

ние  $y_0$ . Причем с увеличением этого смещения погрешность  $\Delta_\psi$  растет. Между погрешностью  $\Delta_\psi$  и угловым смещением  $\gamma_0$  существует прямая зависимость, а между  $\Delta_\psi$  и угловым смещением  $\varphi_0$  - обратная. Осевое смещение  $x_0$  не оказывает заметного влияния на точность сферической формы обрабатываемой поверхности. Оно влияет на отклонение обрабатываемой поверхности от заданного положения  $\delta_b$ . Между ними существует прямо пропорциональная зависимость. С увеличением углового смещения  $\gamma_0$  погрешность  $\delta_b$  уменьшается. Радиальное смещение  $y_0$  и угловое смещение  $\varphi_0$  не оказывают заметного влияния на погрешность  $\delta_b$ .

Из проведенного анализа можно сделать вывод, что при шлифовании дорожек качения наружных колец двухрядных роликовых подшипников чашечными кругами на врезание погрешность положения обрабатываемой поверхности возникает в основном из-за осевого смещения  $x_0$ , а отклонение от сферической формы из-за радиального смещения  $y_0$ . При наличии на обработанной поверхности погрешности  $\delta_b$ , выходящей за пределы поля допуска, необходимо провести регулировку стола станка в горизонтальном направлении на величину  $x_0$ , подсчитанную по уравнению (7) с помощью регулировочного винта с нониусной головкой.

При погрешности  $\Delta_\psi$  обработанной поверхности необходимо отрегулировать положение шпинделя шлифовального круга в вертикальном направлении регулировочным винтом с нониусной головкой. Величину регулирования  $y_0$  можно найти из уравнения. (6). Радиальное смещение можно также определить визуально по следам резания-царапания на обработанной поверхности. Если они образованы нижней и верхней частями режущей кромки шлифовального круга взаимно пересекаются, то есть на шлифовальной поверхности появляется "сетка", то радиальное смещение находится в пределах высоты микронеровностей обрабатываемой поверхности, что обеспечивает получение высокой точности сферической формы дорожки качения [2].

#### Литература

1. Кацев П.Т. Оптимизация процессов обработки металлов резанием. ГОСШПИ, ОМТ, 1970.
2. Ящерицин П.И. Технологическая наследственность и эксплуатационные свойства шлифованных деталей. Минск, "Наука и техника". 1971.

#### **Обеспечение физико-механических свойств поверхностного слоя криволинейных поверхностей при шлифовании**

д.т.н. проф. Колтунов И.И., к.т.н. проф. Лобанов А.С.

МГТУ «МАМИ»

8 (495) 223-05-23, доб. 1506, iik@mami.ru

*Аннотация.* В статье приводятся результаты исследования физико-механических свойств поверхностного слоя криволинейных поверхностей, обработанных шлифованием методом пересекающихся осей чашечными кругами.

*Ключевые слова:* шлифование, степень упрочнения, остаточные напряжения, износостойкость.

Одно из основных требований, предъявляемых к шлифовальным операциям, - обеспечение требуемого качества обрабатываемой поверхности в отношении ее шероховатости и физико-механических характеристик. Шероховатость рабочих поверхностей деталей влияет, в основном, на их износ в процессе приработки, а физико-механические свойства поверхно-

стного слоя определяют установившийся износ в процессе нормальной эксплуатации. Физико-механические свойства поверхностного слоя оцениваются следующими показателями: степенью упрочнения или наклепа, глубиной наклепанного слоя, величиной, характером и знаком остаточных напряжений.

Упрочнение поверхностного слоя при шлифовании происходит из-за искажения пространственной кристаллической решетки, неоднородной деформации различно ориентированных зерен поликристалла, переориентирования кристаллических зерен, изменения состояния плоскостей скольжения.

Ранее проведенные исследования других авторов предполагают, что при шлифовании высокоуглеродистых сталей степень упрочнения колеблется в пределах от 60 до 65% малоуглеродистых - от 140 до 150%, а глубина наклепанного слоя может достигать от 0,03 до 0,06 мм. В работе [1] посвященной влиянию технологических факторов на степень упрочнения поверхностного слоя при шлифовании, отмечается, что с увеличением глубины резания, скорости вращения изделия и с уменьшением режущей способности шлифовального круга, степень упрочнения увеличивается.

В поверхностном слое принято различать остаточные напряжения первого, второго и третьего родов, остающиеся в детали после прекращения действия внешних сил. Наибольшее влияние на работоспособность поверхности оказывают остаточные напряжения первого рода, уравнивающиеся в пределах тела и возникающие вследствие неоднородности пластической деформации, а также от неравномерного нагрева или охлаждения.

