

УДК 621.9.1.01:621.941.025

В. Е. Овчаренко¹, д-р техн. наук, **А. А. Моховиков²**, канд. техн. наук,
С. В. Корчуганов², **А. С. Игнатъев²**

¹*Институт физики прочности и материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук, г. Томск*

²*Юргинский технологический институт Национального исследовательского Томского политехнического университета, РФ*

КОМПЛЕКСНЫЙ АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ РЕЖИМОВ ИМПУЛЬСНОГО ЭЛЕКТРОННО-ПУЧКОВОГО ОБЛУЧЕНИЯ МЕТАЛЛОКЕРАМИЧЕСКОГО СПЛАВА НА РЕСУРС ЕГО РАБОТЫ В УСЛОВИЯХ РЕЗАНИЯ МЕТАЛЛА

Приведены результаты экспериментальных исследований и комплексного анализа изменения стойкости и технологических составляющих силы резания в целях выявления и изучения механизма кратного повышения работоспособности твердого сплава в условиях резания металла в результате наноструктуризации поверхностного слоя импульсным электронно-пучковым облучением рабочих поверхностей образцов металлокерамических режущих пластин.

Ключевые слова: *металлокерамический сплав, поверхностный слой, структурно-фазовая модификация, импульсное электронно-пучковое облучение, резание, стойкость, износ, сила резания.*

В современном производстве в качестве инструментального материала наиболее широкое применяют твердые сплавы, которые по сути являются металлокерамическими композиционными материалами, производимыми методами порошковой металлургии – спеканием порошковых смесей высокотвердых и тугоплавких химических соединений с металлической связкой. Указанные методы производства материалов имеют следующие недостатки: остаточную пористость после спекания (от 0,1 до нескольких процентов); большое различие размеров и форм высокотвердых частиц; неравномерность распределения в объеме; ярко выраженные границы раздела компонентов металлокерамики. Такие дефекты строения вызывают напряжения, способные преждевременно разрушить контактные поверхности металлокерамического инструмента в процессе его эксплуатации. Для устранения или торможения процессов, негативно воздействующих на работоспособность инструмента, применяют различные методы модификации его рабочих поверхностей. Эти методы заключаются в направленном изменении физико-механических и кристаллохимических свойств поверхностного слоя.

Одна из областей применения электронных потоков – использование их в качестве универсального технологического инструмента, позволяющего изменять свойства обрабатываемых материалов. Как средство повышения стойкости металлорежущего инструмента указанный метод является новым и мало изученным. Он основан на новых физических принципах формирования структуры материалов, обладающей высокими физико-механическими свойствами.

Созданное экспериментальное оборудование для электронно-импульсного облучения поверхности материалов позволяет варьировать плотность энергии в электронном пучке от одного до 100 Дж/см², длительность импульса облучения в пределах 10–200 мкс, частоту импульсов облучения – 0,1–10 Гц. При указанных параметрах электронно-импульсного облучения скорость нагревания поверхности достигают 106 град/с, скорость охлаждения поверхности – 104–109 град/с, градиент температуры в нагреваемом слое – 107–108 град/м при толщине нагреваемого слоя 10⁻¹–10⁻⁴ мм [1].

Результаты исследования влияния воздействия электронного пучка на нагревания приповерхностного слоя, выполненного на основе математического моделирования, показали, что температура нагревания поверхности, глубина прогревания и градиент температуры в поверхностном слое при электронно-импульсном облучении металлокерамического сплава определяются прежде всего плотностью энергии в электронном пучке, длительностью и количеством импульсов облучения. Расчетно установили, что плотность энергии в электронном пучке 40–50 Дж/см² при длительности импульсов 100–200 мкс позволяют нагреть поверхность металлокерамического сплава до температуры 3000 К с глубиной прогревания 100–200 мкм [2].

Экспериментально исследована микроструктура образцов металлокерамического сплава на основе карбида титана с никельхромовой связкой (50 % об. TiC – 50% об. Ni-Cr) до и после электронно-импульсного облучения его поверхности с плотностью энергии в электронном пучке 20–40

Дж/см² [3, 4]. Результаты исследования показали, что в результате воздействия импульсного электронно-пучкового облучения наблюдаются плавление металлической связки, растворение и микро-растрескивание частиц карбидной фазы. Формируемая структура поверхностного слоя металлокерамического сплава существенно зависит от режимов облучения – плотности энергии облучения и длительности импульса облучения.

