

УПРОЧНЕНИЕ ИНСТРУМЕНТА НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ТЕРМОХИМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКОЙ

Шматов А.А. (БНТУ, Минск, Беларусь)

The structure and properties of tools subjected to low-temperature thermochemical treatment are examined in the paper. The process involves (1) the chemical treatment of tools in an specially prepared aqueous suspension of ultra- and nanooxide Ti, Mo, nanodiamond and other ingredients and (2) subsequent heat treatment (minimal process temperature is 130°C). Thermochemical hardening method permit increasing the wear resistance of cutting and stamp tools by the factor of 1,3-4,1 in comparison with traditional its.

Состояние вопроса. Для решения проблемы повышения стойкости инструмента разработаны различные способы упрочнения и нанесения защитных покрытий. Наибольший интерес представляют низкотемпературные методы поверхностного упрочнения, при которых не происходит разупрочнение и разрушение поверхностной и внутренней структуры инструмента, а также сохраняются его первоначальные размеры и форма. Последнее возможно при условиях, если температура упрочняющей обработки не превышает температуру начала структурных превращений обрабатываемого материала, т.е. температура упрочняющей обработки для быстрорежущих сталей должна быть не выше 560 °C, а для твердых сплавов и алмазосодержащих материалов – не превышать 650-700 °C.

Согласно классификации [1, 2] наиболее типичными методами низкотемпературного упрочнения являются физико-химические и термохимические методы, которые осуществляются путем формирования на поверхности инструмента и изделий защитной пленки или путем изменения химического состава, дислокационной структуры и напряженного состояния поверхностного слоя после обработки при низких температурах.

В последние годы большое внимание уделяется развитию нанотехнологий, наноматериалов и применению их в технике. Довольно успешно используют такие синтетические добавки, как фуллерены (nanoалмазы), вводимые вместе со смазочными материалами в зону трения деталей машин, поскольку они существенно снижают силы трения и в результате повышают долговечность машин [3]. Однако вопросы, связанные с нанесением на поверхность инструмента наноразмерных тугоплавких соединений и фуллеренов низкотемпературными термохимическими способами изучены недостаточно. Известные низкотемпературные химические покрытия в основном получают в водных химических растворах или суспензиях, не содержащих наноразмерные частицы упрочняющей фазы; при этом инструмент имеет недостаточную износостойкость [1, 4-10].

Автором разработан простой и высоко производительный процесс НТХО с использованием ультра- и наноразмерных частиц тугоплавких соединений (оксидов, карбидов, сульфидов и др.) и других компонентов (графита, алмаза) с высокими антифрикционными свойствами [2, 11, 12], который позволяет существенно улучшить износостойкость режущих и штамповых инструментов. Цель работы состояла в изучении вопросов формирования низкотемпературных термохимических покрытий и влияние режима НТХО на триботехнические характеристики упрочненных инструментов.

В настоящей работе НТХО подвергали инструменты из быстрорежущей стали Р6М5 и Р18, твердосплавные режущие пластины Т15К6 и ВК8, алмазные чашечные круги на бакелитовой связке и шлифовальные головки на никелевой связке. Сам процесс НТХО включал две операции: (а) операцию химической обработки поверхности инструментального материала при температуре 90-100 °С в течение 40-60 минут в специальной водной суспензии, содержащей ультра- и нанодисперсные оксиды металлов (с добавкой и без добавки наноалмаза) и активирующие поверхности-активные компоненты, (б) операцию термической обработки при температуре 130-200 °С в течение 60-80 минут в окислительной среде. Образцы инструмента помещали и выдерживали в ванне со специально приготовленной водной суспензией, нагретой до температур проведения процесса. Для подготовки поверхности образцы предварительно обезжиривали, а после каждой операции подготовки и химической обработки образцы инструмента промывали в воде.

Результаты исследований. Процесс низкотемпературной термохимической обработки (НТХО) инструмента имеет двойственный характер упрочнения: (1) на поверхности формируются антифрикционные покрытия, которые содержат комплексные соединения на базе оксидов, наноалмаза или других тугоплавких соединений; (2) в поверхностном слое создается зона высоких напряжений сжатия.

