

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ УГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ ДЛЯ КОЛЕЦ ПОДШИПНИКОВ

д.т.н., проф. П.С. Гурченко¹, к.т.н., доц. Г.А. Ткаченко¹, ассистент А.В Ковальчук¹,
А.А. Солонович²

¹ Белорусский национальный технический университет, Механико-технологический факультет, кафедра
«Материаловедение в машиностроении»

² ОАО «Руденск»

E-mail: v_m_konst@mail.ru

Введение. Наиболее распространенными и применяемыми марками сталей для подшипников качения являются ШХ15, ШХ15СГ. Они при правильном режиме термического упрочнения обеспечивают высокий комплекс эксплуатационных свойств готовому изделию. Однако формирование свойств достигается благодаря твердой и хрупкой мартенситной структуре. При высоких динамических нагрузках появляется вероятность разрушения кольца подшипника [1].

Предлагаемая технология изготовления и термического упрочнения конструктивных элементов подшипника предусматривает устранение перечисленных недостатков применяемых технологий.

Результаты исследований. Впервые для двухрядных цилиндрических подшипников предложена высокоуглеродистая инструментальная сталь марки У8А. Сталь обладает схожими механическими свойствами с традиционной подшипниковой сталью марки ШХ15. Изготовление колец подшипника из углеродистой стали позволило применить термическую обработку, представляющую собой закалку с самоотпуском. Детали, обработанные таким образом, не требуют последующего стационарного низкого отпуска с печным нагревом, продолжительность которого не менее 2–3 часов. Следовательно, исключается одна термическая операция, что снижает себестоимость термообработки.

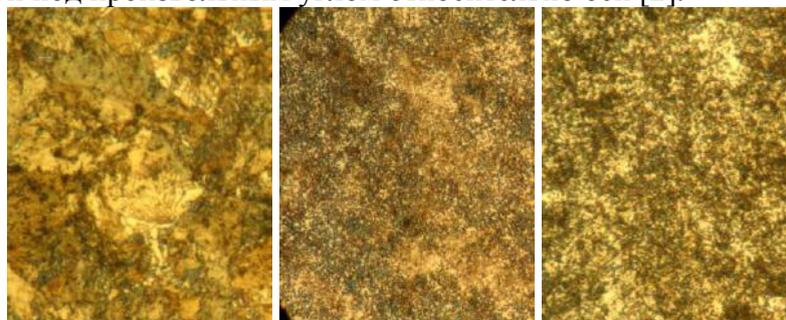
Были проведены исследовательские работы по изготовлению и испытанию опытной партии колец подшипников из стали У8А. Экспериментальными образцами служили двухрядные подшипники модели 53610.01 и 53610.02 с наиболее простой формой и сечением (9 мм).

Часть поковок для предотвращения образования окалины и роста зерна аустенита ускоренно охлаждали водо-воздушной смесью, подаваемой через форсунки, до температур 750–730 °С, а далее на воздухе. По окончании охлаждения микроструктура стали представляла собой пластинчатый перлит 4 баллов (рисунок 1). Последующая термическая обработка заключалась в отжиге для получения структуры точечного и мелкозернистого перлита с твердостью НВ 192–230. Вторая партия поковок послековки подвергалась закалке с температур концаковки 900–850 °С с последующим высоким отпуском (650–670 °С) на сорбитную структуру с твердостью НВ 241–255.

Нагрев колец под закалку производили на универсальном закалочном станке. Электрические параметры индукционного нагрева подбирали таким образом, чтобы время нагрева под закалку до температуры 795–815 °С составляло 0,5–1,5 мин. В процессе индукционного нагрева кольца вращали в индукторе при помощи центра закалочного станка с частотой 1 об./с. После доведения нагрева до закалочной температуры (800–820 °С) кольца переносили (1–3 с) в специально спроектированное механизированное закалочное устройство с душирующим охлаждением.

Время закалочного охлаждения (1,5±0,1 с) было подобрано экспериментально с таким расчетом, чтобы обеспечить в дальнейшем самоотпуск. При меньшей длительности

охлаждения твердость после закалки снижалась на 3–5 и более единиц HRC. При большей длительности закалочного охлаждения (2 с и более) кольца охлаждались до температуры закалочной воды, самоотпуск не происходил, твердость поверхности составляла 66–67 HRC, но при этом на кольцах образовывались закалочные трещины, располагающиеся вдоль, перпендикулярно и под произвольным углом относительно оси [2].



