

МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ ИЗ КОНСТРУКЦИОННЫХ И ТРУДНООБРАБАТЫВАЕМЫХ СТАЛЕЙ МОДИФИКАЦИЕЙ ТЛЕЮЩИМ РАЗРЯДОМ

А.А. Курзенков, А.Ф. Короткевич

В статье приведено описание метода модификации режущего инструмента потоком низкоэнергетических частиц в вакууме. Приводятся результаты производственных испытаний модифицированного режущего инструмента. Описывается метод определения оптимальных режимов обработки, реализованный в виде программы «Оптима-2».

Ключевые слова: эффективность, модифицированный инструмент, износостойкость, максимальная производительность, оптимизация, режимы резания, «Оптима-2».

Согласно [1] эффективность – это комплексный показатель, который наиболее полно отражает главное назначение технологического оборудования – повышать производительность труда и снижать затраты на обработку деталей.

Эффективность определяется по формуле

$$A = \frac{N}{\sum C}, \quad (1)$$

где N – годовой выпуск деталей;

$\sum C$ – сумма годовых затрат на их изготовление.

Как видно из формулы повышение эффективности возможно за счет увеличения программы выпуска деталей на станке или за счет снижения себестоимости обработки.

Одним из вариантов повышения производительности обработки и снижения себестоимости обработки является модификация режущего инструмента тлеющим разрядом.

Существующие методы направлены главным образом на повышение стойкости инструментов за счет нанесения покрытий или модификации различными методами свойств поверхностного слоя инструмента. В тоже время, по данным приведенным в [2, 3] затраты на инструмент составляют около 3-4% в себестоимости выпускаемой продукции, а по данным [18] до 20 % себестоимости продукции машиностроительных предприятий приходится на изготовление режущего инструмента, на повторные заточки, на затраты энергии. Автором работы [3] показано, что наилучшая эффективность обработки достигается при повышении производительности за счет увеличения режимов резания. При этом главной целью здесь ставится не увеличение объемов выпускаемой продукции, а сокращение времени на выпуск единицы продукции, что ведет к уменьшению накладных расходов. Повышение производительности обработки возможно за счет создания новых инструментальных материалов, но этот процесс является чрезвычайно дорогостоящим и длительным по времени. Как отмечается в [4] на сегодняшний момент во всем мире наиболее активно развивается направление по улучшению свойств существующих традиционных инструментальных материалов, главным образом за счет образования поверхностных слоёв с новыми улучшенными характеристиками.

Новые методы обработки твердосплавного инструмента с целью повышения его стойкости на первоначальном этапе являются недостаточно исследованными для того чтобы их можно было бы в кратчайшие сроки внедрить в производство. На современном этапе одной из характерных тенденций в мировой промышленности является использование комплексного подхода в реализации новых технологий. Комплексный подход подразумевает всестороннее техническое обеспечение новых методов. Это позволяет значительно повысить эффективность от внедрения новых разработок и снизить затраты времени и средств на адаптацию новых технологий применительно к существующему производству. Здесь же следует отметить повышение престижа разработчиков и более выигрышные позиции в сравнении с конкурирующими технологиями при прочих равных характеристиках. Применительно к новым технологиям образования поверхностных слоёв с улучшенными характеристиками можно выделить следующие основные этапы комплексного подхода:

- разработка метода (технологии);
- исследование метода;
- назначение режимов обработки модифицированным инструментом;
- исследование экологичности нового метода.