Стойкостные испытания позволили доказать [5], что при импульсном электронно-пучковом облучении передней поверхности металлокерамических пластин при плотности энергии 40 Дж/см²кратно повышается их стойкость в условиях резания металла.

Однако несмотря на значительный объем исследований научные изыскания, направленные на изучение механизма кратного повышения работоспособности твердого сплава в условиях резания металла остаются актуальными. Одной из задач в рамках исследований по данному направлению, является обнаружение взаимосвязей изменения стойкости металлокерамического сплава в условиях резания конструкционной стали и структурного состояния приповерхностного слоя режущей пластины, определяемого режимами импульсного электронно-пучкового облучения ее передней поверхности.

Объектом исследования являлись металлокерамические режущие пластины (12×12×4 мм) из твердого сплава на основе карбида титана с никельхромовой связкой (50 % об. TiC – 50 % об. Ni–Cr) до и после электронно-пучкового облучения ее передней поверхности. Образцы закрепляли прихватом сверху в державке резца с СМП со следующими геометрическими параметрами: $\gamma = -5^\circ$; $\alpha = 7^\circ$; $\varphi = 45^\circ$; $\lambda = 5^\circ$; $\phi_1 = 45^\circ$. Переднюю поверхность экспериментальных образцов обрабатывали электронным пучком на установке «СОЛО» для импульсного электронно-пучкового облучения (Институт сильноточной электроники СО РАН, г. Томск); диапазон режимов облучения следующий: плотность энергии облучения E_s составляла 20, 30, 40, 50 и 60 Дж/см², длительность импульса облучения – 100, 150 и 200 мкс.

При проведении стойкостных (обрабатываемый материал – сталь 45 по ГОСТ 1050-88) экспериментов выдерживали следующие условия: постоянство скорости резания и необходимое для получения достоверных результатов количество повторений. На основании предварительных испытаний в качестве критерия износа выбрали фаску износа по задней поверхности длиной 1 мм, измеряли без снятия инструмента со станка с помощью экспериментальной установки. Эксперименты проводили при следующих режимах резания: скорость резания $V = 80$ м/мин.; глубина резания $t = 1$ мм; подача $s = 0,1$ мм/об.

В ходе экспериментов визуальным контролем с помощью микроскопа МИР-3, установили, что характер износа экспериментальных режущих пластин исходных и обработанных электронным пучком не изменялся. Во всех случаях износ происходил по задней и переходной задней поверхностям, максимальная фаска износа наблюдалась на переходной задней поверхности. В процессе резания выкрашивания режущих кромок не наблюдали.

Методикой математической статистики [6], по экспериментальным значениям стойкости определили ее среднее значение, точность оценки, а также по критерию Стьюдента определены значения. Результаты экспериментов показаны на рис. 1 и 2. из данных рис. 1 и 2 следует, что влияние длительности импульса электронно-пучкового облучения на стойкость определяется плотностью энергии облучения. Так, в рассматриваемом диапазоне τ при $E_s = 20$ Дж/см² максимальное изменение стойкости составило 3 %, при $E_s = 30$ Дж/см² – 29 %, $E_s = 40$ Дж/см² – 5 %, $E_s = 50$ Дж/см² – 10 %, $E_s = 60$ Дж/см² – 51 %. Таким образом, при энергии облучения до 40 Дж/см² это влияние не превышает в среднем 12 %, свыше 40 Дж/см² – 30 %.

На рис. 2 продемонстрировано влияние плотности энергии облучения на среднее значение стойкости экспериментальных образцов. Так, с повышением плотности энергии облучения существенно увеличивается среднее значение стойкости металлокерамического сплава. При облучении поверхности экспериментальной пластины электронным пучком с $E_s = 20$ Дж/см² прирост составляет 1,4 раза, при 30 Дж/см² – 2,7 раза, при 40 Дж/см² – 4,5 раза, при 50 Дж/см² – 9,9 раза, при 60 Дж/см² – 10,3 раза. В целом, как следует из рис. 3, зависимость среднего значения стойкости металлокерамического сплава TiC–NiCr может быть описана экспоненциальной зависимостью. При этом максимальный прирост износостойкости наблюдается при плотности энергии облучения 30–50 Дж/см². Однако необходимо отметить, что при $E_s = 60$ Дж/см² наблюдается значительный разброс среднего значения стойкости в зависимости от длительности импульса облучения.

