/мм}^2$ ;

-Толщина слоя с высокими напряжениями соответственно в первом варианте имеет величину порядка  $0,01 \text{ мм}$ , во втором -  $0,14 \text{ мм}$ , в третьем -  $0,2 \text{ мм}$ , то есть толщина напряженного слоя после закалки с нагревом в вакууме значительно ниже, чем после других вариантов нагрева;

-В более глубоких слоях остаточные напряжения после вакуумной закалки не превышают  $1 \text{ кгс/мм}^2$  против  $4 \text{ кгс/мм}^2$  после закалки с другими видами нагрева.

Таким образом, основное преимущество закалки с нагревом в вакууме состоит в малой толщине напряженного слоя.

Наличие остаточных напряжений в закаленных кольцах приводит к тому, что при шлифовании упругое равновесие колец может быть нарушено, в результате чего форма поверхностей, прошлифованных ранее, изменится. Само по себе наличие остаточных напряжений еще не означает, что при шлифовании деформации неизбежны. В идеальном случае, когда поверхности равных остаточных напряжений представляют собой семейство коаксиальных цилиндров, а контур шлифования точно совпадает с ними, деформация при шлифовании не должна возникать, так как при удалении соответствующего

слоя материала снимаются строго симметричные, радиальные напряжения. Если же контур шлифования не совпадает с поверхностями равных напряжений, то есть пересекает эти поверхности, то удаление материала сопровождается снятием асимметрично распределенных по контуру шлифования радиальных и тангенциальных напряжений, что должно приводить к деформации. На практике, вследствие неизбежной неравномерности припуска на шлифование за счет погрешностей геометрической формы заготовки (овальности, разностенности и т.п.) в разных осевых сечениях детали толщина удаляемого напряженного слоя металла различна. Вследствие этого создается изгибающий момент, приводящий к овальной деформации кольца, которая фиксируется в виде увеличения овальности наружной поверхности кольца во время шлифования его внутренней поверхности. При бесцентровом шлифовании последней с базированием на жестких опорах погрешность наружной поверхности копируется на обрабатываемой внутренней, соответственно снижая и ее точность. При этом очевидно, что величина деформации будет зависеть от величины снимаемого припуска, неравномерности припуска, жесткости колец, вида термической обработки и т.п. На рис. 3 представлены кривые деформации колец подшипников 36211/01 (диаметр 100 мм) при шлифовании желобов в зависимости от величины припуска при его неравномерности

равной 0,3 мм для различных видов термообработки.

Из рассмотрения графиков следует, что деформация кольца по мере удаления припуска сначала резко растет, достигая максимума приблизительно к моменту охвата шлифованием половины длины окружности обрабатываемой поверхности, а затем монотонно уменьшается, причем быстрое снижение деформации заканчивается приблизительно к моменту окончания первой стадии, то есть исчезновению черноты на обрабатываемой поверхности. Далее с увеличением припуска деформация снижается медленнее. Это мало изменяющаяся величина деформации  $\Delta d_0$  в дальнейшем названа остаточной.

Как и следовало ожидать, закалка с нагревом в вакууме дает наименьшую остаточную деформацию, не превышающую 1 мкм, тогда как значение деформации при том же съеме после закалки с нагревом в защитной атмосфере достигает 3 мкм, а в воздушной среде - 4 мкм.

Наблюдения показывают, что величина  $\Delta d_0$  обычно достигается при съеме припуска примерно равного

$$P \cong 1,8O_3 + Z, \text{ мм}, \quad (1)$$

где  $O_3$  – овальность заготовки.