Одним из методов улучшения свойств существующего твердосплавного инструмента является метод модификации поверхности режущих сменных многогранных двухкарбидных твердосплавных пластин путем воздействия потока низкоэнергетических частиц в вакууме [5]. Данный метод является продолжением метода разработанного лабораторией упрочнения кафедры «Металлорежущие станки и инструменты» ГУ ВПО «Белорусско-Российский университет» под руководством д.т.н., проф. Ходырева В.И. [6, 7]. С учётом современных мировых тенденций в промышленности было решено реализовать комплексный подход применительно к данному методу. По физическим явлениям, лежащим в основе данного метода метод можно отнести к методам ионной имплантации. Характерной особенностью данного метода, отличающего его от других методов модификации твердосплавного инструмента с целью повышения их эксплуатационных характеристик, является то, что при данном методе обработка ведется без какой-либо специально вводимой в рабочую камеру среды. Обработка осуществляется в остаточном воздухе. Согласно исследованиям проведенным авторами работ [8, 9] в вакуумной камере в спектре остаточного газа преобладают массы соответствующие H_2 , N_2 , CO , CO_2 , O_2 , OH^+ , H_2O , так же наблюдаются интенсивные спектральные линии соответствующие углеводородным сериям C_nH_m . В качестве ионизатора используется титановый анод. Основную роль в процессе модификации играют ионизированные атомы азота и водорода. Еще одной особенностью является то что обработка выполняется при сравнительно низких энергиях. Энергия ионов при обработке достигает всего 1-3 кэВ, когда при других методах ионной имплантации твердых сплавов она достигает 30-50 кэВ [10]. Еще одной положительной особенностью данного метода являются незначительные, в сравнении с другими методами модификации, температуры процесса. Так, согласно данным, приведенным в [11] температура в процессе обработки не превышает 130 °С, что обеспечивает сохранность конструктивных и геометрических размеров обрабатываемых изделий. Обработка инструмента осуществляется в тлеющем разряде, который зажигается между анодом и столбом-катодом на котором размещен модифицируемый инструмент. Давление в камере составляет от 1,3 до 13,3 Па, напряжение 1-3 кВ, плотность тока 0,5 ... 0,5 А/м². Обработка осуществляется в течении 30-45 минут посредством потока заряженных частиц. Схема установки для реализации данного метода представлена на *рис. 1*.

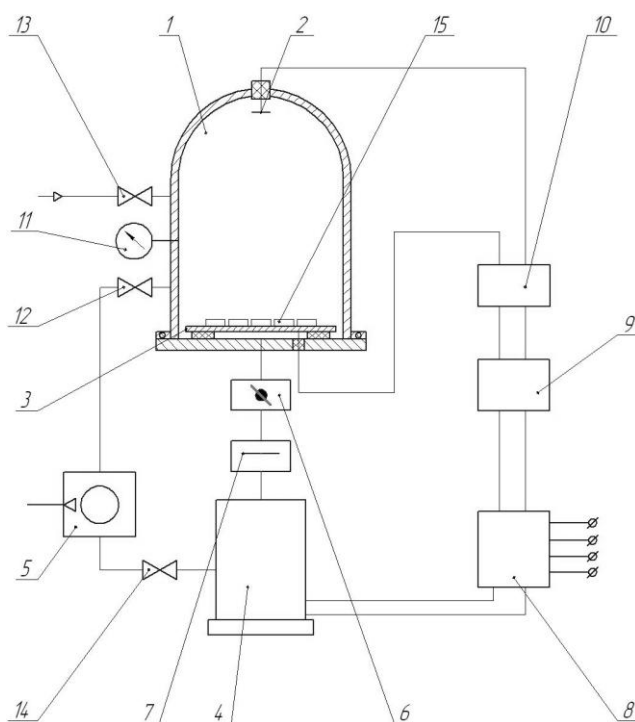


Рис. 1. Схема установки для реализации метода

1 – вакуумная камера; 2 – анод; 3 – катод (стол); 4 – насос диффузионный; 5 – насос вращательный объемный; 6 – затвор поворотный; 7 – ловушка; 8 – блок питания; 9 – преобразователь высокого напряжения; 10 – блок измерения электрических параметров разряда; 11 – вакуумметр; 12, 13, 14 – клапан; 15 – модифицируемые твердосплавные пластины

Модифицируемые двухкарбидные твердосплавные пластины 15 устанавливаются на столе (катоде) 3. После этого вакуумная камера 1 закрывается и при помощи вращательного объемного насоса 5 из камеры откачивается воздух до необходимой величины давления (1,3 Па). Величина давления в камере контролируется вакуумметром 11. После обеспечения необходимого разряжения воздуха закрывают затвор поворотный паромаслянного диффузионного насоса 6 и в камеру от блока питания 8 через преобразователь высокого напряжения 9 подается рабочее напряжение в пределах 1-3 кВ. В результате созданной разности потенциалов, величина которой контролируется при помощи блока измерений электрических параметров разряда 10, возникает пробой разрядного промежутка с возникновением высоковольтного нормального тлеющего разряда. В процессе модификации рабочее давление регулируется с помощью затвора поворотного диффузионного насоса. Функция ловушки 7 заключается в препятствовании проникновению в вакуумную камеру паров масла от диффузионного насоса 4.

