

Особенности формирования наноструктурированных упрочняющих покрытий боридов переходных металлов на быстрорежущей стали P18 при электронно-лучевой обработке в вакууме

А. Д. Доржиев, Н. Н. Смирнягина, А. П. Семенов

Институт физического материаловедения СО РАН
670047 Россия, Улан-Удэ
e-mail: ionbeam@pres.bscnet.ru

Исследованы и обсуждены условия образования, структура и стойкостные свойства боридных слоев на поверхности режущих пластин из быстрорежущей стали P18, сформированных при электронно-лучевой обработке в вакууме.

Долговечность и надежность деталей машин и механизмов во многом определяется свойствами поверхностного слоя, так как коррозия, износ, образование усталостных трещин начинается именно с поверхности.

В последнее время в инженерии поверхности все больше используют технологии обработки поверхности концентрированными потоками энергии (КПЭ), создаваемыми лазерным излучением, высокотемпературной плазмой, электронным и ионным пучками. Обработка КПЭ дает возможность целенаправленно изменять состояние поверхностного слоя деталей машин, инструмента и т. д. и, как следствие, улучшать их эксплуатационные свойства.

Одним из способов электронно-лучевой обработки (ЭЛО) является электронно-лучевая химико-термическая обработка (ЭЛХТО), заключающаяся в нагреве электронным пучком поверхности металла с нанесенной на нее насыщающей обмазкой. Изменяя состав насыщающей обмазки и параметры электронного пучка, можно получать различные свойства поверхности.

В настоящей работе исследована структура поверхностных слоев, полученных на инструментальной стали быстрорежущей P18 в результате электронно-лучевого борирования.

Экспериментальная часть

Насыщение поверхностных слоев металлов и сплавов бором проводят с целью повышения их поверхностной твердости, износостойкости, коррозионной стойкости, жаропрочности и т. д. Борирование осуществляли путем обработки электронным пучком насы-

щающих обмазок на основе аморфного бора. Исследования проводили на образцах, изготовленных в форме режущих пластин размером 13×13 мм и толщиной 4 мм. Образцы готовили путем нанесения обмазки на предварительно подготовленную поверхность металла или сплава. Толщина обмазки была одинакова, не превышала 1 мм. В состав обмазки входили 1:1 по объему бор аморфный (с содержанием основного компонента не менее 95 мас. %) и органическое связующие – (раствор 1:10 клея БФ-6 в ацетоне). Обработку образцов проводили в течение 2–5 минут при мощности электронного пучка 150–300 Вт. Остаточное давление в вакуумной камере не превышало 2×10^{-3} Па.

Методы исследования

Рентгенофазовый анализ проведен на рентгеновском автодифрактометре D8 Advance фирмы Bruker ($\text{Cu K}_{\alpha 1}$ -излучение). Для идентификации различных фаз использовали банк данных, прилагаемый к дифрактометру D8 Advance фирмы Bruker, который комплектуется банком международного центра порошковых дифрактограмм ICDD PDF-2 Data Base Card для идентификации различных фаз.

Микротвердость измеряли на микротвердомере ПМТ-3. Нагрузка на алмазную пирамиду составляла 50.

Результаты исследований и их обсуждение

Металлографическим анализом установлено, что структура поверхностных слоев, полученных в результате электронно-лучевого борирования, на быстрорежущих сталях отличается от структуры слоев на стали 45 (рис. 1 и 2).

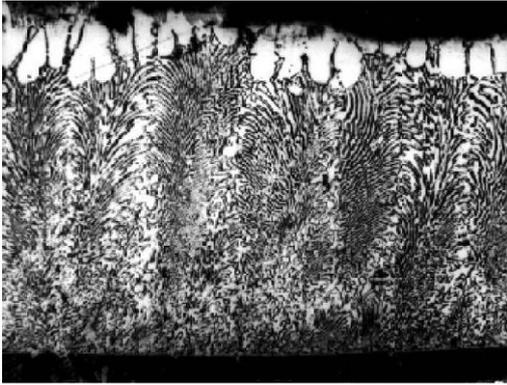


Рис. 1. Структура поверхностного слоя на стали 45 после электронно-лучевого борирования, $\times 500$

