

БОРИРОВАНИЕ ХРОМИСТЫХ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ СТАЛЕЙ

Д.С.Ляхович, Б.А.Куликовский, Л.Г.Воршнин

В связи с положительным опытом использования борирования для упрочнения штампового инструмента [1, 2, 3 и др.] определенными интересом приобретает сравнительные исследования кинетики формирования слоев боридных слоев углеродистых и легированных инструментальных сталей.

Необходимость подобного исследования диктовалась также теми трудностями, с которыми нам пришлось столкнуться при внедрении процесса борирования для упрочнения штампов холодной штамповки (изменение размеров, окисление слоя и т.д.).

Ниже приведены результаты исследования кинетики формирования и свойств боридных слоев хромистых инструментальных сталей: ШХ15, 7Х3, Х12Ф1 и ХХ13. Для сравнения аналогичные исследования выполнены на стали У10.

Борирование проводилось при температурах 950, 1000 и 1050⁰С в течение 2,4 и 6 часов. Для насыщения использованы расплавы:

1. 30% В₄О + 70% Na₂ В₄О₇, 2. 30% SiC + 70% Na₂ В₄О₇.

Влияние условий насыщения на глубину боридного слоя показано на рис. 1.

При повышении температуры и увеличении времени насыщения глубина боридного слоя изменяется по законам, близким и экспоненциальному и параболическому. В случае насыщения на расплаве бурм с карбидом кремния (30%) указанные закономерности соблюдаются достаточно строго. Это обусловлено тем, что при насыщении в указанном расплаве образуются практически однофазные боридные слои, состоящие из боридов Fe₂B. При борировании в расплаве: 30% В₄О + 70% Na₂ В₄О₇, образуются двухфазные (FeB + Fe₂B) боридные слои. Относительное содержание высокобористой фазы (FeB) в диффузионном слое хромистых инструментальных сталей достигает 45-65%. С увеличением в стали кроме относительное содержание FeB в слое увеличивается. Аналогично влияют повышение температуры процесса и увеличение времени насыщения. Изменение в соотношении боридных фаз в диффузионном слое

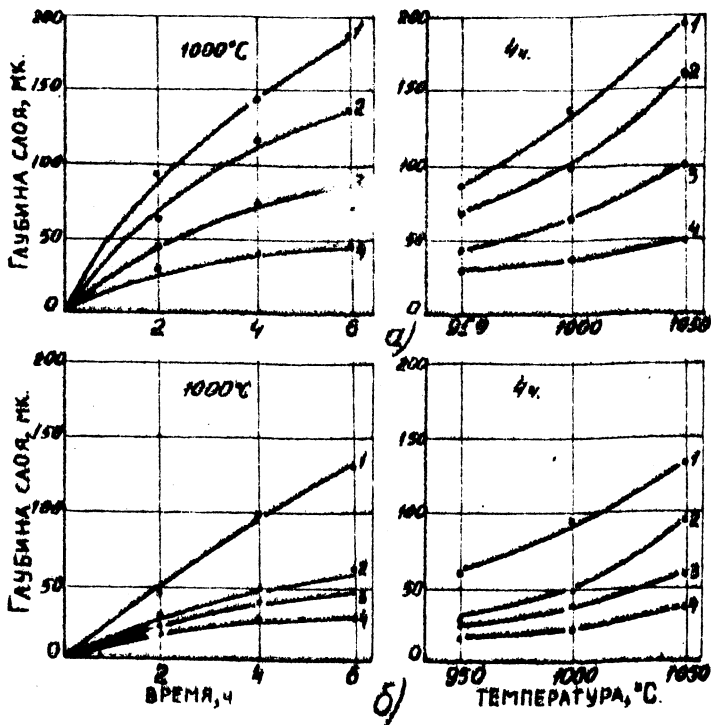


Рис. 1. Влияние температуры и времени на глубину боридного слоя при насыщении из расплава

70% $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ + 30% B_2C (а) и
70% $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ + 30% SiC (б).