При НТХО стального и твердосплавного инструмента в суспензии на основе оксидов Тi и Mo полученные покрытия имеют сплошную столбчатую и многослойную наноструктуру на основе сложных оксидных образований с адсорбированными молекулами ПАВ (рис.1.) Покрытия на поверхности алмазного инструмента уже имеют другую структуру и морфологию (рис.2). На поверхности алмазного инструмента на никелевой связке образуется многокомпонентное тонкопленочное покрытие, состоящее из темной ровной подложки на основе комплексных соединений с участием молибдена и комплексных титансодержащих образований в виде светлых «хлопьев» (рис.2).

Как видно из рис. 2 защитная пленка плотно осаждается на поверхности никелевой связки и дискретно на поверхности алмазных зерен. Наличие титана и молибдена в пленке подтверждается результатами рентгеноспектрального анализа (рис.3).

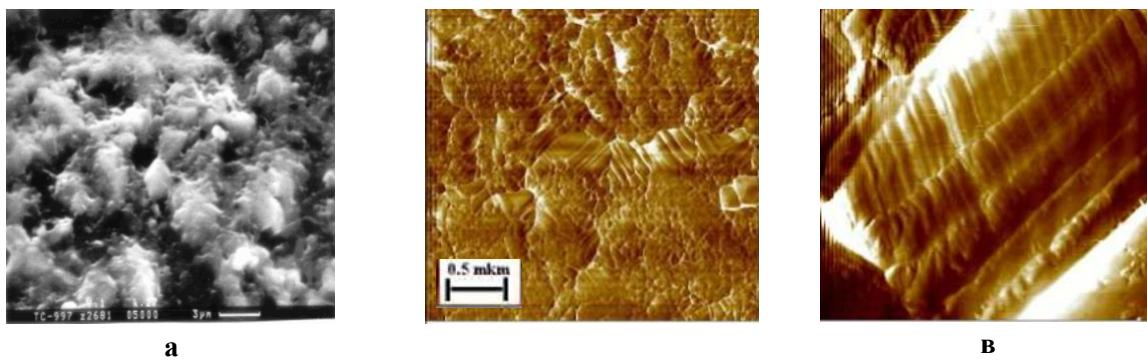


Рис.1. Микрорельеф поверхности (а, б) и структура излома поверхности (в) инструмента из стали Р18, подвергнутого НТХО в оксидной Ti-Mo суспензии

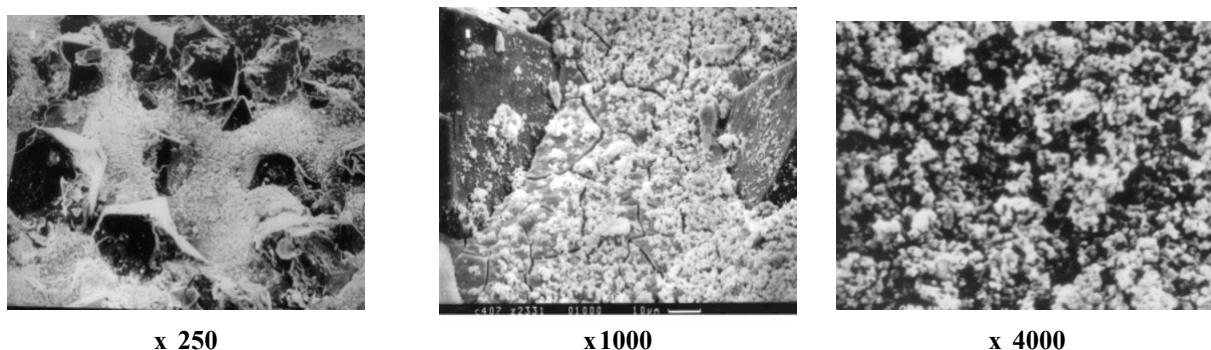


Рис.2. Микрорельеф поверхности алмазного инструмента, подвергнутого НТХО в оксидной Ti-Mo суспензии

Формирование высоких напряжений сжатия с помощью НТХО положительно сказывается на работе инструмента, поскольку позволяет релаксировать внутренние напряжения, а также компенсировать растягивающие напряжения, которые чаще всего возникают при работе любого режущего инструмента. Полученные данные (табл.1) свидетельствуют о том, что на поверхности алмазного инструмента, упрочненного по двум режимам НТХО, формируется зона сжимающих напряжений как в никелевой связке, так и алмазном зерне.

