

УДК 621.923.9

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СИЛ РЕЗАНИЯ ПРИ МИКРОШЛИФОВАНИИ

А.А. Дьяконов, А.Е. Городкова

При изготовлении особо точных деталей силы резания оказывают значительное воздействие на обрабатываемую поверхность. Существующие силовые модели для микрошлифования прошли апробацию исключительно на неметаллических материалах. В работе описывается экспериментальное исследование, в результате которого получены зависимости изменения сил резания от глубины резания и подачи для стали 40 КХНМ.

Ключевые слова: микромеханическая обработка, микрошлифование, силы резания.

Введение

Микрошлифование является динамично развивающимся методом получения особо точных компонентов деталей из хрупких или труднообрабатываемых материалов. Потребность в развитии данной технологии для изготовления «микроизделий» наблюдается во многих областях, например, аэрокосмическая отрасль – подвес-маятник для гироскопа (рис. 1а), медицина – инструменты для микрохирургии (рис. 1б) [1], оптика – линзы [2] и т. д.

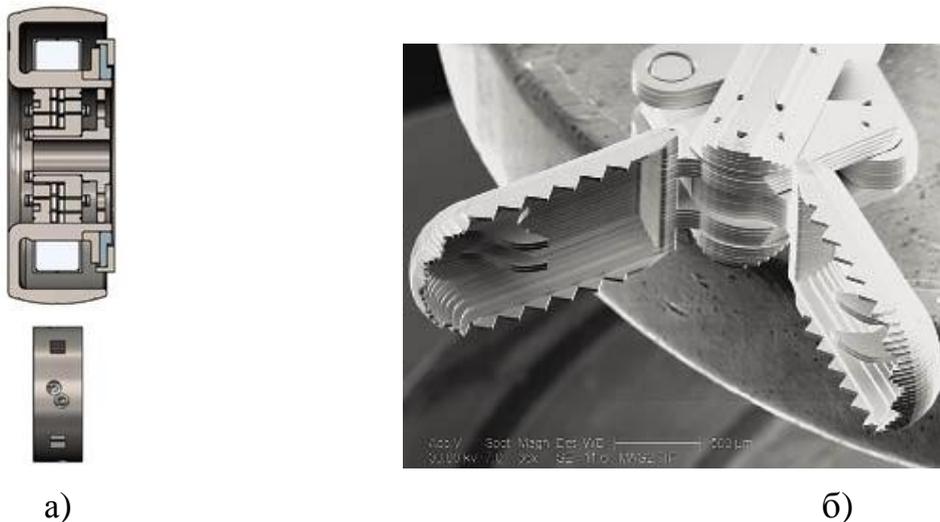


Рис. 1. Пример деталей: а – подвес гироскопа; б – биопсийные щипцы

Внедрение технологии микрошлифования на действующие производства позволит уйти от более дорогих и энергозатратных технологий, а также частично или полностью заменить ручной труд на доводочных операциях.

В связи с отсутствием нормативов по микрошлифованию возникает проблема при назначении режимов резания, выборе инструмента и т. д. Для симплификации процесса применения технологии на предприятиях необходимо упростить процедуру подбора оптимальных режимов резания путем разработки комплексной имитационной модели процесса, которая позволит учесть такие важные составляющие процесса резания, как силы резания и температуру в зоне резания.

Главной особенностью процесса является размерность зоны резания. Глубина резания составляет несколько микрометров, а габаритные размеры детали, как правило, составляют несколько миллиметров. В связи с этим имеется ряд отличий с точки зрения физики процесса от шлифования.

На данный момент авторами разработана теплофизическая составляющая модели, основанная на численной реализации решения второй краевой задачи для уравнения теплопроводности методом конечных разностей [3]. Модель численно реализована в программном комплексе «Расчет температуры обрабатываемой заготовки при микрошлифовании на станках с ЧПУ» – патент № 2017619909, который позволяет определить температуру заготовки в процессе микрошлифования в зависимости от следующих входных параметров: материал заготовки, подача, глубина резания, время обработки и т. д.

При обработке точных и хрупких «конструкций» помимо температуры, возникающей при обработке, важную роль играют силы резания.

Изучением сил при микрошлифовании единичным зерном занимались Zhao M., Ji X., Li B., Liang, S.Y. [4]. В своей работе авторы описали процесс апробации разработанной модели при микрошлифовании керамики. В работе «Prediction of grinding force in microgrinding of ceramic materials by cohesive zone-based finite element method» авторы представляют силовую модель при микрошлифовании, разработанную на основе метода конечных элементов [5]. В качестве обрабатываемого материала выступает керамика. Sun Y., Liu H., Zheng Q. в работе «Experimental investigation of grinding force in microgrinding of ceramic materials using small grinding tool» описывают проведенное экспериментальное исследование сил резания при микрошлифовании керамических материалов [6]. В своей работе Yin L., Yandong G. Yao S., Huan Z., Qiang L. описывают процесс апробации силовой модели при микрошлифовании стекла [7].

