

УДК 621.785.5

**ДИФфуЗИОННОЕ УПРОЧНЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ ОБОРУДОВАНИЯ,  
ИНСТРУМЕНТА, ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНАСТКИ  
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОРОШКОВЫХ СМЕСЕЙ И ОБМАЗОК  
ДЛЯ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОГО НАСЫЩЕНИЯ АЗОТОМ, УГЛЕРОДОМ, БОРОМ**

*д-р техн. наук, проф. М.В. СИТКЕВИЧ, Е.М. СТАРОВОЙТОВА  
(Белорусский национальный технический университет, Минск)*

*Рассмотрены результаты микроструктурных и дюраметрических исследований поверхностных слоев конструкционных и инструментальных сталей, подвергнутых низкотемпературной химической термообработке в системе углерод - азот - бор в порошковых смесях и обмазках без использования специального оборудования. Представлены данные производственных испытаний различных видов деталей, которые свидетельствуют, что за счет диффузионного упрочнения при температурах 460..600 °С обеспечивается повышение стойкости в 2... 10 раз в зависимости от вида деталей и условий их эксплуатации.*

На промышленных предприятиях используются сотни видов деталей оборудования, инструмента, техоснастки, причиной выхода из строя которых является преимущественно преждевременное изнашивание, замедлить которое можно используя химико-термическую обработку (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. Данные 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 изменения размеров, а следовательно приводит к необходимости окончательной механической обработки рабочих поверхностей. Это частично или полностью устраняет эффект от формирующихся при химико-термической обработке износостойких диффузионных покрытий и кроме того затрудняет, а иногда делает и невозможной механическую доводку.

В связи с указанными недостатками высокотемпературных процессов ХТО заслуживают внимание процессы химико-термической обработки, 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 окончательного размера детали, включая шлифовку и даже полировку. В результате такой химико-термической обработки 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 химико-термической обработки (газовое азотирование и газовая нитроцементация, жидкостное цианирование и жидкостная карбонитрация) требуют использования специального оборудования, отдельных площадей и помещений, квалифицированного обслуживающего персонала. Выпускаемое для этих процессов оборудование предназначено для химико-термической обработки сравнительно больших партий (более тысячи штук) мелкогабаритных деталей. В то же время упрочнять многие виды деталей, изготавливаемых в небольших количествах (десятки, 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.

Целью настоящей работы является исследование возможности использования для повышения долговечности различных видов быстрознашивающихся деталей разработанных технологических процессов низкотемпературного многокомпонентного диффузионного упрочнения бором, азотом, углеродом (карбозотирование, борокарбозотирование) в порошковых смесях и обмазках, не требующих применения специального оборудования.

Результаты исследований свидетельствуют, что в случае химико-термической обработки изделий, работающих в условиях длительного изнашивания (детали оборудования из углеродистых и низколегированных конструкционных сталей типа 45, 40Х, матрицы и пуансоны штампов холодного деформирования металлов из сталей типа Х12Ф1, Х12М, металлоформы для горячей обработки материалов из сталей типа 3Х3М3Ф, 3Х2В8Ф, 5Х3В3МФС, 4Х5МФС) целесообразно получать диффузионные слои, толщина которых должна достигать максимально возможных значений. При этом следует учитывать, что, так как температура процесса ХТО в данном случае относительно мала (500...600° С), скорость образо-

вания диффузионных слоев находится на низком уровне. Длительность же диффузионного насыщения увеличивает толщину диффузионных слоев с допустимым уровнем погрешности пропорционально корню квадратному от времени химико-термической обработки, что не позволяет использовать данный параметр для существенного наращивания зоны упрочнения. В связи со сказанным, как показывают проведенные исследования, применительно к различным углеродистым и легированным сталям наиболее приемлемой толщиной диффузионных слоев при низкотемпературном насыщении следует считать 150...200 мкм. Результаты исследований показывают, что в случае сталей 45, 40X, X12Ф1, 3ХЗМЗФ, 4Х5МФС при температуре ХТО 520...550 °С такую толщину слоя можно получить за... 10 часов.

