

М. В. Караваева, М. М. Абрамова* И. А. Рамазанов

Уфимский государственный технический авиационный университет, г. Уфа

*abramovamm@yandex.ru

ВЛИЯНИЕ ИНТЕНСИВНОЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ (ИПД) И ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА МИКРОСТРУКТУРУ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА ПОДШИПНИКОВОЙ СТАЛИ 110X18 М

В работе исследовано влияние интенсивной пластической деформации (ИПД) и последующей термической обработки на микроструктуру и функциональные свойства подшипниковой стали 110X18М. Увеличение числа циклов ИПД перед стандартной термической обработкой приводит к снижению коэффициента трения при сохранении твердости на том же уровне, что и после термической обработки.

Ключевые слова: подшипниковая сталь, микроструктура, твердость, износостойкость, интенсивная пластическая деформация, термическая обработка.

M. V. Karavaeva, M. M. Abramova, I. A. Ramazanov

INFLUENCE OF SPD AND THERMAL PROCESSING ON MICROSTRUCTURE AND FUNCTIONAL PROPERTIES OF BEARING STEEL 110CR18MO

The effect of severe plastic deformation (SPD) and subsequent thermal treatment on the microstructure and functional properties of 110Cr18Mo bearing steel was investigated. An increase in the number of cycles of the SPD before the standard heat treatment leads to a reduction in the coefficient of friction while maintaining the hardness at the same level as after heat treatment.

Key words: bearing steel, microstructure, hardness, wear resistance, severe plastic deformation, heat treatment.

С развитием техники и усложнением работы деталей и конструкций повышение механических и функциональных характеристик материалов остается одной из наиболее актуальных практических задач. Одним из инновационных методов повышения свойств через воздействие на микроструктуру является получение субмикроструктурного или ультрамелкозернистого состояния материала различными

методами интенсивной пластической деформации (ИПД). Основными технологиями ИПД являются кручение под высоким давлением, равноканальное угловое прессование и всесторонняя ковка (ВК). Материалы, подвергнутые ИПД, часто имеют уникальные характеристики.

Целью данной работы является исследование влияния ИПД всесторонней ковкой при температуре 600 °С с различным количеством циклов (2, 4) и последующей термической обработкой (закалка и низкий отпуск) на микроструктуру и трибологические свойства подшипниковой стали 110X18M.

К подшипниковым сталям предъявляют, в первую очередь, следующие требования: однородная микроструктура с равномерным распределением карбидной фазы (не должно быть крупных карбидных включений или выраженной карбидной ликвации, которые могут привести к преждевременному износу подшипника), достаточно высокая твердость.

Микроструктура стали 110X18 M в исходном состоянии представляет собой ферритную матрицу с включениями карбидной фазы с объемной долей 28 % (рис. 1, *а*). В структуре наблюдаются крупные включения карбидов размером до 20 мкм, что крайне нежелательно для подшипниковых сталей. Средний размер карбидов составил 2,3 мкм. После двух циклов ИПД в структуре также наблюдаются крупные включения карбидов (рис. 1, *б*), объемная доля карбидной фазы увеличивается до 34 %, средний размер карбидов уменьшается до 1,5 мкм. При увеличении числа циклов до 4 объемная доля карбидной фазы уменьшается (28 %), средний размер частиц остался на прежнем уровне, при этом также наблюдаются крупные частицы, но их размер уменьшился и в среднем составил 6 мкм (рис. 1, *в*).

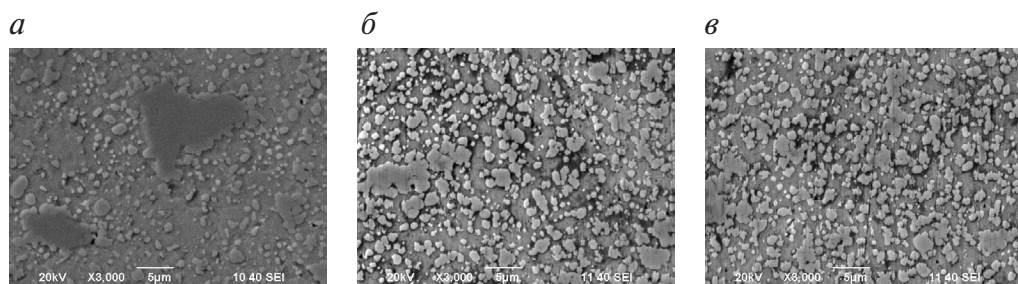


Рис. 1. Микроструктура стали 110X18M:

а — исходное состояние; *б* — ИПД 2 цикла; *в* — ИПД 4 цикла

Для повышения твердости до уровня, необходимого для работы подшипника, была применена стандартная термическая обработка, за-

ключающаяся в закалке (температура 1050 °С, выдержка час) и последующем отпуске (выдержка при температуре 170 °С в течение 1,5 часов). В результате термической обработки происходит растворение карбидов (рис. 2), и структура представляет собой мартенсит отпуска и карбидную фазу. Вследствие неполного растворения карбидов после термообработки объемная доля карбидной фазы образцов в исходном состоянии уменьшилась до 21 % (рис. 2, *а*). Средний размер карбидов — 2,5 мкм. В структуре наблюдаются крупные карбиды, размер которых составил около 15 мкм.

