

очередь повлечет необходимость дополнительной термообработки, а следовательно и увеличение энергозатрат.

Снижение температуры плавления порошка позволит значительно снизить потери энергии в фазе наплавки, не допустить перегрева металла основы, а также произвести качественную термическую обработку непосредственно с температуры наплавки. Использование индукционной наплавки позволяет достичь достаточно высокой производительности при производстве наплавленных деталей, а использование спрейерной закалки дает возможность отказаться от применявшейся ранее закалки в масле и улучшить экологическую обстановку на рабочем месте.

Применяемый в настоящее время на РУП «Минский завод шестерен» процесс индукционной наплавки боридного порошка на лемеха и долота плугов заключается в непосредственной закалке лемехов с температур наплавки, а затем повторной термической обработки в электрических толкательных печах. Такая схема дает стабильный результат, но требует слишком больших затрат энергии.

Оптимизированная схема позволяет совместить процесс наплавки с последующей термической обработкой. Закалка детали проводится с помощью спрейерного устройства совмещенного с индуктором, после подстуживания ниже критической точки  $A_{c1}$  и повторного нагрева до температур выше  $A_{c3}$ . При этом тепло аккумулированное деталью на стадии наплавки позволяет достичь температуры закалки быстрее и следовательно снизить расход энергии, а повторный нагрев позволяет уменьшить размер зерна аустенита. Контроль температур наплавки, времени подстуживания и нагрева осуществляется при помощи оптического пирометра, встроенного в схему управления индуктором.

Таким образом, совмещение процесса наплавки с последующей термической обработкой позволит отказаться от применяемого сейчас метода. Использование тепла, аккумулированного деталью на различных участках наплавки, даст возможность существенно сократить время нагрева, а также отказаться от повторного нагрева, необходимого для отпуска изделий. Это приведет к экономии 23% электроэнергии, по сравнению с применявшейся технологией, снижению себестоимости продукции на 10% и увеличению производительности изготовления в 1,3 раза, а применение пирометра в качестве регулирующего устройства позволит добиться стабильности получаемых результатов.

УДК 621.923

#### **Интенсификация финишной обработки крупногабаритных подшипников**

Студенты – Головков В.В., Садченко А.Г.  
Научные руководители – Акулович Л. М., Сергеев Л.Е., Сенчуров Е.В.  
Белорусский государственный аграрный технический университет  
г. Минск

Известно, что подшипники качения являются основными видами опор в машинах и механизмах. Работоспособность тяжело нагруженных подшипниковых узлов в значительной степени зависит от шероховатости и точности обработки посадочных поверхностей [1].

Установлено, что подшипники, изготовленные из обычных шарикоподшипниковых сталей типа ШХ-15 и т.д. ГОСТ 801-78 удовлетворительно работают при температурах ниже 200-220°C [2]. При их повышении мартенсит переходит в троостит отпуска, что сопровождается падением твердости и резким снижением долговечности изделия. Тяжелонагруженные и крупные подшипники находятся в более напряженном состоянии трущихся поверхностей. Поэтому их обоймы выполняются с цементируемыми рабочими поверхностями по специальным техническим условиям из стали 12Х2Н4А и 20Х2Н4А. Например, глубина цементированного слоя достигает 5-6 мм, а продолжительность процесса цементации составляет 120-150 ч при температуре 850-900°C. После цементации заготовки подвергают отжигу при  $t=800^\circ\text{C}$ . Затем осуществляется закалка при  $t=750-800^\circ\text{C}$  и отпуск при  $t=180-200^\circ\text{C}$  [2]. Данной технологической характеристикой подчеркивается трудоемкость всего производственного процесса по изготовлению подшипников качения, а также роль финишных операций как завершающих и потому на которые падает особая ответственность по обеспечению требуемых эксплуатационных свойств деталей.

В качестве образцов использовались кольца подшипников  $d_{вн}=216$  мм из стали 12Х2Н4А (ГОСТ 4543-71) твердостью 61-63 HRC. Финишная обработка деталей по заводской технологии состояла из шлифования и последующего хонингования, по сравниваемой — из шлифования и магнитно-абразивной обработки (МАО) [3-6]. Режущим инструментом при МАО является ферроабразивный порошок Ж15КТ (ТУ 6-09-03-483-81) на основе карбидов титана, зернистость которого составляет 160/200 мкм (рис.1).

