

Я. И. Наседкина, М. В. Караваева, О. А. Кайбышев

ВЛИЯНИЕ КОМБИНИРОВАННОЙ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА СТРУКТУРУ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВЫСОКОУГЛЕРОДИСТОЙ ПОДШИПНИКОВОЙ СТАЛИ

В работе описываются результаты исследования изменения микроструктуры и микротвердости подшипниковой стали ШХ15 после комбинированной термомеханической обработки (ТМО) на каждом этапе проведения эксперимента. Показано, что в конечном результате микротвердость увеличилась до 70 HRC, также устранилась карбидная неоднородность и уменьшился средний размер зерна. Высокая эффективность и производительность данного метода позволяет создать на его основе промышленную технологию получения массивных заготовок ультрамелкозернистой подшипниковой стали ШХ15. *Высокоуглеродистая сталь; ИПД; комбинированная термомеханическая обработка; карбидная неоднородность*

Детали подшипников в соответствии с условиями работы, характеризующимися сложным комплексом возникающих в металле напряжений, должны обладать высокой твердостью, износостойкостью, контактной выносливостью и прочностью. Уменьшение размеров аустенитного зерна, а следовательно, мартенситных кристаллитов – эффективный способ одновременного повышения уровня прочности и снижения критической температуры хрупкости [1]. В последнее время все большую популярность приобретает новый способ достижения субмикроструктурного состояния материалов – интенсивная пластическая деформация (ИПД). Учитывая, что величина зерна, полученного после завершения процесса образования аустенита, зависит от величины зерна феррита (перлита) и степени дисперсности карбидных частиц [3], целью работы было получение мелкозернистого перлита с высокой дисперсностью карбидных частиц с использованием ИПД.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Материалом исследования была выбрана конструкционная сталь ШХ 15 стандартного химического состава (табл. 1), с содержанием углерода 1 %.

Таблица 1
Химический состав стали ШХ15 по ГОСТ 801-78

Fe	Si	Cu	Mn	Cr
основа	0,17–0,37	0,25	0,20–0,40	1,30–1,65

Термическая обработка проводилась в печах камерного сопротивления Nabertherm. Образцы для ИПД представляли собой цилиндры, диаметром 10 мм и высотой 15 мм. Каждый из цилиндров был продеформирован на гидравлическом прессе ДБ 36 методом интенсивной пластической деформации (ИПД) с переменной осью нагружения при температурах, близких к температурам полиморфного превращения.

Проводились анализ и аттестация микроструктуры, методом растровой электронной микроскопии (РЭМ), а также измерялась микротвердость. Получаемые образцы изучали в продольном сечении.

Для исследования микроструктуры с помощью растрового электронного микроскопа JSM – 6490 LV рабочая поверхность вырезанных в необходимой плоскости образцов полировалась механическим путем и травилась раствором 3 % азотной кислоты и 97 % этилового спирта.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Микроструктура в исходном состоянии представляет собой зернистый перлит (рис. 1) со средним размером зерна 14 мкм. Распределение карбидных частиц по размеру носит бимодальный характер (рис 2). Это говорит о неоднородности карбидной структуры, присутствие которой приводит к снижению контактной выносливости. Это снижение становится особенно заметным с уменьшением радиуса кривизны рабочих поверхностей деталей, так как величины контактных площадок в определенный момент становятся соизмеримыми с размерами дефектов [2].

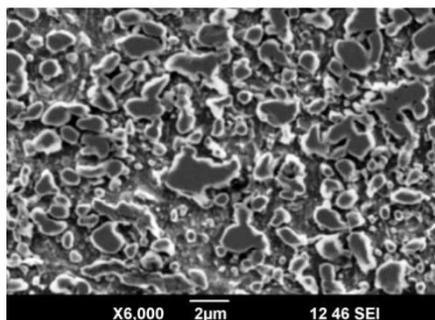


Рис. 1. Микроструктура стали 3ХХ15 в исходном состоянии

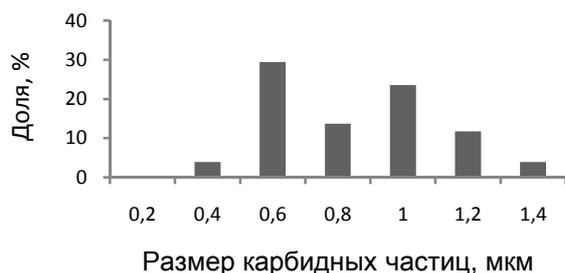


Рис. 2. Распределение карбидных частиц по размеру стали 3ХХ15 в исходном состоянии

Для того чтобы избавиться от карбидной неоднородности и при дальнейшей обработке получить высокодисперсную структуру, мы провели аустенизацию с целью изменения структуры материала, затем «догрев» до температуры полного растворения карбидной фазы. Таким образом, мы получили мартенсит с объемной долей карбидной фазы менее 0,5 % (рис. 3), в то время как после стандартной закалки (выдержка 860 °С, закалка в масло + низкотемпературный отпуск при 160 °С) мы получили мартенсит с объемной долей карбидов 2 % (рис. 4). Также следует отметить, что в зернистом перлите мелкие карбиды растворяются раньше, чем крупные [3], это можно подтвердить, сравнив рис. 2 и 5.

