

Для подтверждения теоретических выводов и изучения характера воздействия внешнего магнитного поля было разработано устройство на базе серийной установки для электроискрового легирования ЭФИ-46А, позволяющее воздействовать вращающимся магнитным полем на процесс электроискрового легирования.

Выводы.

Предварительная лазерная обработка электроискровых покрытий позволяет получить мелкодисперсную структуру материала подложки, что исключает значительный рост зерна и, следовательно, появление микротрещин.

В результате последующего электроискрового легирования у поверхности образуется слоистая износостойкая зона глубиной 250...450 мкм с максимальной микротвердостью у поверхности до 16 ГПа и высокой микротвердостью по глубине слоя до 11...12 ГПа

Сочетание же электроискрового легирования и электромагнитной обработки значительно снижает шероховатость поверхности. Комбинирование перечисленных способов обеспечивает повышение качества и эффективности обработки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ящерицын, П.И. Алмазно-абразивная обработка и упрочнение изделий в магнитном поле / П.И. Ящерицын [и др.]. – Минск: Наука и техника, 1988. – 272 с.
2. Марочник сталей и сплавов / В.Г. Сорокин [и др.]; под общ. ред. В.Г. Сорокина. – М.: Машиностроение, 1989. – 640 с.
3. Коваленко, В.С. Лазерное и электроэрозионное упрочнение материалов / В.С. Коваленко. – М.: Наука, 1986. – 276 с.
4. Девойно, О.Г. О поверхностном упрочнении стали 40×13 лазерным лучом / О.Г. Девойно, Г.М. Яковлев. – М.: Машиностроение, 1983. – Вып. 8. – С. 127–128.

УДК 621.923.7

Майборода В.С., Лебедев В.Я.

КИНЕМАТИКА ПРОЦЕССА МАГНИТНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ ТВЕРДОСПЛАВНЫХ РЕЖУЩИХ ПЛАСТИН В УСЛОВИЯХ БОЛЬШИХ МАГНИТНЫХ ЗАЗОРОВ

НТУУ «Киевский политехнический институт»

Киев, Украина

ГНУ «Физико-технический институт НАН Беларуси»

Минск, Беларусь

Эксплуатационные свойства режущего инструмента в значительной мере определяются как материалом лезвия, так и микрорельефом и физико-механическими свойствами его поверхностного слоя. Указанные факторы взаимосвязаны и формируются при финишной обработке инструмента. Распространенными методами обработки многогранных неперетачиваемых твердосплавных пластин (МНТП) является дробеструйная и виброабразивная. Одним из новых финишных методов является магнитно-абразивная обработка (МАО), осуществляемая посредством абразивного порошка, сформированного и уплотненного магнитным полем.

МАО в условиях больших магнитных зазоров осуществляется при активном взаимодействии обрабатываемой поверхности с реологическим инструментом, формируемым магнитным полем и геометрией полюсных наконечников. Процесс характеризуется комбинированным воздействием на обрабатываемую поверхность, включающим ударное, фрикционное взаимодействие и микрорезание [1, 2].

Процесс МАО МНТП целесообразно выполнять на установках типа «кольцевая ванна», когда деталь совершает вращение вокруг собственной оси и перемещается через рабочую зону. При вращении пластины вокруг собственной оси со скоростью ω_n теоретически может обрабатываться только часть грани многогранной пластины. Другая часть будет находиться в «тени». Поэтому необходимо детали задавать дополнительное движение - перемещение через рабочую зону со скоростью ω_x для обеспечения более равномерной обработки граней пластины. В работах [1, 2]

показано, что стабильность и равномерность процесса МАО деталей типа тела вращения реализуется при их перемещении в рабочих зонах по траектории в виде эпициклоиды с наибольшей эффективностью при величине $n = \omega_0 / \omega_k = 5000 \div 8000$ [2]. Полученные результаты не учитывают особенностей формы деталей и направлены на обеспечение максимальной производительности. Для обработки МНТП необходимо обеспечить равномерный прижим порошка к обрабатываемым поверхностям детали и наличие тангенциальных сил, обеспечивающих диспергирование, выглаживание или пластическое деформирование поверхностного слоя. Это может быть достигнуто управлением величиной магнитных сил, за счет конфигурации и градиентов магнитного поля, выбором оптимальной скорости и траектории перемещения деталей в абразивной среде.

