

## КОМБИНИРОВАННОЕ ОБЪЕМНО-ПОВЕРХНОСТНОЕ УПРОЧНЕНИЕ СТАЛЬНОГО РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

**Введение.** Поскольку технический прогресс развивается в направлении снижения себестоимости продукции, а это невозможно без применения высокопроизводительных процессов и использования более износостойких инструментов, задача повышения эксплуатационной стойкости режущего инструмента остается по-прежнему актуальной. Увеличение износостойкости инструмента даст значительную экономию энергетических, материальных и трудовых ресурсов, снизит простой оборудования при замене изношенного инструмента и в целом повысит производительность труда.

Острота и насущность вопроса состоит в том, что уже существует множество способов поверхностного и несколько меньше объемного упрочнения, однако эти методы довольно часто не взаимосвязаны между собой и поэтому применение их не всегда эффективно. На практике случается, что на инструмент наносят очень твердые износостойкие покрытия, не принимая во внимание внутреннюю структуру инструментального материала, который может быть изначально хрупок или не достаточно прочен, а в результате такой инструмент либо ломается, либо сминается и выходит из строя раньше срока. И при такой важности вопроса еще недостаточно внимания обращают комплексному подходу, который требует эффективного сочетания поверхностных и объемных методов упрочнения в зависимости от вида инструмента и класса инструментального материала. Такой подход путем комбинирования новых методов поверхностного и объемного упрочнения предусматривает формирование оптимальной структуры поверхности и основы инструментального материала с целью создания высокого уровня физико-механических и эксплуатационных свойств инструмента.

В последнее время все больше и больше внимания уделяют различным комбинированным способам упрочнения инструмента и деталей машин. Однако подавляющее большинство исследований носит односторонний характер, т.е. в основном комбинируют поверхностные методы упрочнения, не принимая во внимание объемные упрочняющие технологии [1-5 и др.]. При этом комбинируют методы химико-термической, лазерной, ионно-плазменной, ультразвуковой, вибромеханической и прочие виды поверхностных обработок. Напротив, известно незначительное число работ [6-9] по химико-термоциклической обработке (ХТЦО) стального инструмента и изделий, где комбинируют поверхностный метод упрочнения - диффузионное насыщение стали углеродом, бором и др. элементами с объемным - термоциклической термообработкой. Основным недостатком указанного поверхностно-объемного метода упрочнения является его большая трудоемкость из-за длительности и высоких температур проведения процесса. Других исследований в области объемно-поверхностного упрочнения инструмента и изделий практически не проведено.

В данной работе предложены новые процессы упрочнения инструмента: для объемного упрочнения - (1) упрочняющая термоциклическая обработка, а для поверхностного упрочнения - (2) низкотем-

пературная наногидрохимическая обработка. При комбинировании этих процессов открываются большие возможности их практического применения

(1). Обращаясь к объемным методам упрочнения хотелось бы отметить, что с давних времен самым простым и распространенным способом упрочнения инструмента является термообработка. Среди различных способов термообработки следует выделить метод «упрочняющей термоциклической обработки» (УТЦО), который основан «на постоянном накоплении от цикла к циклу положительных изменений в структуре металлов» [6, 10-13]. Если традиционная термообработка выполняется по одному варианту путем закалки и отпуска (рис.1), то метод УТЦО может иметь более 20 вариантов, которые отличаются от стандартной термообработки термоциклическим режимом (многократным повторением) и различной последовательностью выполнения операций закалки и отпуска. По структурным изменениям в сталях УТЦО может проходить с фазовыми или без фазовых превращений, с полными или неполными фазовыми превращениями при нагреве и охлаждении, с различными типами фазовых превращений: бездиффузионным (аустенита в мартенсит), диффузионным (аустенита в перлит) или комбинации этих типов. По температурно-временным параметрам УТЦО можно разделить на следующие виды: средне-, высоко- или низкотемпературный процесс, процесс с изотермической или без изотермической выдержки (для достижения полной или неполной аустенизации) и другие. Основными структурными изменениями при УТЦО является сильное измельчение зерна и блоков мозаики, увеличение плотности дислокаций, уменьшение размера карбидов, однородное распределение химических элементов в структуре, повышение однородности и степени легирования твердого раствора, снижение степени тетрагональности мартенсита и др. Эти позитивные структурные изменения существенно улучшают эксплуатационные свойства инструмента. В частности, УТЦО повышает вязкость, прочность (при изгибе и растяжении), твердость, теплостойкость, контактную выносливость, изотропность свойств и износостойкость сталей, уменьшает деформацию и опасность закалочных микротрещин по сравнению с традиционной термообработкой [6, 7, 10-13].