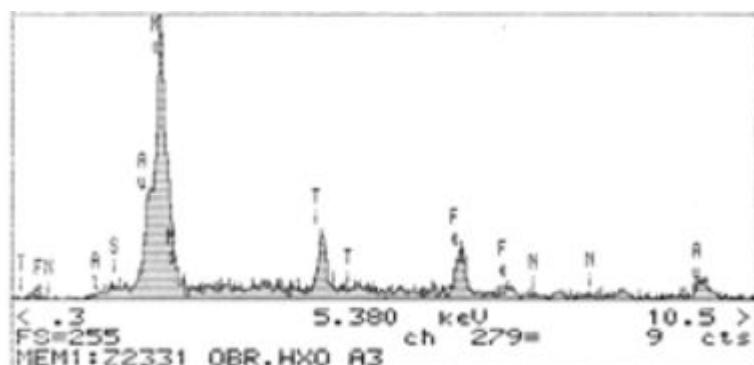


Рис. 3. Рентгеноспектральный анализ поверхности алмазного инструмента, подвергнутого НТХО в оксидной Ti-Mo суспензии

Таблица 1. Результаты рентгеновской съемки (при $\psi = 40^\circ$ при CoK_α - излучении)

Режим обработки	Фаза	$2\theta_\psi^{(311)}$, град	$2\theta_0^{(311)}$, град	$d_\psi^{(311)}$, нм	$d_0^{(311)}$, нм	$\sin^2 \psi$	σ , МПа
Режим 1	Ni	114,7	114,68	1,0631	1,0632	0,4132	-50
	C (алмаз)	112,57	112,5	1,0761	1,0765	0,4132	≈ 700
Режим 2	Ni	114,75	114,68	1,0627	1,0632	0,4132	-180
	C (алмаз)	112,55	112,5	1,0763	1,0765	0,4132	≈ 350

В результате проведения сравнительных испытаний различных видов инструментов, упрочненных методом НТХО, установлено, что их износостойкость зависит от химического состава и кислотности водной суспензии, температуры и времени проведения процесса химической обработки. Оптимальными параметрами химической обработки являются: температура 90-100°C, время 40-60 мин., кислотность рабочей ванны

РН 4,5-6,0, что позволяет достичь наибольшей износостойкости инструмента. Для снятия вредного эффекта охрупчивания, вызванного наводораживанием поверхности, после химической обработки обязательно проводят термообработку. Оптимальными параметрами термообработки инструмента в окислительной среде являются: температура 130-200°C, которую варьируют в зависимости от природы обрабатываемого материала, время 1-1,5 часа. В результате НТХО достигается повышение износостойкости стального, твердосплавного и алмазного инструмента более двух раз.

Наглядным свидетельством положительного влияния НТХО на износостойкость инструмента является характер его разрушения при эксплуатации. На рис. 4 представлены участки изношенной поверхности алмазной шлифовальной головки, упрочненной НТХО по оптимальному режиму. Испытываемые алмазные головки проработали 120 минут при непрерывной обработке твердого сплава ВК8. При этом средний расход алмаза упрочненных шлифовальных головок составил 11,55 г/см², а необработанных 16,74 г/см², т.е. на 50% ниже.