После стандартной термической обработки микротвердость увеличивается более чем в 3 раза, а после экспериментальной – более чем в 3,5 раза, по сравнению с исходным состоянием (рис. 6). Вероятно, это связано с большими напряжениями в тетрагональной решетке, вследствие высокой концентрации внедренного углерода. После экспериментальной ТО были вырезаны цилиндры диаметром 10 мм и высотой 15 мм. Каждый из цилиндров был протравлен на гидравлическом прессе ДБ 36

методом ИПД с переменной осью нагружения при температурах, близких к температурам полиморфного превращения. При данных температурах сталь претерпевает отпуск, при котором происходит уменьшение концентрации углерода в α -железе и его выделения в виде карбидов. Однако следует отметить, что карбиды выделяются равномерные и высокодисперсные (рис. 7). Параллельно с отпуском происходит измельчение структуры (средний размер зерна уменьшается до 600 нм) и наклеп матрицы. После ИПД распределение карбидных частиц по размеру носит нормальный характер (рис. 8), что говорит об однородности карбидной структуры. Микротвердость после ИПД уменьшается (рис. 11) за счет уменьшения концентрации углерода в α -железе, и, как следствие, уменьшения напряжения в матрице образца.

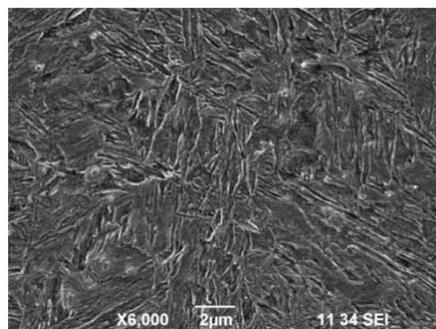


Рис. 3. Микроструктура стали 3ХХ15 после экспериментальной ТО

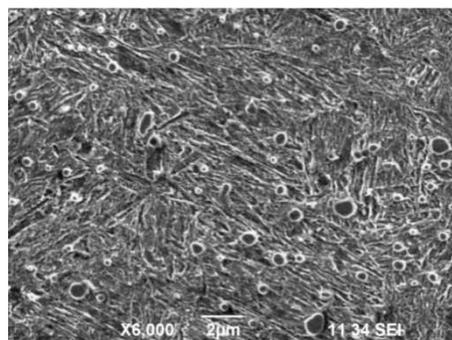


Рис. 4. Микроструктура стали 3ХХ15 после стандартной ТО

Таким образом, посредством комбинирования ИПД и экспериментальной ТО мы добились уменьшения размера зерна d в 23 раза (с 14 мкм до 600 нм) и устранили карбидную неоднородность, получив высокодисперсную и однородную структуру.

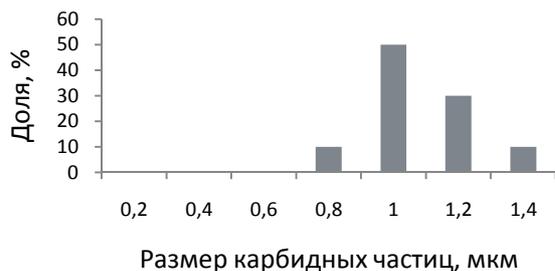


Рис. 5. Распределение карбидных частиц по размеру стали ШХ15 после стандартной ТО

