

**СТРУКТУРА И СВОЙСТВА СТАЛЕЙ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ  
МЕТАЛЛОРЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА  
ПОСЛЕ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОГО ДИФФУЗИОННОГО  
УПРОЧНЕНИЯ БЕЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СПЕЦИАЛЬНОГО  
ОБОРУДОВАНИЯ**

**М. В. СИТКЕВИЧ**, д-р техн. наук  
Белорусский национальный технический университет

*В статье приведена технология низкотемпературного диффузионного упрочнения без использования специального оборудования. Технология предусматривает применение новых видов диффузионноактивных смесей для боркарбонитрирования, которые используются для засыпки готовых, изготовленных в окончательный размер, изделий. Процесс осуществляется в обычных печах с воздушной атмосферой. За счет повышения твердости, износостойкости поверхностных слоев обеспечивается увеличение долговечности изделий. Технология предназначена для упрочнения быстрознашивающихся деталей металлорежущего инструмента, деформирующей оснастки, оборудования.*

**Ключевые слова:** технология диффузионного упрочнения, смеси, боркарбонитрирование, повышение твердости поверхностных слоев, быстрознашивающиеся детали оснастки

**STRUCTURE AND PROPERTIES OF STEELS  
FOR THE MANUFACTURE METAL-CUTTING TOOLS  
AFTER LOW-TEMPERATURE DIFFUSION HARDENING  
WITHOUT THE USE OF SPECIAL EQUIPMENT**

**M. V. SITKEVICH**, Dr. of Engineering Sciences  
Belarusian National Technical University

*The article discusses the technology of low-temperature diffusion hardening without the use of special equipment. The technology is based on the use of new types of diffusion-active mixtures for borocarbonitriding, which are covered with finished products made in the final size. The process is carried out in conventional furnaces with an air atmosphere. An increase in the durability of products is provided by increasing the hardness, wear resistance of the surface*

*layers. The technology is designed for hardening of wear-resistant parts of die tooling, metal-cutting tools, equipment.*

**Keywords:** *diffusion hardening technology, mixtures, borocarbonitriding, increased hardness of surface layers, wear-resistant parts of dies tooling*

На промышленных предприятиях используются сотни видов деталей оборудования, инструмента, техоснастки, изготавливаемых из дорогостоящих легированных инструментальных сталей типа P18, P6M5, P6M5K5, P12, P9, P6M3, P3M3ф2, X12M, X12Ф1, 4X5MФC, 5X3B3MФC, 7X3, 5XHM и др. В большинстве случаев преимущественной причиной выхода из строя деталей, производящихся из указанных марок стали, является преждевременное изнашивание, замедлить которое можно с применением химико-термической обработки (ХТО).

Наиболее сильно повышается износостойкость рабочих поверхностей деталей после процессов борирования, хромирования, боросилицирования, борохромирования, в результате осуществления которых в поверхностных слоях формируются сверхтвердые бориды железа, карбиды хрома [1].

Эти процессы проводятся при температурах 900–1100 °С. Однако, использование указанных высокотемпературных методов ХТО требует для повышения свойств сердцевины изделий последующей их закалки, что неизбежно вызывает изменение размеров, а, следовательно, приводит к необходимости окончательной механической обработки рабочих поверхностей. Это частично или полностью устраняет эффект от формирующихся при ХТО износостойких диффузионных покрытий и, кроме того, затрудняет, а иногда делает и невозможной механическую обработку.

В связи с указанными недостатками высокотемпературных процессов ХТО заслуживают внимание процессы ХТО, осуществляемые при температурах, которые не превышают температуры общепринятого для большинства деталей из высоколегированных инструментальных сталей отпуска. В этом случае низкотемпературной химико-термической обработке подвергаются изготовленные в окончательный размер детали, включая шлифовку и даже полировку. В результате такой ХТО размеры и чистота поверхности не изменяются, а твердость и износостойкость существенно возрастают.

Кроме того, так как температура ХТО не превышает температуры отпуска, сохраняются структура и свойства сердцевины изделия.

Известные процессы низкотемпературной ХТО (газовое азотирование, жидкостные цианирование и карбонитрация) требуют использования специального оборудования, отдельных площадей и помещений, а также квалифицированного обслуживающего персонала [2]. Выпускаемое для этих процессов оборудование предназначено для ХТО сравнительно больших партий (более тысячи штук) мелкогабаритных деталей. В то же время упрочнять многие виды инструмента, изготавливаемого в небольших количествах (десятки и сотни штук), представляется нецелесообразным, так как это связано с большим перерасходом энергозатрат и насыщающих материалов при недозагрузках оборудования. При этом невозможно также упрочнять крупногабаритные изделия, например, кузнечные штампы, масса которых в некоторых случаях может быть более тонны.