На основании приведенного анализа можно сделать вывод, что объемное упрочнение инструментальной стали методом УТЦО имеет большие перспективы для своего развития, прежде всего для инструмента с малым ресурсом работы и для инструмента многоцелевого назначения.

(2) Обращаясь к поверхностным методам упрочнения инструмента следует отметить, что на практике широко применяют различные технологии получения износостойких и коррозионно-стойких покрытий. К лучшим низкотемпературным способам поверхностного упрочнения относится процесс CVD (химического осаждения из паровой фазы), активируемый плазмой для осаждения на поверхность изделий таких тонких пленок из тугоплавких соединений, при кото-

рых не меняются размеры изделий [14]. Но этот способ крайне трудоемок, мало производительен и энергозатратен, требует применения дорогостоящего вакуумного оборудования и расхода химических компонентов. Покрытия можно нанести только на видимые поверхности изделий и невозможно осадить на внутренние их полости. Главным недостатком указанного процесса является изменение исходной структуры сталей из-за воздействия повышенной температуры процесса (минимальная температура процесса 300 - 350°C), поэтому способ не может быть применим для инструментов, изготовленных из не теплоустойчивых инструментальных сталей по причине их разупрочнения.

В последние годы большое внимание уделяется развитию нанотехнологий, наноматериалов и применению их в технике. В частности, в машиностроении довольно успешно используют такие синтетические добавки, как фуллерены (наноалмазы), вводимые вместе со смазочными материалами в зону трения деталей машин, поскольку они существенно снижают силы трения и в результате повышают долговечность машин. Последнее объясняется тем, что синтетические молекулы - фуллерены C<sub>60</sub> состоят из 60 атомов углерода, которые выстраиваются в виде правильных пяти- и шестигонных и вместе составляют шар. В свою очередь, эти вращающиеся шарики, располагаясь между двумя трущимися поверхностями, выполняют функцию «безызносного» подшипника [15, 16]. Однако, вопросы, связанные с нанесением на поверхность инструмента наноразмерных тугоплавких соединений, в т.ч. и фуллеренов, различными низкотемпературными способами, т.е. при температуре нанесения ниже 300-350°C, практически не изучены. С другой стороны, все известные низкотемпературные химические (иногда называют гидрохимические [17]) покрытия, получают в водных химических растворах или суспензиях, которые не содержат и не образуют наноразмерные частицы упрочняющей фазы. На практике применяют в основном только химические Ni покрытия, легированные P, V и дисперсными включениями алмаза и тугоплавких соединений, для повышения срока службы пресс-форм. Однако эти покрытия, обладая высокими коррозионными свойствами, имеют недостаточно высокую твердость и износостойкость и поэтому не нашли применения для других видов инструментов [18, 19]. Новый гидрохимический синтез сульфидов позволяет получать тонкие пленки специального назначения (для электроники, фотометрии), не предназначенные для повышения износостойкости инструмента [17].

Поэтому наибольший интерес представляют антифрикционные наноструктурные гидрохимические покрытия на инструменте, полученные при низких температурах в водных составах на базе наноразмерных частиц упрочняющей фазы: наноалмаза и нанографита, нанокарбидов, нанооксидов и других тугоплавких соединений.

**Целью** настоящей работы явилось: (а) разработка и исследование дешевых и высокоэффективных методов объемного (УТЦО) и поверхностного (наногидрохимического) упрочнения стального инструмента, (б) комбинирование указанных процессов и его практическое применение для повышения стойкости стального инструмента.

**Объекты и методика исследований.** (1) В настоящей работе был изучен процесс УТЦО быстрорежущих сталей, который, согласно опубликованным данным [10-13], является наиболее эффективным. Выбранный процесс УТЦО включает многократный нагрев и охлаждение стали выше и ниже критической точки A<sub>1</sub> с окончательным закалочным охлаждением на последнем цикле и последующим традиционным трехкратным отпуском (рис. 2).

Процессы УТЦО изучали на быстрорежущих сталях S6-5-2 (Германия) и P6M5 (6% W, 5% Mo), P18 (18% W), P6M5K5 (6% W, 5% Mo, 5% Co) (Россия).