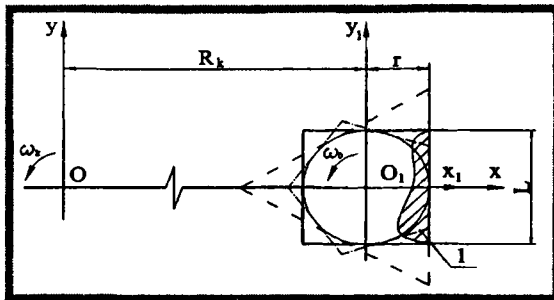


Рисунок 1 - Кинематическая схема обработки многогранной пластины в «кольцевой ванне»

Рассмотрим схему МАО детали в «кольцевой ванне», при которой обрабатываемая пластина вращается вокруг собственной оси O_1 со скоростью ω_0 и вокруг оси кольцевой ванны O со скоростью ω_k (рис. 1).

Кинетическая энергия, которой обладает при МАО каждая точка на грани МНТП равна

$$dE = \frac{dm \cdot V^2}{2} \quad (1)$$

где - $dm = \rho \cdot dS \cdot dl$ - масса малого объема порошка, в предположении, что плотность абразивной среды ρ является постоянной величиной;

dS - периферия точки на грани пластины;

dl - путь, пройденный точкой на грани пластины за промежуток времени dT

Величину dl можно определить как: $dl = \sqrt{[x'(T)]^2 + [y'(T)]^2} dT$.

Примем две системы координат: x, y с центром в точке O и x_1, y_1 с центром в точке O_1 . Система x_1, y_1 вращается вокруг точки O_1 с угловой скоростью ω_0 и относительно точки O с угловой скоростью ω_k (рис.1).

Уравнение траектории движения точки на грани пластины в системе координат x_1, y_1 :

$$\begin{cases} x_1(T) = r \cdot \cos \omega_0 \cdot T - L_i \cdot \sin \omega_0 \cdot T \\ y_1(T) = L_i \cdot \cos \omega_0 \cdot T + r \cdot \sin \omega_0 \cdot T \end{cases}$$

где: - L_i определяет положение точки на грани пластины, м;

- T - время, с.

При переходе от системы координат от x_1, y_1 к X, Y уравнение траектории движения той же точки на грани пластины примет вид:

$$\begin{cases} x(T) = r \cdot \cos(\omega_0 \cdot T) - L_i \cdot \sin(\omega_0 \cdot T) + R_k \cdot \cos(\omega_k \cdot T) \\ y(T) = L_i \cdot \cos(\omega_0 \cdot T) + r \cdot \sin(\omega_0 \cdot T) + R_k \cdot \sin(\omega_k \cdot T) \end{cases}$$

После замены переменной T на t - угол поворота пластины вокруг оси «кольцевой ванны», уравнения траектории движения точки будут иметь вид:

$$\begin{cases} x(t) = r \cdot \cos(n \cdot t) - L_i \cdot \sin(n \cdot t) + R_k \cdot \cos(t) \\ y(t) = L_i \cdot \cos(n \cdot t) + r \cdot \sin(n \cdot t) + R_k \cdot \sin(t) \end{cases}$$

где $n = \frac{\omega_0}{\omega_k}$ - передаточное соотношение.

Модуль нормальной скорости V_n определяется как проекция вектора скорости на нормаль к грани пластины: $V_n = V \cdot \cos \varphi$,

где V - скорость точки на грани пластины, определяемая как $V = \frac{dl}{dT}$;

- φ - угол между вектором скорости и нормалью к грани пластины.

Тогда суммарная относительная кинетическая энергия точки на грани будет равна:

$$E_x = \frac{\rho}{2} \frac{dS}{dt} \int_0^L \left[[x'(t)]^2 + [y'(t)]^2 \right]^{1/2} \cos^2 dt. \quad (2)$$

Из за сложной формы МНТП могут иметь место случаи, когда вектор скорости абразивной

