

**О НЕКОТОРЫХ ОСОБЕННОСТЯХ ПОЛУЧЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКИХ  
БОРОХРОМОАЛИТИРОВАННЫХ СЛОЕВ НА ПОВЕРХНОСТИ ИЗДЕЛИЙ  
ИЗ УГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ, ПОЛУЧЕННЫХ ПРИ ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКОЙ  
ОБРАБОТКЕ**

**Заблоцкий В. К., Дьяченко Ю. Г.**

Рассмотрено влияние содержания углерода борохромоалитированных сталей на показатели износостойкости поверхностных слоев, полученных после насыщения в порошковой смеси при химико-термической обработке. Установлено закономерности структурообразования в поверхностных слоях изделий, которые работают в условиях износа, при комплексном насыщении металла В, Cr, Al в процессе химико-термической обработки. Определена оптимальная температура процесса, при которой углеродистые стали после комплексного поверхностного насыщения бором, хромом и алюминием обладают высокими показателями износостойкости.

Розглянуто вплив вмісту вуглецю борохромоалітованих сталей на показники зносостійкості поверхневих шарів, отриманих після насичення в порошковій суміші при хіміко-термічній обробці. Встановлено закономірності структуроутворення в поверхневих шарах виробів, що працюють в умовах зношування, при комплексному насиченні металу В, Cr, Al у процесі хіміко-термічної обробки. Визначена оптимальна температура процесу, при якій вуглецеві сталі після комплексного поверхневого насичення бором, хромом і алюмінієм мають високі показники зносостійкості.

The influence of carbon content the indices of wear resistance of surface layers, got after saturation in powder mixture during chemical-thermal treatment is considered. The mechanism of structure forming in surface layers of the articles, which operate in conditions of wear during complex saturation of metals with B, Cr, Al in the process of chemical-thermal treatment is stated. The optimal temperature of the process, in which carbon steels possess high indices of wear resistance after complex surface saturation with boron, chromium and aluminum is determined.

Заблоцкий В. К.

д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой ТОЛП ДГМА  
[tolp@dgma.donetsk.ua](mailto:tolp@dgma.donetsk.ua)

Дьяченко Ю. Г.

канд. техн. наук, ст. преп. кафедры МТиТОМ ДГМА  
[mtitom@dgma.donetsk.ua](mailto:mtitom@dgma.donetsk.ua)

УДК 621.785.5

Заблоцкий В. К., Дьяченко Ю. Г.

### **О НЕКОТОРЫХ ОСОБЕННОСТЯХ ПОЛУЧЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКИХ БОРОХРОМОАЛИТИРОВАННЫХ СЛОЕВ НА ПОВЕРХНОСТИ ИЗДЕЛИЙ ИЗ УГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ, ПОЛУЧЕННЫХ ПРИ ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ**

Процесс эксплуатации деталей машин и различного инструмента в условиях сухого или жидкостного трения предусматривает износ поверхности сопряженных деталей. Замена изношенных деталей новыми удорожает ремонт и эксплуатацию узлов машин. Поэтому существует потребность в восстановлении вышедших из строя деталей машин, а также их упрочнении для увеличения срока эксплуатации. Одним из видов упрочнения материалов является химико-термическая обработка.

Известно, что порошковые борохромоалитированные поверхностные слои обеспечивают углеродистым сталям наиболее высокие показатели износостойкости, чем при однокомпонентном борировании или двухкомпонентном борохромировании [1, 2, 3]. Вызвано это тем, что при однокомпонентном насыщении на поверхности металлоизделий формируются структуры, которые обеспечивают узкий диапазон свойств в изделии. Проведение комплексного легирующего насыщения путем последовательного многофазового однокомпонентного насыщения, например, бором, а затем хромом и алюминием, значительно увеличивает энергозатраты. При этом применение легируемых, высокоуглеродистых сталей, а также альтернативных многоцикловых процессов химико-термической и последующей термической обработки, таких как цементация с последующей закалкой и отпуском низкоуглеродистых сталей, снижает рентабельность производства. Очень важными характеристиками, которые влияют на формирование износостойких борохромоалитированных поверхностных слоев, являются состав насыщающей смеси, температурный режим процесса и содержание углерода в исследуемых сталях. Однако данных о формировании комплексных диффузионных борохромоалитированных слоев недостаточно.