При исследовании процессов УТЦО этих быстрорежущих сталей варьировали температуру, время нагрева и охлаждения, а также число циклов. Причем во всех циклах при УТЦО время нагрева и охлаждения, а также максимальная (при нагреве) и минимальная (при охлаждении) температуры были постоянными. Максимальная температура термоцикла при УТЦО быстрорежущих сталей соответствовала температуре их нагрева под закалку и была следующей:

1270°C для стали P18 и 1220°C для P6M5, S6-5-2, P6M5K5, а минимальную температуру термоцикла варьировали от 20°C до 1100°C.

При проведении различных режимов нагрева и охлаждения УТЦО быстрорежущих сталей применяли традиционные составы соляных ванн 95% BaCl<sub>2</sub>+5% MgF<sub>2</sub> для температур в пределах 950-1270°C, 50% BaCl<sub>2</sub>+47.5% NaCl+2.5% MgF<sub>2</sub> для температур 750-1000°C, 30% BaCl<sub>2</sub>+15% NaCl+55% CaCl<sub>2</sub> для температур 495-950°C, 70%KNO<sub>3</sub>+30% NaOH для 180-560°C и масляные ванны для 20-180°C; для отпуска при 560°C применяли ванну с расплавом KNO<sub>3</sub> или печь с окислительной атмосферой. Все процессы УТЦО были выполнены на стандартном термическом оборудовании.

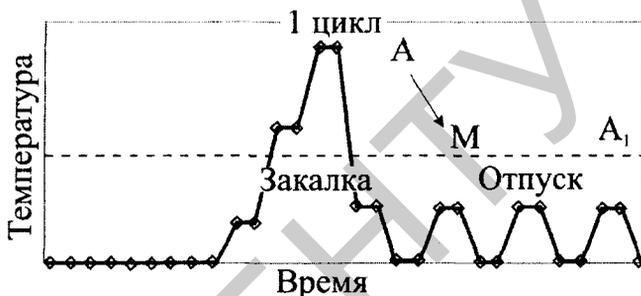


Рис. 1. Диаграмма традиционной термической обработки быстрорежущей стали



Рис. 2. Диаграмма УТЦО быстрорежущей стали, включающая термоциклирование выше и ниже критической точки A<sub>1</sub> с закалочным охлаждением на последнем цикле и отпуском

(2) В работе разработан и изучен низкотемпературный процесс наногидрохимической обработки (НГХО), который обеспечивает упрочнение стального инструмента путем проведения двух операций: (а) химической обработки поверхности сталей при температуре 80-100°C в течение 30-60 минут в специальной водной суспензии на базе ультра-, нанокарбида титана и карбидообразующих компонентов и (б) последующей термической выдержке при температуре 130-200°C в течение 60-120 минут в окислительной среде. Специальную водную суспензию готовили путем последовательного введения и механического смешения водорастворимых соединений титана, карбидообразующих соединений в различных сочетаниях вместе с нерастворимыми ультрадисперсными, наноразмерными порошками карбида титана и наноалмаза при температурах ниже температуры проведения процесса. Перед употреблением рабочего раствора дополнительно вводили активаторы процесса: водорастворимые органические поверхностно-активные вещества и неорганические вещества с сильными восстановительными свойствами. Стальные образцы помещали и выдерживали в ванне со специально приготовленной водной суспензией, нагретой до температур проведения процесса. Для подготовки поверхности стальные образцы предварительно обезжиривали и выдерживали в растворе соляной или серной кислоты в течение 2 минут, а после каждой операции подготовки и химической обработки поверхности образцы промывали в воде. В работе процессы НГХО изучали на быстрорежущей стали P18 (18% W).

Для изучения структуры и фазового состава упрочненных быстрорежущих сталей применяли микроструктурный, рентгеноструктурный, дюриметрический и микрорентгеноспектральный анализы.

Испытания механических свойств быстрорежущих

сталей после УТЦО и стандартной термообработки проводили на специальных образцах: для определения ударной вязкости использовали образцы размером  $10 \times 10 \times 55$  мм без надреза, для определения прочности на изгиб применяли образцы размером  $5 \times 10 \times 55$  мм; определение твердости по Роквеллу осуществляли на поверхности выше упомянутых образцов. Сравнительные испытания на износ проводили путем фрезерования нержавеющей стали 40X13 (HВ 320) концевыми фрезами (диаметром 8 мм) из быстрорежущих сталей, подвергнутых УТЦО, НГХО и традиционной термообработке. Режимы резания этих упрочненных фрез были следующие: скорость фрезерования  $V_c=29,9$  м/мин, подача  $f_z=0,01$  мм, глубина фрезерования  $a_p=2$  мм, ширина фрезерования  $a_f=8$  мм. Показатель относительной износостойкости инструмента определяли по формуле  $K_w=t_2/t_1$ , где  $t_1$  - время работы (или длина рабочего хода) концевой фрезы, обработанной традиционной термообработкой,  $t_2$  - время работы концевой фрезы, обработанной УТЦО до образования критериального значения лунки износа  $VB_{max}$ , равного 0,25 мм.