В связи с изложенным особое внимания заслуживают разработанные на кафедре «Материаловедение в машиностроении» Белорусского национального технического университета технологические процессы низкотемпературного многокомпонентного диффузионного упрочнения бором, азотом, углеродом (карбоазотирование, бороазотирование, борокарбоазотирование) в порошковых смесях и обмазках, не требующие применения специального оборудования.

Объектами для упрочнения являются детали инструмента и технологической оснастки, изготавливаемые, как правило, из дорогостоящих легированных сталей, такие как быстрорежущий инструмент (сверла, развертки, фрезы, метчики, резцы, зенкеры, прошивки и др.), деформирующая оснастка (детали штампов для горячей и холодной обработки материалов давлением, фильеры, волокни и др.), металлоформы для литья или прессования различных материалов. В этом случае возможно упрочнение определенных видов быстроизнашивающихся деталей из углеродистых сталей и чугунов, а также замена дорогостоящих высоколегированных сталей на низколегированные, прошедшие ХТО. Диффузионному упрочнению подвергаются готовые, изготовленные в окончательный размер изделия, прошедшие полный цикл общепринятой термической обработки (закалка, отпуск).

В случае режущего инструмента (метчики, развертки, зенкеры, сверла, фрезы, прошивки и др.), изготавливаемого из быстрорежу-

щих сталей типа P6M5, P18, P9, P3M3Ф2, как показывают испытания, оптимальная толщина диффузионного слоя составляет 20–60 мкм.

При упрочнении мелкогабаритных деталей (сверла, метчики, зенкеры, развертки, фрезы, пуансоны, матрицы и др.) их помещают в емкость из любой стали, засыпают диффузионноактивной смесью и выдерживают в печи при температурах 520–560 °С в зависимости от вида деталей и марки стали. При этом для инструмента из быстрорежущих сталей (P6M5, P6M5K5, P18, P3M3Ф2 и др.), традиционной термической обработкой которого являются закалка и последующие три отпуска при температуре 560 °С, в ряде случаев возможно 3-й режим отпуска совмещать с диффузионным упрочнением. Следует отметить, что весьма эффективно предлагаемое низкотемпературное упрочнение и для ранее оксидированного режущего инструмента.

После упрочняющей обработки шероховатость поверхности не изменяется, а твердость, износостойкость и другие свойства резко увеличиваются, что обеспечивает существенное повышение долговечности изделий. При этом следует отметить, что по твердости и износостойкости формирующиеся борокарбоназотированные слои на 10–15 % превосходят азотированные, а их хрупкость существенно ниже. Специализированного оборудования не требуется, так как используются традиционные камерные печи с воздушной атмосферой, применяемые при обычной термообработке. Указанные преимущества достигаются за счет применения новых видов диффузионноактивных порошковых смесей и обмазок, которые в отличие от известных обеспечивают эффективное диффузионное упрочнение в диапазоне температур 500–600 °С в окислительной печной среде.

В связи с тем, что предлагаемые технологии повышения долговечности можно совмещать с традиционными процессами термической обработки инструмента и технологической оснастки, предприятие не нуждается в приобретении дополнительного специализированного оборудования, выделении отдельных производственных площадей, что в свою очередь обеспечивает высокую рентабельность и низкую энергоемкость, высокую эффективность процессов упрочнения.

В настоящей работе представлены результаты исследований образцов быстрорежущих сталей P6M5, P18, P6M5K5, P3M3Ф2. Ука-

занные стали используются преимущественно для изготовления различных видов металлорежущего инструмента, который работает в наиболее жестких условиях изнашивания рабочих поверхностей, зачастую сопровождающихся динамическими воздействиями.

Термическая обработка инструмента из сталей Р6М5, Р6М5К5, Р3МЗФ2 предусматривает закалку с температур нагрева 1220 °С и трехкратный отпуск при температуре 560 °С. В случае термической обработки инструмента из стали Р18 температура нагрева под закалку составляет 1280 °С с последующим трехкратным отпуском при температуре 560°С. Твердость после термообработки – не менее 62 HRC. После термической обработки проводится окончательная механическая обработка для устранения неизбежных последствий термообработки (деформации, коробления, окисления и обезуглероживания поверхностного слоя).