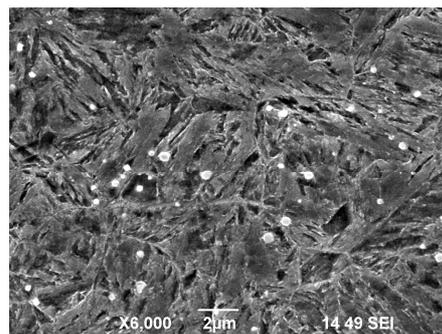


Рис. 9. Микроструктура стали ШХ15 после заключительной обработки

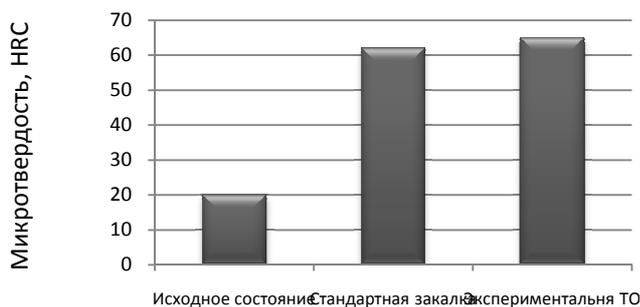


Рис. 6. Микротвердость стали ШХ15

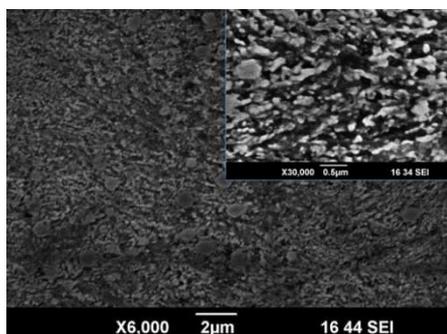


Рис. 7. Микроструктура стали ШХ15 после экспериментальной ТО + ИПД

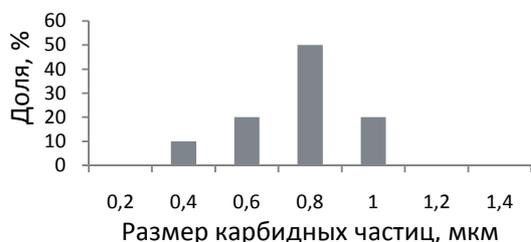


Рис. 8. Распределение карбидных частиц по размеру после экспериментальной ТО + ИПД

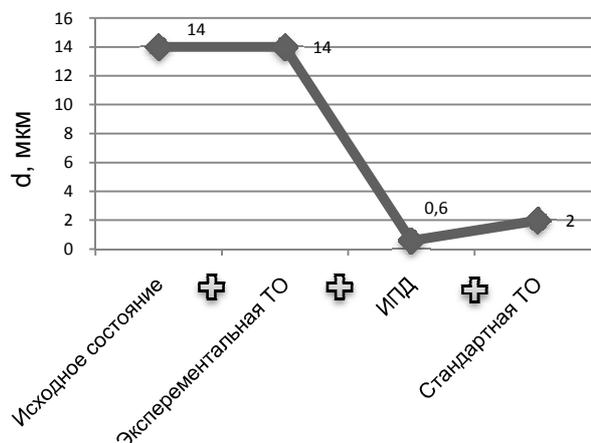


Рис. 10. Средний размер зерен стали ШХ15 на каждом этапе обработки

Далее проводилась стандартная термическая обработка (выдержка 860 °С, закалка в масло + низкотемпературный отпуск при 160 °С). Микроструктура после заключительной стандартной ТО представляла собой отпущенный мартенсит (рис. 9) с объемной долей карбидов менее 1 % и размером зерна 2 мкм. Анализируя рис. 10, можно сказать, что после заключительной обработки средний размер зерен уменьшился в 7 раз, а микротвердость увеличилась (рис. 11) на 9 единиц HRC по сравнению с исходным состоянием. Вероятно, это связано с особенностями дислокационной структуры рекристаллизации горячедеформированного состояния, когда зарождение и рост новых зерен сопровождается «наследованием» дислокационной структуры горячей деформации [4, 5].

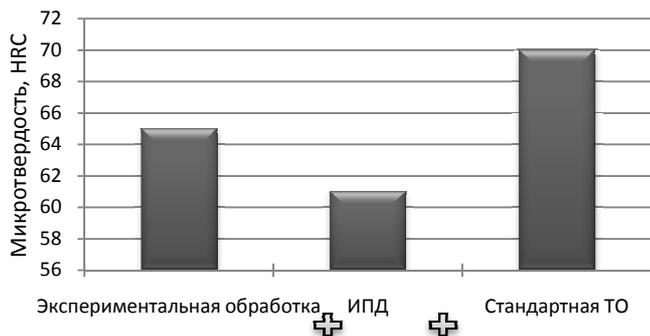


Рис. 11. Значения микротвердости на каждом этапе обработки стали ШХ15

ВЫВОДЫ

Таким образом, использованная комбинированная обработка позволяет повысить характеристики твердости на 9 единиц HRC за счет измельчения структуры (средний размер зерна уменьшился в 7 раз по сравнению с исходным состоянием) посредством ИПД. Также уменьшается объемная доля карбидной фазы и устраняется ее неоднородность. Данная обработка является наиболее перспективной, с точки зрения возможности использования ее в серийном производстве, так как объем получаемой заготовки ограничивается лишь мощностью оборудования. Все это делает данный метод перспективным с точки зрения повышения технологических характеристик стали ШХ 15.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Эффекты термомеханической обработки проката подшипниковой стали / Я. И. Спектор [и др.] // Сталь. 2006. № 3. С. 79.
2. **Спришевский А. Н.** Подшипники качения: справ. пособие под ред. А. И. Спришевского, Н. А. Спицина. М.: Машгиз, 1961. 200 с.
3. **Раузин Я. Р.** Термическая обработка хромистой стали. М.: Машгиз, 1963. 96 с.

ОБ АВТОРАХ

Наседкина Яна Игоревна, студ. спец. «Наноматериалы». Иссл. в обл. сталей и сплавов с ультрамелкозернистой структурой.

Каравеева Марина Владимировна, зам. декана факультета АТС, преп. каф. МиФМ. Канд. техн. наук. Иссл. в обл. объемных наноструктурн. металлов.

Кайбышев Оскар Акрамович, науч. рук. ООО «Новые технологии формообразования». Д-р техн. наук. Иссл. в обл. объемн. наноструктурн. материалов.