В случае режущего инструмента (метчики, развертки, зенкеры, сверла, фрезы, прошивки и др.), изготавливаемого из быстрорежущих сталей Р6М5, Р18, Р9, РЗМЗ, как показывают испытания, оптимальная толщина диффузионного слоя 30...50 мкм. При температуре химико-термической обработки 550 °С получить диффузионные слои такой толщины можно за 50...80 минут.

Следует отметить, что микротвердость диффузионных слоев, плавно уменьшается по мере удаления от поверхности к сердцевине, что обеспечивает прочное их сцепление с металлической основой и предотвращает скалывание даже при относительно высоких динамических нагрузках.

Результаты исследований микротвердости образцов сталей 45, 40X, X12Ф1, 3ХЗМЗФ, Р6М5 представлены в таблице.

**Микротвердость поверхностных слоев после упрочняющей обработки**

Параметры упрочняющей обработки	Марка стали	Микротвердость поверхностных слоев, ГПа
ХТО -550 °С, 8 ч	45	5,4
ХТО - 550 °С, 8 ч	40X	8,4
ХТО-520 °С, 10 ч	X12Ф1	12,7
ХТО - 550 °С, 8 ч	3ХЗМЗФ	12,1
ХТО - 550 °С, 1 ч	Р6М5	14,1
Без ХТО (закалка 820 °С, отпуск 550 °С)	45	1,9
Без ХТО (закалка 820 °С, отпуск 550 °С)	40X	2,7
Без ХТО (закалка 1100 °С, отпуск 520 °С)	X12Ф1	7,2
Без ХТО (закалка 1050 °С, отпуск 600 °С)	3ХЗМЗФ	5,0
Без ХТО (закалка 1220 °С, отпуск 560 °С)	Р6М5	8,1

Микротвердость измерялась на изготовленных микрошлифах с помощью прибора ПМТ-3 путем вдавливания в исследуемую поверхность алмазной пирамиды при нагрузках 0,49 Н.

Исследования показывают, что структура слоев после диффузионного насыщения азотом и углеродом в разработанных порошковых смесях и обмазках отличается от других видов диффузионных покрытий. Так, вблизи поверхности сталей 45, 40X находится светлая полоска  $\epsilon$ -фазы. Эта фаза состава  $Fe_{2-3}(N, C)$  с гексагональной решеткой. Под ней располагается зона гетерогенного строения, в которой наряду со структурными составляющими основного материала присутствуют включения карбонитридов железа, концентрация которых плавно уменьшается по мере удаления от поверхности, что вызывает уменьшение микротвердости. При введении в состав порошковых карбоазотирующих сред некоторых боросодержащих компонентов установлено увеличение микротвердости диффузионных слоев при повышении температуры ХТО с 500 до 600 °С, что, очевидно, связано с растворением небольших количеств бора в карбонитридных фазах. В то же время при отсутствии боронасыщающей составляющей в карбоазотирующих порошковых смесях и обмазках микротвердость, хотя и в небольшой степени, но снижается с повышением температуры химико-термической обработки.

Установлено, что в случае присутствия в составе сталей таких легирующих элементов, как хром, вольфрам, ванадий, молибден, титан и др., наряду с карбонитридами железа в структуре диффузионного слоя появляются и карбонитриды указанных элементов. Их микротвердость существенно превышает твердость карбонитридов железа, что приводит к повышению микротвердости всего диффузионного слоя. Причем чем больше легирующих элементов в стали, тем выше твердость. Из таблицы видно, что вблизи поверхности после карбоазотирования стали 45 микротвердость достигает 5,9 ГПа, в случае стали 40X с 1 % хрома микротвердость уже 8,4 ГПа, а при повышении содержания хрома до 12 % (сталь X12Ф1) микротвердость составляет уже 12,7 ГПа. В то же время без ХТО твердость сталей 45 и 40X всего на уровне 1,9...2,7 ГПа. Повышение твердости поверхностных слоев после низкотемпературной ХТО сталей приводит к повышению износостойкости.

В производственных условиях диффузионному упрочнению подвергаются готовые, изготовленные в окончательный размер изделия, прошедшие полный цикл общепринятой термической обработки (закалка, отпуск).