Для повышения стойкости такой оснастки целесообразно создавать на их рабочих поверхностях высокотвердые фазы, обеспечивающие повышенную износостойкость в сочетании с приемлемым сопротивлением хрупкому растрескиванию в процессе резания. В первую очередь необходимо уделить внимание процессам упрочнения, которые проводятся при температурах, сопоставимых с температурами нагрева под отпуск инструмента и технологической оснастки (540–560 °С). При таких температурах поверхностного диффузионного насыщения не разупрочняя сердцевину можно получить существенный прирост износостойкости поверхностного слоя без изменения размеров и состояния поверхности. При этом целесообразно диффузионное химико-термическое упрочнение проводить при температурах на 10–20°С ниже, чем температура отпуска стальных деталей в обычных камерных печах с воздушной атмосферой.

В настоящей работе ХТО проводили при температуре 550 °С 1–4 ч в специально разработанных порошковых смесях для низкотемпературного борокарбозотирования, в которых поставщиками диффундирующих атомов являются активированные соединения бора, азота и углерода со стабилизирующими добавками, позволяющими эффективно осуществлять процессы диффузионного в обычных отпускных камерных электрических печах с воздушной атмосферой без использования специального оборудования.

Как показал микроскопический анализ, в структуре карбоазотированных образцов вблизи поверхности исследуемых сталей находится светлая полоска  $\epsilon$ -фазы. Эта фаза состава  $Fe_{2-3}(N,C)$  с гексагональной решеткой. Под ней располагается темнотравящаяся зона гетерогенного строения (рисунок 1). В темнотравящейся зоне наряду со структурными составляющими основного материала присутствуют включения борокарбонитридов ряда химических элементов, присутствующих в исследуемых сталях.

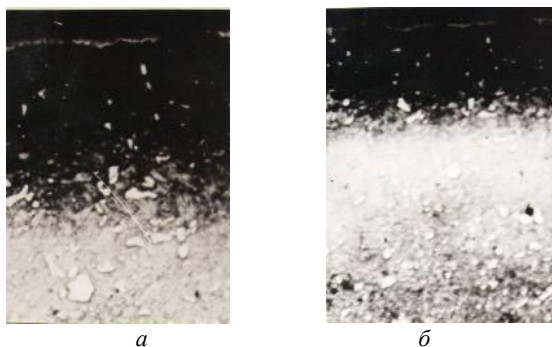


Рисунок 1 – Микроструктуры поверхностных слоев стали Р6М5 после борокарбоазотирования при 550 °С в течение 4 ч (а) и 1 ч (б)

Установлено, что в случае присутствия в составе сталей таких легирующих элементов как хром, вольфрам, ванадий, молибден и др. наряду с борокарбонитридами железа в структуре диффузионного слоя появляются и карбонитриды указанных элементов. Концентрация карбонитридных фаз плавно уменьшается по мере удаления от поверхности к сердцевине, что вызывает уменьшение микротвердости. При этом микротвердость борокарбонитридов легирующих элементов существенно превышает твердость борокарбонитридов железа, что приводит к повышению микротвердости всего диффузионного слоя. Причем, чем больше легирующих элементов в стали, тем выше ее твердость.

Результаты исследований микротвердости борокарбоазотированных образцов сталей Р6М5, Р18, Р6М5К5, Р3М3Ф2 представлены на рисунках 2, 3. Микротвердость измерялась на изготовленных микрошлифах с помощью прибора ПМТ-3 путем вдавливания в исследуемую поверхность алмазной пирамиды при нагрузке 0,49 Н.

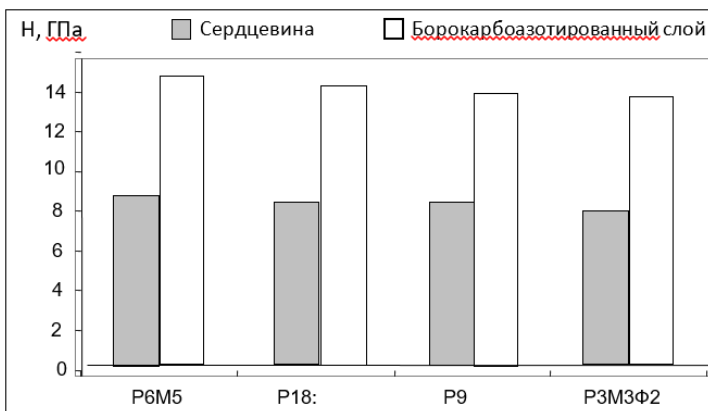


Рисунок 2 – Микротвердость карбозотированных сталей, после ХТО при температуре 550 °С, 1 ч