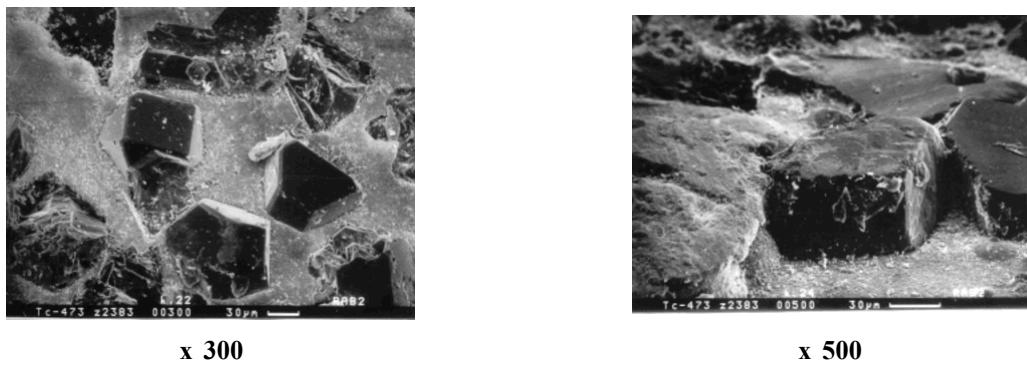


Рис. 4. Микрорельеф изношенной поверхности алмазной шлифовальной головки, упрочненной методом НТХО в оксидной Ti-Mo суспензии

Как видно из рис. 4 в процессе работы алмазной шлифовальной головки основная нагрузка ложится на алмазные зерна, которые в большей степени изнашиваются и в меньшей - вырываются из связки, а износ самой упрочненной никелевой связки практически не наблюдается. На изношенной поверхности упрочненного инструмента не обнаружено каких-либо сколов и микротрещин, что свидетельствует о хорошей адгезии покрытия с основой. Наличие плоской площадки износа упрочненных алмазных зерен свидетельствует также о прочной связи на границе «алмаз-связка». В целом это означает, что термохимическое упрочнение усиливает удержание алмазов в связке, т.е. значительно больший процент алмазных зерен участвует в процессе резания, а сам алмазный инструмент работает более эффективно.

Проведенные стендовые испытания на микротрибометре возвратно-поступательного типа по схеме «подвижный шарик – неподвижная плоскость» показали, что после НТХО в оксидной Ti-Mo суспензии коэффициент трения стали У8 снижается до значений 0,25, а при добавлении в суспензию ультрадисперсных алмазов ее коэффициент трения составил 0,065 (рис.5). Полученное при этом снижение коэффициента трения поверхности термохимически упрочненной стали У8 по отношению к неупрочненной (с 0,55 до 0,25 и до 0,065) обусловлено самосмазывающими свойствами покрытия, когда осуществляется направленное перемещение наноструктурированных слоев покрытия без существенного его разрушения и отслаивания от основы.

Рассматривая вопрос улучшения износостойкости инструмента в результате его термохимической обработки с позиции современных теорий трения и износа, можно найти объяснение в реализации эффекта Ребиндера, когда снижается коэффициент трения [13]. Эффект Ребиндера носит адгезионный характер взаимодействия поверхности любых твердых тел с поверхностно-активными веществами. В нашем случае присутствие ПАВ в покрытии позволяет на начальной стадии износа интенсифицировать процесс поверхностного диспергирования, образуя устойчивую дисперсную систему на основе мицелл, которые способны направленно двигаться в зону контакта и снижать силы адгезии [14]. В результате по принципу диффузионно-вакансационного механизма происходит скольжение внутри покрытия, но с малыми затратами энергии. Такое свободное перемещение слоев покрытия в процессе изнашивания обеспечивает ему самосмазывающий эффект.

