

УДК 621. 755

УПРОЧНЕНИЕ БЫСТРОРЕЖУЩЕЙ СТАЛИ ДИНАМИЧЕСКИМ МИКРОЛЕГИРОВАНИЕМ И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

© 2015 В.П. Киреев

Самарский государственный университет путей сообщения

Статья поступила в редакцию 06.11.2015

Рассмотрено применение динамического микролегирования в совокупности с термической обработкой (ДМТО) для упрочнения заготовок из быстрорежущей стали и его влияние на свойства и износостойкость режущей части инструмента, изготовленного из упрочненной быстрорежущей стали. Установлено, что в сталях, подвергнутых ДМТО, происходят структурные изменения, приводящие к изменению их твёрдости и микротвёрдости. Показано, что при работе на модельных образцах и в производственных условиях применение ДМТО для упрочнения заготовок режущей части приводит к увеличению периода стойкости режущего инструмента.

Ключевые слова: быстрорежущая сталь, упрочнение, динамическое микролегирование, структура, твёрдость, износостойкость, режущий инструмент.

Совершенствование конструкционных материалов, применяемых в машиностроении, предопределяет разработку новых и упрочнение существующих инструментальных материалов. При этом быстрорежущие стали продолжают оставаться основным материалом при изготовлении режущей части сложного и осевого обрабатывающего инструмента [1].

Известно, что износостойкость инструмента зависит от структуры и физико-механические свойства материалов обрабатываемой заготовки и режущей части инструмента [2].

Одним из многочисленных способов воздействия на структуру быстрорежущей стали является объёмное упрочнение цилиндрических заготовок высокоскоростным потоком рабочего вещества в совокупности с термической обработкой (ДМТО). Микрочастицы с размерами до 100 мкм разгоняются кумулятивной струёй до скоростей 1500...2000 м/с. При этом они, проникая в преграду на глубины порядка $h/R \leq 10^5$ (где h – глубина проникновения, а R – радиус микрочастицы), на пути своего движения воздействуют на структуру материала, изменяя её в прилегающих к следу микрообластях [3, 4, 5, 6, 7]. В процессе ДМТО образуется сеть микроканалов с плотностью один микроканал на 1400...1700 мкм² площади сечения образца. За счёт микропластических деформаций такая обработка, вносит микро-искажения в структуру материала, что после выполнения термообработки приводит к образованию микрообластей с повышенной плотностью внутренней энергии.

При выполнении экспериментальных работ были использованы быстрорежущие стали, применяемые в машиностроении для изготовления ре-

жущего инструмента марок P6M5K5, P9K5, P9M4K8 с химическим составом по ГОСТ 19265 – 73.

Для определения твёрдости HRC, красностойкости, микротвёрдости и износостойкости из заготовок показанных на рис. 1 были изготовлены образцы диаметром 8мм и длиной 20 мм с лысками, выполненными параллельно оси. Обработку высокоскоростным потоком рабочего вещества выполняли в специальном приспособлении [3, 7] в направлении перпендикулярном к торцу образца. Для обработки использовалась порошковая смесь на основе карбонитрида титана с гранулометрическим составом менее 63 мкм.

Термическую обработку образцов осуществляли по следующим режимам: закалка в масле с различных температур в диапазоне от 1170 до 1255 °С; и трёхкратный отпуск при различных температурах от 540° С до 580 °С по 1 часу за каждый раз с охлаждением на воздухе. Нагрев под закалку осуществляли в соляной ванне с расплавом из смеси хлористого бария – 95% и фтористого магния – 5%.



Рис. 1. Заготовки после обработки высокоскоростным потоком рабочего вещества

Киреев Владимир Павлович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительные дорожные машины и технология машиностроения». E-mail: vlapky@mail.ru

Температуру контролировали при помощи платино-платинородиевой термопары. Нагрев под закалку выполняли в три ступени. Первая ступень – подогрев до 400 °С в камерной печи, вторая ступень – нагрев до температуры 850 °С, окончательный нагрев до температуры аустенизации и необходимая выдержка при этой температуре. Охлаждение выполняли в масляной ванне с перемешиванием масла сжатым воздухом.