Цель работы – установить влияние содержания углерода борохромоалитированных сталей на показатели износостойкости и определить оптимальную температуру процесса борохромоалитирования, при которой на поверхности изделия формируется износостойкий слой.

Для исследования микроструктуры диффузионных поверхностных слоев, полученных после комплексного насыщения бором, хромом и алюминием углеродистых сталей, применяли металлографический метод исследования с помощью микроскопа МИМ-8М и выявления микроструктур с использованием химического травления в 4-х %-ом растворе азотной кислоты  $\text{HNO}_3$  в спирте, а также теплового травления. Свойства поверхностного слоя исследовали путем измерения микротвердости с помощью прибора ПМТ-3, с использованием нагрузки на индентор в 1 Н и 0,2 Н.

Для установления влияния содержания углерода борохромоалитированных сталей на показатели износостойкости применяли в качестве материала исследования стали СтЗсп, 45, У7 и У13 стандартного химического состава. В качестве составляющих насыщающих смесей применяли порошки карбида бора  $\text{B}_4\text{C}$ , феррохрома  $\text{FeCr}$ , окиси алюминия  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , и криолита  $\text{Na}_3\text{AlF}_6$ . Насыщение стальных образцов проводили в контейнере с плавким затвором. Герметизацию контейнера осуществляли измельченным стеклом, который в процессе нагрева контейнера образовывал плавкий затвор. Процесс борохромоалитирования проводили при температуре 1000 °С в течение 5 ч, состав порошковой насыщающей смеси состоял из  $\text{B}_4\text{C}$  – 40 %,  $\text{FeCr}$  – 10 %,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 43 %,  $\text{Na}_3\text{AlF}_6$  – 7 %. Испытания на относительный износ проводили по методике, предложенной в работе [3].

В результате проведенных испытаний на износостойкость установлено, что с увеличением содержания углерода в борохромоалитированных сталях, вплоть до 0,7 %, износостойкость повышается. Однако, сталь У13, содержащая углерода порядка 1,3 % имеет показатели износостойкости ниже, чем сталь, содержащая углерода 0,7 и 0,45 % (рис. 1).

Для определения оптимальной температуры процесса борохромоалитирования, при которой на поверхности изделия формируется диффузионный слой с высоким показателем механических свойств, образцы из стали У7 подвергали борохромоалитированию при температуре 900, 950 и 1000 °С. Выдержка (5 ч) и состав порошковой смеси ( $B_4C - 40\%$ ,  $FeCr - 10\%$ ,  $Al_2O_3 - 43\%$ ,  $Na_3AlF_6 - 7\%$ ) при каждой температуре оставались постоянными.

