

УДК 621.9.014.8; 621.9.015

А.Д. Халимоненко, к.т.н., доц., **Д.Ю. Тимофеев**, к.т.н., доц.,
Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», г. Санкт-Петербург

E-mail: kmash@spmi.ru

Определение качества заготовок при обработке режущей керамикой

В статье рассмотрены вопросы повышения качества токарной обработки за счет прогнозирования работоспособности режущего инструмента, оснащенного сменными керамическими пластинами, на основе влияния структурных параметров материала на его эксплуатационные характеристики. Полученные результаты позволяют определить запас точности при токарной обработке.

***Ключевые слова:** резание металлов, режущие керамические пластины, точность при токарной обработке, режущая керамика*

A.D. Khalimonenko, D.Y. Timofeev

Determination of the quality of parts of machines for the processing of cutting ceramic inserts

The article considers the issues of improving the quality of the turning process due to the forecasting performance of cutting tools, equipped with removable ceramic inserts, on the basis of the influence of structural parameters of the material on its performance. The received results allow determining the reserve of process accuracy on the lathe.

***Keywords:** cutting of metals, cutting ceramic inserts, the accuracy of the machining turning process, cutting ceramic*

Одним из значимых факторов в современном машиностроении является совершенствование технологии производства. Особенностью современного производства является применение новых инструментальных материалов, которые обладают высокими режущими свойствами. К таким материалам относится режущая керамика.

Главными причинами применения режущей керамики при изготовлении точных элементов деталей машин, в том числе и горных, являются высокая эффективность обработки, увеличение ресурса работы инструмента, уменьшение затрат за счет замены шлифовальных операций обработкой резанием и сокращение времени обработки за счет значительного увеличения скорости резания. Кроме этого с помощью

режущего инструмента, оснащенного керамикой, можно обрабатывать закаленные стали и другие труднообрабатываемые материалы.

Доля режущей керамики в общей массе применяемых инструментальных материалов на данный момент не превышает 5...8 %, но по прогнозам специалистов доля инструмента на основе керамики в самое ближайшее время может вырасти до 15 %.

Это произойдет вследствие того, что проверенные и технологичные твердые сплавы заменят на режущую керамику из чисто экономических соображений. Известно, что вне зависимости от стоимости инструмента и оснастки (с увеличением скорости обработки стоимость инструмента незначительно вырастает, а стоимость оснастки резко уменьшается) с интенсификацией процесса обработки, ее полная стоимость уменьшается. Принимая во внимание то, что на обработку металлов тратится ежегодно не менее 100 миллиардов долларов только в США, становится ясным повсеместный интерес к режущей керамике – материалу, принципиально нацеленному на высокоскоростную обработку. Режущая керамика сочетает свойства как керамической, так и металлической составляющих. Она отличается от прочих материалов более высокими прочностными характеристиками, пониженной хрупкостью и склонностью к возникновению трещин, обладая высокими режущими свойствами. В практике резания металлов применение керамики пока ещё ограничено, так как ее представляют слишком «скоростной» для нормальных условий обработки и хрупкой для широкого использования.

При эксплуатации режущих пластин из керамики было замечено их неодинаковое поведение при одних и тех же условиях обработки. Данный факт может быть обусловлен различиями структурных параметров, определение и обоснование которых может дать четкую картину наиболее рационального использования режущего инструмента, оснащенного керамикой для определенных условий обработки, и, таким образом, управлять качеством обработки и работоспособностью используемого инструмента при процессе точения [1, 3].

Главной задачей при управлении качеством процесса точения является исследование одной из главных составляющих системы обработки – режущего инструмента. Управление качеством процесса обработки непосредственно связано с информацией о способности инструмента осуществлять обработку с заданными параметрами точности в заданный период времени, то есть с информацией о работоспособности режущего инструмента [4, 5].

При эксплуатации режущих пластин из керамики одной марки было замечено, что точность детали при одних и тех же условиях обработки оказывается различной [2, 4]. Данный факт обусловлен различиями микроструктуры керамических пластин, определение и обоснование которых дает четкую картину наиболее рационального их использования

для определенных условий обработки, что позволит управлять качеством обработки и работоспособностью инструмента при процессе точения.

