

В зависимости от глубины насыщаемого слоя и требуемой твердости можно управлять процессом за счет режимов обработки.

Сущность этого метода заключается в том, что в разряженной до 250 атмосфер азотосодержащей газовой среде между катодом, на котором располагается инструмент, и анодом (стенки вакуумной камеры) возбуждается аномальный тлеющий разряд, образующий активную среду (ионы, атомы, возбужденные молекулы). Под действием температуры порядка 545°C происходит насыщение поверхностей инструментов ионами азота. На поверхности инструментов образуется слой, состоящий из внешней (нитридной) и располагающейся под ней диффузной зоны [1; 2].

Исследования проводились на отрезных и шлицевых фрезах (ранее обработанных вышеуказанными методами) на базе БарГУ на установке ИПА: фрезы диаметром 60 мм, изготовленные из быстрорежущей стали Р6М5, с твердостью 61...63HRC (рисунок 1). После обработки на ИПА получили более высокую твердость поверхностей и улучшенные режущие характеристики этих инструментов.

После испытаний (отрезание заготовок и прорезание шлицев головок винтов) при наблюдении под микроскопом модели Ftemj-2000 на режущей части фрез не наблюдалось изменения структуры, формы зубьев, их деформации и цвета.

Заключение. Исследования показывают, что метод ИПА является более совершенным. В сравнении с широко используемыми способами упрочняющей термической и химико-термической обработки материалов (закалка, цементация, нитроцементация, цианирование, газовое азотирование в печах) метод ИПА имеет ряд преимуществ: более высокая твердость азотированных поверхностей; отсутствие деформаций и коробления после обработки; высокая коррозионная стойкость обработанных поверхностей; более низкая температура обработки (400...600°C), благодаря чему не изменяется структура материала; сохранение азотированного слоя при нагреве до 600...650°C; возможность обработки изделий неограниченных размеров и формы; процесс является высокопроизводительным, ресурсосберегающим и безотходным; экологически чистая технология.



Рисунок 1 — Общий вид отрезной (на переднем плане) и прорезной (шлицевой) фрезы

Список цитируемых источников

1. Ионная химико-термическая обработка сплавов / Б. Н. Арзамасов [и др.]. — М. : Изд-во МГТУ им. Баумана, 1999. — 400 с.
2. Смольников, Е. А. Термическая и химико-термическая обработка инструментов в соляных ваннах / Е. А. Смольников. — 2-е изд., перераб. и доп. — М. : Машиностроение, 1989. — 311 с.

УДК 621.9.048

М. В. Нерода¹, кандидат технических наук, доцент, **Д. Канашка**², кандидат технических наук, доцент
¹Учреждение образования «Барановичский государственный университет», Барановичи
²Латвийский сельскохозяйственный университет, Елгава, Латвия

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ КОМБИНИРОВАННЫХ СПОСОБОВ ОБРАБОТКИ УПРОЧНЯЮЩИХ ПОКРЫТИЙ

Введение. Для экономии материальных средств и продления срока службы деталей машин, работающих в условиях интенсивного износа, применяются различные методы упрочнения и восстановления поверхностей. Эффективными методами являются методы газотермического напыления покрытий и методы наплавки. Повышенные физико-механические свойства таких покрытий затрудняют их последующую механическую обработку. В статье представлен анализ комбинированных способов обработки твердых материалов, а также предложен оптимальный метод магнитно-электрического шлифования, позволяющий повысить производительность процесса обработки при сохранении требуемых качественных характеристик поверхностей.

Основная часть. Процессы, лежащие в основе методов обработки с применением электрических и магнитных полей в зоне обработки, подразделяют на четыре группы: электроэрозионные, при которых материал покрытия удаляется в результате действия электрических разрядов; электрохимические, использующие преобразование электрической энергии в энергию, которая затрачивается на анодное растворение заготовки; лучевые, основанные на воздействии высококонцентрированных потоков энергии, и ультразвуковые, в которых обрабатываемый материал механически скалывается [1].