Согласно предложенного нами комплексного подхода применительно к данному методу следующим этапом является исследование процесса модификации инструмента для зависимости влияния основных факторов на стойкость инструмента. Выявление зависимости стойкости инструмента от основных факторов имеющих место в процессе модификации затруднено недостаточной информацией об исследуемом процессе и наличием большого числа факторов x_i , влияющих на параметр оптимизации y_i . Это прак-

тически исключает теоретический путь решения задачи установления зависимости параметра оптимизации от факторов. Наиболее реальным становится экспериментальный путь решения задачи с использованием теории планирования экспериментов. Экспериментальные исследования необходимы для отыскания количественных зависимостей, позволяющих определить степень влияния технологических параметров процесса на свойства конечного продукта и установить рациональные значения внешних переменных.

В соответствии с целью работы и поставленными задачами экспериментальные исследования проводились в следующих направлениях:

- установление наиболее значимых внешних факторов, влияющих на стойкость пластин;
- планирование эксперимента;
- установление оптимального режима модификации инструмента.

В качестве плана для проведения многофакторного эксперимента по процессу модификации режущих сменных многогранных двухкарбидных твердосплавных пластин с целью выяснения влияния основных факторов на стойкость был выбран ротатабельный план второго порядка. Выбор плана связан с тем, что начиная эксперимент мы не знаем какое направление будет представлять наибольший интерес, а в случаях, когда нет достоверной информации об ориентации поверхности отклика, наиболее разумным является использование центральных композиционных планов, отвечающих требованию ротатабельности. Такие планы позволяют получать модель, способную предсказывать значение параметра оптимизации с одинаковой точностью независимо от направления на равных расстояниях от центра плана. Ротатабельность плана достигается выбором величины звёздного плеча α . [12].

В качестве функции отклика на взаимодействие факторов, определяющих характер протекания исследуемого процесса, выбрана стойкость образца.

На основе анализа априорной информации предполагается, что функция отклика аппроксимируется полным квадратным полиномом

$$y = b_0 + \sum_{j=1}^n b_j \cdot x_j + \sum_{j=1}^n \sum_{k=j+1}^n b_{j,k} \cdot x_j \cdot x_k + \sum_{j=1}^n b_{jj} \cdot x_j^2 \quad (2)$$

где y - расчетное значение функции отклика;

b_0 – свободный член;

b_j – коэффициент при линейной зависимости;

b_j, b_j – коэффициент при (квадратичном) парном взаимодействии факторов;

x_j, x_k – исследуемые независимые переменные.

Для построения плана эксперимента выбрана матрица ВЗ для трёхфакторного эксперимента, содержащая ядро полнофакторного эксперимента ПФЭ 2^n (n – число факторов). Центральный композиционный план второго порядка обеспечивается двадцатью опытами, которые включают в себя план полного факторного эксперимента (опыты 1...8), опыты в «звездных точках» (опыты 9...14) и опыты в центре плана (опыты 15...20).

В качестве исследуемых (варьируемых) факторов при проведении экспериментальных исследований были приняты: время модификации – t , мин; величина напряжения – U , кВ; плотность тока – Y , А/м².

Для трёх факторов величина «звёздного» плеча α составляет 1,682 [12].

Порядок опытов выбран на основании таблицы случайных чисел [13], что исключает влияние на функцию отклика систематических ошибок. Количество повторных опытов определяли на основании поисковых опытов в соответствии с методикой, изложенной в [14].

На основании матрицы планирования трёхфакторной модели, были произведены экспериментальные исследования. Обработывалась деталь «Кулак 54326-3502110» изготовленная из стали 40 ГОСТ 1050-88. Обработка производилась на следующих режимах:

- скорость резания V м/мин, 127,5;
- подача S , мм/об 0,5;
- глубина резания t , мм 3.

Каждый из опытов проводился пять раз.

В качестве критерия стойкости принимались допустимый допуск на обработку и шероховатость обработанной поверхности. Измерение обработанных деталей производилось калибрами-скобами, контроль шероховатости с помощью эталонного образца шероховатости.

По результатам опытов, выполненных в соответствии с принятым планом эксперимента, оценим коэффициенты уравнения регрессии вида

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{33}x_3^2 \quad (3)$$

Коэффициенты уравнения (2) определяем по формулам, представленным в [12, (77) – (80)] и при числе факторов $k=3$ формулы примут следующий вид:

$$b_0 = 0,16666 \sum_{j=1}^{20} y_j - 0,05694 \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^{20} x_{ij}^2 y_j, \quad (4)$$

$$b_i = 0,07322 \sum_{j=1}^{20} x_{ij} y_j; \quad (5)$$

$$b_{ii} = 0,125 \sum_{j=1}^{20} x_{ij} x_{ij} y_j; \quad (6)$$

$$b_{ii} = 0,06254 \sum_{j=1}^{20} x_{ij}^2 y_j + 0,00695 \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^{20} x_{ij}^2 y_j - 0,05694 \sum_{j=1}^{20} y_j. \quad (7)$$