**Результаты исследований.** (1) Сравнительные данные по твердости, ударной вязкости, прочности на изгиб и износостойкости концевых фрез из исследуемых быстрорежущих сталей S6-5-2, P6M5, P18, P6M5K5, которые были обработаны по традиционной технологии термообработки (Трад.ТО) и оптимальному режиму упрочняющей термоциклической обработки (УТЦО) с двумя термоциклами, представлены на рис. 3. Для равноценного сравнения указанных свойств условия закалки каждой марки быстрорежущих сталей (температура нагрева под закалку и время выдержки при ней, скорость закалочного охлаждения) при проведении УТЦО и традиционной термообработки были одинаковыми.

На основании полученных данных следует отметить, что применение УТЦО для различных быстрорежущих сталей приводит к одновременному повышению ударной вязкости быстрорежущих сталей в 1,5-1,7 раза, прочности на изгиб на 10-15% и поверхностной твердости на HRC 1,5-2,5 выше, по сравнению с традиционной термообработкой.

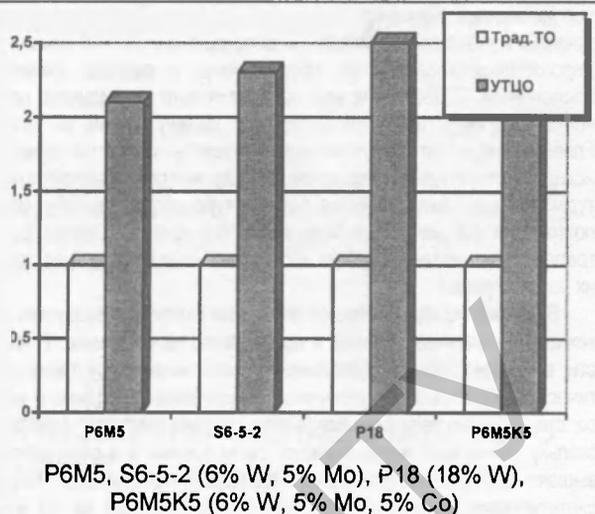
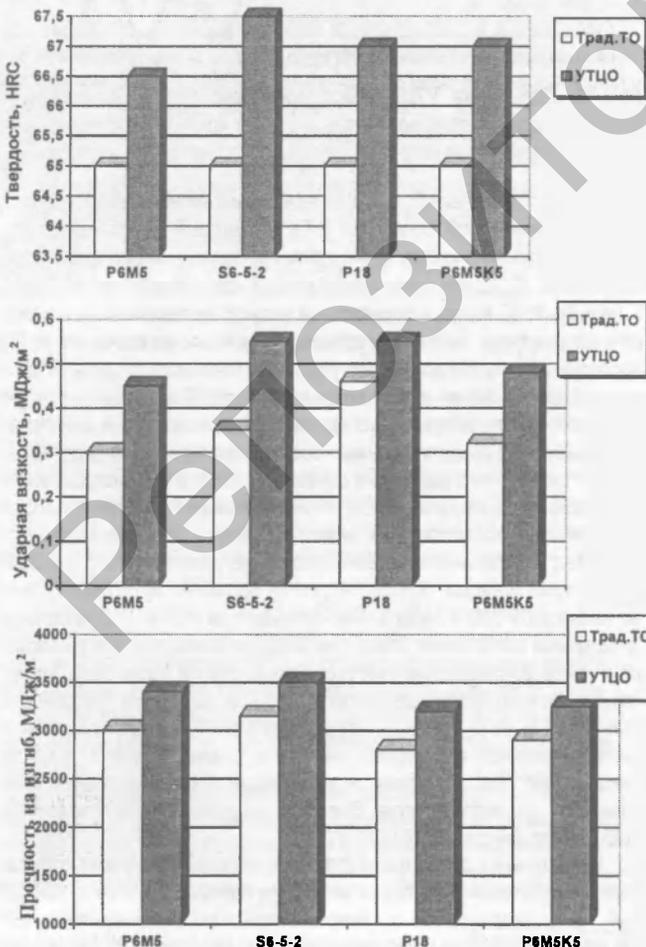


Рис. 3. Сравнительные свойства термически упрочненных быстрорежущих сталей

В качестве примера на рис. 4. представлены сравнительные микроструктуры быстрорежущей стали P18, упрочненной традиционной термообработкой и УТЦО с двумя термоциклами.

