

**МАГНИТНО-АБРАЗИВНАЯ ОБРАБОТКА МНОГОГРАННЫХ
НЕПЕРЕТАЧИВАЕМЫХ ТВЕРДОСПЛАВНЫХ ПЛАСТИН В УСЛОВИЯХ
БОЛЬШИХ РАБОЧИХ ЗАЗОРОВ**

**1. Влияние условий базирования режущих пластин в рабочих зонах на
эффективность процесса обработки.**

Майборода В.С., Джулий Д.Ю., Фесюн Б.М., Анисимова А.В., Гейчук В.Н
(НТУУ “КПИ”, г. Киев, Украина)

Введение

Работоспособность твердосплавного режущего инструмента в значительной степени определяется микрогеометрией его рабочих поверхностей, а именно уровнем шероховатости, величиной опорной поверхности микропрофиля, наличии на поверхности микроконцентраторов напряжений в виде микросколов, вырывов (особенно на режущих кромках), которые могут быть причиной разрушения инструмента в процессе его эксплуатации, а также напряженным состоянием тонкого поверхностного слоя, величиной поверхностной твердости и характером ее изменения по глубине.

Именно на эти два фактора обращают особое внимание на финишных стадиях изготовления инструмента при формировании окончательной шероховатости рабочих поверхностей режущего инструмента, радиусов округления режущих кромок, напряженного состояния поверхностного слоя.

Основное содержание работы

Наиболее распространенными методами финишной обработки при изготовлении твердосплавного режущего инструмента, особенно многогранных неперетачиваемых твердосплавных пластин (МНТП) являются виброабразивная или струйно-абразивная обработки, которые применяют после их спекания. Цель данных технологических операций – удаление «облоя», остатков засыпки, применяемой при спекании, снижение уровня шероховатости, притупление режущих кромок МНТП, формирование благоприятных сжимающих остаточных напряжений в поверхностном слое. Достаточно распространенной операцией при размерной финишной обработке является шлифование рабочих поверхностей МНТП абразивным инструментом из сверхтвердых материалов. В последнее время широко применяют методы комбинированной финишной обработки твердосплавного режущего инструмента, которые используют комплексное воздействие различных технологических процессов и физических явлений, способных формировать заданные свойства рабочих поверхностей МНТП, обеспечивая повышение их эксплуатационных характеристик. К одному из таких методов можно отнести метод магнитно-абразивной обработки (МАО). Эффективность использования этого метода для финишной обработки подтверждается результатами работ, описанными в [1-4]. Показана возможность не только формирования шероховатости рабочих поверхностей на уровне 0,15-0,2 мкм, а и перспективы, связанные с наклепом поверхностного слоя твердых сплавов, обеспечивающего существенное повышение поверхностной твердости (в ряде случаев до величины $HV=18-20$ ГПа, на глубине более 10-50 мкм), повышение работоспособности режущего инструмента не менее чем в 1,3-1,5 раза. Последние исследования, выполненные в данном направлении, связаны со схемой обработки в условиях больших рабочих зазоров. Общим недостатком методов, применяемых при МАО МНТП являются ограничения, связанные с существующими схемами обработки,

определяемые условиями базирования деталей в зонах обработки – когда ось МНТП расположена вертикально и совпадает с осью преимущественного вращения шпинделя станка. Подобные ограничения объясняются существующим для MAO оборудованием и известными схемами обработки, которые являются развитием и усовершенствованием схемы роторной обработки, реализуемой на станках типа MAPC [5] и типа «кольцевая ванна» [1]. Данные схемы MAO не учитывают в полной мере специфику процесса обработки, определяемую сложной и разнообразной формой МНТП. При этом необходимо одновременно решать задачи, связанные с обеспечением равномерной и эффективной обработки всех рабочих поверхностей твердосплавного инструмента – задней и передней поверхностей, непосредственно режущих кромок, элементов, предназначенных для стружкодробления на передней поверхности, опорных поверхностей.

Поэтому целью работы было проведение сравнительного анализа эффективности процесса MAO МНТП в различных условиях, реализуемых на оборудовании, которое обеспечивает различную кинематику и динамику процесса обработки.

