

полученные экспериментальным путем числовые значения составляющих сил резания могут служить основой расчета при разработке и проектировании новых конструкций режущего инструмента;

разработанные конструкции составных двухлезвийных резцов позволяют применять к каждой из режущих кромок в отдельности различные упрочняющие технологии, что практически невозможно при цельной конструкции двухлезвийного резца.



Рисунок 6 – Составные двухлезвийные резцы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Боровиков Е.М., Фефилов Л.А., Шестаков В.В. Лесопиление на агрегатном оборудовании, М., «Лесная промышленность», 1985. – 205 с. 2. Раповец В.В., Бурносов Н.В., Станкевич А.А. Методика установления работоспособности резцов спиральных фрез фрезерно-брусующей машины // Материалы международной НТК «Ресурсо- и энергосберегающие технологии и оборудование, экологически безопасные технологии», Минск, 16-18 ноября 2005г.– С. 306-309. 3. Раповец В. В., Бурносов Н. В. Возможности управления качественными и силовыми показателями процесса формирования технологической щепы двухлезвийными резцами на фрезерно-брусующих станках // Научный журнал «Труды БГТУ». Сер. II. Лесная. и деревообраб. пром-сть.–2007. – Вып. XV. – С.251-255.

УДК 621.7

Шматов А. А., Девойно О.Г.

КОМБИНИРОВАННОЕ УПРОЧНЕНИЕ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА ИЗ БЫСТРОРЕЖУЩЕЙ СТАЛИ

*Белорусский национальный технический Университет
Минск, Беларусь*

Введение. Поскольку технический прогресс развивается в направлении снижения себестоимости продукции, а это невозможно без применения высокопроизводительных процессов и использования износостойких инструментов, задача повышения эксплуатационной стойкости режущего и штампового инструмента остается актуальной. Только по данным предприятия БелАЗ годовой выпуск стального режущего инструмента составляет около 10 млн. долларов США. Разумеется в этих условиях повышение стойкости 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 слу-

чается, 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.

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 [1-4 и др.]. При этом комбинируют методы химико-термической, лазерной, ионно-плазменной, ультразвуковой, вибро-механической и прочие виды поверхностных обработок. Напротив, известно незначительное число работ [5-8] по химико-термоциклической обработке (ХТЦО) стального инструмента и изделий,



Рисунок 1- Диаграмма традиционной термической обработки быстрорежущей стали

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.

В данной работе предложены новые процессы упрочнения инструмента: для объемного упрочнения - (1) упрочняющая термоциклическая обработка (УТЦО), а для поверхностного упрочнения - (2) низкотемпературная наногидрохимическая обработка (НГХО). При комбинировании этих процессов открываются большие возможности их практического применения.

Целью настоящей работы явилось (а) разработка и исследование дешевых и высокоэффективных методов объемного (УТЦО) и поверхностного (НГХО) 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 только один вариант упрочняющей термоциклической обработки (УТЦО) быстрорежущих сталей, который согласно опубликованным данным [5, 9-11], является наиболее эффективным. В отличие от традиционной термообработки (рис.1), выбранный процесс УТЦО включает многократный нагрев и охлаждение стали выше и ниже критической точки A_1 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).

(2) В работе разработан и изучен низкотемпературный процесс наногидрохимической обработки (НГХО) 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, карбидосодержащих 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 прове-



Рисунок 2- Диаграмма УТЦО быстрорежущей стали, включающая термоциклирование выше и ниже критической точки A_1 с закалочным охлаждением на последнем цикле и отпуском

дения процесса. Для подготовки поверхности стальные образцы предварительно обезжировали и выдерживали в растворе соляной или серной кислоты в течение 2 минут.

