

## Влияние интенсивной пластической деформации на структуру и свойства высоколегированной стали 110X18M-ШВД

Караваева Марина Владимировна, кандидат технических наук, доцент;  
Зарипов Наиль Гарифьянович, доктор физико-математических наук;  
Шарипова Саида Раилевна, кандидат технических наук.  
ФГБОУ ВО Уфимский государственный авиационный технический университет (г. Уфа)

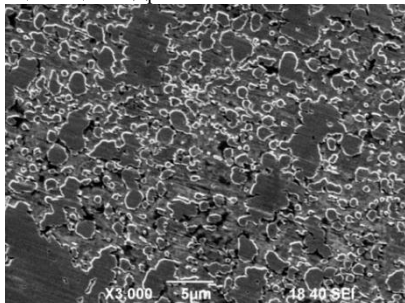
*Представлены результаты исследования влияния интенсивной пластической деформации на микроструктуру и картину износа высоколегированной подшипниковой стали 110X18M-ШВД. Показано, что формирование в результате равноканального углового прессования однородной ферритной структуры с равномерно распределенными высокодисперсными карбидными частицами приводит к изменению трибологических свойств.*

**Ключевые слова:** интенсивная пластическая деформация, высокоуглеродистые стали, карбидная неоднородность.

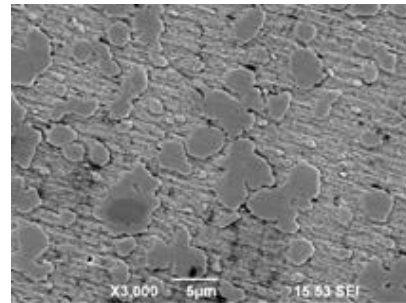
Подшипниковые стали чрезвычайно широко используются в различных отраслях промышленности. Основной проблемой этих материалов является карбидная неоднородность, которая приводит к снижению износостойкости деталей подшипников из-за выкрашивания крупных карбидных частиц. Полностью устранить карбидную неоднородность не удастся даже при высокотемпературной пластической деформации. Между тем, в последнее десятилетие показано, что использование методов интенсивной пластической деформации (ИПД) позволяет сформировать ультрамелкозернистую (УМЗ) микроструктуру с однородно распределенными высокодисперсными карбидными частицами [1]. Этот подход успешно применен для низко- и среднеуглеродистых сталей [2-4]. Однако высоколегированные стали с содержанием углерода около 1 % являются более сложным объектом для деформации, поэтому до настоящего времени им было уделено значительно меньше внимания.

В данной работе проведено исследование влияния ИПД на карбидную неоднородность высоколегированной стали 110X18M-ШВД.

В качестве метода ИПД использовали равноканальное угловое прессование (РКУП), которое было проведено на базе Научно-исследовательского института физики перспективных материалов ФГБОУ ВО УГАТУ. Температура прессования составила  $T=600\text{eC}$ ; количество циклов - 5. Форма образцов - цилиндрическая с  $d=10$  мм.



а



б

Рис. 1. Микроструктура стали 110X18M-ШВД: а - исходный пруток; б – шарик подшипника (растровая электронная микроскопия)

Микроструктура стали после 5 циклов РКУП приведена на рис. 2. Как видно, некоторая неоднородность размеров карбидов сохраняется, однако распределение карбидов по ферритной матрице становится значительно однороднее. При больших увеличениях (рис. 2 б) видно, что наряду с более крупными карбидами наблюдаются очень

Термическую обработку после РКУП осуществляли по режиму: нагрев до температуры 1050 °С, выдержка 1 час, закалка в масле, последующий низкий отпуск при температуре 170 °С, выдержка 1,5 часа, охлаждение на воздухе.

Испытания на износостойкость проводили на трибометре Nanovea TRB в режиме шарик – диск при температуре испытания  $T = 22$  °С, нагрузке  $P=5$  Н, скорости вращения  $v = 300$  об/мин, контртело - стальной шарик из стали марки 95X18 диаметром 3 мм, время испытания  $t = 1$  час.