Используя приведённые выше формулы, находим коэффициенты уравнения регрессии и подставляем их в уравнение (2), тогда стойкости в кодированном виде будут иметь вид:

$$y = 298,709 + 15,623x_3 + 14,75x_2 \cdot x_3 - 10,029x_1^2 - 13,603x_3^2$$

Произведем перевод натуральных значений в кодированные значения факторов:

$$x_1 = \frac{t - t_0}{\varepsilon_1} = \frac{t - 40}{10}; x_2 = \frac{U - U_0}{\varepsilon_2}; x_3 = \frac{Y - Y_0}{\varepsilon_3} = \frac{Y - 50}{15}, \quad (8)$$

где t_0 , Y_0 , U_0 – основные уровни факторов в натуральных выражениях;

$\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$ – интервалы варьирования факторов.

Перейдя от кодированных значений к натуральным получаем зависимость стойкости пластин:

$$T = 56,584 - 48,166U + 4,634Y + 8,023t + 0,963UY - 0,06Y^2 - 0,1t^2$$

Проверку гипотезы адекватности полученной модели проводим по критерию Фишера.

$$F = \frac{S_{ад}^2}{S_y^2}, \quad (9)$$

где $S_{ад}^2$ – дисперсия адекватности;

S_y^2 – дисперсия параметра оптимизации.

Проверка гипотезы адекватности полученной модели показала, что модель адекватна при 5% - ном уровне значимости, так как расчетное значение F-критерия ($F_p = 7,793$) меньше табличного ($F_T = 8,94$) [15].

Следующим важным этапом в комплексной реализации метода модификации твердосплавного инструмента является определение оптимальных режимов резания для модифицированных инструментов.

При проведении расчетов необходимо принимать во внимание ряд факторов относящихся к заготовке, станку и инструменту, являющихся основными элементами технологического процесса и накладывающих ограничения на режимы резания. Данные факторы называются техническими ограничениями.

Одним из них является режущие возможности инструмента. Это ограничение устанавливает взаимосвязь между скоростью резания, обусловленной принятой стойкостью инструмента, материалом режущей части инструмента, его геометрическими параметрами, глубиной резания, подачей, механическими свойствами обрабатываемого материала, с одной стороны, и скоростью резания, определяемой кинематикой станка, с другой.

В этом случае формула скорости резания при точении имеет следующий вид [16]:

$$V = \frac{C_v \cdot K_v}{T^m \cdot t^{x_v} \cdot s^{y_v}}, \quad (10)$$

где C_v – постоянный коэффициент, характеризующий нормативные условия обработки;

K_v – общий поправочный коэффициент на скорость резания;

T – стойкость инструмента, мин;

t – глубина резания, мм;

s – подача, мм/об;

x_v, y_v, m – показатели степеней при переменных в формуле скорости резания.

Общий поправочный коэффициент для скорости резания K_v определяется по формуле [16]

$$K_v = K_{mv} \cdot K_{nv} \cdot K_{uv} \cdot K_{\varphi}, \quad (11)$$

где K_{mv} – коэффициент, учитывающей влияние материала заготовки,

K_{nv} - коэффициент, учитывающий состояние поверхности заготовки,
 K_{uv} - коэффициент, учитывающий материал инструмента,
 K_{φ} - коэффициент, учитывающий главный угол в плане резца.

Коэффициент K_v учитывает изменение условий обработки по сравнению с нормативными. Модификация твердосплавного инструмента приводит к изменениям его физико-механических свойств, что определяет свойства такого инструмента, как отличные от нормативных. Следовательно, при расчете скорости резания для обработки инструментом, модифицированным методом низкоэнергетического воздействия возникает необходимость введения нового дополнительного коэффициента K_{mod} , входящего в состав общего поправочного коэффициента K_v .

Тогда формула (3) примет вид

$$K_v = K_{mv} \cdot K_{nv} \cdot K_{uv} \cdot K_{\varphi} \cdot K_{mod}, \quad (12)$$

где K_{mod} - коэффициент, учитывающий модификацию инструмента.

Дополнительный коэффициент K_{mod} показывает возможность повышения скорости резания за счёт модификации инструмента в состоянии поставки.

Значения первых четырех коэффициентов, входящих в формулу по расчету K_v известны и приводятся в работе [16]. Значения коэффициента K_{mod} для модифицированного инструмента ранее не определялись и его величины в справочной литературе не приведены.