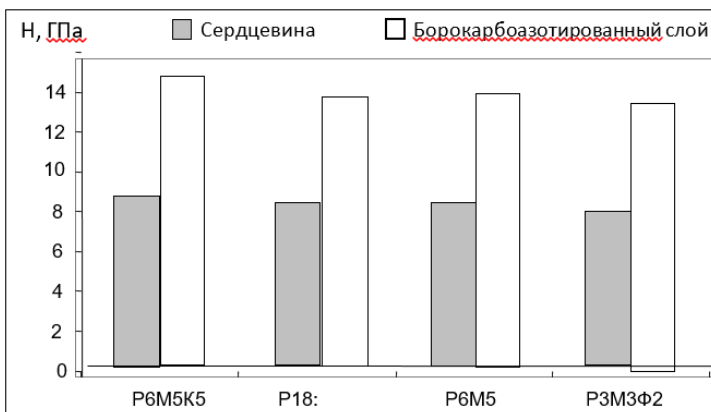


Рисунок 3 – Микротвердость карбозотированных сталей, после ХТО при температуре 550 °С, 4 ч

Как видно из представленных на рисунках 2, 3 результатов диаметрических измерений, микротвердость исследованной поверхности практически не изменяется при увеличении длительности карбозотирования. Однако увеличение времени ХТО с 1 до 4 ч

приводит к существенному росту толщины диффузионного слоя (рисунок 1).

Наиболее высокая твердость вблизи поверхности после карбоазотирования у самой высоколегированной стали Р6М5К5 – 14,5 ГПа. У сталей Р18 и Р6М5 микротвердость ниже – на уровне 14–14,2 ГПа, для стали Р3М3Ф2 микротвердость находится в пределах 13,6–13,8 ГПа.

В условиях реального производства при упрочнении стальных деталей режущего инструмента их помещают в металлический контейнер, засыпают диффузионноактивной смесью и выдерживают в камерных печах при температурах нагрева под отпуск несколько часов в печах с воздушной атмосферой. Контейнер коробчатого типа можно изготовить из листовой углеродистой стали. Время диффузионного упрочнения при температурах 520–550 °С от 0,5 ч до 2 ч после полного прогрева контейнера.

На Минском тракторном заводе диффузионноупрочненные по предложенной низкотемпературной технологии метчики, сверла, долбяки, развертки, зенкеры, некоторые виды деформирующей оснастки обеспечивают высокую стойкость (более чем в 2 раза) по сравнению с инструментом без ХТО.

На Минском мотовелозаводе после низкотемпературного диффузионного упрочнения фрезы диаметром 26 мм при обработке отливок из стали Х23Н18Т обеспечивали повышение стойкости в 6–8 раз; сверла диаметром 5,1 мм для глубокого сверления деталей из стали 12ХНЗА – в 2–2,2 раза; комбинированные сверла при сверлении тормозных колодок – в 10–12 раз.

Таким образом, данные производственной эксплуатации показывают, что стойкость различных видов инструмента и оснастки, подвергнутых новому методу химико-термической обработки значительно выше, чем у аналогичных изделий без специальных покрытий.

## Список литературы

**1. Ситкевич М. В.** Совмещенные процессы химико-термической обработки с использованием обмазок / М. В. Ситкевич, Е. И. Бельский. – Минск: Выш. школа, 1987. – 156 с.



**2. Герасимов, С. А.** Структура и износостойкость азотированных конструкционных сталей и сплавов / С. А. Герасимов, Л. И. Куксенова, В. Г. Лаптева. – М.: Изд. МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2012. – 518 с.

## References

**1. Sitkevich M. V.** *Sovmeshchennye processy himiko-termicheskoj obrabotki s ispol'zovaniem obmazok* [Combined processes of chemical-thermal treatment using coatings] / M. V. Sitkevich, E. I. Belsky. – Minsk.: Vyshejschaya shkola Publ., 1987. – 156 p.

**2. Gerasimov, S. A.** *Struktura i iznosostojkoc't' azotirovannyh konstrukcionnyh stalej i spлавov* [Structure and wear resistance of nitride structural steels and alloys] / S. A. Gerasimov, L. I. Kuksenova, V. G. Lapteva. – Moscow: Publishing house of Bauman Moscow State Technical University, 2012. – 518 p.

*Поступила 07.10.2024*  
*Received 07.10.2024*