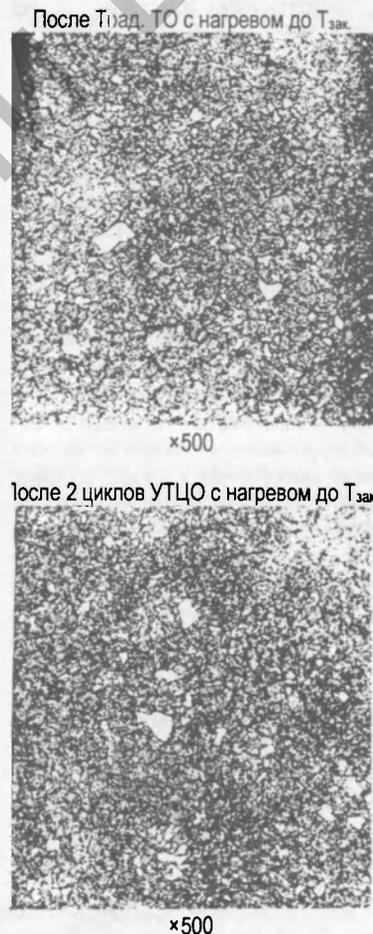


Рис. 4. Микроструктуры термически упрочненных фрез из быстрорежущей стали P18

Результаты исследования микроструктуры (табл. 1) по методике работ [20, 21], химического (табл. 2) и фазового состава (табл. 3) термически упрочненной быстрорежущей стали P18 показали, что улучшение механических и технологических свойств после ее УТЦО, связано с измельчением зерен, уменьшением размера карбидных частиц, однородным распределением карбидной фазы в объеме

Таблица 1. Структурные параметры быстрорежущей стали P18 (18%W)

Режим термообработки	Балл зерна	V, %	D, мкм	S, мм <sup>2</sup>	l, мкм	Δ, мкм
<b>Традиционная термообработка</b>						
	10-11	13,1	1,18	446	7,8	1,05
<b>Окончательная термоциклическая термообработка</b>						
2 термоцикла	11-12	9,1	0,85	424	8,6	0,86
3 термоцикла	12	9,4	0,83	453	8,1	0,82

Для первичных и вторичных карбидных частиц, размеры которых менее 5 мкм:

V\* - объемная доля карбидной фазы

D\* - средний диаметр карбидных частиц

S\* - удельная межфазная поверхность карбидных частиц

l\* - среднее расстояние между карбидными частицами на плоскости

Δ\* - среднее расстояние между карбидными частицами в пространстве

Таблица 2. Химический состав α-твердого раствора быстрорежущей стали P18

Режим термообработки	W, %	Cr, %	V, %	Mo*, %	Fe, %
<b>Традиционная термообработка</b>					
	8,2	4,56	0,86	-	84,4
<b>Окончательная термоциклическая термообработка</b>					
2 термоцикла	8,7	4,67	1,03	-	83,1
3 термоцикла	9,3	4,64	0,98	-	83,6

Таблица 3. Результаты рентгеноструктурного анализа быстрорежущей стали P18

Режим термообработки	Угол отражения от плоскости (110) α-твердого раствора	Содержание остаточного аустенита в стали, %
<b>Традиционная термообработка</b>		
	28,25	5-7
<b>Окончательная термоциклическая термообработка</b>		
2 термоцикла	28,35	3-4
3 термоцикла	28,35	3

металла, повышением степени легированности мартенсита вольфрамом, ванадием и хромом, уменьшением в закаленной стали количества остаточного аустенита.

(2) В настоящей работе разработан и исследован низкотемпературный процесс поверхностного упрочнения режущего инструмента методом наногидрохимической обработки (НГХО). Как отмечалось ранее в методике исследований, этот процесс включает в себя 2 операции: химическую обработку в водной суспензии на базе ультра- нанокарбида титана и карбидообразующих компонентов и последующую термообработку.

Отмечено, что процесс низкотемпературной наногидрохимической обработки (НГХО) имеет двойственный характер упрочнения: во 1-х, на поверхности стали формируются антифрикционные дискретные покрытия толщиной 0,5-4 мкм, содержащие включения ультрадисперсного и наноразмерного карбида титана (рис.5), во 2-х, на глубине 1-2 мм в обрабатываемой стали формируется зона повышенных напряжений сжатия и изменяется химический состав подложки путем ее пропитки наноразмерными частицами карбида титана.