Если принять, что остаточная деформация в основном зависит от вида термообработки, жесткости детали, характеризуемой отношением

диаметра кольца  $D$  к его средней толщине  $S$ , отношения ширины шлифуемой поверхности  $b$  к ширине кольца  $B$ , то эмпирическая зависимость максимальных остаточных деформаций от указанных параметров имеет следующий вид

$$\Delta d_0 = 1,06 \cdot 10^{-6} \left( \frac{D}{S} \right)^2 D^{0,5} \left( \frac{b}{B} \right)^{0,7} K_T K_K \quad (2)$$

где  $K_T$  — коэффициент, учитывающий вид термообработки; для закалки с нагревом в воздушной среде  $K_T = 1$ , в вакууме — 0,25;

$K_K$  — коэффициент, учитывающий конструкцию (форму сечения) детали;

для колец шариковых радиальных подшипников  $K_K = 0,8$ , роликовых цилиндрических без бортов  $K_K = 1$ , роликовых конических  $K_K = 1,8$ .

Величину припуска  $\Pi_0$ , необходимую для получения остаточной деформации, вычисляемой по формуле (2), можно рассчитать по формулам (3) и (4). Для закалки колец с нагревом в воздушной среде

$$\Pi_0 = 7,6 \cdot 10^{-4} \left( \frac{K_K}{\Delta d_0} \right)^{0,57} \left( \frac{b}{B} \right)^{0,4} \left( \frac{D}{S} \right)^{1,15} D^{0,25} O^{0,8} \quad (3)$$

для закалки с нагревом в вакууме

$$\Pi_{BO} = \Pi_0 - (0,15 \div 0,20) \quad (4)$$

При определении припусков на шлифование необходимо принимать во внимание не только возможность получения заданной овальности, заложенной в формулы (3) и (4), но и общепринятые методики расчета припусков. Важно, однако, чтобы припуск на шлифование был

не менее рассчитываемого по формулам (3) и (4). При шлифовании колец малой жесткости с отношением  $D/S \geq 20$  формулы (3) и (4) могут быть определяющими для выбора припусков.

Приведенные формулы позволяют проанализировать технологический процесс изготовления тонкостенных деталей. Для этого следует определить допускаемую величину остаточной деформации  $\delta d_0$ . Последнюю можно найти как разность между допускаемой овальностью, заданной чертежом детали и овальностью после шлифования базовой поверхности. Например, при бесцентровом шлифовании наружной поверхности можно обеспечить овальность до 2,5 мкм при заданном чертежом допуске 4 мкм. С учетом резервирования 0,5 мкм на погрешность измерения допустимая деформация  $\delta d_0$  при внутреннем шлифовании составляет 1 мкм. Если  $\Delta d_0$  вычисленная по формуле (2) не превышает допустимое значение  $\delta d_0$ , то деформация колец не приведет к браку деталей по овальности; при  $\Delta d_0 > \delta d_0$  такой брак возможен.

С целью повышения точности геометрической формы деталей и уменьшения величины остаточной деформации применяют технологические процессы, включающие многократную последовательную шлифовальную обработку торцовых, наружных и внутренних



поверхностей. При этом однократную последовательную обработку всех поверхностей условно называют циклом шлифования.

Изучение многоциклового шлифования показало, что при удалении на первом цикле припуска, не менее определенного по формуле (1), на последующих циклах остаточная деформация резко снижается и практически уже не зависит от термических напряжений.

Это позволяет при построении технологического процесса рекомендовать при  $\Delta d_0 > 8\delta_0$  два цикла шлифования, при  $\Delta d_0 > 8\delta_0$  целесообразно применять три цикла шлифования.

Пример.

1. Рассчитать припуск и определить число циклов шлифования

наружного тонкостенного кольца роликового цилиндрического подшипника. Размеры кольца  $D=110$  мм,  $S=5$  мм,  $B=50$  мм, условия термообработки - нагрев под закалку на воздухе; величина овальности заготовки 0,30 мм.