Экспериментальные исследования MAO МНТП выполняли на установках трех типов, реализующих разную кинематику и динамику процесса перемещения обрабатываемых деталей в рабочих зонах при обработке:

- магнитно-абразивном роторном станке MAPC-4 с вертикальным расположением шпинделей, в которых на оправках закрепляют МНТП (рис.1),
- на установке типа кольцевая ванна, описанной в [4] (рис.2),
- на экспериментальной установке, аналогичной кольцевой ванне со специально разработанной технологической наладкой (рис.3), обеспечивающей:
 - возможность позиционирования и последующего перемещения обрабатываемых изделий под различными углами в кольцевой рабочей зоне,
 - возможность вращения деталей вокруг оси оправки, используемой для крепления МНТП, в различных направлениях с регулируемой частотой,
 - возможность регулируемого вращения головки станка с технологической наладкой вокруг оси кольцевой ванны.



Рис. 1. Рабочая зона станка MAPC

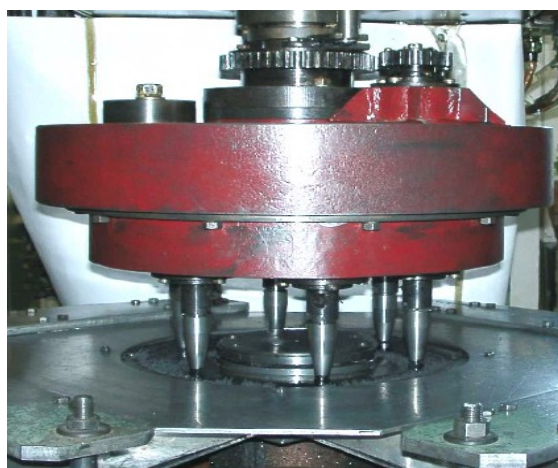


Рис. 2. Шестишпindelный рабочий модуль установки типа кольцевая ванна

Разработанная технологическая наладка является экспериментальным прототипом головки для магнитно-абразивной обработки, описанной в [6].

Исследования выполняли на четырехгранных пластинах, изготовленных из двух- и трехкарбидных твердых сплавов типа Т15К6 и ТТ10К8. Использовали оконча-

тельно обработанные пластины CNMG 120412, SNMG 12040822 и SNUM 120408, изготовленные фирмами KENNAMETAL, MITSUBISHI и ОАО «Кировградским заводом твердых сплавов». Исследуемые пластины на финишном этапе изготовления подвергались виброабразивной обработке в условиях завода изготовителя. Предварительный анализ состояния рабочих элементов МНТП разных изготовителей показал, что шероховатость рабочих поверхностей до МАО для пластин KENNAMETAL, MITSUBISHI составляет 0,7-0,9 мкм, рабочие кромки без микросколов со средней величиной радиуса режущей кромки в диапазоне 30-38 мкм.

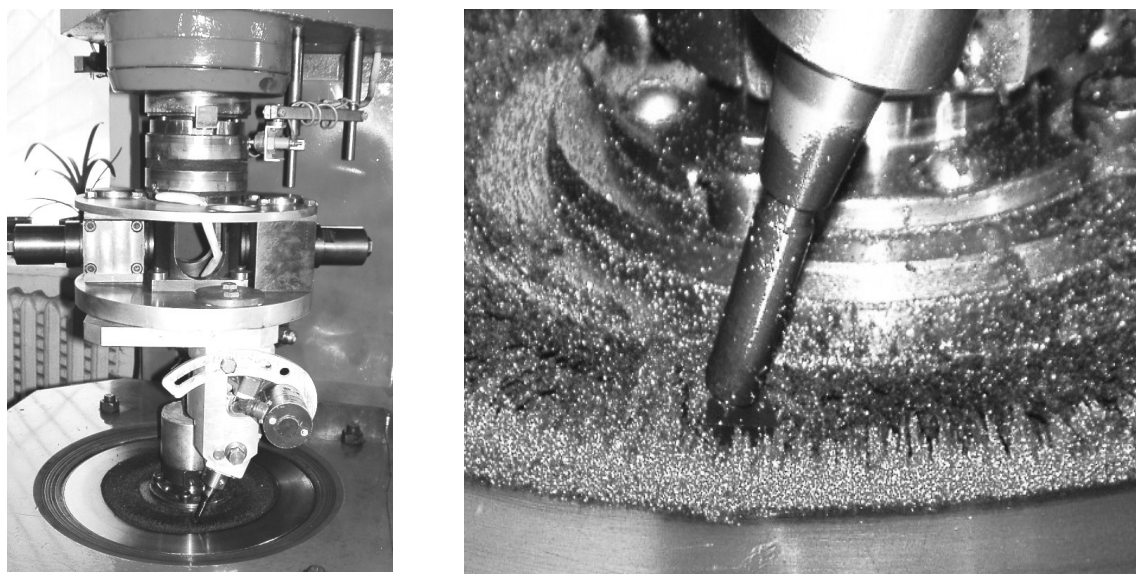


Рис. 3. Рабочая головка экспериментальной установки с установленной поворотной технологической наладкой

Шероховатость рабочих поверхностей (передней и задней) кировградских пластин составляет 0,8-0,9 мкм, опорной поверхности – 0,33-0,35 мкм, рабочие кромки имеют радиус округления 35-45 мкм, на отдельных пластинах имеют место микросколы и неправильная форма радиуса. (рис.4).

