

СВОЙСТВА БОРИДОВ ЖЕЛЕЗА В СОСТАВЕ ДИФФУЗИОННОГО ПОКРЫТИЯ ПРИ ТЕРМОЦИКЛИРОВАНИИ*

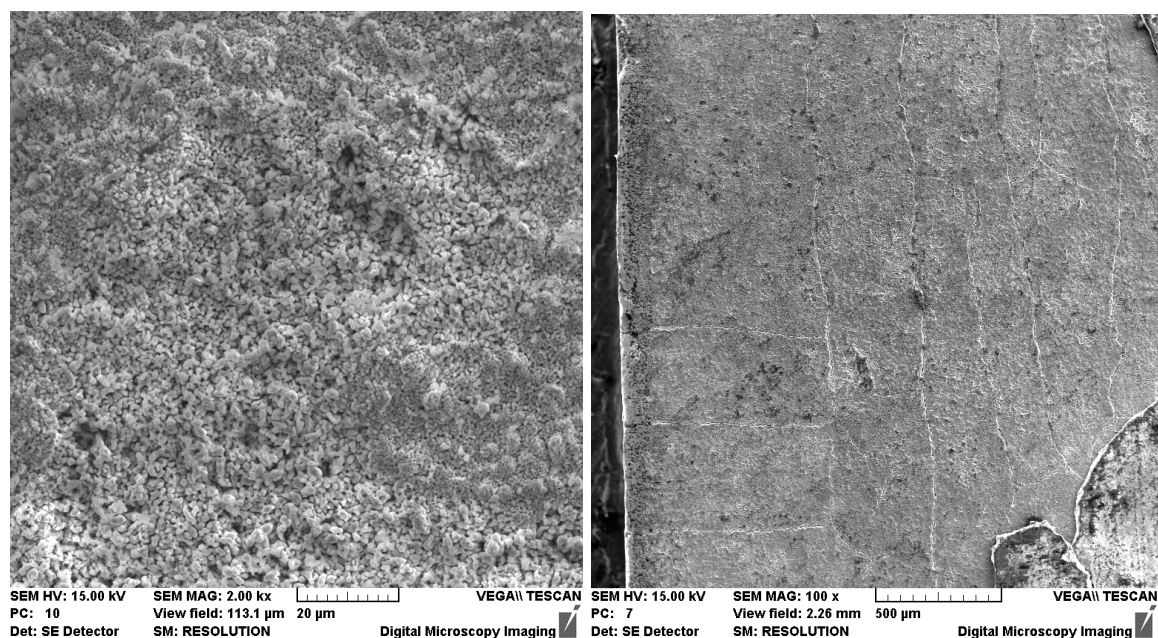
Диффузионное борирование до сих пор остается наиболее эффективным средством упрочнения поверхности деталей, работающих в условиях высоких истирающих нагрузок при термоциклировании, например, штампов горячего деформирования, пресс-форм литья под давлением и др. Это обусловлено уникальными теплофизическими свойствами боридов железа, образующихся на поверхности после химико-термической обработки (ХТО) [1]. Значения коэффициента термического расширения для борида Fe_2B не отличается от значений этой характеристики для стали-основы, поэтому при смене температуры не происходит накопление остаточных напряжений в покрытии. Кроме того, бориды железа являются электро- и теплопроводными фазами. Определенный резерв в повышении свойств этих покрытий может сыграть легирование элементами основы. Цель данного исследования – изучить изменение строения зерен боридов железа в составе диффузионных покрытий на углеродистой и легированных штамповых сталях при термоциклировании.

Испытания на термоциклирование проводили при нагреве в печи до 900 °С, выдержке 30 мин и последующем охлаждении на воздухе, а также с помощью лабораторного стенда по методике, подробно описанной в работе [2]. Отличительной особенностью испытаний на стенде является нагрев образцов до требуемой температуры за счет пропуска через них электрического тока, действие постоянной растягивающей нагрузки 193 Н, возможность проводить испытания в различных атмосферах.

После пяти циклов нагревов до 900 °С в печи покрытие на углеродистой стали марки Ст3 практически полностью отслоилось, поверхность образца сильно окислилась. При термоциклировании под нагрузкой уже после двух циклов произошло проникновение кислорода по линейным границам между боридами железа к основе, окисление последней с образованием оксида Fe_2O_3 , выталкивающего покрытие [2]. Легирование боридных покрытий хромом на сталях 4Х5МФС и 7ХМФС повысило

* Работа выполнена при частичной поддержке проекта УрО РАН № 12-Т-1-1010 «Комплексное исследование и диагностика на разных масштабных уровнях физико-механических свойств и процессов разрушения функциональных материалов и покрытий для тяжело нагруженных узлов трения».

стойкость к окислению, поэтому после 25 циклов нагревов до 900 °С в печи покрытия на них сохранились. На стали 4Х5МФС произошло частичное скалывание внешней зоны боридов (Fe,Cr)B, а слой боридов (Fe,Cr)₂B сохранился, наблюдали лишь некоторое «разрыхление» в локальных участках поверхности (рис. 1, *а*). Повышенное содержание углерода в стали 7ХМФС определило формирование в процессе ХТО на границе «покрытие-сталь» диффузионного барьера из карбоборидов железа, что привело к более высокому содержанию бора в покрытии, выразившемуся в увеличении толщины внешнего более хрупкого слоя боридов (Fe,Cr)B в общем объеме покрытия. Поэтому при термоциклировании произошло образование параллельных трещин на поверхности (рис. 1, *б*) в областях локализации пластической деформации [3]. Эти трещины облегчают выкрашивание покрытия, поэтому на стали 7ХМФС после 25 циклов испытаний борированный слой сохранился хуже, чем на стали 4Х5МФС.