а; $\times 1000$

б; $\times 500$

в; $\times 500$

*а – водо-воздушное охлаждение; б – отжиг на зернистый перлит;
в – после высокого отпуска;*

Рис. 1. Микроструктуры заготовки кольца подшипника из стали У8А

В процессе подбора режимов термической обработки было изучено структурообразование, изменение механических свойств инструментальной стали У8А при объемно-поверхностной закалке с индукционного нагрева (рис.2.) [3]. В соответствии с эксплуатационными нагрузками к участкам 1, 4 и 5 особым требованиям по микроструктуре можно не предъявлять. Наружная поверхность кольца в зонах 1 и 5, а также внутренняя в зоне 4 контактных нагрузок не испытывают. Достаточно, чтобы они имели достаточно высокую твердость и прочность, препятствующую механическим деформациям. Наиболее высокие требования по структуре должны быть предъявлены к беговым дорожкам качения роликов на кольцах подшипника.

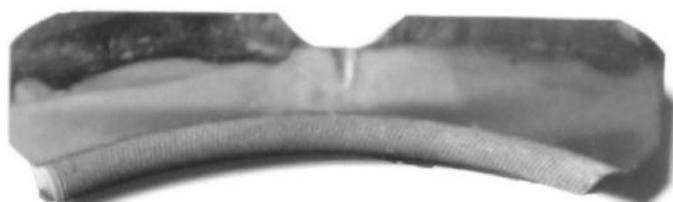
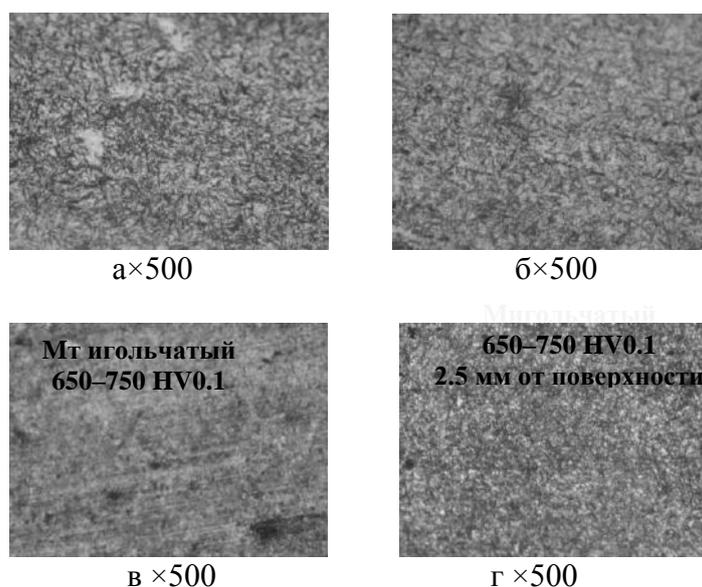


Рис. 2. Схема расположения исследуемых участков в сечении наружного кольца подшипника из стали У8А после объемно-поверхностной закалки

Выбранная схема объемно-поверхностной закалки обеспечивает достижение дифференцированного распределения твердости и структуры по сечению колец подшипников (рис.3). На наружной поверхности кольца, нагреваемой перед закалкой до более высоких температур, сформирована структура крупноиглочатого мартенсита с твердостью 60–63 HRC. По мере удаления от внешнего диаметра кольца твердость увеличивается за счет уменьшения размера иголок мартенсита и увеличения степени его тетрагональности. Наибольшая твердость – 66–68 HRC – достигнута на поверхности беговой дорожки за счет сформированной структуры скрытоиглочатого мартенсита (рисунок 5в). Толщина закаленного слоя с такой микроструктурой составила 2,5 мм.

На расстоянии 20 мм от обоих торцов кольца и в центре внутренней сферической поверхности зоны подшипника между беговыми дорожками микроструктура представляет собой смесь троостита закалки и мартенсита скрытоиглочатого мартенсита. На данном участке 4 твердость составляет 58–60 HRC, что ниже, чем на поверхности беговых дорожек. Это обусловлено большим количеством троостита закалки более 60 %. Снижение твердости на этом участке может быть объяснено более низкой скоростью закалочного охлаждения.



а – мартенсит на поверхности в зонах 1 и 5; б — на расстоянии 2,5 мм от поверхности; в – троостит и мартенсит в зоне 4; г – поверхность дорожек качения
 Рис. 3. Микроструктура наружного кольца подшипника из стали У8А после объемно-поверхностной закалки с индукционного нагрева

Установлено, что разницы в механических свойствах дорожек 1 и 2 практически нет (рис.4). Это свидетельствует об идентичности условий нагрева и закалочного охлаждения для обеих дорожек. Твердость от максимального значения 1050–1100 HV0.1 плавно снижается до 650–700 HV0.1. Снижение твердости по сечению кольца обусловлено уменьшением скорости охлаждения и прокаливаемостью углеродистой стали. Максимальный теплоотвод наблюдается только с поверхности, где скорость охлаждения максимальна (более 650 °С/с). Глубже по сечению скорость закалочного охлаждения снижается (450 °С/с), но остается выше критической скорости закалки. Наивысшая твердость фиксируется в приповерхностном слое беговых дорожек, где сформирована структура мартенсита скрытоигольчатого, что свидетельствует об оптимальной температуре нагрева под закалку и достаточно интенсивном теплоотводе. Минимальная твердость 650–700 HV0.1 на наружной поверхности кольца и структура игольчатого мартенсита указывают на завышенную температуру нагрева под закалку этих участков.



