

**А. Ю. Гаврушкевич, инженер,
В. Н. Гейчук, д.т.н., доцент**

Национальный технический университет Украины «КПИ»

МЕХАНИЗМ ФОРМИРОВАНИЯ КРОМОК МАГНИТНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКОЙ В КОЛЬЦЕВОЙ ВАННЕ

В настоящее время не существует технологий, позволяющих обеспечить равномерный радиус округления вдоль кромки [1]. Колебания величины вдоль кромки могут составить до 30%. Процесс формирования кромок при магнитно-абразивной обработке (МАО) в кольцевой ванне с торцевой загрузкой в условиях больших рабочих зазоров исследовался в работах группы исследователей во главе с проф. Майбородой В.С. Формированию кромок при МАО в кольцевой вращающейся ванне с радиальной загрузкой посвящены работы В.Д. Ефремова, П.И. Ящерицына, В.А. Литвиненко и др. Эти работы в основном направлены на экспериментальные исследования влияния технологических параметров процесса МАО на качество обработки режущих инструментов различных типов (осевых, концевых, многогранных неперетачиваемых пластин), и на округление режущих кромок частности. Теоретических исследований, в частности кинематики процесса МАО, направленных на прогнозирование формы кромки, в этих и других работах не обнаружено. Поэтому исследования кинематики процесса МАО формирования кромок для обеспечения идентичности условий обработки являются актуальными.

В НТУУ "КПИ" были выполнены экспериментальные исследования механизма формирования кромок при МАО в кольцевой ванне. Обработке подвергались образцы в форме параллелепипеда из закаленной стали и деформированной бронзы при фиксированных углах наклона. Исследование размеров, формы поперечного сечения и параметров шероховатости кромки проводились с помощью профилометра-профилографа, установки MicroCAD, электронного микроскопа и программы AutoCAD. Полученные заточкой алмазным кругом и доводкой начальные средние радиусы округления $\rho_0 = 4.0$ мкм на образцах из бронзы и $\rho_0 = 3.8-4.1$ мкм на образцах из стали соответствуют результатам. Кромка не имеет постоянного радиуса округления по всей ее длине даже после заточки, разброс значений радиусов округления на стальных образцах составляет 15-25%, а на бронзовых 18-45%, что подтверждает полученные ранее результаты [1]. Разброс значений радиусов округления после МАО зависит от материала и угла наклона образца. Для бронзовых образцов максимальный разброс остается на прежнем уровне, минимальный - уменьшается до 12%. Для стальных образцов разброс увеличивается до 19-69%. Максимальные значения радиусов округления значительно возрастают у бронзовых образцов с 4.1-6.2 мкм до 50-60 мкм при обработке в режиме натекания. В режиме натекания максимум радиусов округления до 16 мкм получен при углах наклона $\xi = 75^\circ$. При этом наибольшие изменения радиуса наблюдаются при углах наклона $\xi > 45^\circ$. Хотя для стали, наоборот, в режиме натекания при этих углах наблюдается уменьшение максимальных значений радиусов.

Профили кромки после МАО в формате * bmp, обрабатывались в программе AutoCAD с масштабированием по значению радиуса округления кромки; восстанавливалось первоначальное положение обработанной грани; в вершине прямого угла (проекции кромки) строился круг с исходным радиусом кромки; контур между исходным и обработанным контуром обводится замкнутой полилинией. Полученная фигура представляет собой поперечное сечение удаленного объема материала. Зависимости относительного съема от угла наклона для образцов из бронзы имеют ярко

выраженный максимум (за единицу принята наименьшая площадь S , полученная для стального образца, обработанного в режиме натекания при угле наклона $\xi = 60^\circ$). Для стальных образцов они несколько сглажены. Максимумы съема для образцов из обоих материалов, обработанных в режимах стекания и натекания, не совпадают (при натекании они меньше). Причиной является то, что в режиме стекания обработке подвергалась длинная сторона образца. Это способствовало тому, что значительная часть порошка сползала по поверхности оправки и длинной грани, обрабатывая ее, и скапливалась в плотную массу в зоне обрабатываемой кромки, то есть в средней части по высоте рабочей зоны. При обработке в режиме натекания порошок скользил только по короткой грани образца. Он незначительно опускался по ней вниз и частично поднимался вверх.

Сравнение фотографий кромок, полученных на электронном микроскопе РЕМ-106И при 200-1000 кратном увеличении с профилем, полученным с помощью оптического MicroCAD premium, позволяет сделать вывод, что после MAO в вершине округления нет - кромка является пересечением криволинейной обработанной поверхности с необработанной плоской. Например, при угле наклона бронзового образца равном 45° в вершине профиля образован тупой угол (около 135°), а программное обеспечение ODSCAD вписало в этот угол достаточно большой радиус, средняя величина которого составляет 33.7 мкм при небольших разбросе ($r = 27.6-39.5$ мкм) и зазубренности ($Rt_{cp} = 1.5$ мкм; $Rt = 0-6.9$ мкм). Аналогичные результаты получены на бронзовых и стальных образцах при других углах наклона.

Основываясь на результатах проведенного анализа, предложена схема снятия материала вблизи кромки в трех зонах:

- вершина режущей кромки площадью S_1 срезается в основном за счет уплотненного первичного потока под углом атаки $\chi(\xi)$ к обрабатываемой грани;

- материал вдоль обрабатываемой грани срезается под действием двух потоков: первичного под углом атаки $\chi(\xi)$ и вторичного потока, нарастающего и сползающего вдоль обрабатываемой грани к кромке, с уплотнением в зоне кромки. Об адекватности этого предположения говорит форма поперечного сечения обработанной грани - постепенное увеличение площади S_2 при движении к кромке;

- за вершиной режущей кромки площадью S_3 за счет вторичных потоков и возмущений.

Было выполнено фотографирование и измерение выделенных в диссертационной работе Н.В. Ульяненко после MAO бронзовых образцов микростружки и чешуек материала. Определено, что толщина стружки и чешуек составляет 9-16 мкм, ширина стружки 9-44 мкм, длина 160-300 мкм. Эти результаты одного порядка с результатами, полученными в работах Н.Я. Скворчевского и П.И. Ящерицына, но по толщине стружки на порядок больше чем указанные в работах Ю.М. Барона, Ф.Ю. Сакулевича и Dharendra K. Singh (Индия), и на порядок превышают высоту микронеровностей зерна порошка.

Полученные результаты исследований стали основой для принятых допущений при разработке математической модели кинематики процесса MAO кромок:

- кромка формируется в основном за счет удаления материала (резанием);

- движение зерна вдоль кромки не принимает участия в формировании кромки;

- форма кромки в нормальном сечении к теоретической линии кромки в заданной точке зависит от отношений проекций суммарной скорости резания на нормаль и бинормаль и образуется как ломаная в результате пересечения траекторий перемещения частиц порошка под углами атаки, внедренных в обрабатываемые поверхности максимум на величину h_{max} .

Литература

1. Некрасов С.С. Повышение ресурса твердосплавных концевых фрез при обработке литейных сталей аустенитного класса. Дисс. ...канд. техн. наук: 05.03.01 / Некрасов Сергей Сергеевич. – Сумы. – 2012. – 167 с.