Анализ работ, посвященных исследованию сил при микрошлифовании, показал, что большинство из них посвящено изучению особенностей обработки неметаллических материалов: стекла, керамики. Полученные зависимости и силовые модели могут иметь существенные различия при применении их для подбора режимов резания при микрошлифовании металлических деталей.

Целью данной работы является экспериментальное исследование сил резания при микрошлифовании стали для определения зависимостей и дальнейшего построения силовой модели процесса микрошлифования.

Материалы и методы

Для определения величины силы резания при микрошлифовании проведена серия экспериментов. В качестве экспериментальной установки использовался станок EMCO Mill 300, оснащенный ультрапрецизионным высокоскоростным пневматическим шпинделем HTS1501S (рис. 2). Число оборотов шпинделя составляет 150 000 об/мин. В качестве режущего инструмента применялась шлифовальная головка типа AW по ГОСТ 2447–82, материал режущей части – *абразивный камень* (рис. 3).



Рис. 2. Пневматический шпиндель HTS1501S



Рис. 3. Режущий инструмент
в 30-кратном увеличении

Произведена обработка микрошлифованием 40 пазов в заготовке из стали 40КХНМ по схеме, представленной на рис. 4. Данная марка стали была выбрана в качестве материала заготовки, так как в данный момент

рассматривается возможность применения технологии микрошлифования для обработки деталей из этого материала. В процессе обработки произведено измерение сил резания с помощью динамометра Kistler.

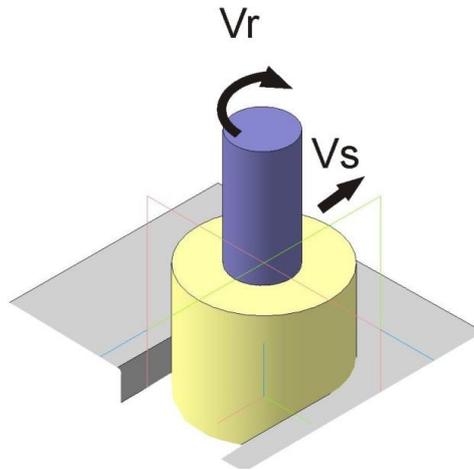


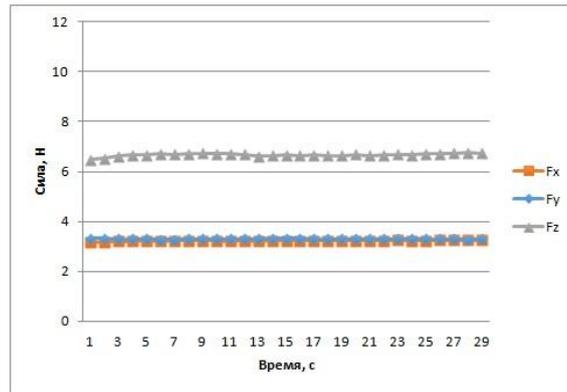
Рис. 4. Схема обработки

Результаты и обсуждение

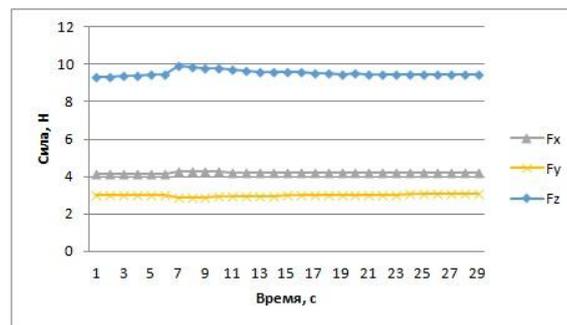
В ходе проведения экспериментов получены значения сил резания при микрошлифовании. Анализ полученных результатов показал, что при увеличении скорости подачи происходит значительное увеличение тангенциальной составляющей силы резания, радиальная и осевая составляющие увеличиваются незначительно.

Например, для обработки пазов глубиной 0,1 мм значения F_z изменяются от 4,2 Н до 9,9 Н, значения F_x – от 2,3 Н до 4,3 Н, значения F_y изменяются в пределах 3,3–3,9 Н. На рис. 5 показаны графики изменения сил резания при обработке паза глубиной 0,1 мм при подачах 0,05 мм/об, 0,09 мм/об и 0,15 мм/об соответственно.