Одним из методов выявления параметров микроструктуры керамики является определение их зависимости от величины удельного электрического сопротивления материала. Для этой цели были выбраны образцы режущих пластин из керамики наиболее распространенной марки ВОК-63 с различными параметрами удельного электрического сопротивления ($R \approx 100 \text{ Ом}$ и $R \approx 10 \text{ Ом}$) при помощи специального измерительного устройства. Выбранные образцы были подготовлены по методике, предложенной профессором Максаровым В.В. [1], и исследованы на металлографическом микроскопе, после чего результаты были обработаны на ЭВМ. Обработка данных показала (рис.1), что керамика марки ВОК-63 состоит из основной фазы Al_2O_3 (75%) и карбидов тугоплавких металлов Ti, W (25%), но микроструктурные параметры у образцов с различным удельным электрическим сопротивлением отличаются друг от друга (рис.2).

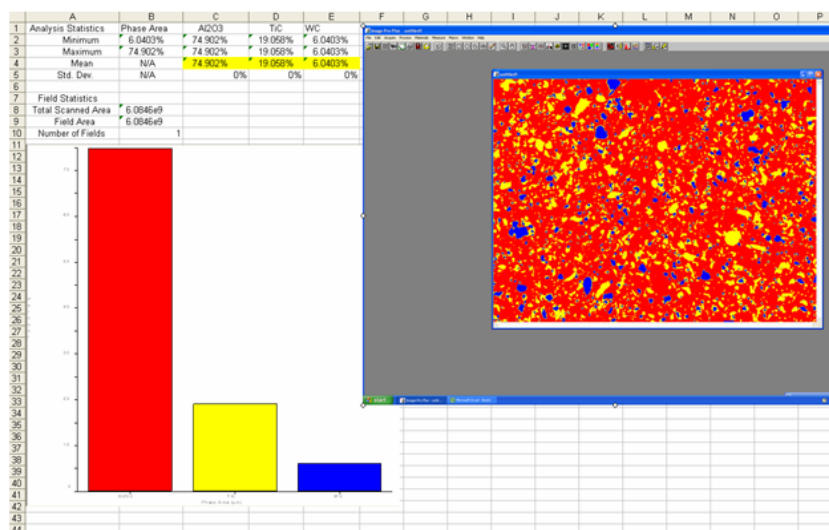
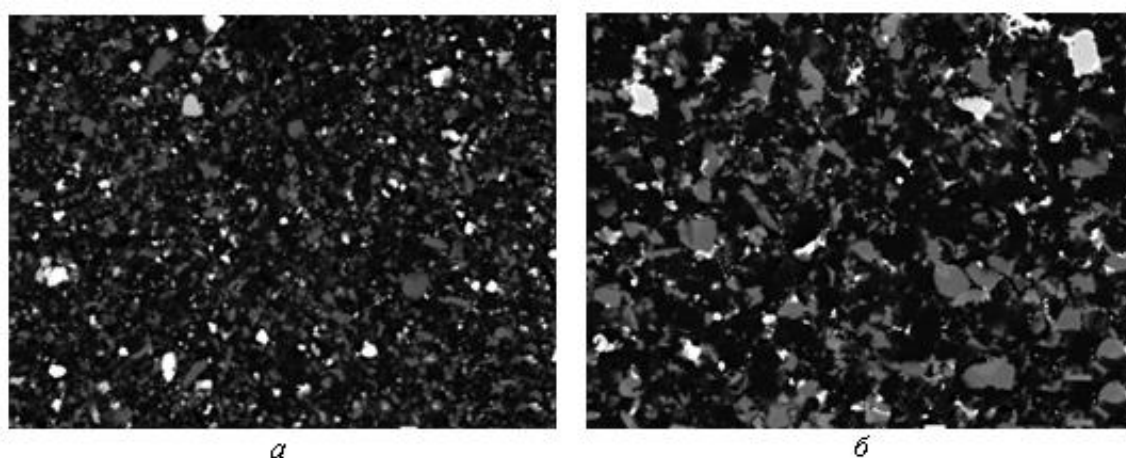