Принимаем следующий технологический процесс обработки наружного кольца: первая операция-шлифование торца на торцешлифовальном станке, вторая операция - шлифование наружного диаметра, третья операция - шлифование отверстия. При таком технологическом процессе величина деформации наружной поверхности кольца при шлифовании отверстия составляет:

$$\Delta d_0 = 1,06 \cdot 10^{-6} \left( \frac{110}{5} \right)^2 110^{0,5} \left( \frac{26}{30} \right)^{0,7} 1 \cdot 1 \cong 5 \text{ мкм}$$

Величина припуска, который необходимо снять для получения величины остаточной деформации, равной 5 мкм, будет

$$P_0 = 7,6 \cdot 10^{-4} \left( \frac{K_k}{0,005} \right)^{0,57} \left( \frac{26}{30} \right)^{0,4} \left( \frac{110}{5} \right)^{1,15} 110^{0,25} 0,3_j^{0,8} = 0,63 \text{ мм}$$

Расчет показывает, что величина припуска, вычисленная по формуле (2) является определенной для назначения припуска на операцию внутреннего шлифования.

Проанализируем исходя из результатов расчета заданный технологический процесс. При заданном чертежом допуске овальность наружной поверхности кольца при изготовлении данного п-ка по 5 классу точности не должна превышать 4 мкм. При бесцентровом шлифовании наружной поверхности с учетом погрешности измерения полученная овальность находится в пределах 3 мкм. Следовательно, величина допустимой остаточной деформации  $\delta d_0$  не должна превышать 1 мкм, чтобы кольца не попали в брак.

В нашем же случае  $\frac{\Delta d_0}{\delta d_0} = \frac{5}{1} = 5$ . Следовательно

для обеспечения выпуска годной продукции по овальности число циклов шлифования данного кольца должно быть не менее двух.

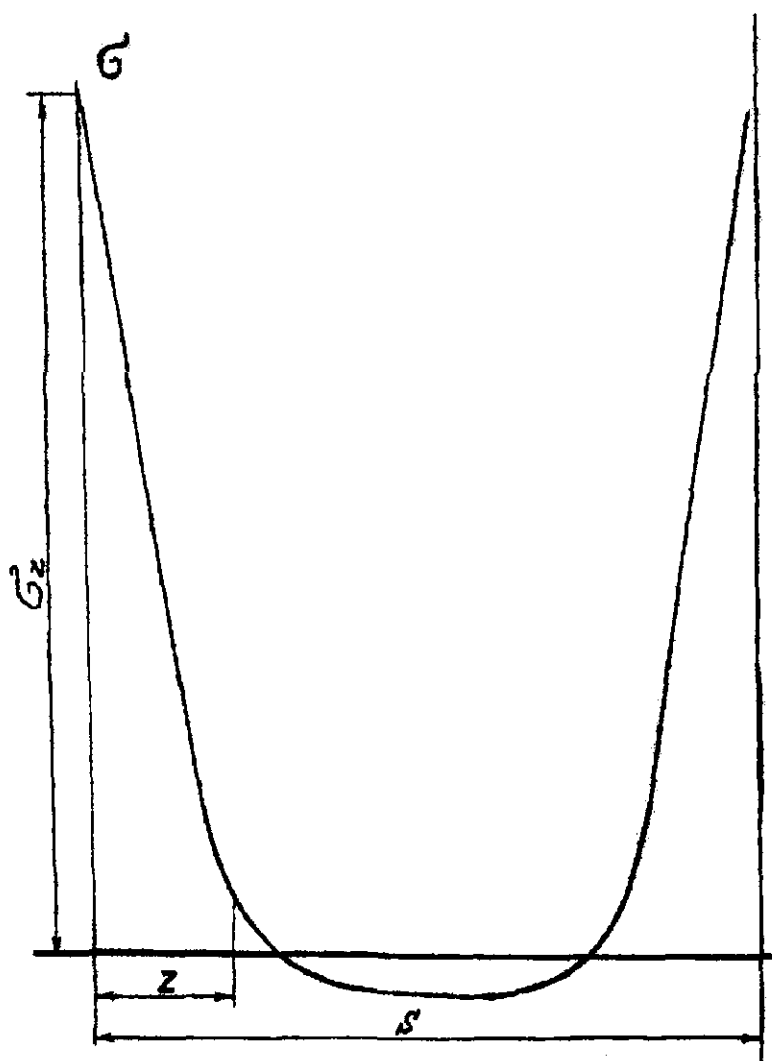


Рис. 1. График распределения в кольце остаточных термических напряжения по его толщине.