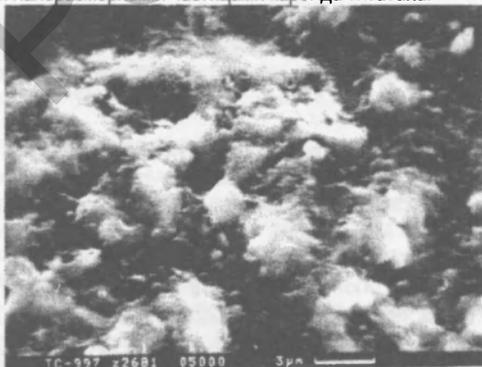
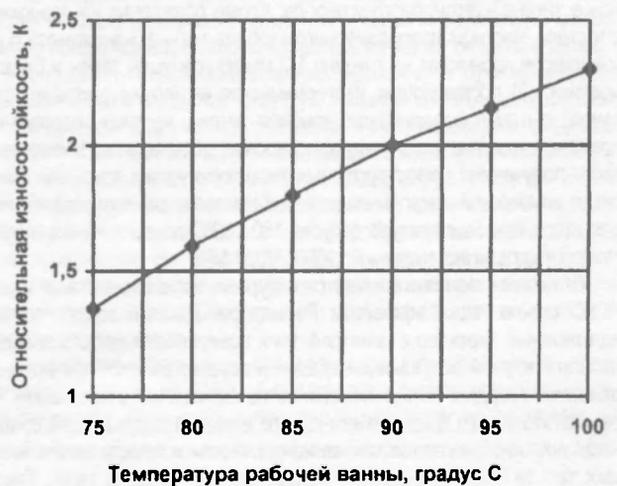


Рис. 5. Микроструктура поверхности быстрорежущей стали P18 после НГХО

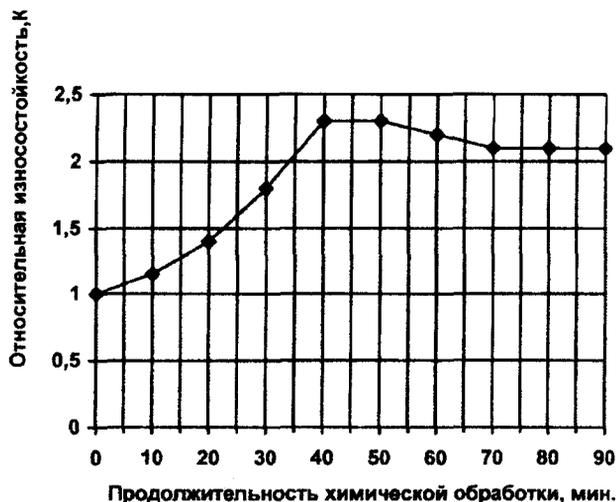
В результате проведения сравнительных испытаний фрез, упрочненных методом НГХО, установлено, что их износостойкость зависит от химического состава и кислотности водной суспензии, температуры и времени проведения процесса химической обработки. Наиболее приемлемыми параметрами химической обработки являются: температура 90-100°C (рис.6.а), время 40-60 мин. (рис.6.б), кислотность рабочей ванны pH 5,5-8,0, что позволяет достичь максимальной износостойкости фрез. Проведение последующей термической выдержки при НГХО повышает износостойкость стального инструмента. Оптимальными параметрами термообработки сталей в окислительной среде являются: температура 150-200°C, время 1-1,5 часа



а)

Таблица 4. Результаты испытаний режущего инструмента, комбинированно упрочненного УТЦО и НГХО

Вид инструмента	Марка быстрорежущей стали	Повышение стойкости инструмента, раз
фрезы	P6M5, S6-5-2, P18	1,8 – 6,3
резцы	P6M5	1,6 – 4,5
сверла	P6M5, S6-5-2, P18	1,9 – 4,2
развертки, зенкера	P6M5, P18, P9M4K8МП	1,8 – 4,0
метчики	P6M5, S6-5-2, P18, P9M4K8МП	2,0 – 10,8
протяжки	P6M5, P18	1,8 – 2,6
долбяки	P6M5	1,6 – 2,1



б)

Рис. 6. Влияние температурно-временных параметров обработки фрез из быстрорежущей стали P18 в химическом составе при НГХО на их износостойкость

Проведенные нами стендовые испытания по схеме «упрочненный образец – контртело» без смазки показали, что наногидрохимическая обработка быстрорежущей стали P18 (HRC 65) позволила снизить ее коэффициент трения скольжения в паре с нержавеющей сталью 40X13 (HRC 30) до значений 0,2-0,3.