Измерение шероховатости и запись микрорельефа поверхности после различных финишных операций производились на профилографе-профилометре “252-Калибр”. Рентгеноструктурные и рентгенографические исследования проводились на дифрактометре ДРОН-3 с ионизационным методом регистрации интерференционных максимумов. Съемку производили в кобальтовом монохроматизированном излучении. Установление количества остаточного аустенита осуществлялось сравнением с интенсивностью соответствующих линий стали Х19Н9Т (ГОСТ 5632-72) в отожженном состоянии, имеющей полностью аустенитную структуру. Структура поверхностного слоя определялась на металлографическом

микроскопе “Neophot-2”. Напряжения первого рода измерялись по смещению рентгеновской линии  $(211)_\alpha$  на приборе УРС-50И. Для расчета характеристик кристаллической решетки использовали метод аппроксимации.



Рис.1. Форма частиц ферроабразивного порошка Ж15КТ, x 100.

Выявление структуры аустенита осуществлялось с использованием реактива Марбле в качестве травителя [7]. Согласно специальным техническим условиям структура подшипниковых сталей должна состоять из скрытокристаллического или мелкокристаллического мартенсита и мелких избыточных карбидных включений. На рис.2 показана исходная структура стали 12Х2Н4А после цементации, закалки и отпуска. Данная структура имеет типовую морфологию кристаллов в составе твердого раствора (мартенсита) и полностью отвечает особенностям фазовых мартенситных превращений [7].

Известно, что тяжелонагруженные подшипниковые узлы требуют постоянного подвода масла для поддержания режима жидкостной смазки и отвода тепла, выделяющегося при трении. Необходимым условием контакта при этом виде смазки является требование, чтобы минимальный зазор между рабочими поверхностями был не менее суммы средних высот микронеровностей данных поверхностей [8]. В соответствии с современными представлениями о режиме работы подшипникового узла, для сохранения параметров жидкостного трения следует иметь оптимальное значение шероховатости поверхностного слоя  $R_a=0,08-0,63$  мкм.

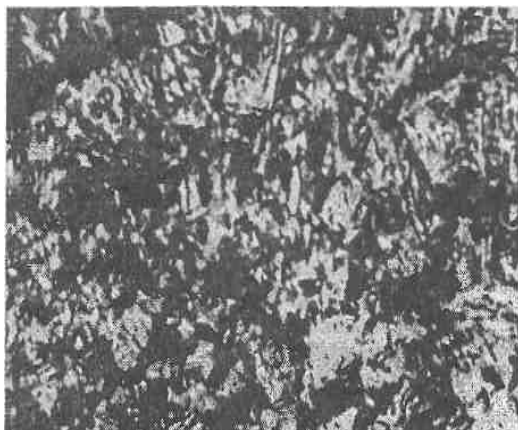


Рис.2. Структура стали 12Х2Н4А после термообработки (цементация, закалка, отпуск), x1000.

При неупорядоченном расположении микронеровностей, образованных традиционными методами обработки, наиболее благоприятным является профиль, обладающий развитой несущей поверхностью [2]. Шероховатость после шлифования, хонингования и МАО составляет  $R_a=0,6,0,2$  и  $0,1$  мкм соответственно. Для поверхностного слоя, созданного шлифованием, характерна большая высота микронеровностей, чем для хонингования и МАО, что может привести к снижению его несущей способности и повышению вероятности падения давления в масляном слое. МАО образует наиболее приближенный к оптимальному микрорельеф, который, однако, по сравнению с хонингованием отличается меньшей упорядоченностью. Вместе с тем присутствует рост выглаженности вершин и впадин микронеровностей, что увеличивает действительную площадь контакта трущихся поверхностей. Согласно [9], контактная жесткость и износостойкость поверхностей тем выше, чем больше их опорная площадь и меньше углы профиля микронеровностей, что и характерно для слоя, созданного МАО. Когда под действием высокой температуры процесса происходит локальные фазовые и структурные превращения. Это проявляется в виде “шлифовочных прижогов” и сопровождается потемнением обработанного участка, в отдельных случаях обнаруживаемого визуально. Структурные превращения в этих местах приводят к локальным объемным изменениям, вызывающим рост

внутренних напряжений разного знака. Если напряжения превышают временное сопротивление металла, происходит разрыв поверхностного слоя в центре или на границах участка “прижога”, как в точке наибольшей их концентрации. Возникновение микротрещин на поверхности резко снижает сопротивление усталости изделия [10].