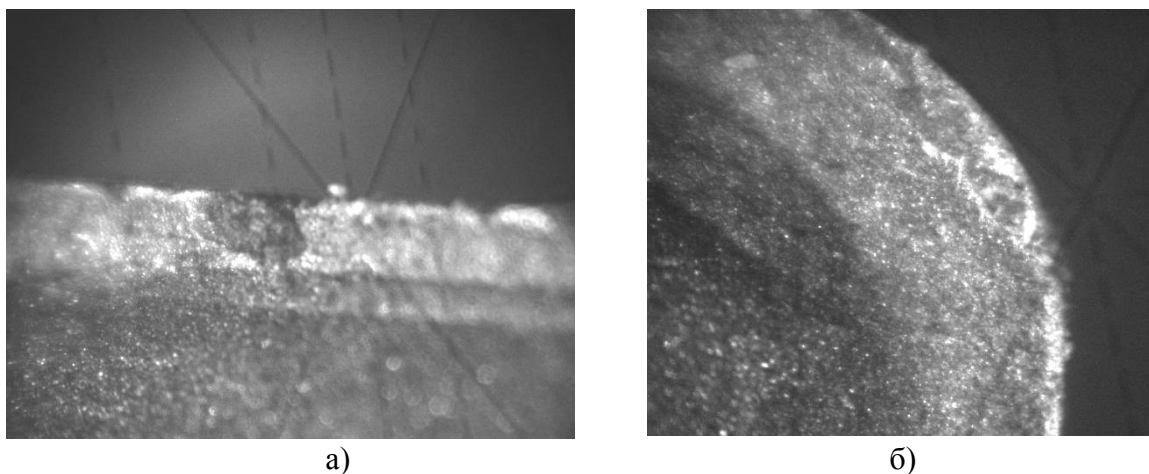


Рис. 4. Внешний вид микросколов на поверхности пластин SNUM 120408 до МАО: (а) – на грани, и (б) – на уголке МНТП, х20.

Первая группа пластин обрабатывалась на станке МАРС-4 при скорости вращения вертикально расположенных шпинделей с закрепленными в них на оправках МНТП (рис.1) 2,8 м/с и скорости перемещения вращающихся деталей через рабочие зоны 0,006 м/с. Время MAO составляло 120 с. Обработка выполнялась с реверсом вращения. Величина магнитной индукции в рабочих зазорах (свободных от магнитно-абразивного порошка) поддерживалась на уровне 0,28 Тл. В качестве магнитно-абразивного порошка использовали порошок Ферромап с размером частиц 200/100 мкм и с добавлением 5% алмазной пасты АСМ 3/2 [2,4].

Вторая группа пластин обрабатывалась на установке типа кольцевая ванна с шести шпиндельным модулем (рис.2). MAO выполняли порошком Ферромап с размером частиц 630/400 мкм и порошком Ферромап с размером частиц 200/100 мкм и с добавлением 5% алмазной пасты АСМ 3/2, при величине магнитной индукции в рабочих зазорах 0,28-0,3 Тл, скорости обработки 2 и 3 м/с, времени обработки 120 с. При этом 60 с выполнялась обработка при вращении шести шпиндельного модуля по часовой стрелке и 60 с – против часовой стрелки.

Третья группа пластин обрабатывалась на экспериментальной установке (рис.3) при скорости MAO, которая варьировалась в диапазоне 2-2,5 м/с, при частоте вращения вокруг оси кольцевой ванны 200, 230 и 250 об./мин., времени обработки 120 и 360 с с реверсивным вращением, при магнитной индукции в рабочих зонах 0,25 Тл. Угол наклона оправок, на которых устанавливали МНТП, по отношению к оси кольцевой ванны изменялся в диапазоне от 0° до 45°. Вращение оправок вокруг собственной оси осуществлялось при частотах 200, 500 и 600 об./мин., причем направление вращения оправок либо совпадало, либо было противоположным направлению вращения вокруг оси кольцевой ванны.