Для нахождения значений данного коэффициента нами были проведены две группы экспериментов. Первая группа экспериментов была направлена на определение значения K_{mod} для черновой обработки, вторая – для получистовой.

Экспериментальные исследования проводились на деталях «Кронштейн 152» (черновая обработка) и «Палец 103» (получистовая обработка), изготавливаемых на предприятии ОАО «ГАИМ» г.Бобруйск. Обработка первой детали производилась на агрегатно-копировальном станке модели КМ 151. Обработка второй детали производилась на токарно-винторезном станке с ЧПУ модели 16ВТ20ПCNC13. В качестве режущей многогранной неперетачиваемой пластины для обработки детали «Кронштейн 152» использовалась пластина – 02114-120612 ГОСТ 19048-80 Т15К6 в двух вариантах поставки – без покрытия и с покрытием TiC. Для обработки детали «Палец 103» – пластина 160410R11 СТ25М Т15К6.

В исследованиях определялась возможность производить обработку деталей модифицированным инструментом на более интенсивных режимах в сравнении с режимами резания инструментом в состоянии поставки.

Наряду с повышением стойкости модифицированного инструмента важным вопросом, вызывающим особый интерес в производстве является возможность повышения режимов резания. Для не модифицированных пластин режимы резания применялись из соответствующих технологических процессов, используемых на предприятии.

Исследования проводились по следующей методике. Обрабатывалась соответствующая деталь. В качестве исходной информации выступали режимы резания базового технологического процесса и количество деталей обрабатываемые на данном режиме инструментом (допустимый уровень износа). Далее режимы резания изменялись в соответствии со значениями на станке и производилась обработка до наступления предельного износа. Тем самым через пять опытов, каждый из которых дублировался по

три раза, мы получили зависимость стойкости инструмента от частоты вращения. В базовом варианте техпроцесса обработка осуществлялась на частоте вращения 400 мин⁻¹, что соответствует скорости резания 75,36 м/мин. Стойкость инструмента в пересчете на количество обрабатываемых деталей составляла 150 деталей на одну пластину для инструмента без покрытия и 195 деталей на инструмент с покрытием TiC.

Результаты выявленных зависимостей стойкости модифицированного инструмента от частоты вращения представлены на *рис. 2*.

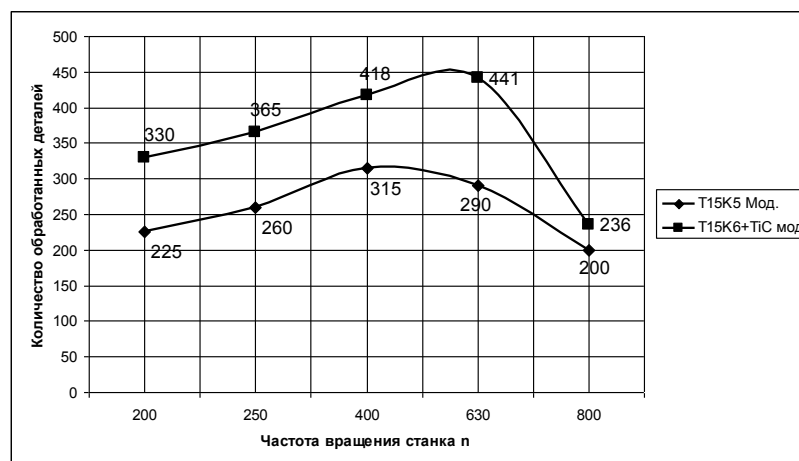


Рис. 2. Графики зависимости стойкости модифицированных МНП от частоты вращения при черновой обработке

На основании анализа экспериментальных данных, которые представлены на *рис. 2* видно, что для инструмента без покрытия базовая частота так же соответствует оптимальной с точки зрения стойкости инструмента. Увеличивая частоту вращения (скорость резания) получаем незначительное снижение стойкости, превосходящую стойкость не модифицированных инструментов.

Частота 800 мин⁻¹ является крайней границей диапазона обработки модифицированным инструментом. Это обусловлено тем, что при превышении данной границы наблюдалась поломка пластин. При повышении частоты обработки в два раза получаем стойкость близкую, а в ряде случаев превосходящую стойкость неупрочненных пластин на оптимальных для них режимах значительно меньших, чем при обработке модифицированным инструментом. При обработке инструментом с покрытием также наблюдается повышение стойкости по сравнению с не модифицированными образцами и наблюдается смещение точки оптимальной стойкости с частоты 400 мин⁻¹ до частоты 630 мин⁻¹. В сравнении с базовым техпроцессом возможное увеличение частоты вращения составляет в два раза.