Рис. 4. Микротвердость по сечению двух дорожек внешнего кольца подшипника из стали У8А после объемно-поверхностной закалки

Анализ распределения твердости по контуру внутренней поверхности наружного кольца вдоль оси от одного торца к другому свидетельствует о дифференцированном распределении микроструктур и твердости по контуру беговой дорожки внешнего кольца подшипника. Максимальная твердость дорожки соответствует точке контакта роликов с кольцом. Низкая твердость по торцам обусловлена меньшей скоростью охлаждения.

Невысокая твердость в центре кольца между беговыми дорожками связана с заниженной температурой нагрева под закалку в этой зоне и неомогенностью по углероду перед закалкой. Этой особенностью и объясняется снижение твердости до 680 HV0.1 в центре.

Исследованиями установлено, что в результате объемно-поверхностной закалки в сечении внутреннего кольца, изготовленного из стали У8А, сформирована дифференцированная микроструктура. По мере продвижения от наружного диаметра к поверхности беговых дорожек изменяется микроструктура и увеличивается твердость материала. В приповерхностном слое внутренней поверхности кольца сформирована троостосорбитовая структура с твердостью 500 HV0.1. В центре сечения, на глубине 4,5 мм от поверхности, преобладает троостомартенсит скрытоигольчатый с твердостью 63 HRC. На расстоянии 6 мм от наружной поверхности структура представляет собой троостомартенсит с твердостью 820 HV0.1. На беговой дорожке, где температура нагрева под закалку была оптимальной, а скорость закалочного охлаждения максимальной, сформирована структура скрытоигольчатого мартенсита с твердостью 66–68 HRC. Более мягкие и вязкие структуры в центре кольца подшипника, предполагается, должны препятствовать в процессе эксплуатации хрупким разрушениям. Такого распределения микроструктур удалось достигнуть благодаря специальной конструкции закалочного устройства и низкой прокаливаемости стали. Характер дифференцированного распределения твердости по контуру дорожек представляет собой плавные переходы от торцов к сердцевине и снижение в центре кольца. С торцов твердость ниже, что может быть объяснено меньшей интенсивностью закалочного охлаждения торцевой поверхности. На возвышенности внутреннего кольца твердость также падает, что может быть объяснено меньшей интенсивностью закалочного охлаждения при завышенной температуре нагрева под закалку, о чем свидетельствует появление в микроструктуре троостита закалки в сочетании с игольчатым мартенситом.

ВЫВОДЫ

Преимущества замены стандартной шарикоподшипниковой стали марки ШХ15 на углеродистую инструментальную У8А следующие: снижение себестоимости изготовления подшипника за счет меньшей стоимости материала, использование объемно-поверхностной закалки с индукционным нагревом, изменение режимовковки.

Сочетание углеродистой стали и индукционного нагрева позволяет на всех стадиях изготовления и термической обработки заменить печной нагрев в защитной или окислительной атмосфере на нагрев токами высокой частоты. Применение ТВЧ под операцииковки и штамповки исключает угар материала и образование обезуглероженного слоя. Продолжительность прогрева до температуры (1150–1180 °С)ковки сокращается с 20 до 8 минут на заготовку. После объемно-поверхностной закалки с самоотпуском на поверхности колец подшипника сформирована структура скрытоигольчатого мартенсита (твердостью 68 HRC), в сердцевине стали — троостосорбитная структура (твердостью 55–60 HRC). Дифференцированное распределение структур и твердости обеспечивает высокую износостойкость поверхности и исключает продавливание закаленного слоя дорожки качения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Башнин Ю.А. Технология термической обработки стали. – М.: Металлургия, 1986, С 424. – С. 321, 323
2. Гуринович В. А. Регулируемое охлаждение заготовок в процессе горячего формообразования деталей автомобиля / В. А. Гуринович, П. С. Гурченко, А. И. Михлюк. — Автомобильная пром-сть. — 2007. — №4. — С. 27—29.
3. Гурченко П.С. Применение углеродистой стали У8А и объемно-поверхностной закалки при индукционном нагреве для изготовления колец подшипников / Гурченко П.С., Ткаченко Г.А., Солонович А.А. // Вестник БарГУ: серия: машиностроение и машиноведение – 2013. – 55-66.