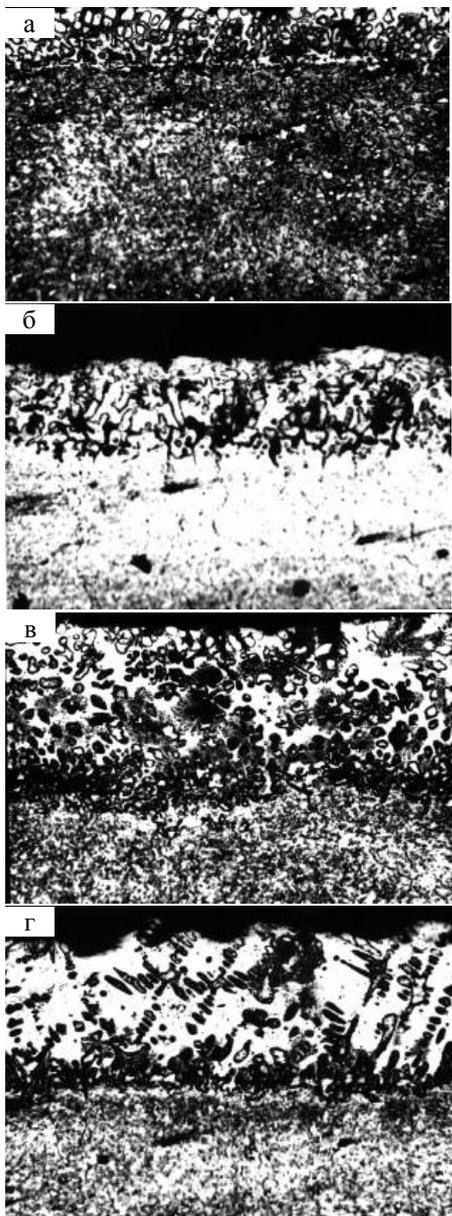


Рис. 2. Структура поверхностного слоя на стали P18 после электронно-лучевого борирования, $\times 320$

Боридный слой, полученный на стали 45, состоит из округлых включений, располагающихся на поверхности слоя, и эвтектики. Округлые включения являются первичными кристаллами боридов, что соответствует энтропийному критерию устойчивости кристаллов ограниченной формы при кристаллизации в условиях, приближенных к равновесным. Согласно этому критерию, если значение энтропии плавления $\Delta S \leq 8,35$ Дж/мольК, кристаллы имеют округлую форму [2]. Установленная в работе [3] для боридов железа Fe_2B энтропия плавления $\Delta S = 8,35$ Дж/мольК. В свою очередь, округлая форма боридов определяет такую же форму эвтектики.

При электроннолучевом борировании стали P18 с плотностью мощности электронного пучка $J = 2,8 \times 10^4$ (Вт/см²) слой образовывался в результате глубокого проплавления, что определило его строение. Из рис. 2г видно, что при направленной кристаллизации главная ось линейчатых дендритов ориентирована в направлении отвода тепла. Строение дендритов (цепочка отдельных глобулей) говорит о прерывистом характере их образования. При плотности мощности электронного пучка $J = 2,5 \times 10^4$ (Вт/см²) слой состоит преимущественно из звездчатых дендритов (см. рис. 2в). При уменьшении плотности мощности до пучка $J = 2,2 \times 10^4$ (Вт/см²) поверхностный слой также содержит звездчатые дендриты, однако их количество не является доминирующим (см. рис. 2б). При удельной мощности $J = 2,0 \times 10^4$ (Вт/см²) слой состоит из отдельных включений боридов и карборидов.

Таким образом, мощность электронного пучка определяет температуру в зоне воздействия, при этом формируются различные структуры слоев. С увеличением мощности пучка увеличивается зона распространения включений от 20–25 мкм (см. рис. 2а), 45–50 мкм (см. рис. 2б), 70–80 мкм (см. рис. 2в) до 100–110 мкм (см. рис. 2г). Микротвердость слоя составляет 1100–1860 НВ.

Полученные результаты электронно-лучевого борирования были использованы для обработки сменных пластин, изготовленных из быстрорежущей стали P18. Электронно-лучевое борирование проводилось по технологии, описанной выше. Отличие заключалось в

выборе температуры обработки. Все пластины предварительно были подвергнуты стандартной термообработке: закалке ($T=1280\text{ }^{\circ}\text{C}$ для стали P18) и трехкратному отпуску ($T=560\text{ }^{\circ}\text{C}$ для P18). Поэтому с целью предотвращения разупорядочения стали, параметры электронно-лучевого нагрева (мощность электронного пучка и время обработки) выбирались таким образом, чтобы температура нагрева режущих пластин не превышала $550\text{--}600\text{ }^{\circ}\text{C}$. Окончательный контроль осуществляли измерением твердости по Роквеллу вблизи обрабатываемой поверхности.