При обработке МНТП всех трех групп при MAO в качестве СОТС использовали АСФОЛ – смазывающее охлаждающая технологическая среда на основе синтетических и растительных масел, которая хорошо себя зарекомендовала при MAO режущего инструмента [7].

Исследовали влияние углов базирования МНТП в рабочих зазорах, режимов MAO на величину шероховатости задней передней и опорных поверхностей, характер изменения величины радиусов округления режущих кромок на уголке и на гранях пластин, характер изменения величины опорной поверхности микропрофиля.

На первом этапе исследований выполнялось сравнение кинематики процесса MAO, реализуемой на различных станках при вертикальном расположении шпиндельных оправок с установленными в них МНТП кировградского завода твердых сплавов. Установлено, что величина Ra как на задней, так и на передней поверхности режущих пластин за время обработки 120 секунд с реверсом вращения достигает величины 0,6-0,63 мкм на передней и задней поверхности и практически не зависит от состава применяемого порошкового МАИ. При этом следует отметить, что при обработке на станке МАРС получены худшие результаты, подтверждающие результаты работы [4,8]. Шероховатость опорных поверхностей после MAO достигала величины 0,2-0,22 мкм. Рельеф, сформированной после магнитно-абразивной обработки поверхности, представлен на рис. 5.

Такая низкая эффективность MAO объясняется исходным качеством пластин и характером финишной обработки, результаты которой не представляется возможным, в полной мере, удалить при MAO. Анализ изменения величины опорной поверхности микропрофиля в зависимости от величины уровня микронеровностей (рис. 6) показал, что при MAO на станке МАРС имеет место некоторое снижение высоты микровыступов в

области вершин на передней поверхности режущих пласти, что может быть объяснено преобладанием при обработке тангенциальных сил резания при MAO и очень незначительными нормальными силами.

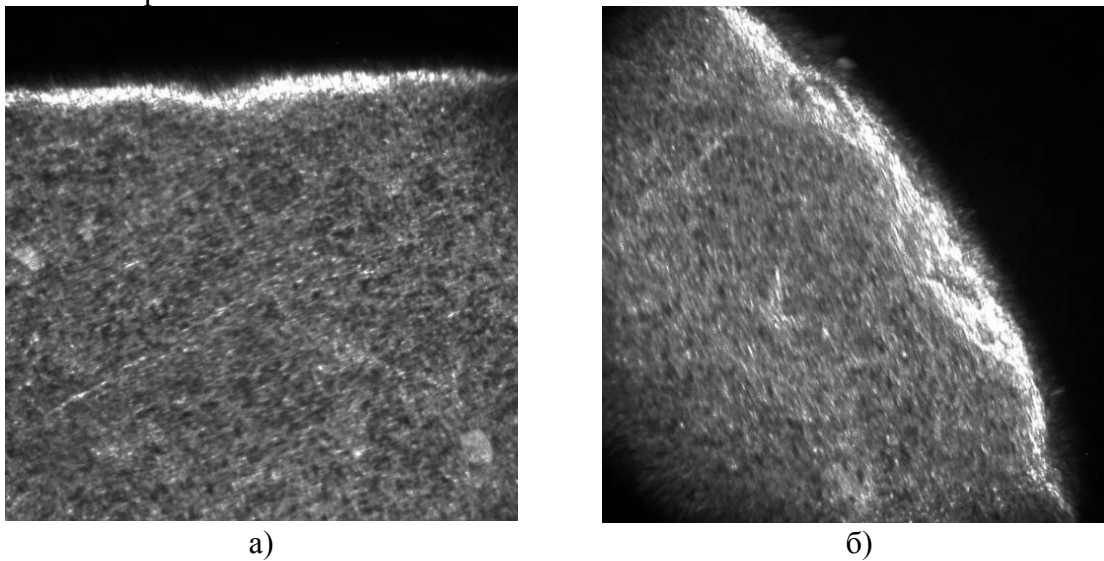


Рис. 5. Внешний вид рабочих поверхностей МНТП кировоградского завода твердых сплавов после MAO: (а) – на грани и (б) – на уголке МНТП, x120.

На задней поверхности преимущественно обрабатывается зона вблизи уголков пластины, что связано с особенностями кинематики процесса MAO [4,8], т.е. проявляется неравномерная обработки детали.