При упрочнении мелкогабаритных деталей из высоколегированных сталей (сверла, метчики, зенкеры, развертки, фрезы, пуансоны, матрицы и др.) их помещают в любую емкость, засыпают диффузионноактивной смесью и выдерживают в печи при 460...600 °С 0,5...3 часа в зависимости от вида деталей и марки стали (рис. 1).

При этом для инструмента из быстрорежущих сталей (Р6М5, Р9, Р18, РЗМЗ и др.), традиционной термической обработкой которого являются закалка и последующие три отпуска при температуре 560 °С, в ряде случаев возможно 3-й отпуск совмещать с диффузионным упрочнением. Весьма эффективно предлагаемое низкотемпературное упрочнение и для ранее окисленного режущего инструмента.

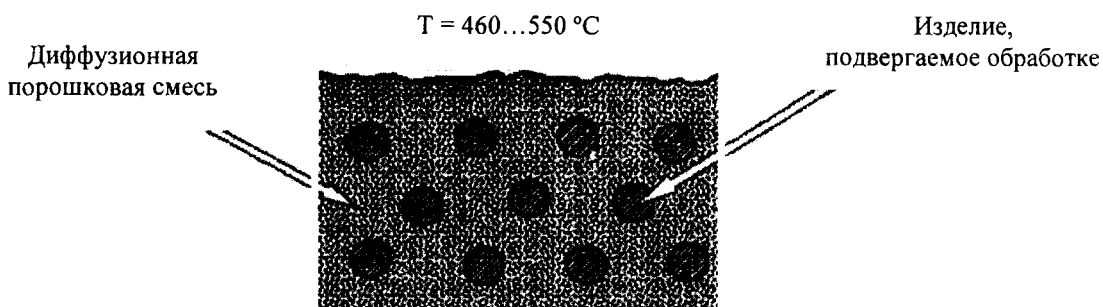


Рис. 1. Схема упрочнения мелкогабаритных деталей с использованием диффузионно-активных порошковых смесей

Упрочнение крупногабаритного инструмента осуществляется с помощью диффузионно-активных обмазок. Обмазка наносится тонким слоем на рабочую поверхность, после чего изделия выдерживают при температурах отпуска легированных сталей 500...600 °С несколько часов в камерной печи с воздушной атмосферой. Возможно также совмещение упрочнения в обмазках с нагревом изделий под закалку при температурах 850... 1000 °С (рис. 2).

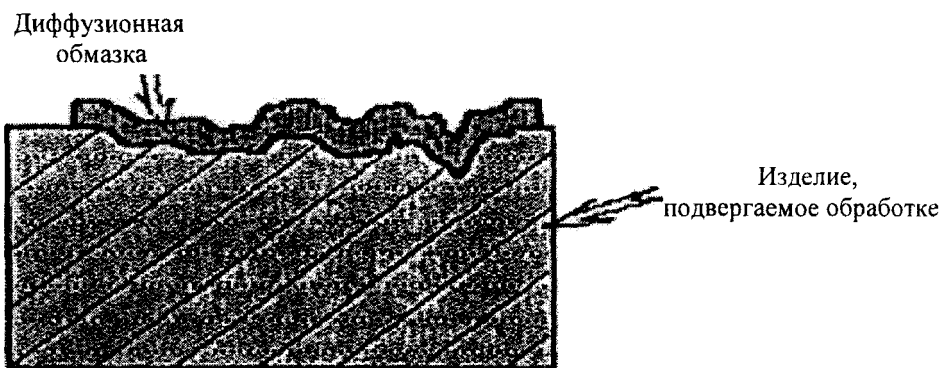


Рис. 2. Схема упрочнения крупногабаритных изделий с использованием диффузионно-активных обмазок

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 борокарбозитированные слои превосходят азотированные, а их хрупкость существенно ниже; специализированного оборудования не требуется, используются традиционные камерные печи с воздушной атмосферой, применяемые при обычной термообработке. Указанные преимущества достигаются за счет применения новых видов диффузионно-активных порошковых смесей и обмазок, которые, в отличие от известных, обеспечивают эффективное диффузионное упрочнение в диапазоне температур 460...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 избавляется от приобретения дополнительного специализированного оборудования, выделения отдель-

ных производственных площадей, что в свою очередь обеспечивает высокую рентабельность, малую энергоёмкость, высокую эффективность процессов упрочнения.