Перспективным направлением при обработке упрочняющих покрытий является применение электрофизических способов обработки [2—4], к которым относят: электроискровой, электроимпульсный, анодно-механический, ультразвуковой, а также лучевой и др.

Электроалмазное шлифование представляет собой высокопроизводительный способ обработки износостойких покрытий, титановых сплавов, вольфрамокобальтовых сплавов и жаропрочных сталей [5].

Работа токопроводящего круга заключается во внедрении алмазных зерен в заготовку при приложении нормальной силы и срезании части припуска. При протекании постоянного тока через электролит, находящийся между зернами круга, связкой и деталью, происходит электрохимическое растворение обрабатываемого материала, облегчается работа алмазных зерен. Вследствие контакта связки с заготовкой и высокой частоты вращения круга в зоне обработки возникают электроэрозионные процессы, приводящие к изменению свойств обрабатываемого материала и появлению на его поверхности электроэрозионных лунок [5]. Достоинством способа является высокая производительность процесса, возможность обработки материалов с высокими физико-механическими свойствами. Недостатком служит повышенный расход алмазных зерен, применение дорогостоящего инструмента и специального оборудования [5].

Электроабразивное шлифование по принципу обработки и оборудованию в основном соответствует процессу электроалмазного шлифования. Производительность данного способа на 1 мм ширины круга при глубине врезания до 1 мм достигает $1\ 000\ \text{мм}^3 / \text{мин}$ [6], при плотности тока $1,2 \dots 1,4\ \text{А} / \text{мм}^2$. Положительной особенностью процесса является применение более дешевого инструмента по сравнению с алмазным шлифованием, но применение сложного оборудования удорожает процесс обработки [6].

Процесс электроэрозионного шлифования основан на эффекте расплавления и испарения микропорций материала под тепловым воздействием импульсных электрических разрядов между поверхностью обрабатываемой детали и электрод-инструментом, погруженным в жидкую среду.

Электроэрозионное шлифование имеет свои особенности [7]. Твердость электрод-инструмента не обязательно должна превышать твердость обрабатываемого материала, поэтому электрод-инструменты изготавливают из сплавов цветных металлов. Использование этих сплавов упрощает и удешевляет производство таких электродов; производительность процесса и качество обработки не зависят от твердости материала заготовки; во время обработки заготовка не контактирует с электрод-инструментом. Обработка заготовки ведется в жидкой, вязкой диэлектрической среде, обеспечивающей демпфирование электрод-инструмента. Отклонение профиля после электроэрозионного шлифования лежит в пределах $0,005 \dots 0,05\ \text{мм}$, шероховатость обработанной поверхности Ra — $2,5 \dots 0,25\ \text{мкм}$, производительность — до $260\ \text{мм} / \text{мин}$. Дефектный слой может достигать на черновых высокопроизводительных режимах до $0,2\ \text{мм}$; на чистовых и доводочных — менее $0,003\ \text{мм}$ [8].

Особенности магнитно-абразивной обработки — непрерывный контакт порошка с обрабатываемой поверхностью детали, что дает возможность повысить точность ее геометрических размеров и формы, снизить циклические нагрузки на систему «станок—приспособление—инструмент—деталь»; отсутствие жесткого крепления абразивного зерна в связке, способствующее самопроизвольному нивелированию режущего инструмента относительно формы обрабатываемой поверхности, устраняющее вероятность появления в зоне обработки критических давлений и температур и повышающее физико-механические показатели качества поверхностного слоя материала изделия; осуществление размерной или безразмерной (декоративной) обработки, обеспечивающей за $10 \dots 120\ \text{с}$ съём металла или сплава $0,02 \dots 0,5\ \text{мм}$ на диаметр; снижение шероховатости с $1,25 \dots 0,32\ \text{мкм}$ до $0,08 \dots 0,01\ \text{мкм}$ [9; 10].