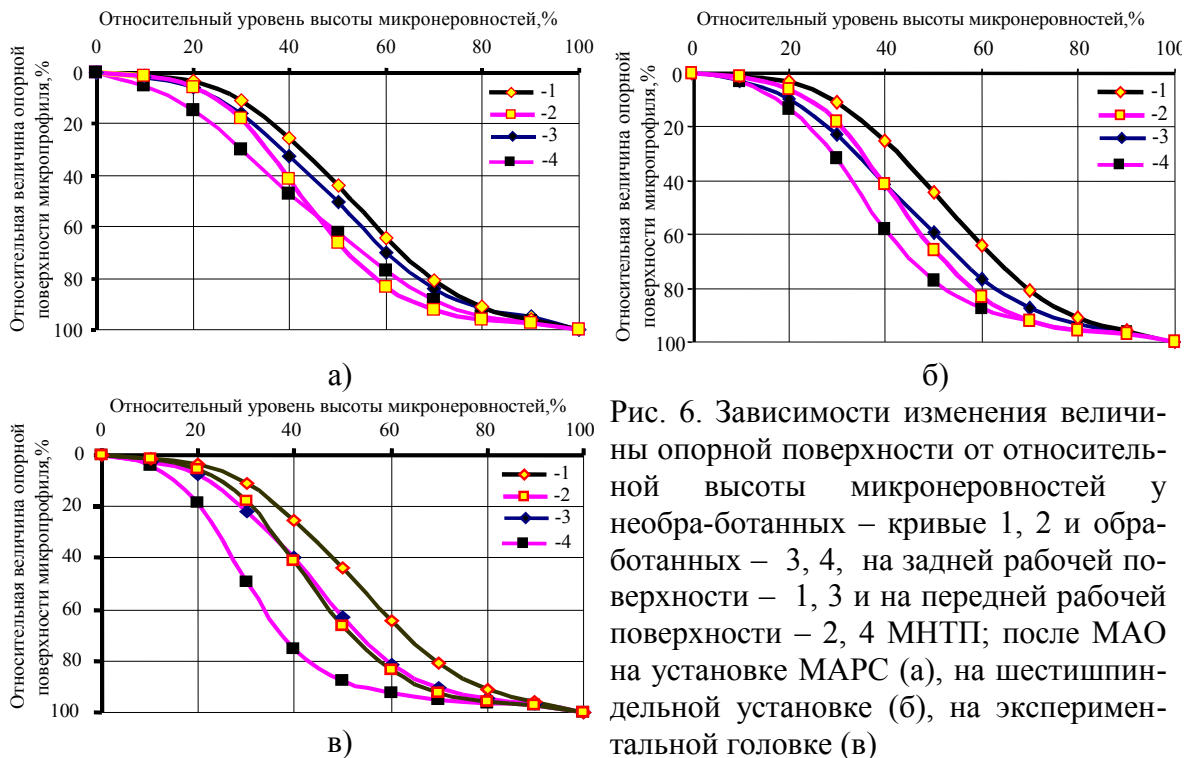


Рис. 6. Зависимости изменения величины опорной поверхности от относительной высоты микронеровностей у необработанных – кривые 1, 2 и обработанных – 3, 4, на задней рабочей поверхности – 1, 3 и на передней рабочей поверхности – 2, 4 МНТП; после MAO на установке MAPC (а), на шестишпиндельной установке (б), на экспериментальной головке (в)

При обработке на шестишпиндельной головке обеспечивается равномерная обработка. Наилучшие результаты получены при использовании МАИ, в состав которого

добавлена алмазная паста. Варьирование соотношениями частот и направления вращения деталей вокруг оси кольцевой рабочей зоны и вращения шпинделя с МНТП, реализуемое на экспериментальной установке показало, что при совпадении направлений вращения имеет место улучшение не только шероховатости (рис. 7), а и характера изменения опорной поверхности микропрофиля в зависимости от относительного уровня высоты микронеровностей. Происходит округление и удаление микровыступов, формируется сглаженный микрорельеф. При противоположном вращении характер изменения кривых величины опорной поверхности в зависимости от уровня высоты микронеровностей незначительны.

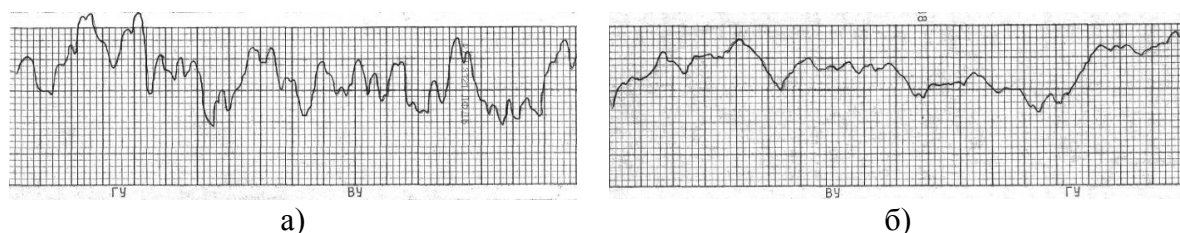


Рис. 7. Профилограммы задней поверхности режущих МНТП до (а) и после (б) МАО при вертикальном расположении шпинделей на экспериментальной установке, ГУ50000, ВУ 500.