1 - 7X3; 2 - У10; 3 - Х12Ф; 4 - 3Х13

при изменении условий насыщения - температуры и времени - вызывает отклонение от наблюдаемых обычно закономерностей роста диффузионных слоев: экспоненциальной и параболической. Однако указанные отклонения не очень существенны. Диффузионные слои на хромистых инструментальных сталях не имеют ярко выраженного игольчатого строения, характерного для углеродистых сталей, и отличаются большей

сплошностью.

Хром снижает глубину боридного слоя. Снижение средней глубины боридного слоя при борировании хромистых сталей происходит в основном за счет уменьшения максимальной глубины проникновения боридных игл. Непосредственно под боридным слоем наблюдается повышенное количество карбидных включений ($Cr_{23}C_6$), вероятно легированных бором.

Сравнение результатов, полученных при насыщении из различных расплавов, свидетельствует о том, что первый расплав (30% B_4C + 70% буры) обладает большей насыщающей способностью. Скорость формирования боридных слоев в указанном расплаве в 2-2,5 раза выше чем в расплаве с карбидом кремния.

Этим же объясняется и различный фазовый состав диффузионных слоев, полученных в разных расплавах.

При изучении кинетики формирования боридных слоев установлен весьма важный факт: для каждой марки стали существует оптимальная глубина боридного слоя, превышение которой нежелательно, так как это приводит к скалыванию диффузионного слоя в процессе термической обработки и особенно в процессе эксплуатации.

В случае борирования в расплаве буры с карбидом бора (30%) глубина боридного слоя не должна превышать: на стали У10 - 100-130 мк, на стали Х12Ф1 - 50-70 мк, на стали 7Х13 - 80-90 мк и на ЭХ13 - 30-40 мк.

При указанных глубинах боридных слоев скалывания их в процессе термической обработки не происходит. (Причины образования сколов в боридных слоях рассмотрены в [4]). Оптимальными следует считать нижние из приведенных значений. Однофазные боридные слои (полученные в расплаве буры с карбидом кремния) менее склонны к скалыванию, однако и в этом случае глубина слоя не должна превышать указанных величин. В случае насыщения исследованных сталей по оптимальным режимам чистота (шероховатость) поверхности в процессе борирования практически не изменяется.

При борировании также как и при других видах химико-термической обработки происходит увеличение размеров обрабатываемых изделий. Поскольку борированию подвергаются окончательно механически обработанные изделия, вопрос изменения размеров приобретает исключительно важное значение. Особенно важен этот вопрос для штам-

пов с "жесткими" допусками по размеры.

Проведенные исследования показали, что изменение размеров в процессе борирования прямо пропорционально глубине боридного слоя (рис. 2) и может быть описано простыми уравнениями:

1. Борирование в расплаве: 30% B_4C + 70% $Na_2B_4O_7$

сталь У10 - $\Delta l = 0,30y + 9$;

7Х3 - $\Delta l = 0,31y - 0,9$;

Х12Ф1 - $\Delta l = 0,25y - 2,5$;

ЗХ13 - $\Delta l = 0,22y + 6,6$.

2. Борирование в расплаве: 30% SiC + 70% $Na_2B_4O_7$

сталь У10 - $\Delta l = 0,08y + 8$;

7Х3 - $\Delta l = 0,17 + 10,3$;

Х12Ф1 - $\Delta l = 0,028y + 11$;

ЗХ13 - $\Delta l = 0,1y + 11$,

где Δl - изменение размера образца, мк;

y - глубина боридного слоя, мк.

В случае борирования в расплаве буры с карбидом бора (30%) наблюдается более значительное изменение размеров, чем при борировании в расплаве с карбидом кремния.

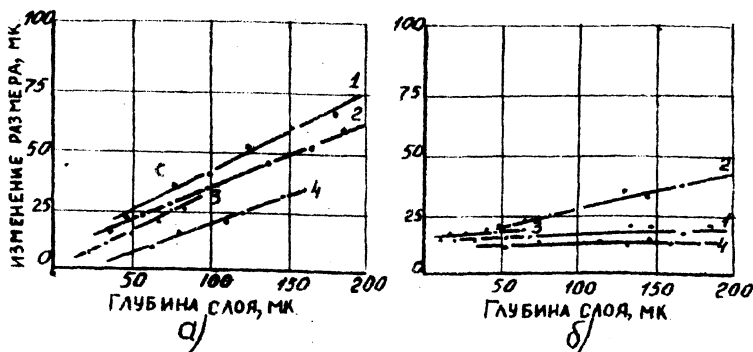


Рис. 2. Влияние борирования на изменение размеров при насыщении из расплава

70% $Na_2B_4O_7$ + 30% B_4C (а) и
70% $Na_2B_4O_7$ + 30% SiC (б)

1 - У10; 2 - 7Х3; 3 - ЗХ13; 4 - Х12Ф.