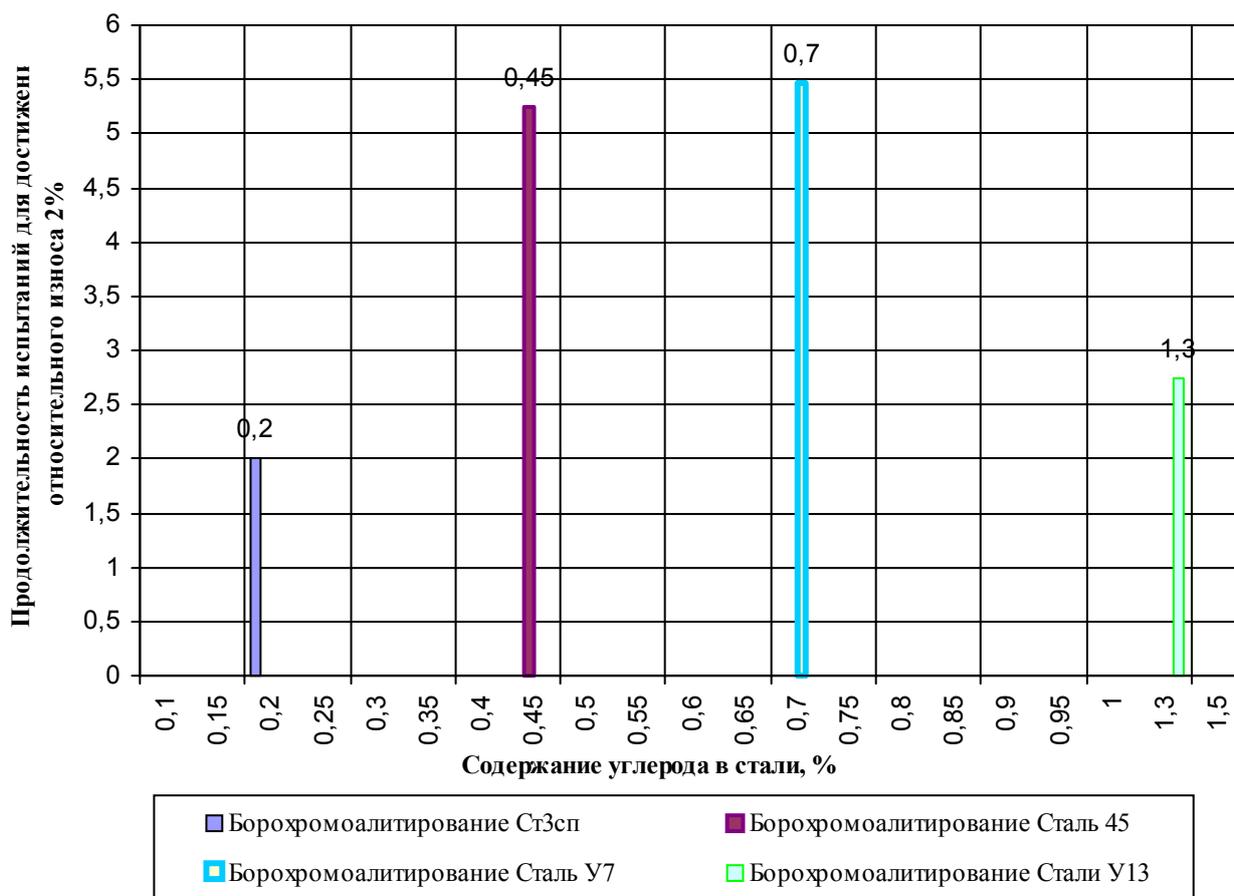


Рис. 1. Влияние содержание углерода в борохромоалитированных образцах, изготовленных из сталей Ст3сп, 45, У7 и У13, на продолжительность испытаний для достижения относительного износа 2 %

Для сравнения показателей износостойкости образцов после борохромоалитирования с показателем износостойкости образцов после термической обработки применяли закаленные и низкоотпущенные образцы из стали У7.

Испытания на относительный износ для образцов после химико-термической обработки (борохромоалитирования) и образца после термической обработки (заковки с последующим низким отпуском) проводились в одинаковых условиях по выше описанному методу.

Результаты исследования относительного износа стали У7 приведены на рис. 2.