Применение термической обработки стали после ИПД привело к более полному растворению карбидной фазы из-за меньшего размера частиц. Объемная доля карбидов уменьшается до 14 %, средний размер карбидных частиц составляет около 1,6 мкм для образцов после двух циклов ИПД и последующей термической обработки; объемная доля карбидов составила 9 %, средний размер карбидов 1,3 мкм для образцов после 4 циклов ИПД и последующей термической обработки. Полного растворения карбидов в стали не происходит из-за входящих в состав специальных карбидов тугоплавких металлов: вольфрама и молибдена.

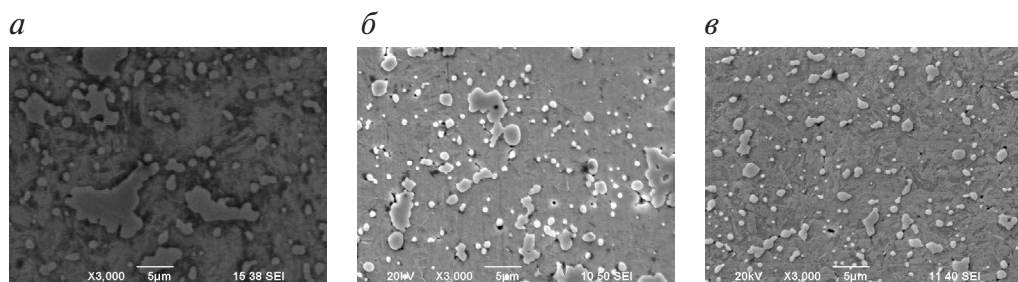


Рис. 2. Микроструктура стали 110X18М после термической обработки:
а — исходное состояние; *б* — ИПД 2 цикла; *в* — ИПД 4 цикла

Исследования микротвердости показали, что применение ИПД не приводит к существенным изменениям микротвердости как непосредственно после деформации, так и после термической обработки (рис. 3).

Трибологические испытания показали, что для всех состояний стали характерна следующая тенденция: в начальный момент испытания наблюдается пик значения коэффициента трения (КТ) для исходного состояния до 0,73 (антифрикционная стадия) и затем скачкообразный переход к противоизносной стадии (КТ = 0,69). При переходе от одной стадии ко второй наблюдается снижение КТ, предположительно из-за того, что, во-первых, в исходном состоянии микроструктура ха-

рактируется неоднородными крупными карбидными частицами, которые, во-вторых, находясь уже в приповерхностных слоях при взаимодействии с поверхностью контртела, физически уменьшают площадь контакта, в-третьих, ферритная основа показывает низкую износостойкость и высокий КТ [1]. Наличие в структуре твердых частиц позволяет локализовать схватывание на малых участках поверхности, избежать заедания, снизить интенсивность изнашивания [1]. Отсюда снижение КТ и плавное нарастание его значения. Применение ИПД не меняет вид графиков износа, однако максимальное значение несколько снижается до 0,7.

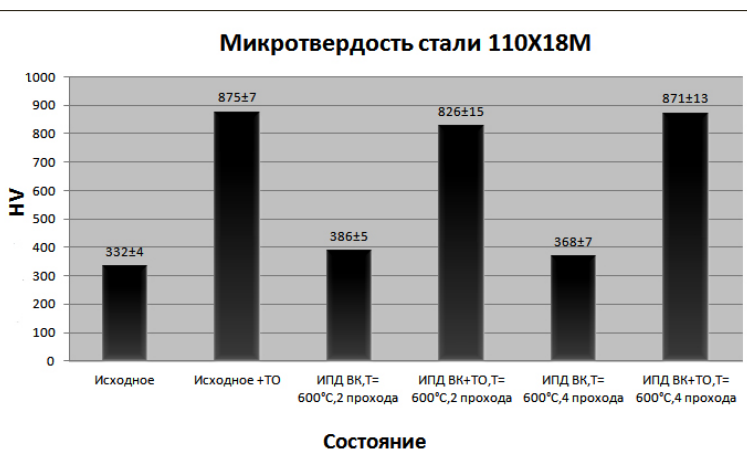


Рис. 3. Микротвердость стали в различных состояниях

Применение термической обработки приводит к изменению характера перехода от одной стадии к другой. Максимальное значение КТ приходится на значение 0,65, т. е. уменьшается по сравнению с исходным состоянием. Наблюдается более плавный переход, нет скачка и резкого падения КТ. Такое поведение может быть связано с формированием более однородной структуры в результате термической обработки. После ИПД и термической обработки также наблюдается снижение значений КТ до 0,57 для образцов после двух циклов ИПД и 0,45 — для образцов после четырех циклов ИПД.

Таким образом, ИПД всесторонней ковкой и последующая закалка с низким отпускком способствует существенному снижению объемной доли карбидной фазы и уменьшению среднего размера карбидных частиц по сравнению с исходным состоянием. Несмотря на незначительное влияние ИПД на значения микротвердости, после деформации наблюдается существенное уменьшение коэффициента трения.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ № 17-48-020253.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Шорина Н. С. Триботехническое материаловедение и триботехнология: учеб. пособие / под общей редакцией Н. Е. Денисовой. Пенза : Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2006. 72 с.