Аналогичные исследования были проведены для получистовой обработки. Возможное повышение скорости резания в этом случае составило от 1,2 до 1,4 раз, что обусловлено более высокими изначальными скоростями резания, а, следовательно, и большими температурами в зоне резания. При высоких температурах наблюдается процесс разупрочнения модифицированного инструмента и его поломка или интенсивный износ.

Тогда скорость резания, определяемая кинематикой станка, выражается формулой

$$V = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \quad (13)$$

Приравнивая правые части формул (13) и (14) и выделяя в левую часть искомые элементы режима обработки, получим

$$n \cdot S^{Y_v} \leq \frac{318 C_v \cdot K_v}{T^m \cdot t^{X_v} \cdot D} \quad (14)$$

Таким образом, на основании экспериментом, мы получили для наших случаев обработки значения K_{mod} – коэффициента, учитывающего модификацию инструмента, который должен входить в K_v – общий поправочный коэффициент на скорость резания.

Для черновой обработки, когда критерием износа не является шероховатость обработанной поверхности, становится целесообразно исследование возможного повышения подачи при обработке с целью повышения производительности.

На основании анализа экспериментальных данных, которые представлены на *рис. 3* следует, что, увеличивая подачу, получаем незначительное снижение стойкости, превосходящую стойкость не модифицированных инструментов.

Подача 0,8 мм/об является оптимальной по стойкости для модифицированного инструмента в то время как для инструмента в состоянии поставки оптимальной по стойкости является подача 0,4 мм/об. При повышении подачи до 1,3 мм/об мы имеем стойкость близкую к стойкости инструмента в состоянии поставки при практически трехкратном повышении производительности за счет увеличения подачи.

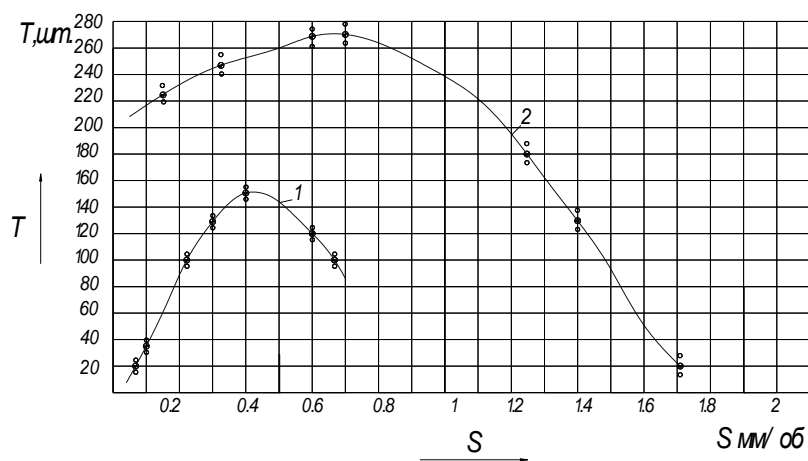


Рис. 3. Графики зависимости стойкости МНП модифицированных и в состоянии поставки от подачи

Автоматизация расчета оптимальных режимов резания для модифицированного инструмента была решена за счет разработки специальной компьютерной программы.

При эксплуатации вакуумных установок существуют опасности, связанные с применением высоких напряжений, а так же образующихся в вакуумной камере газообразных веществ, которые могут нести опасность для жизни и здоровья рабочего [9].

Проведя исследования по обеспечению безопасных условий труда при выполнении работ по повышению износостойкости МНП под воздействием потока низкоэнергетических частиц на установке УВУМ были выявлены опасные физические факторы, характерные для работы на оборудовании.

Установка работает от промышленного напряжения 380 В, что является жизненно опасным для оператора, работающего на ней. В качестве мероприятий по защите оператора от поражения электрическим током применяем заземление нетоковедущих частей оборудования, которые могут оказаться под напряжением (ГОСТ 12.1.030 – 81).

Еще одним опасным фактором для здоровья оператора является загрязнение воздушного пространства непосредственно в рабочей камере и, следовательно, воздуха рабочей зоны оператора при открытии камеры при выгрузке партии модифицированных твердосплавных пластин после процесса модификации.

Анализ воздушного состава рабочей зоны производился при помощи газоанализатора Testo 350 M/XL прошедшего сертификацию и зарегистрированного в Реестре государственной системы обеспечения единства измерений Республики Беларусь.