Рис. 1. Распределение фаз в керамике ВОК-63



a

b

Рис. 2. Структура керамики ВОК-63:

a – с сопротивлением $R \approx 100 \text{ Ом}$, *b* – с сопротивлением $R \approx 10 \text{ Ом}$

Образцы, обладающие сопротивлением близким к $R \approx 100$ Ом, имеют лучшие структурные параметры по сравнению с прочими. У них меньший средний диаметр карбидных зёрен (D_{CP}), наибольшая длина граничной линии карбидных зёрен (C), большее количество карбидных зёрен (H) и малый процент пористости поверхности (P). Обработка экспериментальных данных позволила установить взаимосвязь удельного электрического сопротивления со структурными параметрами керамики, в результате которой была получена зависимость [1]:

$$R = 542.9 \frac{H^{2.35}}{C^{1.14} \cdot D_{CP}^{3.029}}, \text{ Ом.}$$

Для определения режущих свойств керамики ВОК-63 с различными значениями удельного электрического сопротивления был проведен ряд опытов, в которых производилась чистовая обработка идентичных заготовок с переменными значениями режимов резания [2, 3]. По результатам была найдена связь между износом режущей пластины и режимами резания, исходя из параметров износа пластины по задней грани $h_3 = f(t, S, V)$, где t – глубина резания, S – подача инструмента, V – скорость резания. Механизм износа керамики оказался своеобразным. Затупление пластин происходит в основном по задней поверхности в виде характерных штрихов износа, расположенных перпендикулярно к главному режущему лезвию на участке, контактирующем с поверхностью резания. Износ на передней поверхности не значителен по сравнению с износом по задней поверхности [1].

Зависимость износа по задней поверхности от продолжительности пути резания показала значительную разницу в достижении износа равного 0,5 мм. Соотношение длин пройденного пути для ВОК-63 с $R \approx 100$ Ом и ВОК-63 с $R \approx 10$ Ом оказался 8 к 6, а функциональные зависимости износа от режимов резания получили вид:

- для ВОК-63 с $R \approx 100$ Ом:

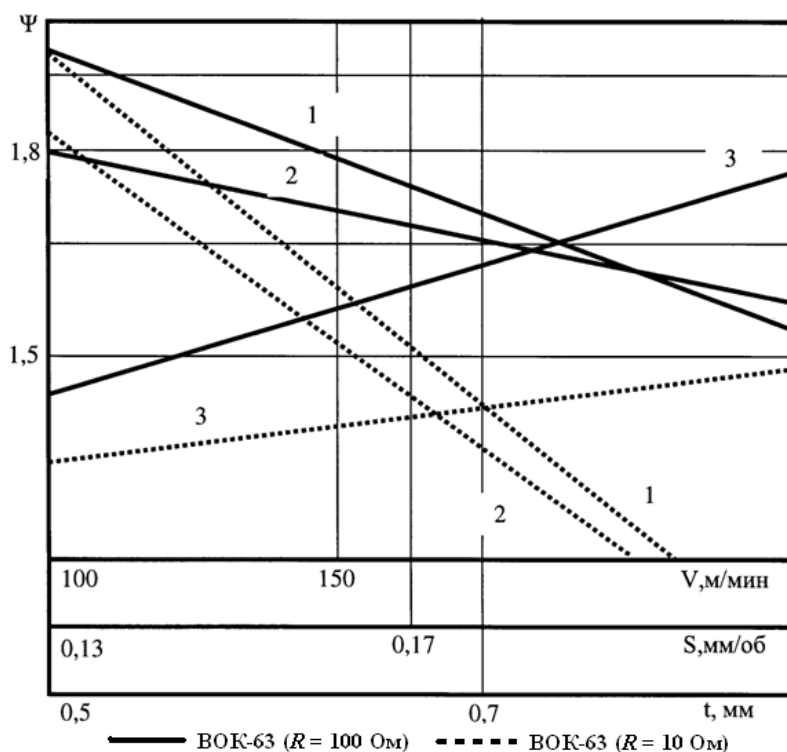
$$h_3 = 0.08 \frac{V^{0.38} * S^{0.17}}{t^{0.66}}, \text{ мм,}$$