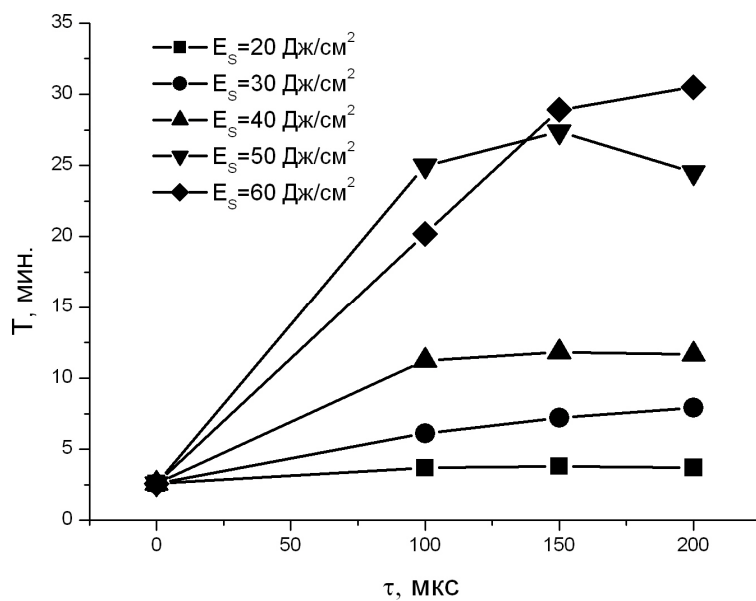


Рис. 1. Кривые влияние длительности импульса электронно-пучкового облучения на среднее значение стойкости экспериментальных образцов металлокерамических пластин

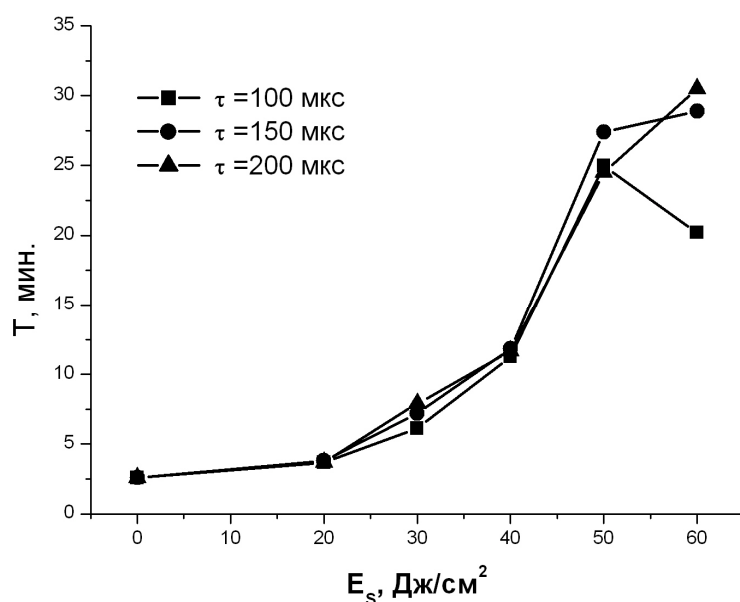


Рис. 2. Кривые влияние плотности энергии электронно-пучкового облучения на среднее значение стойкости экспериментальных образцов металлокерамических пластин