Измерение микротвердости осуществляется методом Виккерса ( $H_v$ ) согласно ГОСТ Р ИСО 6507-1 на приборе Struers Duramin при нагрузках 0,1 кг, время - 10 с путем вдавливания четырехгранной алмазной пирамидки с углом при вершине 136°. Микроструктура образцов снималась с помощью растрового электронного микроскопа JEOL JSM-6390.

Исходный материал представлял собой пруток диаметром 10 мм. Микроструктура прутка представлена на рис.1, а. Для сравнения на рис.1 б приведена микроструктура шарика готового подшипника из стали 110X18M-ШВД. Микроструктура как прутка характеризуется значительной неоднородностью карбидов по размерам, подобная неоднородность характерна и для шарика подшипника (рис.1 а и б).

дисперсные частицы размером меньше 100 нм, расположенные преимущественно по границам зерен феррита.

Таким образом, ИПД методом РКУП привело к перераспределению карбидной фазы в структуре стали. Предположительно механизм этого процесса связан с деформационно-индуцированным растворением карбидов [5] и по-

следующим их выделением, возможно при охлаждении после деформации.

Более равномерное распределение карбидов в структуре стали после РКУП по сравнению с исходным прутком позволяет получить в результате окончательной тер-

мической обработки — закалки и низкого отпуска, — однородную структуру мартенсита с небольшой долей высокодисперсных карбидов, как показано в сравнении на рис. 3.

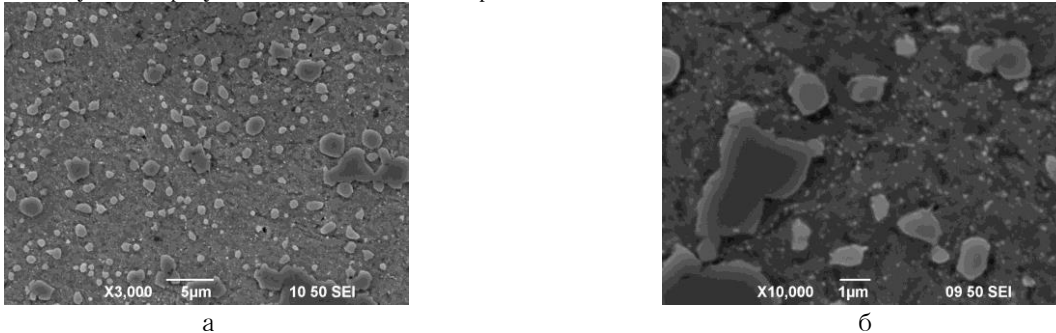


Рис. 1. Микроструктура стали 110X18М-ШД (растровая электронная микроскопия): а — увеличение 3000; б — увеличение 10000

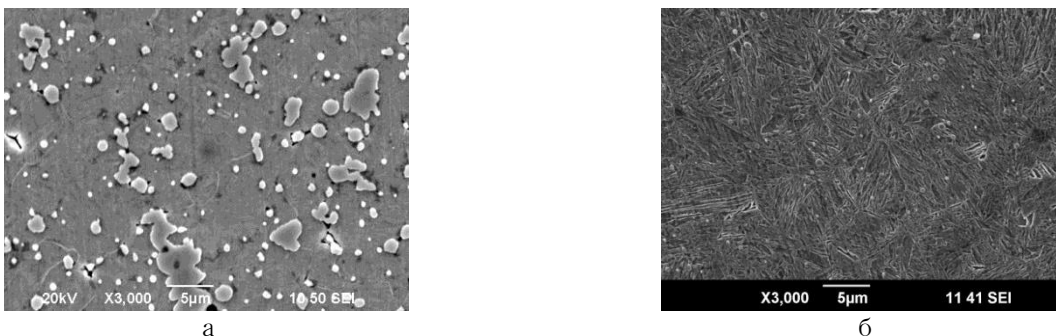


Рис. 3. Микроструктура стали 110x18М-ШВД после закалки и низкого отпуска (растровая электронная микроскопия): а — состояние поставки; б — состояние после ИПД РКУП

Трибологические испытания показали, что при практически одинаковом значении коэффициента трения, картины износа для стали в исходном состоянии и после РКУП значительно различаются. На рис. 4. Приведены фотографии треков стали после испытаний на износ.