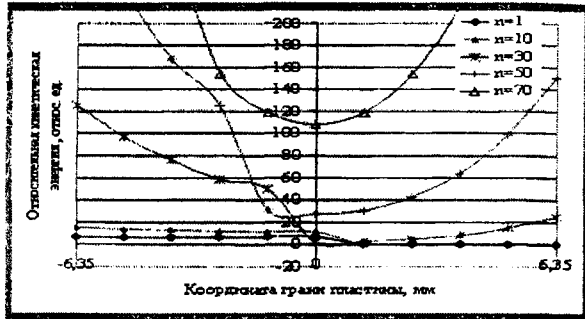


Рисунок 2 - Изменение величины относительной кинетической энергии вдоль грани пластины при MAO в условиях кольцевой ванны

среды относительно пластины на грани направлен в тело пластины и реализуется активное взаимодействие абразива с обрабатываемой поверхностью или когда вектор направлен от тела пластины и обработка не происходит. Последний случай относится к условиям формирования «теневой зоны». Для определения случаев, когда точки на грани находятся в «теневой зоне», необходимо определить угол между вектором скорости движения точки на грани пластины и вектором, расположенным по нормали к грани пластины. В случаях, когда $\varphi \geq 90$, составляющую от скорости движения точки не учитывают. Интеграл в зависимости 2 находится численно. Одновременно в расчетах исключаются случаи, которые относятся к условиям образования «теневых зон».

Распределение суммарной относительной кинетической энергии передаваемой от абразивной среды каждой точке на грани E_x по длине грани пластины L при разных передаточных соотношениях n приведено на рис. 2.

С ростом величины передаточного соотношения n равномерность обработки вдоль грани падает. В этом случае более интенсивно обрабатываются те части грани, которые расположены возле угла МНТП. Анализ полученных зависимостей (рис.2) показал, что для реализации равномерной обработки необходимо создание условий, при которых передаточное соотношение $n < 10$. Но при вращении пластины вокруг оси кольцевой ванны в одном направлении (по или против часовой стрелки) будет обрабатываться лишь около 60 % длины грани. Для обеспечения обработки всей длины грани необходима обработка с реверсом.

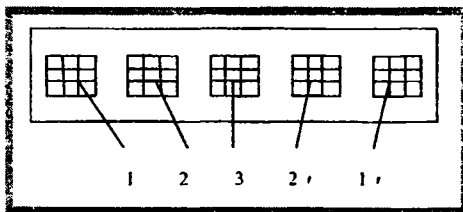
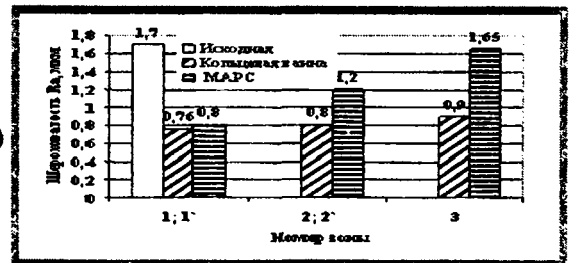
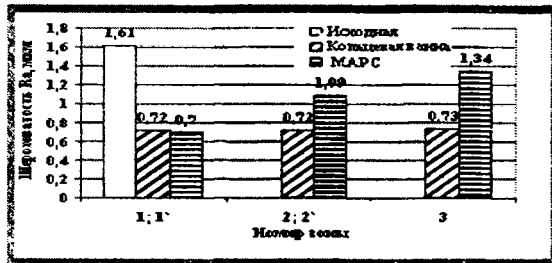


Рисунок 3 - Изменение шероховатости по длине грани МНТП

Использование метода MAO в условиях малых рабочих зазоров (до 2 мм) обеспечивает достижение высоких классов шероховатости обрабатываемых пластин и улучшение физико-механических характеристик поверхностного слоя деталей. Изменение свойств поверхностного слоя при MAO с индукцией магнитных полей в рабочих зонах 0,8-1,2 Тл обеспечивается на глубине до 10-15 мкм [4]. Это не достаточно для получения положительных результатов по повышению стойкости режущего инструмента, достигаемых виброабразивной обработкой. Кроме того, такая обработка не приемлема для многогранных пластин из-за невозможности обеспечения равномерности обработки всей поверхности пластин. Объединить преимущества MAO и виброабразивных

методов упрочнения позволяет метод МАО в больших рабочих зазорах [1,3]. Для реализации указанных условий МАО использована технологическая наладка для установки типа «кольцевая ванна» на базе вертикально фрезерного станка. Наладка обеспечивает возможность одновременной обработки шести пластин и состоит из приводного и шпиндельного модулей. Приводной модуль служит для отбора мощности от шпинделя станка и передачи вращения на шесть шпиндельных модулей и настройки их частоты вращения относительно частоты вращения шпинделя станка. Сменные колеса модулей позволяют ступенчато регулировать их частоты вращения.