При *электрохимическом шлифовании* разрушение обрабатываемой поверхности происходит за счет анодного растворения и абразивного воздействия зерен шлифовального круга. Производительность процесса достигает $2\ 500\ \text{мм}^3 / \text{мин}$. Точность обработки находится в пределах $0,08 \dots 0,15\ \text{мм}$; шероховатость обработанной поверхности Ra — в пределах $2,5 \dots 1,25\ \text{мкм}$.

Рабочая среда — электролиты различного состава [11]. К основным недостаткам способа следует отнести сложное оборудование и низкую экологическую чистоту процесса.

Наиболее эффективными в ряде случаев являются комбинированные методы обработки, к числу которых относится *магнитно-электрическое шлифование* (далее — МЭШ) [12]. В его основе лежат процессы, связанные с механическим резанием зернами абразива, электроэрозионным и термическим воздействием технологического тока на поверхность упрочняющего покрытия под влиянием внешнего магнитного поля. Данный вид шлифования является высокопроизводительным способом обработки токопроводящих материалов с высокими физико-механическими свойствами. Производительность обработки МЭШ может достигать $3\ 000\ \text{мм}^3 / \text{мин}$. Шероховатость обработанной поверхности Ra находится в пределах $0,32 \dots 1,25\ \text{мкм}$.

Особенностью способа является возможность изменения свойств поверхностного слоя обрабатываемого материала в заданном направлении за счет действия технологического тока и внешнего магнитного поля.

Заключение. Метод обработки поверхностей МЭШ, в зоне обработки которого используются дополнительные источники энергии технологического тока и электромагнитного поля, позволяет значительно повысить производительность обработки (по сравнению с традиционным шлифованием в $1,5 \dots 2$ раза). Преимущества МЭШ по сравнению с аналогичными методами (электроалмазным, электроабразивным, электроэрозионным) заключаются также в применении более дешевого (по сравнению с электроалмазным в $2 \dots 3$ раза) инструмента, возможности обеспечения процесса МЭШ на станках шлифовальной группы путем их модернизации. Важным является и то, что, управляя режимами МЭШ, можно изменять физико-механические свойства упрочняющих покрытий (повышать твердость, уменьшать шероховатость поверхности, повышать прочность сцепления покрытий с основой). Представляется перспективным применение способа МЭШ к упрочняющим покрытиям, полученным наиболее распространенными методами: газопламенным напылением и наплавкой.

Список цитируемых источников

1. Размерная электрическая обработка металлов : учеб. пособие / Б. А. Артамонов [и др.] ; под ред. А. В. Глазкова. — М. : Высш. шк., 1978. — 336 с.
2. Кузнецов, Э. Г. Исследование восстановления автомобильных деталей типа «вал-втулка» с использованием электрофизических способов обработки : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Э. Г. Кузнецов. — М., 1979. — 16 с.
3. Способ электроэрозионной обработки : а. с. 270157 СССР : № 1279710/25-08 / Ю. И. Сенин, А. Б. Сосенко, В. Е. Лебедев, М. Л. Левит ; заявл. 01.11.68 ; дата публ.: 1981. — № 29.
4. Электрофизические и электрохимические методы обработки материалов / Б. А. Артамонов [и др.] // Обработка материалов с применением инструмента / под ред. В. П. Смоленцева. — М. : Высш. шк., 1983. — Т. 1. — 247 с.
5. Крымов, В. В. Алмазное шлифование деталей из титановых сплавов и жаропрочных сталей / В. В. Крымов, В. А. Горелов. — М. : Машиностроение, 1981. — 61 с.
6. Клубникин, В. С. Плазменное напыление покрытий в активных средах / В. С. Клубникин, М. В. Карасев, Г. К. Петров. — Л. : О-во «Знание» РСФСР, ЛО, ЛДНТП, 1990. — 20 с.
7. Шумов, Е. Г. Электроэрозионное шлифование / Е. Г. Шумов, Е. А. Деев. — М. : Машиностроение, 1977. — 48 с.
8. Немилев, Е. Ф. Справочник по электроэрозионной обработке материалов / Е. Ф. Немилев. — Л. : Машиностроение : Ленингр. отд-ние, 1989. — 164 с.
9. Кожуро, Л. М. Обработка деталей машин в магнитном поле / Л. М. Кожуро, Б. П. Чемисов ; под ред. Н. Н. Подлекарева. — Минск : Навука і тэхніка, 1995. — 232 с.
10. Алмазно-абразивная обработка и упрочнение изделий в магнитном поле / П. И. Ящерицын [и др.]. — Минск : Наука и техника, 1988. — 272 с.
11. Проектирование технологических процессов в машиностроении : учеб. пособие для вузов / И. П. Филонов [и др.] ; под общ. ред. И. П. Филонова. — Минск : Технопринт, 2003. — 910 с.
12. Дмитриченко, Э. И. Разработка и исследование процесса магнитно-электрического шлифования деталей машин : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.02.08. / Э. И. Дмитриченко ; Моск. автомобилестроит. ин-т. — 1991. — 17 с.