В таблице представлены данные по определению остаточных напряжений в поверхностном слое деталей после различных операций финишной обработки. Поскольку при МАО процесс преимущественно носит характер тонкого пластического деформирования, то происходит образование сжимающих напряжений, как и после хонингования.

Таблица - Величина остаточных сжимающих напряжений в поверхностном слое после различных методов финишной обработки

Метод обработки	Величина остаточных напряжений, МПа
Исходное состояние (цементация, закалка, отпуск)	660
Шлифование	150
Хонингование	810
Магнитно-абразивная обработка	980

При шлифовании высоколегированной закаленной стали в результате вторичной закалки образуется поверхностный слой, имеющий аустенитно-мартенситную структуру. Этот слаботравящийся белый слой, открытый В.П.Кравз-Тарнавским в 1928 г., обладает повышенными по сравнению с основным металлом твердостью и хрупкостью. Его структура отличается от структуры стали после обычной закалки повышенным содержанием остаточного аустенита (до 80%) и увеличенным параметром кристаллической решетки. Поскольку пластической деформации в первую очередь подвергаются зерна остаточного аустенита, то в процессе обработки скопления дислокаций сосредотачиваются именно в аустенитной фазе, что часто приводит к образованию микро- и макротрещин. В связи с этим при циклическом воздействии контактных нагрузок деформированные зоны остаточного аустенита служат концентраторами напряжений и способствуют снижению прочности [11].

Применение таких финишных операций как хонингование и МАО приводит к устранению дефектного слоя глубиной 50 мкм и образованию характерного микрорельефа и структуры поверхности, обеспечивающих более качественные характеристики материала по сравнению со шлифованием. В отличие от хонингования, магнитно-абразивная обработка обеспечивает увеличение остаточных сжимающих напряжений на поверхности деталей в среднем на 20% при равных размерах областей когерентного рассеяния.

#### Литература

1. Подшипники качения. Справочник. Ред. В.Н.Нарышкин, Р.В. Коросташевский. М: Машиностроение, 1984. 280 с.
2. Орлов П.И. Основы конструирования: Справочно-методическое пособие. Кн.2. М.: Машиностроение, 1988. 544 с.
3. Ящерицын П.И., Кожуро Л.М., Ракомсин А.П., Сергеев Л.Е., Сидоренко М.И. Технологические основы обработки изделий в магнитном поле. Минск: Изд. Физ-тех ин-та, 1997. 416 с.
4. Скворчевский Н.Я., Федорович Э.Н., Ящерицын П.И. Эффективность магнитно-абразивной обработки. Минск: Наука і тэхніка, 1991. 215 с.
5. Барон Ю.М.. Магнитно-абразивная и магнитная обработка изделий и режущего инструмента. Л.: Машиностроение, 1986. 172 с.
6. Yascheritsin P.I., Sergeev L.E., Sidorenko M.I. The comparative appraisal of quality characteristics of holes after different finishing methods. Adv.Perform.Mater., 1997, v.4, No.3, p.337-347.
7. Металловедение и термическая обработка стали. Справочник. Ред. М.Л. Бернштейн, А.Г. Рахштадт. Т.1, кн.2. М.: Металлургия, 1991. 462 с.
8. Гаркунов Д.Н. Триботехника. М.: Машиностроение, 1989. 328 с.
9. Трение, изнашивание и смазка. Справочник. Ред. И.В. Крагельский, В.В.Алисин. Кн.1. М.: Машиностроение, 1978. 400 с.
10. Ящерицын П.И., Мартынов А.Н. Чистовая обработка деталей в машиностроении. Минск: Вышэйшая школа, 1983. 190 с.
11. Ящерицын П.И., Еременко М.Л., Фельдштейн Е.Э. Теория резания. Физические и тепловые процессы в технологических системах. Минск: Вышэйшая школа, 1990. 512 с.