Для изучения структуры и фазового состава упрочненных быстрорежущих сталей применяли микроструктурный, рентгеноструктурный, дюриметрический и микрорентгеноспектральный анализы. Сравнительные испытания на износ проводили путем фрезерования нержавеющей стали 40Х13 (НВ 320) концевыми фрезами (диаметром 8 мм) из быстрорежущих сталей, подвергнутых УТЦО, НГХО и традиционной термообработке. Режимы резания этих 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 упрочненной концевой фрезы до образования критерияльного 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 быстрорежущих сталей S6-5-2, P6M5, P18, P6M5K5, объемно упрочненных традиционной термообработкой (Трад.ТО) и упрочняющей термоциклической термообработкой (УТЦО) с двумя термоциклами, представлены на рис. 3. Для равноценного сравнения указанных свойств условия закалки быстрорежущих сталей при проведении УТЦО и традиционной термообработки были одинаковыми.

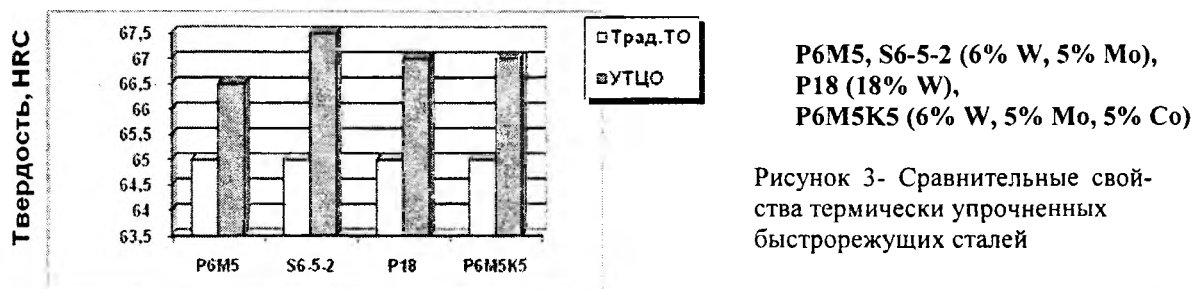
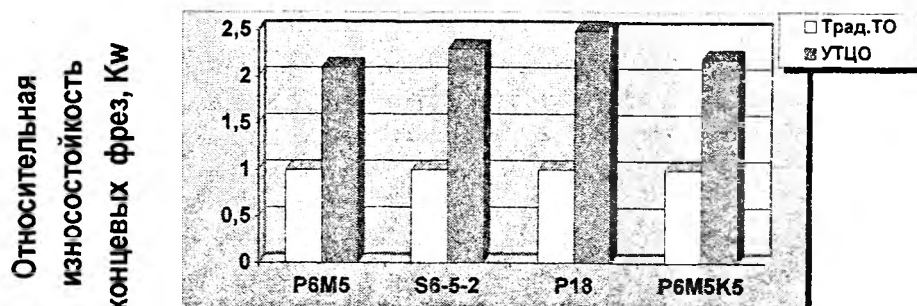
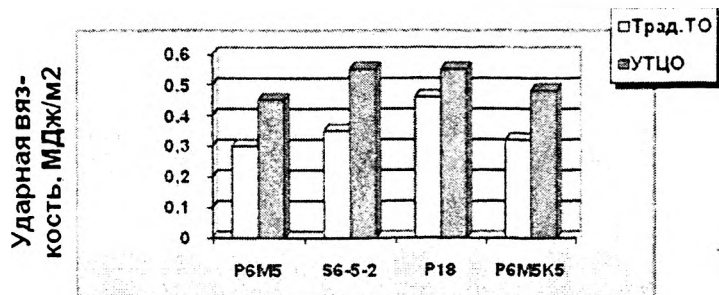
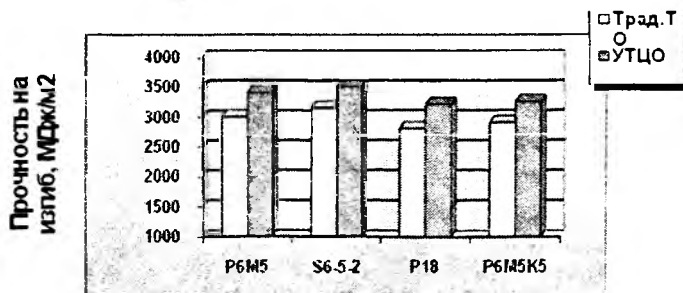


Рисунок 3- Сравнительные свойства термически упрочненных быстрорежущих сталей



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

Сравнительные микроструктуры быстрорежущей стали P18, упрочненной традиционной термообработкой и УТЦО с двумя термоциклами представлены на рис.4.