При определении красностойкости закалённые с различных температур и трёхкратно отпущенные образцы дополнительно подвергали четырёхчасовой выдержке при температуре 645 °С с последующим охлаждением на воздухе, после чего фиксировалось необратимое разупрочнение, [10].

Микроструктуру сталей изучали при помощи светового микроскопа МИМ – 8М, а микротвёрдость (Н) и твёрдость (HRC) по стандартным методикам [8, 9]. Красностойкость определяли измерением твёрдости HRC после четырёхчасового нагрева при 645 °С [10].

В сталях происходят значительные структурные изменения. ДМТО приводит к снижению содержания вторичных карбидов. К сожалению, методом оптической металлографии, не удалось определить содержание вторичных карбидов дисперсного твердения. Об изменениях вносимых ДМТО в структуру стали можно судить по перераспределению легирующих элементов (вольфрама, молибдена, ванадия) в приканальной области. Их концентрация уменьшается обратно пропорционально расстоянию от микроканала, образуя зоны с повышенной внутренней энергией. Наличие этих зон должно способствовать повышению эксплуатационных свойств быстрорежущей стали.

О структурных изменениях также можно судить по изменению микротвёрдости и красностойкости. Увеличение теплостойкости и микротвёрдости твёрдого раствора в образцах, подвергнутых ДМТО, указывает на повышение легированности аустенита, что способствует повышению работоспособности быстрорежущей стали, повышению работоспособности режущего

Таблица 1. Используемые инструменты, порошковый состав, быстрорежущие стали

Порошковый состав TiCN + Ni		
Инструменты		
Фрезы, диаметром 8,0 мм	Резцовые вставки, 8,5 мм	Свёрла, диаметром 4,15 мм
Сталь P9K5	Стали P6M5K5 P9K5 P9M4K8	Сталь P9K5

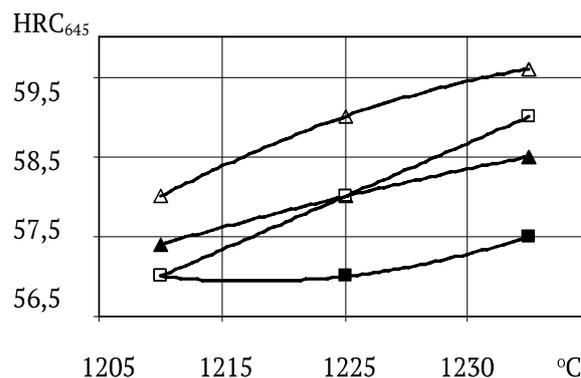


Рис. 2. Красностойкость быстрорежущих сталей:

- Δ, ▲ – ДМТО,
- , ■ – контрольные образцы
- ▲, ■ – сталь P6M5K5
- Δ, □ – сталь P9M4K8

клина инструмента, сопротивлению его поверхности истиранию, а, следовательно, и износу.

Исследования износостойкости выполнялись на инструментах, режущая часть которых была изготовлена из различных марок быстрорежущих сталей (смотри табл. 1) Для этой цели были изготовлены резцовые вставки диаметром 8,5мм, свёрла диаметром 4,15мм и фрезы диаметром 8,0мм (рис. 3). Кроме того изучалось влияние скорости резания на износостойкость резцов при точении заготовок из конструкционных материалов.

Заготовки, из которых изготавливались фрезы диаметром 8,0 мм, свёрла диаметром 4,15 мм и резцовые вставки были подвергнуты динамическому микролегированию порошковым составом, представленным в табл. 1 и последующей термической обработке.