Анализ изменения радиусов округления режущих кромок МНТП после МАО в различных условиях позволил установить, что после МАО на станке МАРС, при указанных выше режимах МАО на уголке формируется радиус 72-75 мкм, а на гранях пластин происходит только незначительное его увеличение на 5-7 мкм. Обработка на шести шпиндельной головке приводит к увеличению величины радиуса округления режущих кромок до 57-62 мкм на уголке и 40-50 мкм на грани. Минимальное притупление имеет место при обработке на экспериментальной установке и не превышает 5-12 мкм как на уголке, так и на гранях при условии совпадения направлений вращения головки и шпинделя.

Второй этап исследований был выполнен на пластинах CNMG 120412 при условии совпадения направления вращения рабочей головки и шпинделей, с установленными МНТП, на экспериментальной установке. Анализировали влияние угла наклона пластин в диапазоне 0° - 40° по отношению к плоскости кольцевой ванны на величину шероховатости, характер изменения опорной поверхности микропрофиля и радиуса округления режущих кромок. Полученные результаты представлены в виде гисторамм на рис.8 и рис.9. МАО выполняли порошком Ферромап с размером частиц 400/315 мкм и добавлением алмазной пасты АСМ 3/2, при величине магнитной индукции в рабочих зазорах 0,25 Тл Скорость вращения вокруг оси кольцевой ванны 2,3 м/с (230 об./мин.), а шпинделя с МНТП 490 об./мин.

Установлено, что наилучшие результаты как по шероховатости рабочих поверхностей МНТП, так и величине округления режущих кромок обеспечиваются при угле наклона 30° .

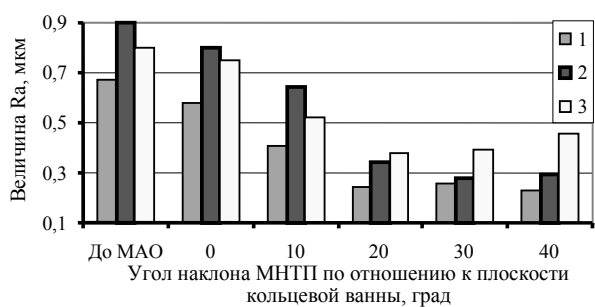


Рис. 8. Изменение величины шероховатости поверхности МНТП от угла ее базирования в рабочей зоне установки; 1-на задней поверхности, 2-на опорной поверхности, 3-на передней поверхности пластины

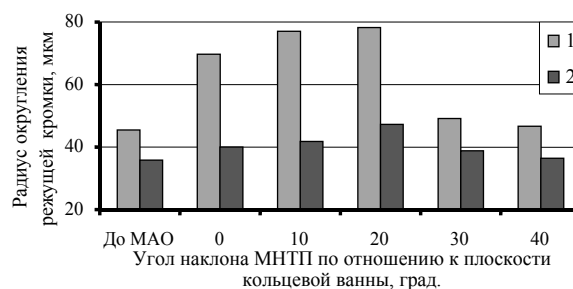


Рис. 9. Изменение радиуса округления режущей кромки МНТП в зависимости от угла ее базирования в рабочей зоне; 1- на уголке, 2-на грани пластины

Полученные данные, в особенности по округлению режущих кромок, являются следствием реализации эффектов, описанных в [9,10] по обтеканию порошковым магнитно-абразивным инструментом обрабатываемых поверхностей сложной конфигурации, связанных его реологическими характеристиками, условиями формирования и структурирования, особенностями контактного взаимодействия, образующихся в процессе МАО квазистабильных, веерообразных порошковых макрообъемов с отдельными элементами МНТП.