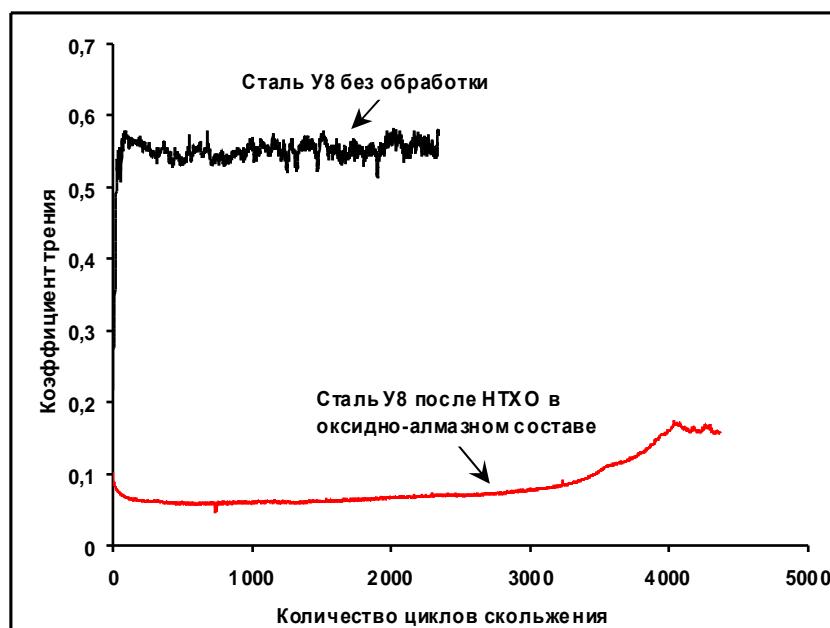


Рис. 5. Кинетика износа стальной поверхности до (1) и после (2) НТХО в суспензии $\text{TiO}_2\text{-MoO}_3$ -алмаз на микротрибометре возвратно-поступательного типа.

Условия испытаний: сухое трение (без смазки), пара трения: сталь У8 (плоскость) - сталь ШХ15 (сфера), нагрузка 1 Н; длина хода (трека) 3 мм, скорость 4 мм/с

Применение результатов исследований. Результаты производственных испытаний свидетельствуют о том, что НТХО с использованием оптимальных составов водных суспензий на основе антифрикционных материалов позволяет увеличить стойкость различных видов стального, твердосплавного и алмазного инструмента в 1,3 – 4,1 раза, по сравнению с необработанным (табл.2). На основание анализа полученных результатов отмечено, что наивысшие показатели износостойкости инструмента достигнуты при обработке труднообрабатываемых и цветных сплавов. Процесс низкотемпературной термохимической обработки внедрен на производственных объединениях «БелАЗ», «МТЗ», «Калибр» и других предприятиях Беларуси.

Таблица 2. Результаты испытаний инструмента, упрочненного НТХО

Вид инструмента	Материал инструмента	Место испытаний	Повышение стойкости
1	2	3	4
метчики	б.р. ст.*	«VUHZ»(Чехия), Daewoo»(Корея) «САЛЮТ», «ПМЗ»(РФ), «МТЗ»	2 – 4.1
ленточные пилы	б.р. ст.	«VUHZ»(Чехия)	2.5 – 3
сверла	б.р. ст.	«PS»(Словакия), «VUHZ»(Чехия), «Дукс» (РФ), «Мотовело», «БелАЗ»	1.8 – 2.9
зенкера	б.р. ст.	«САЛЮТ», «Искра», ВТЗ (РФ)	1.8 – 3
развертки	б.р. ст.	«Мотовело», «БАТЭ», «АГУ»	1.5 – 2.7
резцы	б.р. ст.	«Мотовело», «БелАЗ»	1.3 – 1.9
долбяки	б.р. ст.	«Мотовело»	1.6 – 2.1
фрезы	б.р. ст.	«Мотовело», «БелАЗ», «МТЗ»	
ножи для стекловолокна	б.р. ст.	«Skloplast»(Словакия)	1.9 – 2.5
штампы для холодного деформирования	штамп.ст.**	«ZVL-LSA»(Словакия), «БелАЗ»	1.8 – 2.5
сверла для обработки стекла	алмаз***	«Индмаш»	3 – 4
шлифовальные чашки	алмаз	«БелАЗ», «МПЗ»	1.3 – 2.1
режущие пластины для токарной обработки	тв. спл.	«САЛЮТ» (РФ), «БелАЗ», «Мотовело», «БМЗ», «АГУ»	1.5 – 3.9
режущие пластины для фрезерования	тв. спл.	«Мотовело»	1.5 – 2.5
волоки для металлокорда	тв. спл.	«БМЗ»	1.5 – 2

б.р.ст.* – быстрорежущие стали; штамп.ст.** – штамповые стали;

алмаз*** - алмазосодержащий материал

Выводы. 1. Разработанная низкотемпературная термохимическая обработка инструмента формирует на его поверхности многокомпонентные твердосмазочные нанопокрытия, которые снижают коэффициент сухого трения до 8,5 раз.