Термическую обработку инструмента из стали P9K5 выполняли по следующим режимам. Нагрев под закалку осуществляли в соляных ваннах при температуре (1230 ± 10) °С с вы-



Рис. 3. Свёрла и фреза

Таблица 2. Геометрия режущего инструмента и режимы резания при испытаниях на износостойкость

Вид инструмента	Материал режущей части	Геометрия режущей части, град.	Скорость резания V, м/мин	Глубина резания t, мм	Подача S
Резец	P6M5K5 P9K5 P9M48	$\gamma = 12$ $\alpha = 8$ $\varphi_1 = 30$ $\varphi_2 = 15$	15...70	0,5	0,3 мм/об
Фрезы диаметром 8,5 мм	P9K5	$z = 4$ $\gamma = 10$ $\alpha = 12$ $\omega = 35$	6,46	8,5	ручная
Свёрла диаметром 4,15 мм	P9K5	γ - переменный $\alpha = 10$ $\omega = 35$	$n = 125$ об/мин	d/2	ручная

держкой при этой температуре фрез 2 мин. 13с, а свёрл – 1 мин 45с. Охлаждение с температуры закалки выполняли в закалочной среде (масло) до комнатной температуры. После этого выполняли трёхкратный отпуск при температуре 560°С. После термообработки твёрдость режущей части составляла 65...66 HRC.

Испытания на износостойкость свёрл и фрез выполняли в производственных условиях при обработке деталей изделий (результаты представлены на рис. 4 и в табл. 3), а испытания на износостойкость резцов выполняли при точении модельных образцов в широком диапазоне скоростей резания. Во всех случаях изготавливали контрольные инструменты, износостойкость которых T_0 , [мин] принималась за базовую. Гео-

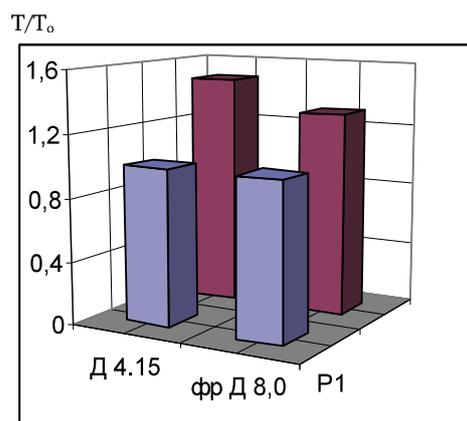


Рис. 4. Относительная износостойкость свёрл и фрез

Таблица 3. Результаты сравнительных испытаний инструмента на износостойкость

Вид инструмента	Порошковый состав	Критерий износа h _з , мм	Относительная износостойкость T _i /T ₀	Обрабатываемый материал
Свёрла диаметром 4,15 мм	на основе карбонитрида титана	0,2	1,49	X18H10T
	контрольные		1,0	
Фрезы диаметром 8,5 мм	на основе карбонитрида титана	0,2	1,3	ХН68 МВТЮК -ВД
	контрольные		1,0	

метрия и режимы резания представлены в табл. 2. За критерий затупления принимали износ по задней грани h_3 .

Испытания свёрл выполняли при сверлении отверстий диаметром 4,15 мм в деталях из стали 0X18H10T на вертикально-сверлильном станке модели 2H135, отверстия сверлили без охлаждения.

Результаты представлены на рис. 4. Свёрла, изготовленные с использованием ДМТО, имели износостойкость в 1,5 раза выше, чем контрольные, изготовленные по серийной технологии.

Износостойкость фрез диаметром 8,0 мм оценивалась при фрезеровании пазов в деталях из жаропрочного сплава ХН68МВТЮК-ВД на универсально-фрезерном станке FN 20 фирмы «TOS». Обработка велась с применением смазывающе-охлаждающей жидкости (эмульсии). Ширина фрезерования равнялась диаметру фрезы, что свидетельствует о трудных условиях работы фрезы, осложненной врезанием.

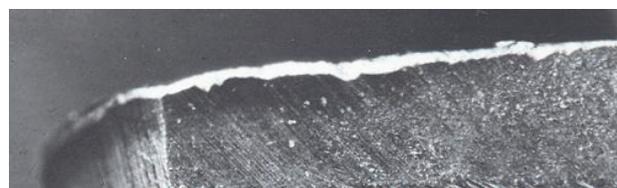
В результате было установлено, что фрезы, подвергнутые ДМТО с карбонитридом титана, имеют повышенную износостойкость.

Результаты представлены на рис. 4.