Указанная закономерность может быть объяснена меньшей плотностью борида FeB ($7,15 \text{ г/см}^3$) по сравнению с Fe_2B ($7,32 \text{ г/см}^3$).

Выше уже указывалось, что при борировании в расплаве бори карбидом кремния образуются практически однофазные боридные слои (Fe_2B).

При постоянном режиме борирования изменение размеров вазьме стабильно, что позволяет ввести соответствующий допуск на механическую обработку изделий, подлежащих борированию. Борированные изделия могут быть подвергнуты только доводочным операциям механической обработки: незначительной шлифовке и полировке.

Повышение срока службы штампового инструмента в результате борирования достигается за счет значительного повышения износостойкости рабочих поверхностей. Сравнительные исследования хромистых инструментальных сталей в закаленном и низкоотпущенном состоянии и после борирования выполнены на машине типа Шкода-Савина при нагрузке 2,1 кг. В качестве контрола использовался твердосплавный диск (HRC = 74-75) диаметром 63,2 мм, толщиной 2,5 мм. Скорость вращения диска равнялась 730 об/мин. Время испытания составляло 30 мин. Износ определялся по объему вытертого диском металла. Полученные результаты показаны на рис. 3.

Тщательный анализ результатов исследования износостойкости боридных слоев, полученных в различных расплавах, при различных режимах насыщения, на сталях различного состава, показал, что износостойкость боридных слоев определяется в основном их глубиной и фазовым составом (соотношением боридных фаз в слое).

Повышение температуры и время насыщения несколько увеличивают износостойкость боридных слоев. При этом следует помнить, что глубина слоя не должна превышать некоторой определенной величины. Легирующие элементы, увеличивающие относительное содержание в слое высокопористой фазы, в том числе и хром, также несколько увеличивают (при прочих равных условиях) износостойкость боридного слоя. Однако следует заметить, что легирование стали с целью повышения износостойкости боридных слоев вряд ли целесообразно, так как эффект влияния легирующих элементов на износостойкость диффузионного слоя сравнительно невелик.

Поэтому выбор сталей для изготовления штампового инструмента должен в первую очередь определяться требованиями, предъявленными

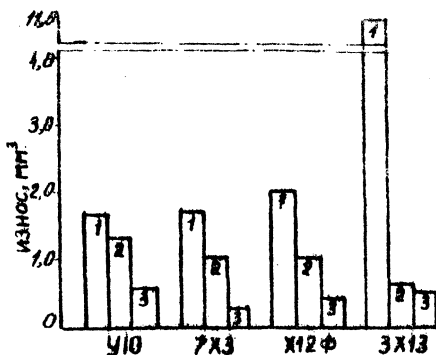


Рис. 3. Сравнительная износостойкость боридных слоев

(t - 1000°C ; τ - 6 ч)

1. Исходные образцы

У10 - закалка с температуры 790°C в воде, отпуск в течение 1 ч. при 170°C .

7Х3 - закалка с температуры 840°C в масле, отпуск в течение 1 ч. при 170°C .

Х12Ф - закалка с температуры 970°C в масле, отпуск в течение 1 ч. при 170°C .

3Х13 - закалка с температуры 1050°C в масле, отпуск в течение 1 ч. при 170°C .

2. Напыление из расплава $70\% \text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 + 30\%$

3. Напыление из расплава $70\% \text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 + 30\% \text{B}_4\text{C}$

к сталям по механическим свойствам, прокаливаемости, склонности к деформации в процессе термической обработки и т.д. Из вышесказанного положения вытекает еще один важный вывод: в ряде случаев для изготовления штампового инструмента, подвергнутого борированию, вместо высоколегированных штамповых сталей можно применять углеродистые или низколегированные инструментальные и даже конструкционные стали.