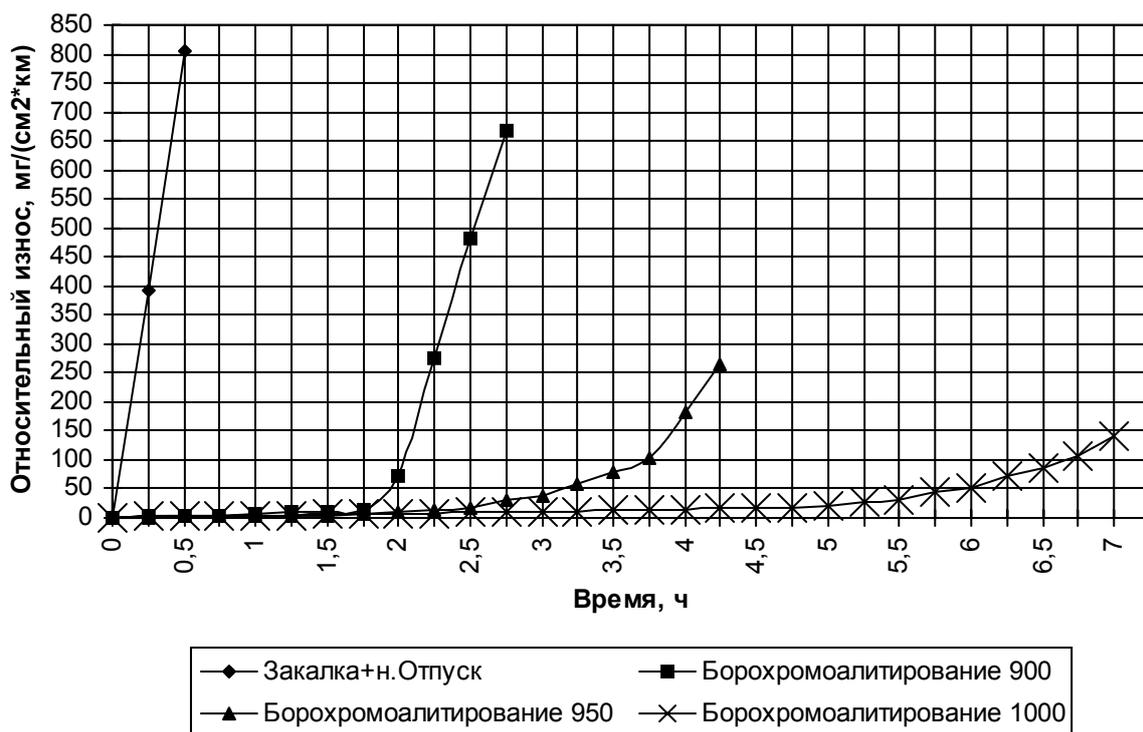


Рис. 2. Влияние продолжительности испытаний на относительный износ образцов из стали У7, подвергнутых закалке с низким отпуском и борохромоалитированию

Анализ этих результатов совместно с анализом микроструктуры (рис. 3) показывает, что относительный износ, равный  $75 \text{ мг/см}^2 \times \text{км}$ , получает образец, подвергнутый борохромоалитированию при  $900 \text{ }^\circ\text{C}$ , через 2 ч испытаний (рис. 2). Образец из стали У7, борохромоалитированный при температуре  $950 \text{ }^\circ\text{C}$ , получает относительный износ –  $75 \text{ мг/см}^2 \times \text{км}$  через 3,5 ч испытаний (рис. 2). Образец из стали У7, борохромоалитированный при температуре  $1000 \text{ }^\circ\text{C}$ , получает относительный износ –  $75 \text{ мг/см}^2 \times \text{км}$  через 6,25 ч испытаний (рис. 2).

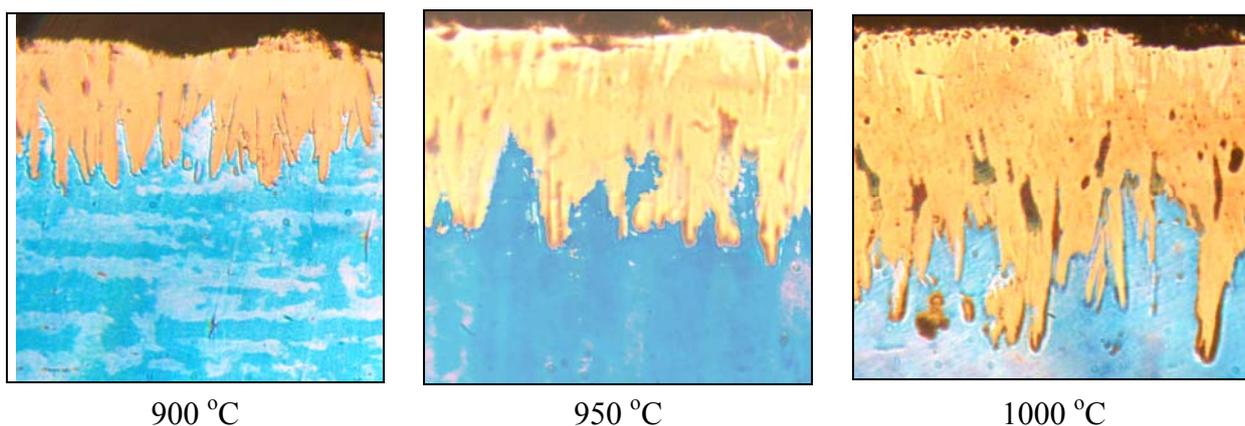


Рис. 3. Микроструктура стали У7, подвергнутая борохромоалитированию,  $\times 200$

Следует отметить, что закаленный и низко отпущенный образец из стали У7 получает относительный износ, равный  $390 \text{ мг/см}^2 \times \text{км}$ , уже через 0,25 ч.