Результаты исследования микроструктуры, химического и фазового состава термически упрочненной быстрорежущей стали P18 показали, что улучшение свойств после ее УТЦО, связано с измельчением зерен, уменьшением размера карбидных частиц, однородным распределением карбидной фазы в объеме металла, повышением степени легированности мартенсита вольфрамом, ванадием и хромом, уменьшением в закаленной стали количества остаточного аустенита.

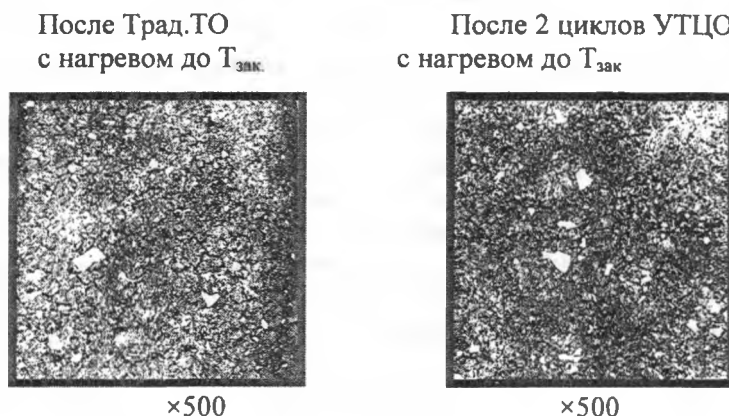


Рисунок 4- Микроструктуры термически упрочненных фрез из стали P18

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

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, время 40-60 мин., кислотность рабочей ванны PH 5,5-8,0, что позволяет достичь максимальной износостойкости фрез. Проведение последующей термической выдержки при НГХО также повышает износостойкость стального инструмента. Оптимальными параметрами отпуска инструментальной стали в окислительной среде являются: температура 150-200°C, время 1-1,5 часа.

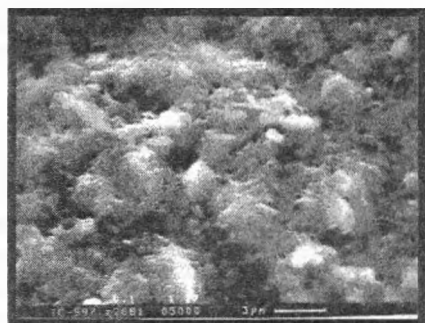


Рисунок 5. Микроструктура поверхности быстрорежущей стали P18 после НГХО

Отмечено, что процесс низкотемпературной наногидрохимической обработки (НГХО) имеет двойственный характер упрочнения: во-1-х, на поверхности стали формируются анти-

фрикционные 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.

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 наногидрохимического упрочнения, по-видимому, следующая: (а) при химической обработке в водном составе на базе ультра-, нанокарбида титана и карбидообразующих компонентов на поверхности стали осаждаются включения наноалмаза, нанокарбида титана, металлоорганические комплексы на их основе. Нанокарбид титана синтезируется в водной суспензии из карбидообразующих компонентов в присутствии 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.

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 поверхности 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 [12].

Применение результатов исследований. Многочисленные промышленные и лабораторные испытания инструмента показали, что комбинирование разработанных методов объемного и поверхностного упрочнения (УТЦО и последующая НГХО) позволило повысить эксплуатационную стойкость только режущего инструмента из быстрорежущих сталей в 1,6 – 10,8 раза выше по сравнению со стандартным (табл.1). Причем использование только одного вида упрочнения 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.

Таблица 1. 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

Процессы УТЦО и НГХО использованы на предприятиях Беларуси и России.