При оценке уровня загрязнения воздуха рабочей зоны нашей установки мы руководствовались следующей нормативной документацией: ГОСТ 12.1.005-88 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны», ГОСТ 12.1.016-79* «Воздух рабочей зоны требования к методикам измерения концентраций вредных веществ», ГОСТ 12.1.007-76* «Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности».

Наибольший интерес вызывает изменение воздуха рабочей зоны. Так как в процессе работы установки происходят процессы, которые приводят к изменению состава воздуха остаточных газов в установке, то исследуем его параметры до обработки, после обработки

Состояние воздуха рабочей зоны определяются составом воздушной среды. Состав воздушной среды должен соответствовать требованиям ГОСТ 12.1.005-88 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны». Основной количественной характеристикой примесей атмосферы в рабочей зоне является их концентрация в единице объема воздуха при нормальных атмосферных условиях в миллиграммах на кубический метр ($\text{мг}/\text{м}^3$).

Измеренное значение содержания вредных веществ должно быть не выше предельно допустимого (ПДК). Основные требования к контролю состояния воздуха рабочей зоны в соответствии с нормами ГОСТ 12.1.005-88.

Согласно трехкратным замерам состояния воздуха внутри камеры для упрочнения, возле камеры с открытой дверью и состояние воздуха в камере до осуществления процесса модификации газоанализатором Testo 350 M/XL были зафиксированы показатели, приведенные в таблице.

Таблица. Показания состояния воздуха в рабочей зоне

Исследуемые параметры, мг/м ³	Показатели воздуха в вакуумной камере		Показатели воздуха возле вакуумной камеры	Предельно допустимая концентрация, мг/м ³
	до модификации МНП	после модификации МНП		
СО ₂ , мг/м ³	0	2,5	1,25	20
NO ₂ , мг/м ³	1,025	1,025	0,41	2
H ₂ S, мг/м ³	0	0,608	0,76	10

Как видно из таблицы все вещества, которые можно отнести к вредным веществам для здоровья человека и имеющие место при реализации данной технологии модификации твердосплавных двухкарбидных пластин в тлеющем разряде находятся в рамках предельно допустимых концентраций.

По всем параметрам оптимальные и допустимые нормы температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в рабочей зоне производственных помещений полностью соответствуют общим санитарно-гигиеническим требованиям к воздуху рабочей зоны по ГОСТ 12.1.005-88 и ГОСТ 12.1.016-79.

Так как данные параметры находятся в рамках допустимых норм, то проводить какие-либо дополнительные мероприятия по эксплуатации оборудования для модификации нет необходимости.

Выводы

Комплексный подход в реализации метода повышения стойкости твердосплавного инструмента модифицированного потоком низкоэнергетических частиц в тлеющем разряде позволяет получить законченную технологию готовую к применению на предприятиях;

При обработке деталей твердосплавным инструментом модифицированным методом низкоэнергетического воздействия целесообразно для повышения эффективности обработки повышать режимы резания (скорость резания и подачу);

При расчете оптимальной скорости резания для модифицированного инструмента целесообразно использовать коэффициент, учитывающий модификацию инструмента K_{mod} , который входит в K_v – общий поправочный коэффициент на скорость резания;

На основании экспериментов были определены величины K_{mod} при черновой обработке до 2, при чистовой обработке до 1,4.

Величины подачи при черновой обработке, как показали эксперименты, возможно повышать до трех раз.

Для автоматизации процесса определения оптимальных режимов резания была разработана компьютерная программа.

Процесс не токсичен и соответствует требованиям по защите окружающей среды.

Литература

1. Металлорежущие станки : учебник для машиностроительных вузов / Под ред. В. Э. Пуша. – М. : Машиностроение, 1986. – 256 с. : ил.
2. Официальный сайт компании "Техтрейд" [Электронный ресурс] / Компания "Техтрейд". Российская Федерация. – г.Екатеринбург, 2010. – Режим доступа : <http://www.pumori.ru/techtrad/news/Kompanii/2010/01/13/621>. – Дата доступа : 4.05.2010.