Анализ характера изменения величины опорных поверхностей в зависимости от относительной величины высоты микронеровностей показал, что именно при углах базирования пластин 20-30° по отношению к плоскости кольцевой ванны имеет место оптимальное соотношение нормальных и тангенциальных усилий, необходимых для обеспечения эффективной, равномерной, объемной полировки рабочих поверхностей режущих МНТП (рис.10). Варьирование скоростью перемещения деталей (МНТП SNMG 12040822) вокруг оси кольцевой ванны в диапазоне 150-350 об./мин. и величиной магнитной индукции от 0,15 Тл до 0,3 Тл при углах базирования МНТП в диапазоне 20-30° показали, что минимальная шероховатость – 0,17-0,18 мкм на рабочих поверхностях МНТП обеспечивается при использовании МАИ с размером частиц 400/315 и с добавлением алмазной пасты, при времени обработки 120 с, при магнитной индукции 0,15-0,2 Тл и скорости МАО 2,5 м/с. При указанных условиях МАО формируется достаточно эластичный и податливый магнитно-абразивный инструмент, позволяющий реализовать наиболее благоприятный процесс нивелирования относительно обрабатываемых поверхностей. Отметим, что после МАО пластин порошком с размером частиц 400/315 мкм с добавлением алмазной пасты формируется более низкая шероховатость по сравнению с порошками с размером частиц 200/100 мкм.

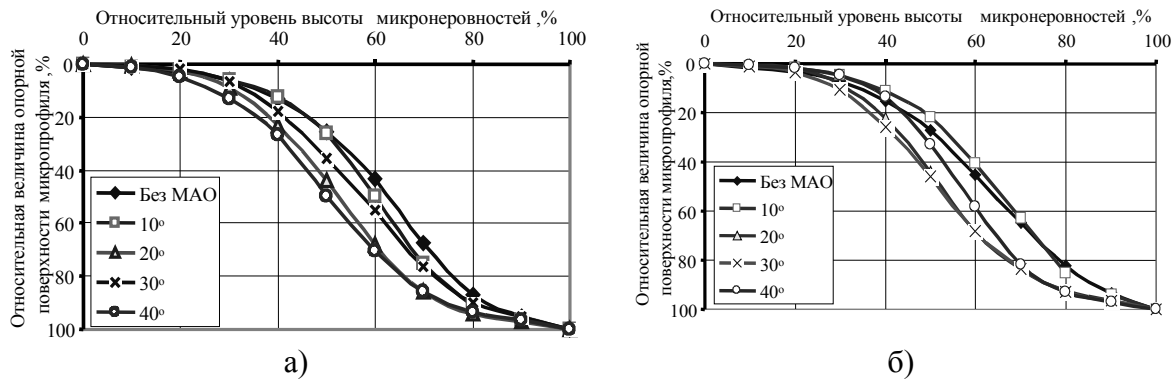


Рис. 10. Зависимости изменения относительной величины опорной поверхности микропрофиля от относительной высоты микронеровностей для МНТП, установленных под разными углами к плоскости кольцевой ванны:
 (а) – на задней поверхности МНТП, (б) – на передней поверхности МНТП

Это свидетельствует о том, что частички магнитного абразива при МАО, магнитно-абразивным инструментом содержащем в своем составе алмазную пасту, выполняют роль своеобразного эластичного микропритира. А при одинаковой магнитной индукции в рабочих зазорах силы прижима обрабатываемых элементов МАИ с более крупными частичками к поверхности МНТП будут выше, по причине их большей намагниченности и инерционности. Это и обеспечивает более высокую эффективность процесса обработки.

Выводы

Проведенные исследования процесса МАО МНТП на станках разных типов показали, что обработку целесообразно выполнять в условиях больших рабочих зазоров при их кольцевом расположении при одновременном вращении деталей вокруг оси кольцевой ванны и вокруг собственной вертикальной оси. Причем направление вращения вокруг оси кольцевой ванны должно совпадать с направлением вращения вокруг собственной оси, а частота вращения вокруг собственной оси должна преобладать не менее чем в два раза. Наиболее эффективная и равномерная объемная обработка реализуется в случае, когда угол наклона плоскости пластин по отношению к плоскости кольцевой ванны составляет 20-30°. При таких условиях формируется микропрофиль рабочих поверхностей пластин с располированными вершинами с $Ra < 0,2$ мкм, а радиус притупления режущих кромок незначителен и не превышает 5-12 мкм. Наилучшие результаты имеют место при условии использования при МАО МАИ с добавлением алмазной пасты. При этом более крупные частицы магнитного абразива обеспечивают большую производительность при прочих равных условиях МАО, чем более мелкие.