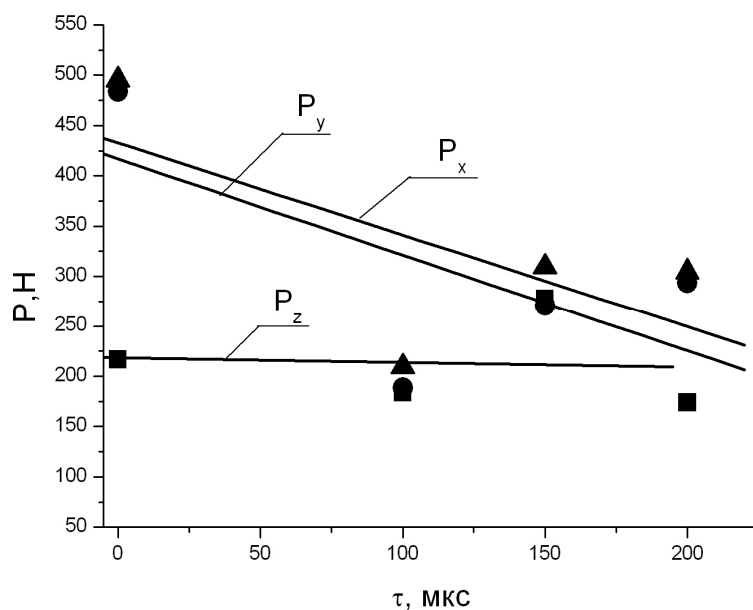


Рис. 3. Влияние импульсного электронно-пучкового облучения на технологические составляющие силы резания при токарной обработке экспериментальными образцами металлокерамических пластин ($E_s = 40 \text{ Дж/см}^2$)

Эксперименты по измерению технологических составляющих силы резания при токарной обработке проводили в тех же условиях, что и стойкостные испытания. В результате анализа экспериментальных значений составляющих силы резания установили, что импульсное электронно-пучковое облучение передней поверхности образцов металлокерамических пластин приводит при токарной обработке к снижению величины составляющих силы резания P_x и P_y . В целом среднее понижение составляющих сил резания по P_x составило 44,5 %, по P_y – 48 %. Экспериментальные значения P_z изменились незначительно в сравнении с измеренным значением составляющей P_z для исходной (необлученной) пластины.

Результаты корреляционного анализа по критерию Пирсона между плотностью мощности облучения и экспериментальными значениями технологических составляющих силы резания показали отсутствие взаимовлияния P_z и взаимосвязь P_x и P_y .

Выводы

1. Принятые методы и средства исследований позволили установить основные взаимосвязи режимов электронно-пучкового облучения и стойкости экспериментальных образцов металлокерамических пластин в условиях резания металла.

2. Импульсное электронно-пучковое облучение металлокерамического сплава TiC–NiCr (50 % об. TiC – 50 % об. Ni–Cr) приводит к значительному увеличению его стойкости (до 10 раз) в условиях резания металла.

3. Основным фактором, определяющим степень упрочнения экспериментальных режущих пластин и повышение их стойкости в условиях резания металла, является плотность энергии облучения. С ее увеличением (20–60 Дж/см²) стойкость экспериментальных режущих пластин значительно повышается.

4. Влияние на стойкость экспериментальных режущих пластин длительности импульса облучения предопределяется плотностью энергии облучения. При плотности энергии облучения до 40 Дж/см² стойкость изменяется в среднем на 12 %, свыше 40 Дж/см² – составляет около 30 %.

5. С помощью экспериментальных исследований и корреляционного анализа полученных данных установили, что импульсное электронно-пучковое облучение передней поверхности металлокерамических режущих пластин (TiC–NiCr (50% об. TiC – 50% об. NiCr)) приводит к снижению радиальной P_y и осевой P_x составляющих силы резания при токарной обработке конструкционной стали 45 (ГОСТ 1050-88) на 44–48 %. При этом электронно-пучковое облучение не влияет на технологическую составляющую силы резания P_z .

Приведені результати експериментальних досліджень і комплексного аналізу зміни стійкості і технологічних складових сили різання в цілях виявлення і вивчення механізму короткого підвищення працездатності твердого сплаву в умовах різання металу в результаті наноструктуризації поверхневого шару імпульсним електронно-пучковим опроміненням робочих поверхонь зразків металокерамічних ріжучих пластин.

Ключові слова: *металокерамічний сплав, поверхневий шар, структурно-фазова модифікація, імпульсне електронно-пучкове опромінення, різання, стійкість, знос, сила різання.*

The presents the results of experimental research and a complex analysis of the power change and technological constituents of the cutting force with a purpose to reveal and study of the mechanism of a multiple increase in operability of the hard alloy in conditions of cutting metal when forming nanostructures in the surface layer by means of electron beam treatment of the working surfaces of samples of ceramic tips.