После обработки электронным пучком режущих пластин, с нанесенными на них боросодержащих обмазок, на поверхности образуется слой, толщиной $8\text{--}10\text{ }\mu\text{m}$ (рис. 3). Полученный слой имеет указанную толщину практически по всей своей длине. При увеличении $\times 500$ видно, что в слое присутствуют частицы, которые располагаются не только внутри слоя, но и на границе слой – основа. Это позволяет сделать вывод о том, что эти частицы являются карбидами легирующих элементов (вольфрама, хрома, молибдена и ванадия). Слой прочно удерживается на металлической основе. Микротвердость слоя несколько выше микротвердости основы и составляет 550 HV и 410 HV соответственно.

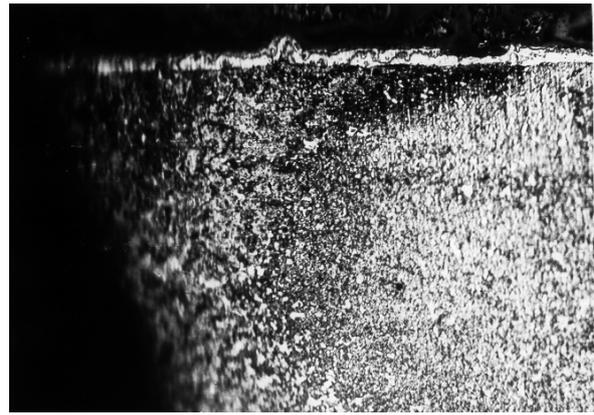


Рис. 3. Микроструктура реза из стали P18 после электронно-лучевой обработки

Для оценки трибологических свойств полученного слоя проводились стойкостные испытания резцов. Испытания проводили на токарно-винторезном станке 1А616 на следующих режимах: подача – $0,1\text{ мм/об}$, частота вращения – 224 об/мин , глубина резания – $1,0\text{ мм}$. Обрабатываемый материал – стали 45 и 12Х18Н10Т. Износ резцов определяли по задней поверхности с помощью лупы Бринеля. Геометрические параметры резцов: передний угол $\gamma=15^{\circ}$, главный задний угол $\alpha=8^{\circ}$, главный угол в плане $\varphi=45^{\circ}$. За критерий стойкости резцов принято время достижения предельного износа по задней поверхности равного $0,6\text{ мм}$.

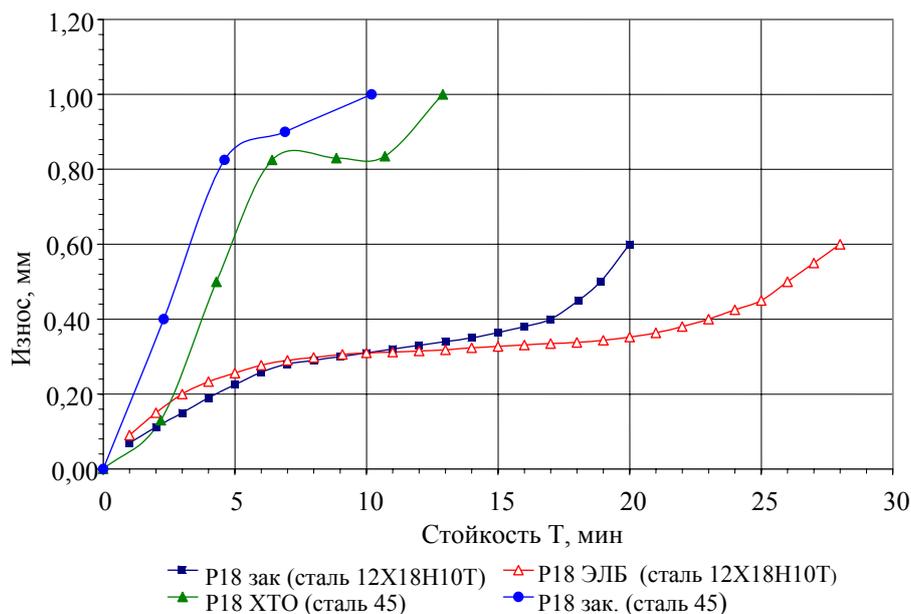


Рис. 4. Кинетика износа резцов из стали P18

Результаты испытаний приведены на рис. 4. Из рисунка видно, что образование боридного слоя толщиной 8–10 мкм на передней поверхности, позволяет увеличить стойкость резцов почти в 1,5 раза (для обрабатываемой стали 12X18H10T).