3. *Локтев, Д.* Способы повышения эффективности работы существующего парка оборудования / *Д. Локтев* // Журнал «Компас промышленной реструктуризации» [Электронный ресурс] – 2010. – Режим доступа : <http://www.compass-r.ru/st-2-05-14.htm>. – Дата доступа : 5.05.2010.
4. *Григорьев, С.Н.* Методы повышения стойкости режущего инструмента: учебник для студентов вузов / *С.Н. Григорьев*. – М.: Машиностроение, 2009. – 368 с.: ил.
5. Заявка на изобретение №20091136 Способ упрочнения изделий из металлов, сплавов, сверхтвердых и графитосодержащих материалов / *Шеменков В.М., Короткевич А.Ф.*; заявл. 27.07.09.
6. А. с. 1309593 СССР, ДСП С21 D1/78. Способ упрочнения изделий из металлов и сплавов / *В.С. Камалов, В.И. Ходырев, И.И. Силин, Э.А. Литский* (СССР). – № 3925462/22-02; заявл. 10.07.1985; опубл. 08.01.1987. – 4 с.
7. *Ходырев, В.И.* Прогрессивные электрофизические методы упрочнения твердосплавного инструмента / *В.И. Ходырев, А.Ф. Короткевич, В.М. Шеменков* // - Вестник МГТУ «Электромеханика, приборостроение и информатика» 2002. - №2 - с. 159 – 163 (УДК 537.534.9:669).
8. *Бабун, А.В.* Исследование влияния состава остаточных газов в процессе дистилляции на содержание газовых примесей в конденсате бериллия / *А.В. Бабун, А.А. Васильев, В.Д. Вирич, О.В. Кисель, К.В. Ковтун, А.Д. Солопихин, И.В. Шпагин* [Электронный ресурс] // Вопросы атомной науки и техники. 2007. №4 – Режим доступа: <http://vant.kipt.kharkov.ua/TABFRAME.html>. Дата доступа 17.01.2009.
9. *Ануфриев, Г.С.* Масс-спектры высокого разрешения остаточного газа в металлической вакуумной системе / *Г.С. Ануфриев, Б.С. Болтенков, А.И. Рябинков* [Электронный ресурс] // Журнал технической физики. 2006. том. 76. вып. 1 – Режим доступа: <http://www.ioffe.ru/journals/jtf/2006/01/p105-114.pdf>. Дата доступа 17.01.2009.
10. *Анищик, В.М.* модификация инструментальных материалов ионными и плазменными пучками / *В.М. Анищик, В.В. Углов*. – Мн.: БГУ, 2003. – 191 с.: ил.
11. Разработать и внедрить технологические процессы вакуумно-плазменного упрочнения : отчет о НИР (заключ.) / Могилевский машиностроительный ин-т ; рук. темы *В.И. Ходырев*. – Могилев., 1990. – 14 с. – № ГР 0186.0120860.
12. *Спиридонов, А.А.* Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов / *А.А. Спиридонов*. – М.: Машиностроение, 1981. – 184 с., ил.
13. *Яцерицин, П.И.* Планирование эксперимента в машиностроении: Справ. Пособие / *П.И. Яцерицин, Е.И. Махаринский*. – Мн.: Выш. Шк., 1985. – 286 с., ил.
14. *Румишинский, Л.З.* Математическая обработка результатов эксперимента / *Л.З.Румишинский*. - М.: Главная редакция физико-математической литературы из-ва «Наука», 1971. – 192 с., ил.
15. *Гмурман, В.Е.* Руководство к решению задач по теории вероятностей и математической статистике: учебное пособие для вузов. Изд. 5-е перераб. и доп./ *В.Е.Гмурман* – М.: Высшая школа, 2001г. – 400с., ил.
16. Справочник технолога-машиностроителя / *А. Г. Косилова* [и др.]; под ред. *А. Г. Косиловой, Р. К. Мещерякова*. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1985. – Т. 2.
17. *Ходырев, В.И.* Исследование оптимальных режимов резания с использованием ЭВМ при обработке модифицированным инструментом Сборник научных трудов МГТУ «Перспективные технологии, материалы и системы» Могилев: УО МГТУ, 2005 – с. 381 – 385 (УДК 537.534.9:669) *В.И. Ходырев, Короткевич А.Ф., Н.А. Галюжина, В.А. Сакунов*
18. *Алифанов, А.В.* Технология упрочнения режущего инструмента импульсным магнитным полем / *А.В. Алифанов, Н.В. Бурносов, И.Л. Чудакова* [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://symposium.forest.ru/article/2011/4_equipment/web/Alifanov3.mht Дата доступа 20.10.2012.

Курзенков Алексей Александрович

Студент машиностроительного факультета
Белорусско-Российский университет, г. Могилёв
Тел.: +375(29) 123-99-41
E-mail: AlexBlack.34@mail.ru

Короткевич Александр Фёдорович

Начальник международного отдела
Белорусско-Российский университет, г. Могилёв
Тел.: +375(29)7414025
E-mail: saniakor79@mail.ru