Наиболее важным фактором, влияющим на вид, величину и характер остаточных напряжений, возникающих: в поверхностном слое детали при шлифовании, усилие резания (подача на врезание), с ростом которого остаточные напряжения сжатия уменьшаются. Это объясняется тем, что увеличивается температура в зоне шлифования, и как следствие в поверхностном слое развиваются остаточные напряжения растяжения, ослабляющие рост напряжений сжатия, что ведет к потере эксплуатационных свойств изделия [2].

Все выше перечисленные работы посвящены изучению физико-механических свойств поверхностного слоя деталей, обработанных обычными методами внутреннего и наружного шлифования.

Цель настоящей работы - изучение физико-механических свойств поверхности, обработанной шлифованием методом пересекающихся осей чашечными кругами.

Экспериментальные исследования проводились на образцах, изготовленных из наружных колец подшипников типа 3622, прошлифованных методом пересекающихся осей на сферошлифовальном станке ЛЗ-29. Условия шлифования были следующие: шлифовальный круг ЧЦ 100×35×20 24А16СМ2Б, скорость вращения круга 35 м/с, изделия - 170 м/мин. Поперечная подача изменялась в пределах  $S = 0,6...2,4$  мм/мин. На каждом определенном режиме обрабатывалось по три кольца, из каждого кольца было изготовлено по два образца. Цикл шлифования: врезание, установившийся съём, выхаживание.

Физико-механические свойства оценивались следующими показателями:

1. Степенью наклепа поверхностного слоя  $\Delta H_{\omega}$ , вычисляемой по формуле:

$$\Delta H_{\omega} = \frac{H_{\omega n} - H_{\omega c}}{H_{\omega c}},$$

где:  $H_{\omega n}$  - наибольшая микротвердость наклепанного слоя;

$H_{\omega c}$  - микротвердость не наклепанной сердцевины.

2. Глубиной наклепанного слоя  $h_n$

3. Степенью упрочнения поверхностного слоя, определяемой в процентах %.

4. Величиной, характером распределения и знаком остаточных напряжений первого рода  $\sigma$ .

Подготовленные образцы подвергались электрополированию при плотности тока  $0,45 \text{ A/cm}^2$ . Раствор электролита (на 1 литр): 150 г серной кислоты (уд. вес 1,84), 50 г хромового ангидрида (порошок), 850 г фосфорной кислоты (уд. вес 1,56).

Величина снятого при электрополировании слоя металла определялась на вертикальном оптиметре ПН-6, а микротвердость измерялась на приборе ИЛТ-3. Параллельно (рентгеновским методом) определялись остаточные напряжения первого рода. Съемка производилась на установке Дрон-1,5, излучением  $C_r$ , щели 1-1 мм. Ускоряющее напряжение 40 кВ, ток трубки  $8 \text{ } \mu\text{a}$ .

Результаты экспериментальных исследований представлены на рисунках 1 и 2.

Из графиков (рисунок 1) следует, что в зависимости от поперечной подачи глубина упрочненного слоя колеблется в пределах от 12 до 16 мкм.

С увеличением поперечной подачи степень наклепа и упрочнения поверхностного слоя увеличиваются и соответственно составляют  $\Delta H_{\omega} = 0,18 \div 0,20$  или 113...120% что можно объяснить преимущественной зависимостью упрочнения от силового режима обработки.

При шлифовании методом пересекающихся осей в поверхностном слое образуются напряжения сжатия (рисунок 2). В зависимости от поперечной подачи остаточные напряжения сжатия изменяются в пределах от 20 до 35 кг/мм. Они резко убывают по глубине поверхностного слоя, достигая  $0,5 \dots 2 \text{ кг/мм}$  на глубине 12...16 мкм. С увеличением поперечной подачи остаточные напряжения сжатия в поверхностном слое уменьшаются. Это объясняется возрастанием температуры в зоне шлифования, ослабляющим рост напряжений сжатия.