УДК 678:538.911

Е. В. Овчинников¹, доктор технических наук, доцент, **А. П. Возняковский**², доктор химических наук, профессор, **В. А. Ляпо**¹, доктор физико-математических наук, профессор, **И. А. Петропавловский**³, доктор технических наук, **А. А. Возняковский**⁴, **Е. И. Эйсымонт**¹, кандидат технических наук

¹Учреждение образования «Гродненский государственный университет имени Янки Купалы», Гродно

²Федеральное государственное унитарное предприятие «Научно-исследовательский институт синтетического каучука им. академика С. В. Лебедева», Санкт-Петербург, Российская Федерация

³Федеральное государственное бюджетное учреждение высшего профессионального образования «Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева», Москва, Российская Федерация

⁴Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Физико-технический институт имени А. Ф. Иоффе Российской академии наук», Санкт-Петербург, Российская Федерация

ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ ФУНКЦИОНАЛИЗИРОВАННЫМИ УГЛЕРОДНЫМИ ЧАСТИЦАМИ

Введение. Создание функциональных композиционных материалов на основе термопластичных полимеров достигается путем модифицирования порошками, кластерами, волокнами, агломератами различной степени дисперсности [1—8]. Перспективным направлением в области создания новых материалов на базе полимеров является использование низкоразмерных частиц. Применение данного типа веществ определено их отличием в физико-химических характеристиках от объемных материалов той же природы. В 90-х годах прошлого столетия одним из перспективных нанодисперсных модификаторов считался низкоразмерный углерод, получаемый по бризантной технологии с отрицательным кислородным балансом [9; 10]. Применение данного модификатора позволило создать широкую гамму различных композиционных материалов на основе полимерной, полимер-олигомерной матриц [11]. Однако основной проблемой применения ультрадисперсных углеродных частиц является низкая термодинамическая совместимость с модифицируемым полимерным материалом. Решить данную проблему позволяет применение функционализированных углеродных частиц, что достигается путем модифицирования поверхности детонационных наноалмазов (ДНА) радикалами различной природы. Одним из перспективных направлений использования функционализированных ДНА (ФДНА) является применение их для получения полимерных нанокомпозитов непосредственно в процессе синтеза. Этот подход позволяет избежать таких нетехнологических операций, как наполнение чернотой растворов или расплавов.

Основная часть. В настоящее время показано, что элементарный углерод способен образовывать сложные геометрические поверхности, состоящие из пяти-, шести-, семи- и восьмиугольников. С 80-х годов XX века были открыты различные формы элементарного углерода — фуллерены и нанотрубки, гигантские фуллерены и луковичные структуры, тороидальные и спиральные формы углерода. Морфология данных частиц достаточно различна, что обусловлено различными технологическими процессами формирования структуры. Исходя из проведенных исследований можно характеризовать углеродные нанокластеры, полученные по различным технологиям, как образования сложного строения, имеющие поверхностный слой с активными фрагментами, в большинстве случаев обладающими свободными электронами, причем наличие свободных электронов обуслов-