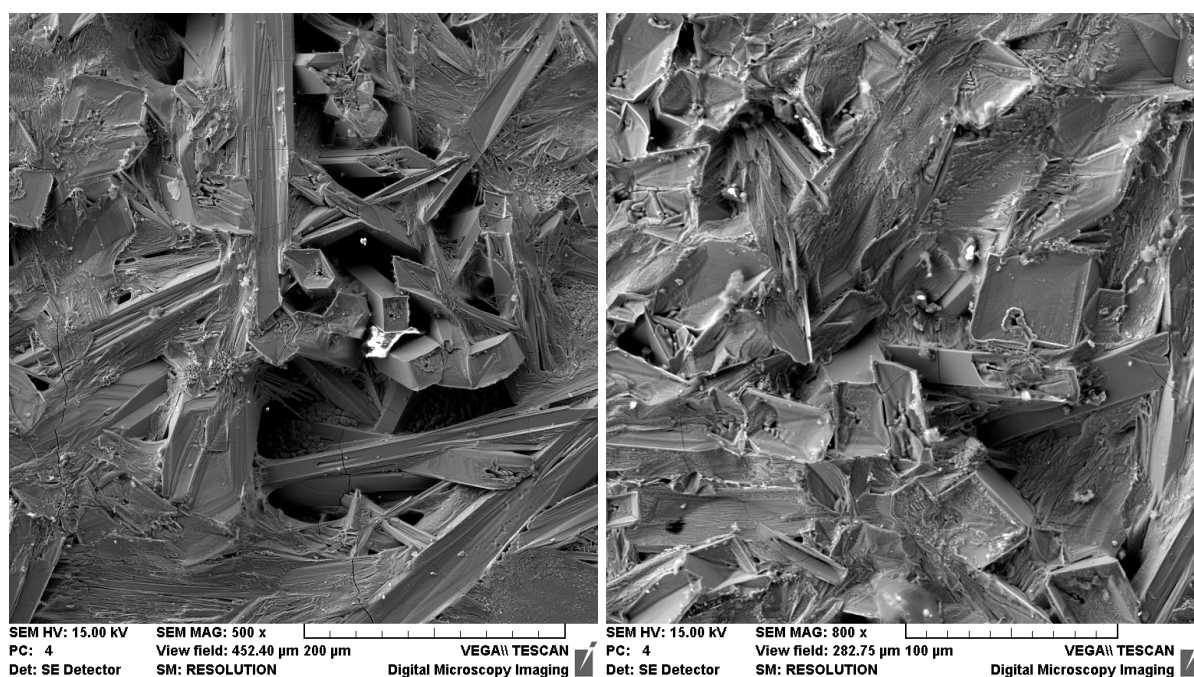
аб

Рис. 1. Рельеф поверхности борированных образцов после 25 циклов нагревов до 900 °С в печи: *а* – сталь 4Х5МФС; *б* – сталь 7ХМФС

Термоциклирование образцов с покрытием под нагрузкой позволило оценить механизм нарушения сплошности борированных слоев. На углеродистой стали Ст3 наблюдали разворот игл боридов Fe₂B параллельно поверхности образцов на участках локализации пластической деформации (рис. 2). Зерна боридов настолько прочно связаны друг с другом, что в местах действия максимальных растягивающих напряжений происходит их диффузионный рост: в несколько раз увеличиваются длина и площадь поперечного сечения игл, зерна приобретают характерную для

кристаллической тетрагональной решетки типа CuAl_2 огранку. Только после этого увеличивается расстояние между зернами Fe_2V и происходит образование трещин, чаще всего посередине высоты игл, иногда трещины развиваются от боковой поверхности игл внутрь (рис. 2, б).

Полученные результаты показывают, что свойства боридных покрытий возможно регулировать за счет легирования при ХТО элементами основы, особенно это касается стойкости к окислению. Бориды Fe_2V , являющиеся основной рабочей фазой покрытия, поскольку занимают в нем больший объем и являются более пластичными по сравнению с боридами FeB , прочно связаны с основой и не склонны к выкрашиванию при термоциклировании, особенно на стали 4Х5МФС.



аб

Рис. 2. Диффузионный рост зерен боридов Fe_2V на участках локализации пластической деформации после термоциклирования под нагрузкой (максимальная температура)

Список использованных источников

1. Гузанов Б.Н., Косицын С.В., Пугачева Н.Б. Упрочняющие защитные покрытия в машиностроении. Екатеринбург: УрО РАН, 2004. 244 с.
2. Особенности разрушения диффузионного боридного покрытия на углеродистой стали в условиях термоциклирования под нагрузкой / Н.Б. Пугачева, Л.М. Замараев, Е.Б. Трушина [и др.] // Упрочняющие технологии и покрытия. 2011. № 3. С. 24–30.

3.Панин В., Сергеев В., Панин А. Наноструктурирование поверхностных слоев конструкционных материалов и нанесение наноструктурных покрытий. Томск: Изд-во ТПУ, 2010. 254 с.