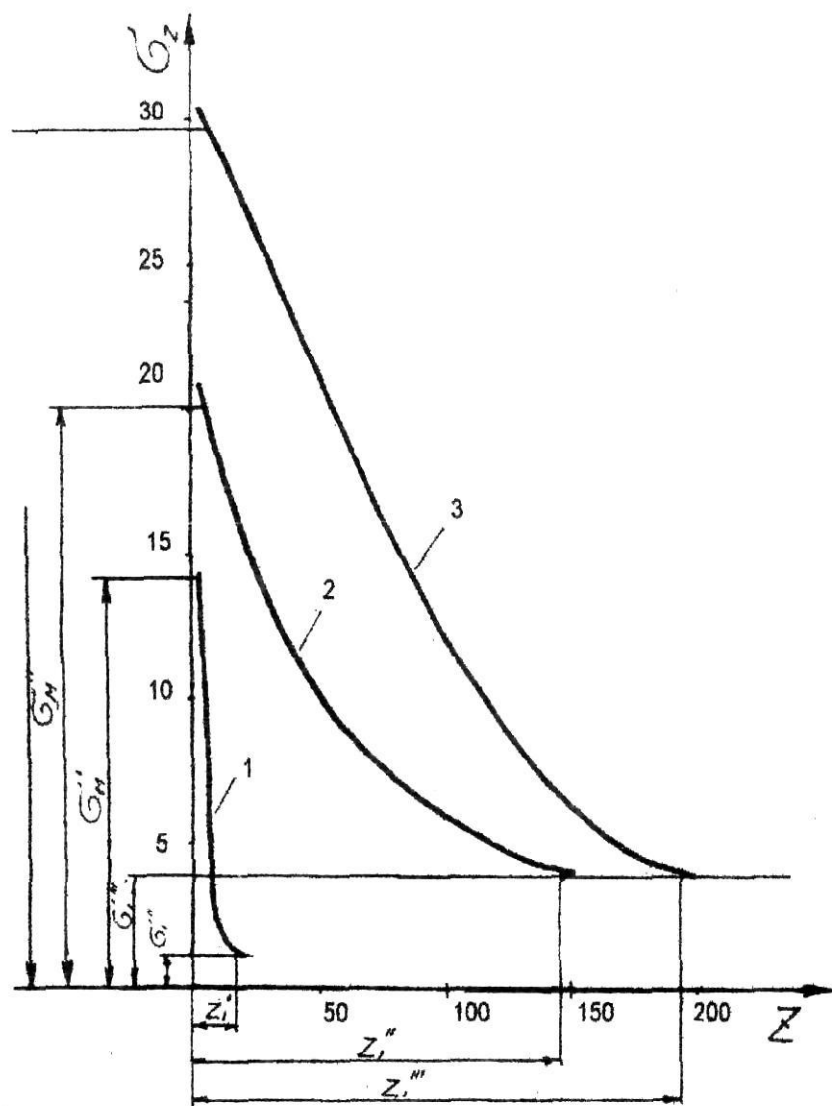


Рис. 2. Зависимость остаточных термических напряжений от их глубины при закалке с нагревом:

- 1 – в вакууме; 2 – в защитной атмосфере;  
3 – в воздушной атмосфере.