По предложенной технологии были упрочнены опытные партии деталей оборудования, инструмента и оснастки на различных предприятиях («Минский завод специального инструмента и технологической оснастки; Минский тракторный завод; Минский мотовелозавод; Минский подшипниковый завод; Столбцовский филиал Минского моторного завода; Барановичский автоагрегатный завод; Минский автомобильный завод; Минский завод «Ударник»; РНУ «Белгазэнергоремонт» и др.), где установлено повышение стойкости в 2... 10 раз в зависимости от вида деталей.

Приведем некоторые конкретные данные производственных испытаний различных видов инструмента и технологической оснастки.

Например, на Минском автозаводе в цехе редукторов механосборочного производства испытаны сверла 017 мм из стали Р6М5 при сверлении отверстий в детали «чашка дифференциала» из стали 40Х твердостью 156-229 НВ автомобиля МАЗ-64221. Обработка осуществлялась при следующих режимах резания:  $t = 8,5$  мм;  $S = 0,28$  мм/об;  $V = 17,8$  м/мин. Одновременно сверлилось 8 отверстий. Сверла работали до тех пор, пока дальнейшую обработку производить было невозможно (поломка, выкрашивание ленточек, критический износ, большой заусенец на выходе сверла из отверстия). Сверлами, прошедшими ХТО, обрабатывалось 250...300 деталей, серийными сверлами, не имеющими диффузионных покрытий, обрабатывалось 120... 150 деталей. В этом же цехе испытаны развертки при обработке отверстий 015 мм в детали «шестерня ведомая» из стали 20ХНЗА твердостью 156-229 НВ. Развертывание проводили при следующих режимах:  $t = 0,2$  мм;  $S = 0,65$  мм/об;  $V = 4$  м/мин. Одновременно обрабатывалось 4 отверстия. При этом установлено, что при работе диффузионно-упрочненными развертками выход размера развернутого отверстия за пределы допуска происходил после обработки 300...330 деталей. Серийными развертками, которые не имели диффузионных покрытий, обрабатывалось 120...150 деталей. В цехе нормалей механосборочного производства испытаны метчики 1/8 дюйма, изготовленные из стали Р6М5. Резьба нарезалась в детали «переходник» (сталь 35). Испытания показали, что стойкость метчиков, прошедших новую химико-термическую обработку, повышается в 7... 10 раз по сравнению с серийными метчиками, не имеющими диффузионных покрытий. В цехе мелких штампов испытаны пуансоны штампов холодной высадки муфты. В серийном варианте их изготавливают из стали Р6М5 с последующей термообработкой по общепринятым режимам и нанесением покрытий на основе нитрида титана. Испытания показали, что стойкость диффузионно-упрочненных пуансонов - 70 тысяч деталей, стойкость серийных пуансонов с покрытием на основе нитрида титана - 5...10 тысяч деталей.

На Минском мотовелозаводе после диффузионного упрочнения фрезы диаметром 26 мм при обработке отливок из стали Х23Н18Т обеспечивают 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.

На Минском тракторном заводе диффузионно-упрочненные по предложенной технологии запрессовочные, распрессовочные и осадочные штамповые вставки, применяемые при сборке шарнирных соединений, обеспечивают более чем в 3 раза высокую стойкость по сравнению со штампами без химико-термической обработки. После ХТО фильеры для протягивания металлопроката круглого сечения и шестигранника сечением 50 мм также показывают увеличение стойкости не менее чем в 3 раза.

На Барановичском автоагрегатном заводе диффузионно-упрочненные матрицы и пуансоны из сталей Х12М, Х12Ф1 для холодного выдавливания деталей обеспечили повышение стойкости в 8...10 раз, а формы для литья под давлением алюминиевых сплавов более чем в 2 раза по сравнению с аналогичной оснасткой, не подвергнутой химико-термической обработке.

Таким образом, данные производственных испытаний показывают, что стойкость различных типов деталей, подвергнутых химико-термической обработке в разработанных новых видах порошковых смесей и обмазок, значительно выше, чем у аналогичных изделий без специальных покрытий.