Этот вывод проверен в производственных условиях. Матрица из стали 40Х для вытяжки и оформления декоративного рифления замка фотоаппарата "Чайка 2" была подвергнута борированию (борирование из расплава $30\% \text{B}_4\text{C} + 70\% \text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$, $t = 950^{\circ}\text{C}$, $\tau = 4$ ч) и термической обработке по следующему режиму: охлаждение с температуры закалки (850°C) в селитровой ванне с температурой $120-130^{\circ}\text{C}$ в течение 15 мин. с последующим охлаждением на воздухе, отпуск при тем-

температуре 140-150°C в течение 2-х часов.

Борированной матрицей было отштамповано 23500 деталей, вместо 5000 деталей, штампуемых серийными матрицами из стали Х12Ф1. Матрица снята с испытаний в хорошем состоянии без видимых следов износа.

Борирование можно применять не только для повышения долговечности штампов горячей и холодной штамповки, но и для повышения срока службы деталей прессформ. Об этом свидетельствуют результаты промышленных испытаний борированных литниковых втулок машин литья под давлением алюминиевых сплавов "Полак 600". Литниковые втулки из стали 3Х2В8 были подвергнуты борированию при температуре 1000°C в течение 4 часов в следующих расплавах:

1. 30% В₄С + 70% Na₂В₄О₇
2. 30% SiC + 70% Na₂В₄О₇.

Борирование в расплаве буры с ферромарганцем (20%) выполнено при температуре 950°C в течение 4-х часов. После борирования втулки подвергались закалке с температуры 1050°C в масле и отпуску при 450°C в течение 1 часа.

Серийные втулки также изготавливаются из стали 3Х2В8 и подвергаются закалке и отпуску на твердость 50-52 НРС. Стойкость серийных втулок составляет 14500 отливок. Экспериментальные втулки, борированные в первом расплаве, показали стойкость в 3 раза большую, чем серийные и в 1,5 раза большую, чем азотированные. Втулки, борированные в расплавах 2 и 3, имели стойкость в 5,5 раз большую, чем азотированные. Большая долговечность втулок, борированных в расплавах с карбидом кремния и ферромарганцем, обусловлена более высокой разгаростойкостью однофазных боридных слоев.

Для изготовления деталей прессформ вместо стали 3Х2В8 может быть с успехом применена сталь 3Х13.

В ы в о д ы

1. Борирование является эффективным методом повышения долговечности штампового инструмента и деталей прессформ.
2. Оптимальный режим борирования исследованных сталей следующий: $t = 980 \pm 20^\circ\text{C}$, $\tau = 3-5$ ч.
3. Оптимальная глубина боридного слоя на стали У10 - 100 мк, Х12Ф1 - 50 мк, 7Х3 - 80 мк, 3Х13 - 30-40 мк.

4. Для упрочнения штампов холодной штамповки можно рекомендовать расплав: 30% B_4C + 70% $Na_2 B_4 O_7$.

Для упрочнения штампов горячей штамповки и деталей прессыформ - расплавы: 30% SiC + 70% $Na_2 B_4 O_7$ или
20% MnS + 80% $Na_2 B_4 O_7$.

Л и т е р а т у р а

1. Л. М. С о р к и н . Повышение стойкости вальцовочных штампов. "Кузнечно-штамповочное производство", № 12, 1964.

2. Л. М. С о р к и н . Повышение стойкости штампов электролизным борированием. Доклады IY Всесоюзной конференции по долговечности и надежности, Киев, 1966.

3. Л. С. Л я х о в и ч , Э. П. П у ч к о в , Л. Г. В о р о ш - н и н . Повышение стойкости матриц листовой штамповки электролизным борированием. "Кузнечно-штамповочное производство", № 12, 1968.

4. Э. П. П у ч к о в , Л. С. Л я х о в и ч , Л. Г. В о р о ш - н и н . Причины образования дрешин и сколов в боридном слое. "Проблемы металловедения и прогрессивная технология термической обработки", Минск, 1968. ♦