Предполагаемая картина поверхностного наногидрохимического упрочнения, по-видимому, следующая: (а) при химической обработке в водном составе на базе ультра-, нанокрибида титана и карбидообразующих компонентов на поверхности стали осаждаются ультрадисперсные и наноразмерные включения наноалмаза, нанокрибида титана и металлоорганические комплексы на их основе. Нанокрибид титана синтезируется в водной суспензии из карбидообразующих компонентов только в присутствии ультрадисперсных и наноразмерных зародышей карбида титана в результате химического взаимодействия ионов титана и атомарного углерода. Кроме осаждения на поверхности стали, частицы наноразмерного карбида титана, наноалмаза и их комплексов проникают на глубину 1-2 мм по границам зерен и блоков мозаики; (б) последующая изотермическая выдержка разлагает эти комплексы до наноразмерного карбида титана, частицы которого со временем коагулируют в ультрадисперсные образования. Микротвердость полученных наноструктурных термохимических покрытий зависит от химической природы подложки и температуры термообработки; для стали при температуре отпуска 150-200°C поверхностная микротвердость достигает значений 11000-20000 МПа.

Объяснить положительные структурные изменения стали после НГХО можно также эффектом Ребиндера. Данный эффект носит адгезионный характер взаимодействия поверхности любого твердого тела с жидкой окружающей средой и осуществляется при взаимодействии твердых тел с поверхностно-активными веществами. В результате такого физико-химического влияния окружающей среды чаще всего наблюдается снижение прочности и пластичности твердых тел за счет уменьшения поверхностной энергии тела. Такое влияние носит обратимый характер, т.е. после удаления с по-

верхности твердого тела поверхностно-активных веществ механические свойства тел обычно полностью восстанавливаются. Однако имеется несколько примеров, когда в результате прекращения воздействия среды на материал его механические свойства, в т.ч. сопротивляемость разрушению и износу, не только восстанавливаются, но и возрастают [22].

**Применение результатов исследований.** Многочисленные промышленные и лабораторные испытания режущего инструмента из быстрорежущих сталей показали, что комбинирование разработанных методов объемного и поверхностного упрочнения (УТЦО и последующая НГХО) позволило в 1,6 – 10,8 раза повысить эксплуатационную стойкость инструмента по сравнению с традиционно термообработанным (табл.4). Причем использование только одного вида упрочнения режущего инструмента (либо УТЦО, либо НГХО) не дает такого высокого результата в повышении износостойкости, как при оптимальном комбинировании этих методов.

Наибольшие показатели износостойкости поверхностно и объемно упрочненного инструмента достигаются при резании нержавеющей, жаропрочных, титановых и других труднообрабатываемых сплавов. Применяя комбинированный способ упрочнения можно повысить производительность режущего инструмента до 30% и обрабатывать материалы с твердостью до HRC 45-50, заменив в некоторых случаях дорогостоящий твердосплавный инструмент на более дешевый стальной.

#### Заключение

1. Разработан простой и экономичный способ объемного термоциклического упрочнения УТЦО, который одновременно повышает взаимно противоположные свойства: твердость (прочность) наряду с вязкостью быстрорежущих сталей, что положительно сказывается на износостойкости режущего инструмента.

Улучшение структурно-зависимых свойств быстрорежущих сталей, подвергнутых УТЦО, связано с измельчением зерен, уменьшением размера карбидных частиц, однородным распределением дисперсных карбидов, повышением степени легированности мартенсита и снижением содержания остаточного аустенита в структуре стали.

2. Предложен простой, высокопроизводительный и эффективный метод поверхностного наногидрохимического упрочнения НГХО, который формирует на поверхности инструмента наноструктурные покрытия на основе упрочняющей фазы с высокими антифрикционными свойствами.

3. Комбинирование новых способов объемного и поверхностного упрочнения: УТЦО и НГХО позволяет в 1,6 – 10,8 раза повысить эксплуатационную стойкость режущего инструмента по сравнению со стандартным.