Более значительное повышение стойкости резцов связано с увеличением толщины боридного слоя. При электронно-лучевом борировании толщина борированного слоя может достигать 300 мкм, однако температура обработки при этом составляет 1100–1200 °С. Время обработки 2–3 мин. Исходя из этого, электронно-лучевое борирование может быть рекомендовано не как заключительная, а как промежуточная операция обработки режущего инструмента, например, перед закалкой. Необходимо отметить, что для получения аналогич-

ного по толщине слоя при традиционном борировании (например, при борировании в герметичных контейнерах с плавким затвором) требуется не менее 3 часов [4].

Исследование стойкостных свойств режущих пластин из углеродистой стали У8А наглядно демонстрирует влияние толщины боридного слоя на ее износостойкость. Режимы резания: $V=20$ м/мин, $S=0,1$ мм/об, глубина резания 0,4 мм. Обрабатываемый материал – сталь 45, закаленная от 850 °С [5].

На рис. 5 представлены результаты стойкостных испытаний режущих пластин из стали У8А. Из рисунка видно, что образование боридного слоя толщиной 100–150 мкм на передней поверхности, позволяет увеличить стойкость резцов почти в 2 раза.

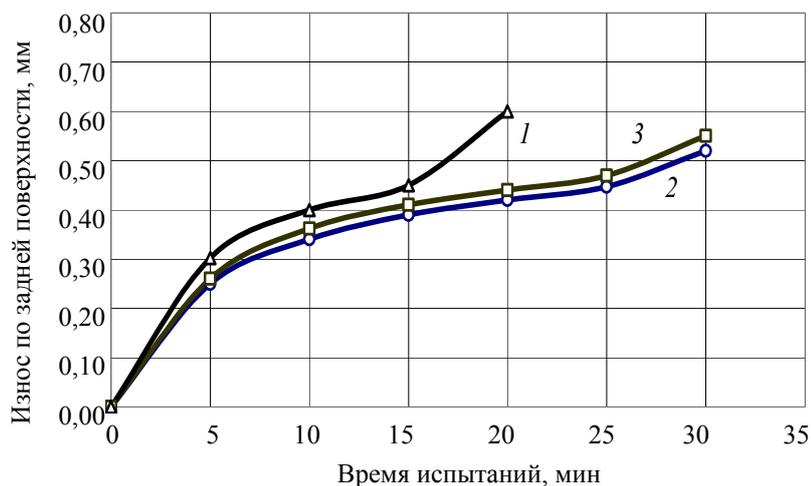


Рис. 5. Кинетика износа резцов из стали У8А: 1 – термообработка, 2 – электронно-лучевое борирование, 3 – традиционное борирование

Выводы

1. Структура поверхностных слоев, полученных на быстрорежущей стали Р18 в результате электроннолучевого борирования отличается от структуры слоев, полученных на стали 45.

2. Строение и толщина слоя определяется параметрами электроннолучевого нагрева.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ, гранты 10-08-00918а и 12-08-98036-р_сибирь_а.

Литература

- Сизов И. Г., Смирнягина Н. Н., Семенов А. П. Особенности электронно-лучевого борирования сталей // МиТОМ. 1999. № 12. С. 8–11.
- Таран Ю. Н., Мазур В. И. Структура эвтектических сплавов. М.: Металлургия, 1978. 312 с.
- Тавадзе Ф. Н., Горибашвили В. И., Накаидзе Ш. Г. Форма растущих кристаллов первичных фаз в эвтектических сплавах систем Fe-Fe₂V и Ni-Ni₃B // МиТОМ. 1983. № 1. С. 2–3.
- Химико-термическая обработка металлов и сплавов: справочник / под ред. Л. С. Ляховича. М.: Металлургия, 1981. 424 с.
- Марочник сталей и сплавов: справочник / под ред. В. Г. Сорокина. М.: Машиностроение, 1989. 640 с.