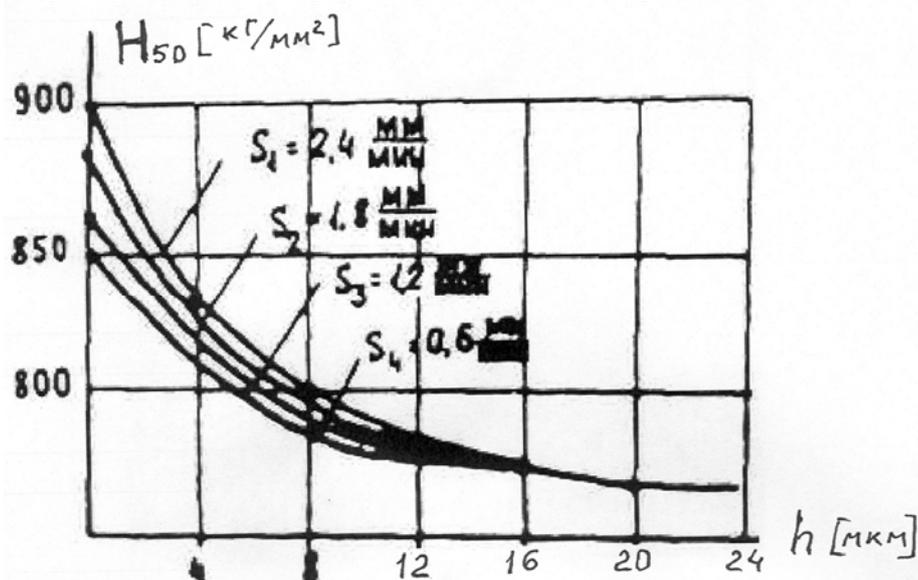


Рисунок 1 – Изменение микротвердости по глубине поверхностного слоя

Из анализа кривых (рисунки 1 и 2) следует, что характерные при шлифовании закаленной стали ШХ15 абразивными кругами экстремумы на кривых микротвердости и на эпюрах остаточных напряжений, свидетельствующие о происшедшем отпуске в тонком слое детали, на данных кривых отсутствуют. Это объясняется тем, что при шлифовании методом пересекающихся осей за счет возникновения вибрации высокой частоты в зоне резания улучшаются условия отвода тепла из этой зоны. Поэтому, несмотря на высокие мгновенные температуры, возникающие в зоне резания, о чем свидетельствует интенсивное искрообразование, тепло, образующееся в этой зоне, не успевает концентрироваться в тонком поверхностном слое и разогревать его до температур, превосходящих температуры структурных превращений. Из проведенного исследования можно сделать вывод, что при шлифовании методом пересекающихся осей в поверхностном слое возникают остаточные напряжения сжатия и создается упрочненный поверхностный слой, что должно способствовать повышению износо-

стойкости обработанной поверхности.

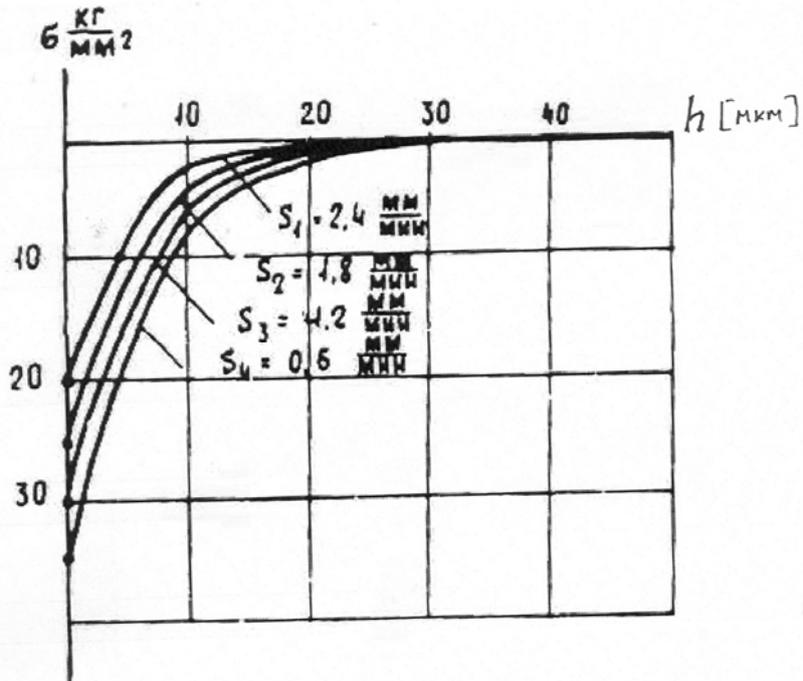


Рисунок 2 – Распределение остаточных напряжений по глубине поверхностного слоя

#### Литература

1. Маталин А.А. «Качество поверхности и эксплуатационные свойства деталей машин». М., Машгиз, 1965.
2. Бассов Л.Г. «Исследование процесса центрального шлифования наклепанных сталей алмазными и эльборовыми кругами». Диссертация. М., 1970.