Из сопоставления рис. 4 а и б видно, что ширина трека для стали, прошедшей ИПД РКУП, на 30 % меньше, чем для стали, термообработанной в исходном состоянии. Кро-

ме того, внешний вид трека стали в исходном состоянии демонстрирует следы заметной пластической деформации, характеризующейся наволакиванием материала неровностей поверхности друг на друга. Это свидетельствует о проявлении активных процессов схватывания и заедания, являющихся признаками адгезионного изнашивания. После ИПД РКУП и термической обработки картина износа имеет абразивный характер.

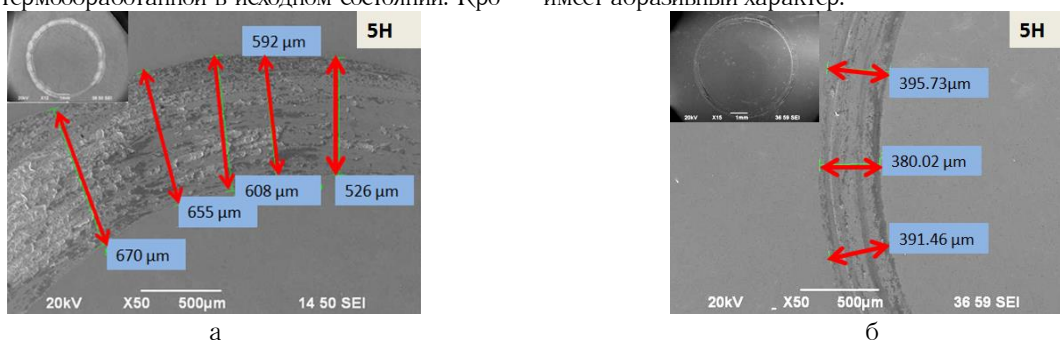


Рис. 4. Картина износа образцов стали 110X18М-ШВД после термической обработки (растровая электронная микроскопия): а — исходное состояние; б — после ИПД РКУП

Таким образом, применение ИПД РКУП приводит к формированию однородной структуры матричного типа: феррит и равномерно распределенные карбидные частицы двух размеров: крупная фракция карбидов имеет средний размер 3 мкм, высокодисперсная — около 100 нм. После закалки и низкого отпуска стали после РКУП получается

мартенсит отпуска с дисперсными карбидами. Такая структура демонстрирует изменение трибологических свойств.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 17-48-020253.

#### Литература:

1. Караваяева М.В. Микроструктура и механические свойства среднеуглеродистой стали, подвергнутой интенсивной пластической деформации / М.В. Караваяева, С.К. Нуриева, Н.Г. Зарипов, А.В. Ганеев, Р.З. Валиев // МиТОМ. — 2012. — №4. — С. 3–7.

2. Закирова А. А. Структура и механические свойства углеродистых сталей, подвергнутых интенсивной пластической деформации кручением/ А.А. Закирова, Р.Г. Зарипова, В.И. Семенов //Вестник УГАТУ: Машиностроение/Материаловедение и термическая обработка. – 2008. – Т.11. – №2 (29). С. 123 – 130

3. Кошовкина В.С. Влияние кручения под давлением и последующих отжигов на структуру и микротвердость стали 06МБФ/ В.С. Кошовкина, Г.Г. Майер// Международная научно-практическая конференция «Современные техника и технологии». – 2013. – с 45 – 46.

4. Ganeev A.V. On the nature of high-strength state of carbon steel produced by severe plastic deformation/ A.V. Ganeev, M.V. Karavaeva, X. Sauvage, E. Courtois-Manara, Y. Ivanisenko, R.Z. Valiev// IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. – 63. – 2014. – 012128.

5. Ivanisenko Yu. The mechanism of formation of nanostructure and dissolution of cementite in a pearlitic steel during high pressure torsion/ Yu. Ivanisenko, W. Lojkwski, R.Z. Valiev, H.-J. Fecht// Acta Mat. – 51. – 2003. – pp.5555-5570.