Key words: *powder metallurgical alloy, surface layer, structural and phase modification, pulse electron beam treatment, cutting, power, tear and wear, cutting force.*

Литература

1. Импульсная электронно-пучковая модификация инструментальной металлокерамики на основе карбида титана / В. Е. Овчаренко, Н. Н. Коваль, Ю. Ф. Иванов, О. В. Лапшин // Наноинженерия поверхности. Формирование неравновесных состояний в поверхностных слоях материалов методами электронно-ионно-плазменных технологий / Отв. ред. Н. З. Ляхов, С. Г. Псахье.– Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2008. – С. 102–129.
2. Овчаренко В.Е., Лапшин О.В. Расчет температурного поля в поверхностном слое металлокерамического сплава при электронно-импульсном облучении // Металловедение и термообработка металлов. –2008.– № 5. – С. 33–37.

3. Овчаренко В.Е., Иванов Ю.Ф. Влияние электронно-импульсного облучения на микроструктуру поверхностного слоя металлокерамического сплава // *Металловедение и термическая обработка металлов.* – 2008. – № 7(637). – С. 48–52.
4. Electron-beam treatment of Tungsten-free TiC/NiCr. Cermet II: Structural Transformation in the Subsurface Layer / Yu Baohai, V. E. Ovcharenko, S. G. Psakhie, O. V Lapshin // *Journ. Mater. Sci. & Technol.*– 2006. – V. 22. – N 4. – P. 511–513.
5. Овчаренко В.Е., Моховиков А.А., Ласуков А.А. Влияние электронно-пучкового облучения на стойкость металлокерамических пластин при резании металла // *Обработка металлов.* – 2008. – № 2(39).– С. 23–24.
6. Кацев П.Г. Статистические методы исследования режущего инструмента. М.: Машиностроение, 1968. – 156 с.

Поступила 06.06.11

УДК 621.891

Е. Ю. Шиц, канд. техн. наук

Институт проблем нефти и газа СО РАН, г. Якутск, РФ

ШЛИФОВАЛЬНЫЙ АЛМАЗНЫЙ ИНСТРУМЕНТ НА ОСНОВЕ МОДИФИЦИРОВАННОГО ФТОРИРОВАННОГО И НЕФТОРИРОВАННОГО ПОЛИОЛЕФИНОВ

Доказана возможность использования фторсодержащего и нефторированного аморфно-кристаллических линейных полиолефинов с низкой поверхностной энергией в качестве полимерной матрицы для создания эффективных алмазных инструментов.

Ключевые слова: *политетрафторэтилен (ПТФЭ), сверхвысокомолекулярный полиэтилен (СВМПЭ), порошки природных алмазов (ППА), композиционный алмазосодержащий материал, структура композитов, самозатачивание, работоспособность.*

Применение современных материалов в авиационной, космической и других отраслях точного машиностроения, а также при создании сложных приборов, надежного технологического оборудования тесно связано с использованием высокопроизводительного и ресурсосберегающего обрабатывающего инструмента.

Выпуск инструментов на органической основе составляет около 60 % общего объема производимых абразивных изделий. Так, многолетний опыт их промышленной эксплуатации свидетельствует, что инструмент на основе полимеров обладает как шлифующей, так и полирующей способностью.

Однако несмотря на известные достоинства серийных композитов, содержащих традиционные и сверхтвердые искусственные абразивы, в силу дефектности граничного слоя полимера вблизи поверхности твердой фазы, характеризующейся незавершенностью химического сшивания макромолекул, приводит к снижению износостойкости материала и потере работоспособности инструмента. Кроме того предъявляемые к полимерматричным основам требования, такие как: высокие прочность, износо-, термо-, химическая стойкость, низкий и стабильный коэффициент трения, минимальная экологическая напряженность технологии производства, физиологическая безвредность и экономичность как при переработке, так и при эксплуатации лимитируют прогресс создания новых эффективных шлифовальных материалов.

Тем не менее, в области создания абразивных материалов практически не востребованными остаются аморфно-кристаллические линейные полиолефины с весьма ценным сочетанием свойств и уникальными антифрикционными и антиадгезионными характеристиками, что положительно с позиции технологических возможностей шлифования, однако отрицательно для формирования износостойкого и долговечного композита.

Таким образом, цель настоящей работы – создать и исследовать новые износостойкие композиционные алмазосодержащие полимерные материалы на основе полиолефинов и порошков природ-