Список литературы: 1. Барон Ю.М. Магнитно-абразивная и магнитная обработка изделий и режущих инструментов. – Л.: Машиностроение, 1986. – 176 с. Оликер В.Е. Порошки для магнитно-абразивной обработки и износостойких покрытий. - М.: Металлургия, 1990. – 176 с. 2. Кобчиков В.С. Технология магнитно-абразивного полирования изделий из твердых сплавов. Автореф. ... канд.техн.наук. Л.:ЛПИ, 1983 – 16 с. 3. Ульяненко Н.В. Підвищення працездатності твердосплавного інструменту шляхом застосування магнітно-абразивного оброблення та нанесення зносостійких покриттів. Дис. ... канд.техн.наук. – Київ, 2006. – 160 с. 4. Сакулевич Ф.Ю. Основы магнитно-абразивной обработки. – Мн.: Наука и техника, 1981. – 328 с. 5. Патент 78782 Україна, МКИ С2

В24В 31/112 Універсальна головка для магнітно-абразивної обробки / В.С.Майборода, В.М.Гейчук, А.А.Лисенко, опубл. 25.04.2007. Бюл.№5. **6.** Майборода В.С., Ивановский О.А. Дослідження впливу в'язкості змащувально-охолоджуючого технологічного середовища на властивості магнітно-абразивного інструменту //Вестник национального технического университета Украины "Киевский политехнический институт". Машиностроение. – Вып. 45. – 2004. – С.99-102. **7.** Майборода В.С., Капушак Т.М. Кінематика процесу магнітно-абразивної обробки твердосплавних багатограних непереточуваних пластин в умовах кільцевої робочої зони // Вісник ЖДТУ – 2004. – №4(31). Т. 1. – С. 57-65. **8.** Степанов О.В. Исследование процесса формирования магнитно-абразивного порошкового инструмента для обработки деталей сложной геометрической формы. Дисс... к.т.н. – Киев, 1997. – 145 с. **9.** Майборода В.С. Основи створення і використання порошкового магнітно-абразивного інструменту для фінішної обробки фасонних поверхонь. Диссертация ... докт.техн.наук. – Київ, 2001. – 404 с.

МАГНІТНО-АБРАЗИВНЕ ОБРОБЛЕННЯ БАГАТОГРАННИХ НЕПЕРЕТОЧУВАННИХ ТВЕРДОСПЛАВНИХ ПЛАСТИН В УМОВАХ ВЕЛИКИХ МАГНІТНИХ ЩІЛИН

Майборода В.С., Джулій Д.Ю., Фесюн Б.М., Анісімова А.В., Гейчук В.М.

Дослідження процесу магнітно-абразивного оброблення (МАО) твердосплавних непереточуваних пластин на верстатах різних типів і конструкцій показали, що найбільша рівномірність і ефективність процесу реалізується при розташуванні пластин у кільцевій робочій зоні під кутом 20-30° по відношенню до площини обертання навколо осі зони. При цьому повинно забезпечуватися обертання деталей в одному напрямку як навколо осі кільцевої робочої зони, так і навколо власної осі пластин.

МАГНИТНО-АБРАЗИВНАЯ ОБРАБОТКА МНОГОГРАННЫХ НЕПЕРЕТАЧИВАЕМЫХ ТВЕРДОСПЛАВНЫХ ПЛАСТИН В УСЛОВИЯХ БОЛЬШИХ РАБОЧИХ ЗАЗОРОВ

Майборода В.С., Джулий Д.Ю., Фесюн Б.М., Анисимова А.В., Гейчук В.Н.

Исследования процесса магнитно-абразивной обработки (МАО) твердосплавных неперетачиваемых пластин на станках разных типов и конструкций показали, что наибольшая равномерность и эффективность процесса реализуется при расположении пластин в кольцевой рабочей зоне под углом 20-30° по отношению к плоскости вращения вокруг оси зоны. При этом в процессе МАО должно обеспечиваться вращение деталей в одном направлении как вокруг оси кольцевой рабочей зоны, так и вокруг собственной оси пластин.

MAGNETIC-ABRASIVE MACHINING OF MANY-SIDED NOT SHARPENED HARD-ALLOY PLATES IN CONDITIONS OF LARGE OPERATING CLEARANCE

Maiboroda V.S, Dgulyiy D.Y., Fesun B.M., Anisimiva A.V., Geychuk V.N.

The process of magnetic - abrasive processing of hard-alloy not sharpened plates on machine tools of any constructions is investigated. It is established that the greatest uniformity and efficiency of process will be realised at arrangement of laminas in a ring-type working area bevel way 20-30° in relation to a plane of a rotation about an axis of a zone. At magnetic-abrasive machining the rotation of machine parts in one direction around of an axis of a ring-type working area and around of a figure axis of laminas should be provided.

Рецензент: д.т.н., проф. Матюха П.Г.