При исследовании использовались МНТП после виброабразивной обработки. Шероховатость по задней поверхности для пластин 10114-110408 Т5К10 составляла по параметру R_a 1,61 мкм, для 02114-100608 Т15К6 - 1,72 мкм. Перемещение обрабатываемых пластин через рабочую зону осуществлялось со скоростью 0,1 м/с, частота вращения вокруг оси шпинделя 100-800 мин⁻¹ и частота осцилляции вдоль оси 30-300 Гц с амплитудой 4 мм. Применялся порошок Полимам-Т зернистостью 500/200 мкм с добавлением 3-5% алмазной пасты фракции 3/2 мкм. Магнитная индукция в рабочих зазорах установок МАРС составляла 0,4 Тл. Общее время обработки с реверсом 60 с (30 с при вращении по часовой стрелке и 30 с в противоположном направлении). Скорость обработки деталей в зонах обработки составляла 1,8-2 м/с, что для обработки на установке типа МАРС составляло 800 об/мин., а на установке типа кольцевая ванна – 200 об/мин. Результаты измерений по граням для пяти одинаково обработанных пластинок каждого типа приведены на рис. 3.

Полученные результаты показывают, что кинематические особенности процесса МАО на установках типа «кольцевая ванна» обеспечивают более равномерную обработку по всем поверхностям МНТП и способствует снижению их шероховатости. Анализ показал, что изменение шероховатости после МАО зависит от условий предварительной обработки. Для образцов после виброгалтовки имеет место незначительное снижение параметра R_a , а после алмазного шлифования снижение более существенное. Это связано с разной микрогеометрией поверхностей, сформированных на предыдущих перед МАО стадиях обработки. После виброгалтовки микропрофиль не имеет острых выступающих вершин, как после алмазного шлифования. Так как процесс МАО в условиях «кольцевой ванны» в больших зазорах происходит за счет активного ударно-фрикционного взаимодействия абразивной среды и обрабатываемой поверхности, то острые микровыступы, характерные для поверхности после алмазного шлифования, удаляются в первую очередь. Улучшение же поверхности после виброгалтовки происходит преимущественно за счет микровыглаживания и истирания микровыступов.

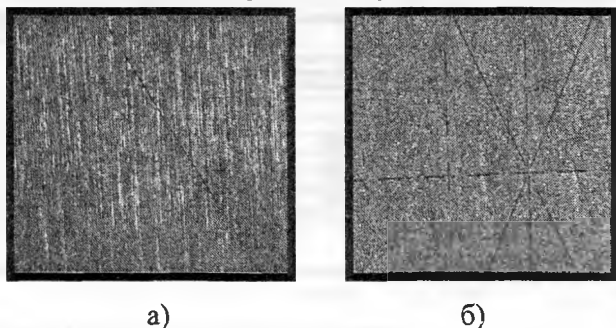


Рисунок 4 – Поверхность МНТП после алмазного шлифования – а, после МАО – б

Исследования микрогеометрии поверхностей твердосплавных пластин при МАО выполняли на цилиндрических твердосплавных элементах диаметром 12 мм, высотой 20 мм из сплава Т14К8. Указанная форма элементов исключает проявление нежелательных эффектов, которые могут возникать в локальных объемах абразивной среды во время обработки из-за особенностей формирования реологического инструмента. Предварительно твердосплавные элементы подвергались алмазному шлифованию до значений шероховатости поверхности по параметру $R_a = 0,75-0,8$ мкм. МАО выполняли при вращении пластин вокруг оси кольцевой ванны со скоростью 1-4 м/с и одновременном вращении вокруг собственной оси в направлении, противоположном вращению вокруг оси кольцевой ванны. Установка обеспечивает возможность реверсивного вращения. Обработку выполняли порошком Полимам-Т зернистостью 200/160 мкм с введением 1-2% алмазного микрораспыла. Величина магнитной индукции в рабочих зазорах изменялась от 0,2 до 0,32 Тл. Внешний вид поверхности пластин после алмазного шлифования и после МАО показан на рис.4.