Таким образом, можно заключить, что наиболее оптимальная температура процесса борохромоалитирования для стали У7, при которой формируется поверхностный слой, обеспечивающий высокие показатели износостойкости, составляет  $1000 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Заслуживает внимания тот факт, что обеспечение высокой износостойкости стали У7 после борохромоалитирования при температурах 900, 950 и 1000 °С связано с формированием поверхностного слоя, в частности, глубины слоя. Чем выше температура процесса, тем интенсивнее реагируют между собой элементы порошковой смеси (особенно хром), и тем больше глубина поверхностного борохромоалитированного слоя (рис. 3). Эта тенденция к увеличению глубины слоя при борохромоалитировании наблюдается при удлинении выдержки при температуре процесса. Как следует из рис. 4, удлинение выдержки при 1000 °С от 3 до 9 ч при борохромоалитировании сталей СтЗсп, 45, У7, У13 способствует увеличению глубины слоя. Однако, прирост слоя связан с содержанием углерода в сталях. После выдержки 3 ч наименьшую глубину слоя имеет сталь У13, что можно объяснить замедленной диффузией элементов при повышении в стали углерода. Эта зависимость сохраняется при удлинении выдержки до 9 ч.

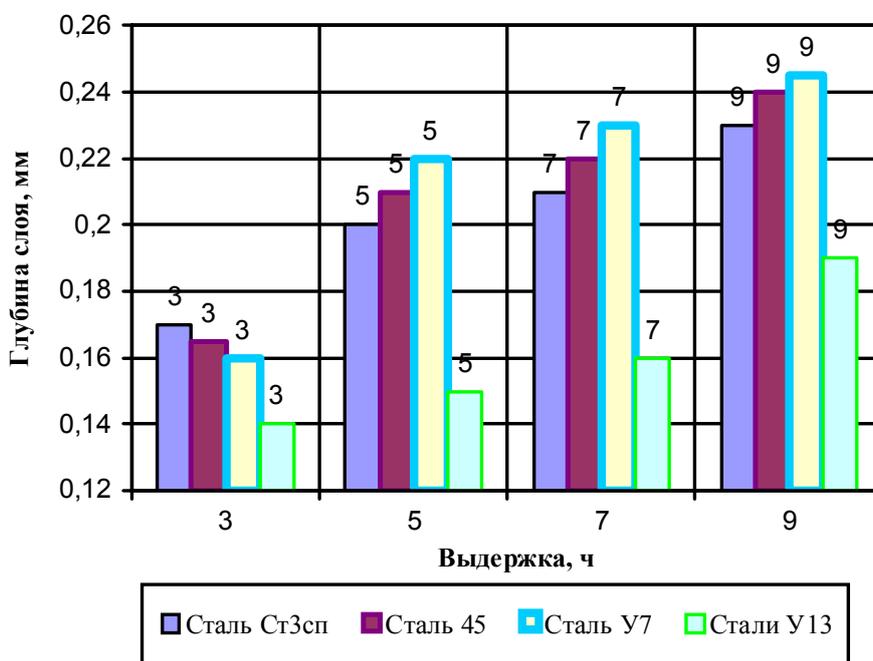


Рис. 4. Закономерности изменения глубины слоя борохромоалитированных сталей СтЗсп, 45, У7, У13 в зависимости от выдержки в печи при температуре процесса 1000 °С

### ВЫВОДЫ

На основании полученных данных было установлено, что с увеличением содержания углерода в борохромоалитированных сталях, вплоть до 0,7 %, износостойкость повышается.

Наиболее оптимальная температура процесса борохромоалитирования для стали У7, при которой формируется поверхностный слой, обеспечивающий высокие показатели износостойкости, составляет 1000 °С.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Заблоцкий В. К. Применение борохромоалитированных поверхностных слоев в условиях абразивно-жидкостного и ударно-механического трения по закрепленным и незакрепленным частицам / В. К. Заблоцкий, Ю. Г. Дьяченко // Вестник ДДМА : Краматорськ, 2009. – № 1 (15). – С. 124–127.
2. Химико-термическая обработка металлов и сплавов : справочник / Г. В. Борисенко, Л. А. Васильев, Л. Г. Ворошин и др. – М. : Металлургия, 1981. – 424 с. : ил. табл.
3. Заблоцкий В. К. Особенности абразивного износа комплексных В–Cr–Al покрытий на углеродистых сталях / В. К. Заблоцкий, Ю. Г. Дьяченко // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2006. – № 4/1(22). – С. 59–62.