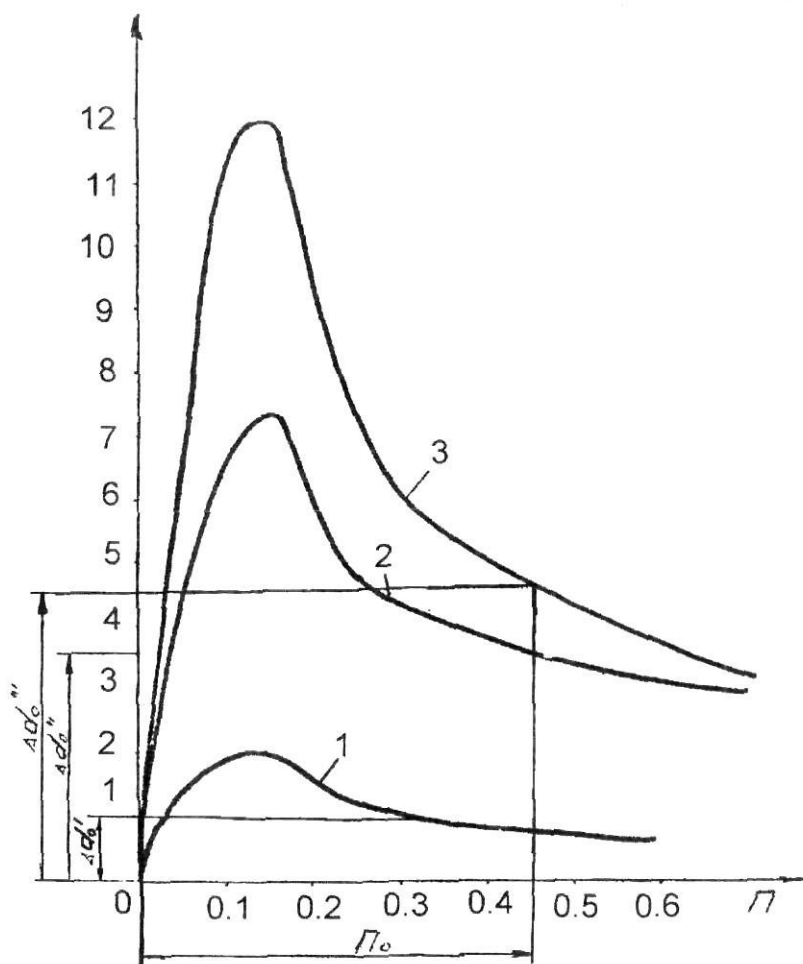


Рис. 3. Зависимость овалных деформаций в процессе шлифования от величины снятого припуска при его неравномерности 0,3 мм:

- 1 – закалка с нагревом в вакууме;
- 2 – закалка с нагревом в защитной атмосфере;
- 3 – закалка с нагревом в воздушной атмосфере.

## Литература

1. А.Г. Спектор, И.М. Брозголь и др. Деформация колец подшипников при шлифовании. "Труды института", N 1 (57), М., Специнформцентр ВНИППа, 1969 г.
2. Апирин Б.С., Михайлова И.А. Исследование влияния термообработки на структуру технологического цикла шлифования. "Труды института", № 2 (92), М., Специнформцентр ВНИППа, 1977г.
3. Апирин Б.С., Эльянов В.Д. Снижение деформации тонкостенных колец, возникающей в процессе шлифования. Науч.-техн. реф. Сб. "Подшипниковая промышленность", вып. 4, М., НИИНавтопром, 1979 г

Учебно-методическое издание

Мазин Григорий Соломонович

Расчет деформации тонкостенных деталей типа колец при шлифовании  
Методические указания по дисциплине  
«Основы технологии машиностроения»

---

Подписано к печати - 26.06.03, Формат 60 x 84/16  
Усл. печ. л. - 1,0. Заказ - 638, Изд. N 297-03. Тираж 100 экз.

*Цена - брутто 50 коп.*

---

127994, Москва, ул. Образцова 15. Типография МИИТа