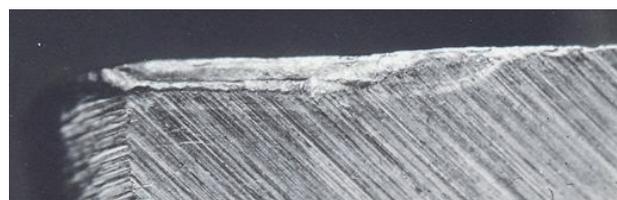
При рассмотрении ленточки износа представленной на рис. 5 можно сделать вывод о том, что характер износа у этих фрез существенно отличается.

Фреза, изготовленная и использованием ДМТО, имеет износ с заваливанием режущей кромки, в то время как у контрольной фрезы износ имеет характерный вид, указывающий на схватывание материала инструмента при высоких контактных температурах.

Следует отметить, что для свёрл, в отличие от фрез характерно то, что ленточка износа имеет переменную ширину. На периферии при сопряжении задней поверхности и боковой ленточки сверла и по центральной перемычке между режущими кромками наблюдается наиболее интенсивный износ. Однако у свёрл, изготовленных



а



б

Рис. 5. Износ режущей кромки фрезы:
а – изготовленной с использованием ДМТО
б – контрольных

с применением ДМ, характер износа отличается от характера износа контрольных свёрл. Если для контрольных свёрл характерен преимущественно износ по задней поверхности, то у свёрл, изготовленных с применением ДМТО, преобладает износ, приводящий к заваливанию режущей кромки. При этом следует заметить, что его величина и интенсивность меньше, чем у контрольных свёрл.

Оценку износостойкости резцов выполняли при точении, моделирующем работу зенкеров. Работа выполнялась двумя группами экспериментальных резцов, изготовленных из сталей Р9К5, Р6М5К5, Р9М4К8, при точении сталей Х18Н10Т и 4Х4ВМФС. Режимы обработки представлены в таблице 2. За критерий затупления был принят износ по задней грани (поверхности) $h_3 = 0,4$ мм. Одна группа – это резцы, изготовленные с применением ДМТО с использованием порошкового состава на основе карбонитрида титана (смотри табл.1) и другая – контрольные резцы, изготовленные по серийной технологии. Резцы изготавливали из прутков одной плавки, а термическую обработку контрольных и исследуемых резцов выполняли в одной садке.

Оценку износостойкости резцов выполняли при точении, моделирующем работу зенкеров. Работа выполнялась двумя группами экспериментальных резцов, изготовленных из сталей Р9К5, Р6М5К5, Р9М4К8, при точении сталей Х18Н10Т и 4Х4ВМФС. Режимы обработки представлены в таблице 2. За критерий затупления был принят износ по задней грани (поверхности) $h_3 = 0,4$ мм. Одна группа – это резцы, изготовленные с применением ДМТО с использованием порошкового состава на основе карбонитрида титана (смотри табл.1) и другая – контрольные резцы, изготовленные по серийной технологии. Резцы изготавливали из прутков одной плавки, а термическую обработку контрольных и исследуемых резцов выполняли в одной садке. Это дало возможность обеспечить идентичный поплавоочный химический состав материала инструментов и равнозначные условия термообработки режущей части, то есть свести к минимуму влияние этих факторов на результаты испытаний.

Исследованиями износостойкости резцов при точении сталей Х18Н10Т и 4Х4ВМФС в диапазоне скоростей резания 10...120 м/мин было выявлено, что в представленном диапазоне скоростей резания получено повышение износостойкости инструмента. При точении стали Х18Н9Т – резцами из стали Р6М5К5 на 30...60%, резцами из стали Р9М4К8 на 40...80%, резцами из стали Р9К5 на 38...75%; при точении стали 4Х4ВМФС – резцами из стали Р6М5К5 на 40%, резцами из стали Р9М4К8 на 100...150%.