Формирование шероховатости при МАО определяется особенностями формирования магнитно-абразивного инструмента и его поведением в рабочих зазорах в процессе обработки, что приводит к повышению подвижности, динамического давления отдельных частиц и их групп на

обрабатываемую поверхность. Это способствует более равномерному снижению высоты микронеровностей.

Показано, что наиболее эффективно процесс МАО МНТП реализуется при значениях магнитной индукции 0,32 - 0,42 Тл. Происходит снижение шероховатости по задней и передней поверхностям в 3 раза по сравнению с исходным значением. При скорости вращения обрабатываемого твердосплавного инструмента вокруг оси кольцевой ванны 2 м/с процесс активного формирования профиля при МАО происходит за первые 120-150 с. Далее наблюдается сглаживание неровностей, полученных на стадии алмазного шлифования. Влияние величины магнитной индукции на шероховатость рабочих поверхностей пластин показано на рис. 5.

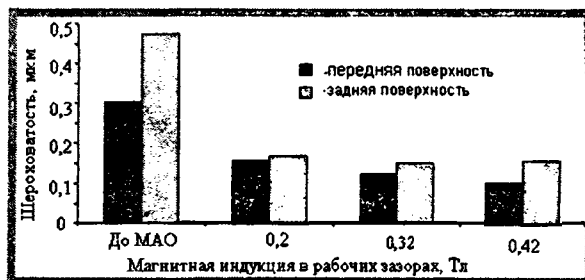


Рисунок 5- Влияние величины магнитной индукции в рабочих зонах магнитных зазоров на шероховатость рабочих поверхностей МНТП.

Лучшие результаты по достигаемой шероховатости получены при значениях магнитной индукции в рабочих зазорах около 0,2 Тл и скорости обработки 3 м/с. С увеличением времени обработки более 240-300 с шероховатость обработанной поверхности растет, происходит преимущественное удаление кобальтовой связки и на поверхности проявляются карбидные составляющие, отмечается их выкрашивание.

Таким образом, при взаимодействии абразивной среды с обрабатываемыми поверхностями МНТП происходит изменение микрорельефа поверхности, напряженного состояния и структуры поверхностного слоя. Такие изменения обусловлены комплексом эффектов, которые возникают при пластической и упруго-пластической деформации обрабатываемых поверхностей и действии на материал сил магнитного происхождения. Они определяются кинематикой процесса обработки, особенностями взаимодействия абразивных частиц с поверхностью деталей, физическими явлениями, связанными как с механическим разрушением тонкого поверхностного слоя, так и особенностями перемангничивания материала.

ЛИТЕРАТУРА

1. Барон Ю.М. Магнитно-абразивная и магнитная обработка изделий и режущих инструментов. Л.: Машиностроение, 1986. – 176 с. 2. Сакулевич Ф.Ю. Основы магнитно-абразивной обработки. – Мн.: Наука и техника, 1981. – 328 с. 3. Оликер В.Е. Порошки для магнитно-абразивной обработки и износостойких покрытий. – М.: Металлургия, 1990. – 176 с. 4. Кожуро Л.М., Ремизовский Э.И., Ярошевич Г.Б. Качество поверхностного слоя при магнитно-абразивном полировании // Известия ВУЗов. Машиностроение. – 1985. - №9. – с.146-150.

УДК 621.787.4-048.6

Басенок Г.С., Сидоренко В.А., Бачанцев А.И.

УЛЬТРАЗВУКОВАЯ УПРОЧНЯЮЩЕ-ЧИСТОВАЯ ОБРАБОТКА ВИНТОВЫХ ПРУЖИН

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Среди большого разнообразия упругих элементов машин (рессор, торсионов, гибких валов, упругих контактов и т.д.) значительное место принадлежит пружинам различных конструкций, основным эксплуатационным свойством которых являются их сопротивление усталости, т. е. способность пружин к продолжительной работе в условиях циклических напряжений. Решающее влияние в этих условиях оказывает состояние поверхностного слоя, который из-за несовершенства технологического воздействия и влияния окружающей среды в той или иной мере имеет микроразрушения, риски, неровности, играющие роль концентраторов напряжений.