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Чудина, О.В. Комбинированные технологии поверхностного упрочнения конструкционных сталей: дис. ... докт. техн. наук / О.В. Чудина. – Москва, 2004. – 336 с.
2. Федоров, С.В. Комбинированная поверхностная ионно-плазменная обработка инструмента из быстрорежущей стали: дис. ... канд. техн. наук / С.В. Федоров. – Москва, 2004. – 108 с.
3. Суханов, Р.С. Повышение износостойкости прорезных фрез на операции фрезерования пазов в язычковых иглах комбиниро-

- ванными ионно-лазерным упрочнением: дис. ... канд. техн. наук / Р.С. Суханов. – Иваново, 2003. – 108 с.
4. Вернер, А.К. Комбинированное упрочнение инструмента покрытием на основе нитрида титана: дис. ... канд. техн. наук / А.К. Вернер. – Москва, 1994. – 120 с.
  5. Власов, С.Н. Повышение работоспособности режущего инструмента путем комбинированной упрочняющей обработки: дис. ... канд. техн. наук / С.Н. Власов. – Ульяновск, 2000. – 294 с.
  6. Федюкин, В.К. Научное обоснование и разработка технологий улучшающей термоциклической обработки металлических материалов: дис. ... докт. техн. наук / В.К. Федюкин. – Санкт-Петербург, 1993. – 323 с.
  7. Гурьев, А.М. Экономно-легированные стали для литых штампов горячего деформирования и их термоциклическая и химико-термоциклическая обработка: дис. ... докт. техн. наук / А.М. Гурьев. – Томск, 2001. – 487 с.
  8. Забелин, С.Ф. Основы технологии и кинетической теории процессов диффузионного насыщения сталей в условиях термоциклического воздействия на материал: дис. ... докт. техн. наук / С.Ф. Забелин. – Чита, 2004. – 219 с.
  9. Лыгденов Б.Д. Фазовые превращения в сталях с градиентными структурами, полученными химико-термической и химико-термоциклической обработкой: дис. ... канд. техн. наук / Б.Д. Лыгденов. – Новокузнецк, 2004. – 226 с.
  10. Федюкин В.К. Термоциклическая обработка сталей и чугунов. – Л.: ЛГУ, 1977, - 143 с.
  11. Федюкин В.К. Метод термоциклической обработки металлов. – Л.: ЛГУ, 1984, - 192с.
  12. Термоциклическая обработка сталей, сплавов и композиционных материалов. / Под ред. М.Х. Шоршорова – М.: Наука, 1984, - 186 с.
  13. Федюкин В.К., Смагоринский М.Е. Термоциклическая обработка металлов и деталей машин. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1989, - 255 с.: ил.
  14. M.G. Hocking, V.Vasantasree, P.S.Sidky Metallic and Ceramic Coatings. Production, Properties and Applications – London, New York, 2000, 518 p.
  15. Балабанов В.И., Ищенко С.А., Беклемышев В.И. Триботехнологии в техническом сервисе машин. - М.: Изумруд, 2005.- 192 с.
  16. Гаркунов Д.Н., Корник П.И. Виды трения и износа. Эксплуатационные повреждения деталей машин. - М.: Изд-во МСХА, 2003. –344 с.
  17. 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.
  18. Мельников, П.С. Справочник по гальванопокрытиям в машиностроении / П.С. Мельников - 2-е изд. - М.: Машиностроение, 1991.- 384 с.
  19. Вансовская, К.М. Металлические покрытия, нанесенные химическим способом / К.М. Вансовская - Л.: Машиностроение, Ленингр. Отделение, 1985.- 103 с.
  20. Пилющенко, В.Л. Справочник по практическому металловедению / В.Л. Пилющенко, Б.Б. Винокур, С.Е. Кондратюк. – К.: Техника, 1984. - 135 с.
  21. Вязкость разрушения и прочность порошковых быстрорежущих сталей / К.Ю. Сокольчук [и др.] // Металловед. и термич. обр. мет. – 1988. - №1. - С. 29-32.
  22. Фридман, Я.Б. Механические свойства металлов. / Я.Б. Фридман - М.: Машиностроение, 1974. - Т.2 - 135 с.

Материал поступил в редакцию 07.04.08

#### SHMATOV A.A. THE COMBINED VOLUMETRIC - SUPERFICIAL HARDENING OF THE STEEL CUTTING TOOL

Clause is devoted to the combined hardening of the steel cutting tool optimum combining thermal cyclic processing and nanohydrochemical processing. Two methods of processing are considered. The first offered method of thermal cyclic processing increases durability structure of quickly cutting steel in all its volume, simultaneously raising hardness and durability of steel alongside with its viscosity. The second process low temperature nanohydrochemical processing is intended for superficial hardening of the tool by a phase, increasing durability, by processing a steel surface in water carbide-forming structures and subsequent holiday.