По характеру износа (рис. 6) видно, что у резцов преобладает износ по задней поверхности, который характеризуется фаской переменной ширины. Максимальной величины износ достигает при вершине резца. Сравнивая износ

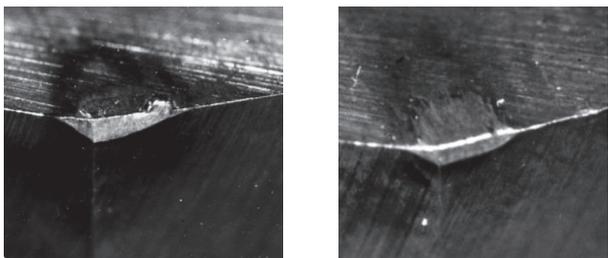


Рис. 6. Износ экспериментальных резцов:
а – контрольный резец;
б – резец с упрочнением ДМТО

резцов, упрочнённых ДМ и контрольных, можно видеть, что в обоих случаях он носит в основном адгезионный и абразивный характер, хотя нельзя исключать присутствие и других видов износа.

Таким образом, можно утверждать, что ДМТО быстрорежущих сталей порошковым составом на основе карбонитрида титана и никеля может быть использовано как эффективный метод повышения трибологических свойств пары обрабатываемая деталь режущий клин из быстрорежущей стали и повышения производительности труда при обработке деталей агрегатов и узлов из конструкционных материалов в машиностроении.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Прогрессивные режущие инструменты и режимы резания металлов: Справочник / В.И. Баранчиков, А.В. Жаринов, Н.Д.Юдина и др.; Под общ. ред. В.И.

Баранчикова. – М.: Машиностроение, 1990. – 400 с.
2. Лоладзе Т.Н. Прочность и износостойкость режущего инструмента. – М.: Машиностроение, 1982. – 320 с.
3. Ушеренко С.М. Сверхглубокое проникание частиц в преграды и создание композиционных материалов. – Минск: НИИ ИП с ОП БР ГНПК ПМ, 1998. – 208 с.
4. Ноздрин В.Ф., Ушеренко С.М. Микроструктура канальной зоны при сверхглубоком проникании частиц. // Порошковая металлургия. – Минск: Высшая школа, 1990. – С.107-112.
5. Андилевко С.К., Роман О.В., Романов Г.С., Ушеренко С.М. Сверхглубокое проникновение частиц порошка в преграду. Порошковая металлургия. – Минск: 1985. Вып. 9. С. 3 – 13.
6. Бекренёв А.Н., Киреев В.П., Маёров Г.Р., Ушеренко С.М. О проникновении микрочастиц при взрывном легировании порошковыми материалами. // Физика прочности и пластичности металлов и сплавов. – Самара: КПТИ, 1992, С. 280.
7. Амосов А.П., Киреев В.П. Применение порошковых материалов при динамическом микролегировании режущей части инструмента из быстрорежущей стали // Конструкции из композиционных материалов. Межотраслевой научно-технический журнал. – М.: РАН, 2006. – С. 100 – 103.
8. ГОСТ 9450 – 76 Измерение микротвёрдости вдавливанием алмазных наконечников. М.: Госкомитет стандартов Совмина СССР.
9. ГОСТ 9013 – 59 Металлы. Методы испытаний. Измерение твёрдости по Роквеллу. М.: Госкомитет стандартов Совмина СССР.
10. Геллер Ю.А. Инструментальные стали. 5-е изд. - М.: Металлургия, 1983. – 527 с.

HARDENING OF HIGH SPEED STEEL BY DYNAMIC MICROALLOYING AND ITS EFFECT ON WEAR RESISTANCE OF CUTTING TOOL

© 2015 V.P. Kireev

Samara State Railway Transport University

The application of dynamic microalloying in combination with heat treatment (DMHT) for hardening workpieces of high-speed steel and its influence on properties and wear resistance of the cutting tool manufactured from the hardened high-speed steel was studied. It is established that the steels subjected to DMHT undergo structural changes, leading to change their hardness and microhardness. It is shown that the use of DMHT for hardening workpieces cutting leads to increased life of the cutting tool when working on model samples and production conditions.

Keywords: high speed steel, hardening, dynamic microalloying, structure, hardness, wear resistance, cutting tool.