2. Эксплуатационная стойкость термохимически упрочненного инструмента повышается в 1,3 – 4,1 раза, по сравнению со стандартным.

Список литературы: 1. Полевой, С.Н., Евдокимов В.Д. Упрочнение металлов / С.Н. Полевой, В.Д. Евдокимов. – М.: Машиностроение, 1986. - 320 с. 2. Шматов, А.А. Низкотемпературное поверхностное упрочнение алмазного инструмента / А.А. Шматов, О.О. Смиловенко // Вестник БНТУ. - 2009. - № 1 - С. 27-32. 3. Балабанов В.И., Ищенко С.А., Беклемышев В.И. Триботехнологии в техническом сервисе машин. - М.: Изумруд, 2005.- 192 с. 4. Мельников, П.С. Справочник по гальванопокрытиям в машиностроении /П.С. Мельников - 2-е изд.- М.: Машиностроение, 1991.- 384 с. 5. Вансовская, К.М. Металлические покрытия, нанесенные химическим способом / К.М. Вансовская, - Л.: Машиностроение, Ленингр. отделение, 1985.- 103 с. 6. Садаков Г.А. Гальванопластика / Г.А. Садаков. – М.: Машиностроение, 2004. - 400 с. 7. А.С. 1785280 (СССР) А.А. Шматов, Л.Г. Ворошнин. Способ упрочнения инструмента. Опубл.01.09.1992.8. А.С.1351979 (СССР) Ю.П. Буравчук, С.В. Оржеховский, Г.К. Новикова и др. Способ упрочнения ин-

струмента из быстрорежущей стали. Опубл. 15.11.1985. **9.** А.С.1434777 (СССР) Ю.П. Буравчук, С.В.Оржеховский, Г.К.Новикова и др. Способ упрочнения инструмента из быстрорежущей стали. Опубл. 22.07.1986. **10.** Виноградова, Т.В. Гидрохимическое осаждение пленок сульфидов свинца, серебра и твердых растворов замещения на их основе для создания датчиков экологического контроля: дис. ... канд. хим. наук / Т.В. Виноградова. – Екатеринбург, 2005. – 209 с. **11.** Патент 2023027 (РФ) А.А. Шматов, Л.Г. Ворошнин. Способ упрочнения инструмента из быстрорежущей стали. Опубл. 15.11.1994. Бюл. 21, 1994. **12.** Патент 10783 (РБ) А.А. Шматов, О.О.Смиловенко, В.И. Жорник и др. Способ упрочнения алмазного инструмента на металлической связке Опубл. 24.03.2008. **13.** Фридман, Я.Б. Механические свойства металлов. / Я.Б. Фридман - М.: Машиностроение, 1974. - Т.2 - 135 с. **14.** Гаркунов Д.Н., Корник П.И. Виды трения и износа. Эксплуатационные повреждения деталей машин.- М: Изд-во МСХА, 2003. - 344 с.

Надійшла до редколегії 13.05.2009 р.

УПРОЧНЕНИЕ ИНСТРУМЕНТА НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ТЕРМОХИМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКОЙ

Шматов А.А.

Автором разработан простой и высоко производительный процесс НТХО с использованием ультра- и наноразмерных частиц тугоплавких соединений (оксидов, карбидов, сульфидов и др.) и других компонентов (графита, алмаза) с высокими антифрикционными свойствами [2, 11, 12], который позволяет существенно улучшить износостойкость режущих и штамповых инструментов. Цель работы состояла в изучении вопросов формирования низкотемпературных термохимических покрытий и влияние режима НТХО на триботехнические характеристики упрочненных инструментов.

термохимическая обработка, тугоплавкие соединения, антифрикционные свойства, упрочнение, микрорельеф