Выводы.

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 и высокопроизводительный 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.

ЛИТЕРАТУРА

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. Комбинирован-

ная 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 комбинированным ионно - лазерным упрочнением: дис. ... канд. техн. наук / Р.С. Суханов. – Иваново, 2003. – 108 с. 4. Власов, С.Н. Повышение работоспособности режущего инструмента путем комбинированной упрочняющей обработки: дис. ... канд. техн. наук / С.Н. Власов. – Ульяновск, 2000. – 294 с. 5. 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. 6. Гурьев, А.М. Экономнолегированные стали для литых штампов горячего деформирования и их термоциклическая и химико-термоциклическая обработка: дис. ... докт. техн. наук / А.М. Гурьев. – Томск, 2001. – 487 с. 7. 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. 8. Лыгденев Б.Д. Фазовые превращения в сталях с градиентными структурами, полученными химико-термической и химико-термоциклической обработкой: дис. ... канд. техн. наук / Б.Д. Лыгденев. – Новокузнецк, 2004. – 226 с. 9. Федюкин В.К. Метод термоциклической обработки металлов. – Л.: ЛГУ, 1984, - 192с. 10. Термоциклическая обработка сталей, сплавов и композиционных материалов. / Под ред. М.Х. Шоршорова – М.: Наука, 1984, - 186 с. 11. Федюкин В.К., Смагоринский М.Е. Термоциклическая обработка металлов и деталей машин. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1989, - 255 с.: ил.. 12. Фридман, Я.Б. Механические свойства металлов. / Я.Б. Фридман - М.: Машиностроение, 1974. - Т.2 - 135 с.

УДК 621.94.084

Дечко Э.М., Колесников Л.А., Брилевский В.В.

ДЕПЛАНАЦИЯ ШНЕКОВЫХ СВЕРЛ

Белорусский национальный технический университет,
Минск, Беларусь

Одно из важнейших преимуществ шнековых сверл, применяемых при глубоком сверлении сталей, заключается в интенсивном дроблении стружки в зоне резания. Мелкая стружка легко удаляется из зоны резания, что исключает необходимость вывода шнекового сверла при работе. Для интенсификации процесса глубокого сверления требуется учитывать факторы, влияющие на стабильность процесса дробления стружки при сверлении такими сверлами. При глубоком сверлении в системе СПИД наименее жесткое звено, сверло, испытывает крутильные, изгибные, продольные и радиальные колебания. При разработке принципов интенсификации процесса глубокого сверления отверстий возможно использовать особенности конструкций шнековых сверл и процесса резания, включающие сочетание следующих факторов:

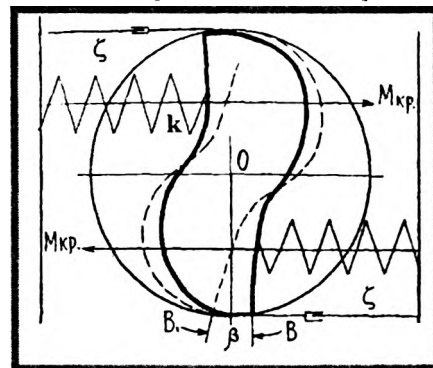


Рисунок 1 – Динамическая модель крутильных колебаний шнекового сверла

- а) возникновение самоустанавливающихся низкочастотных колебательных движений режущих кромок по винтовой линии за счет низкой крутильной жесткости транспортирующей части;
 - б) устойчивое дробление стружки за счет специальной заточки режущей части в сочетании с колебаниями частотой до 300 Гц;
 - в) отвод стружки из зоны резания по стружечным канавкам с углом $\omega = 60^\circ$.
- Ранее было установлено, что дроблению стружки способствуют интенсивные крутильные колебания сверла в процессе сверления, связанные с особенностями деформации шнековых сверл [1]:
- а) при врезании в заготовку наблюдается предварительное раскручивание спирали сверла на величину $\epsilon 0$, что приводит к удлинению сверла;