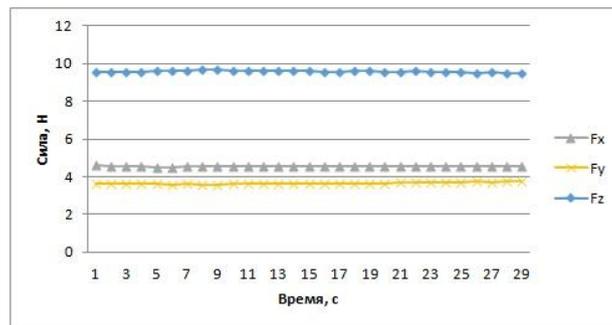
При исследовании обработанной поверхности на микроскопе с 50-кратным увеличением на пазах с глубиной 0,2 мм обнаружены металлические шарики (рис. 6). В шлифовании появление подобных шариков является следствием большой температуры при обработке. На данный момент проводится более подробное изучение причин возникновения подобного дефекта как при обычном шлифовании, так и при микрообработке, производится вычисление температуры с помощью программного комплекса «Расчет температуры обрабатываемой заготовки при микрошлифовании на станках с ЧПУ».



а)

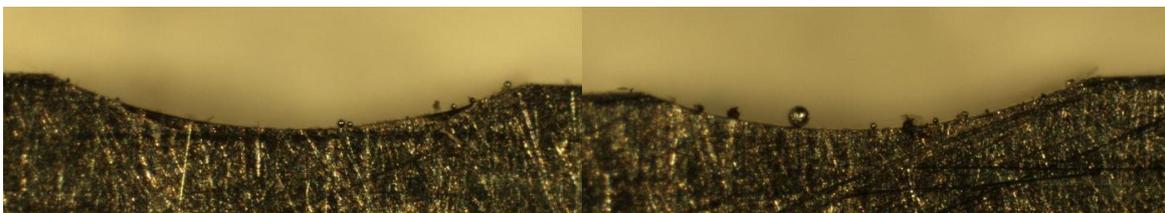


б)



в)

Рис. 5. Графики сил резания при разных подачах:
а – 0,05 мм/об; б – 0,09 мм/об; в – 0,15 мм/об



а)

б)

Рис. 6. Обработанные пазы: а – $t = 0,2$ мм; $S = 0,05$ мм/об;
б – $t = 0,2$ мм; $S = 0,13$ мм/об

Выводы

В ходе проведения экспериментальных исследований получены зависимости изменения силы резания в зависимости от глубины резания, подачи. Данные зависимости позволят проверить достоверность разработанных силовых моделей при микрошлифовании неметаллических материалов применительно к металлосодержащим материалам и определить уточняющие коэффициенты или полностью перестроить модель при несоответствии экспериментальных и расчетных данных.

Также обнаружено высокое значение температуры в зоне резания при определенных режимах резания, характеризующееся появлением металлических шариков. В настоящее время изучаются причины возникновения и методы устранения подобных дефектов.

Работа выполнена при поддержке гранта Президента Российской Федерации МД-932.2017.8.

Библиографический список

1. Ramesh Ramadoss, MEMS devices for biomedical applications. – URL: <http://electroiq.com/blog/2013/10/mems-devices-for-biomedical-applications/>
2. Yakunin, S., Heitz, J. Microgrinding of lensed fibers by means of a scanning-probe microscope setup Applied Optics, Vol. 48, Is. 32, 2009. – Pp. 6172–6177.
3. Dyakonov A.A., Herreinstein A.V., Gorodkova A.E. Thermophysical modeling of microgrinding, Russian Engineering Research, Vol. 37, Is. 7. – Pp. 647–650.
4. Zhao M., Ji X., Li B., Liang, S.Y. Investigation on the influence of material crystallographic orientation on grinding force in the micro-grinding of single-crystal copper with single grit International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 90, Is. 9–12, 2017. – Pp. 3347–3355.
5. Feng J., Chen P., Ni J. Prediction of grinding force in microgrinding of ceramic materials by cohesive zone-based finite element method International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 68, Is. 5–8, 2013. – Pp. 1039–1053.
6. Sun Y., Liu H., Zheng Q. Experimental investigation of grinding force in microgrinding of ceramic materials using small grinding tool Key Engineering Materials, Vol. 522, 2012. – Pp. 236–239.
7. Yin, L., Ya-dong, G., Yao, S., Huan, Z., Qiang, L. Microgrinding characteristics of Zr-based bulk metallic glasses, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 94(5–8). – Pp. 2401–2417.

[К содержанию](#)