- для ВОК-63 с $R \approx 10$ Ом:

$$h_3 = 0.04 \frac{V^{0.22} * S^{0.023}}{t^{0.11}}, \text{ мм.}$$

Следующим важным шагом в исследованиях было определение запаса точности Ψ при обработке заготовок керамикой ВОК-63 с различными значениями удельного электрического сопротивления и определение связи между запасом точности и режимными параметрами [1]. Для определения этой связи были использованы результаты предыдущих опытов, при обработке результатов которых, были выведены зависимости $\Psi = f(t, S, V)$, которые позволили не только определить запас точности при обработке (рис.3), но и прогнозировать работу инструмента

без брака, за счет применения оптимальных режимов обработки и рационального подбора режущих керамических пластин [5].



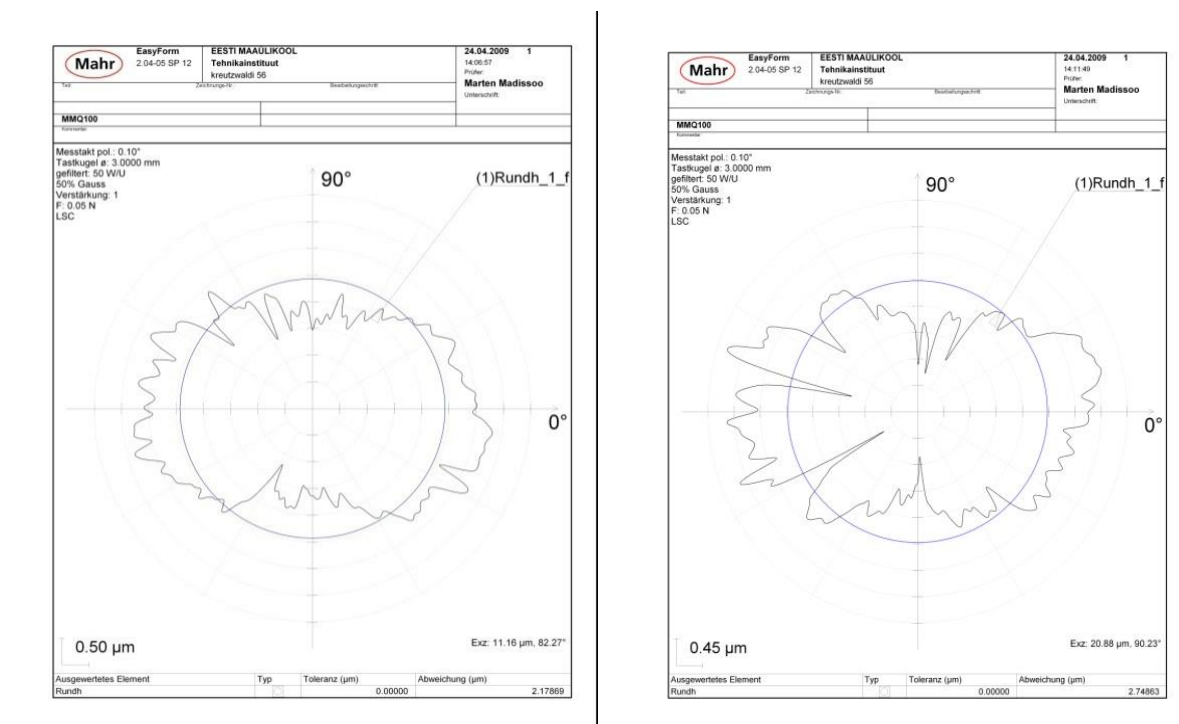
**Рис. 3. Графическая зависимость $\Psi = f(V, S, t)$:
1 - $\Psi = f(V)$, 2 - $\Psi = f(S)$, 3 - $\Psi = f(t)$**

Таким образом, вопрос об управлении работоспособностью керамического инструмента и вопрос об управлении качеством процесса точения в целом сводится к определению оптимальных рабочих характеристик применяемого инструмента [3]. Зная эти характеристики, исходя из определенного запаса точности материала, можно рассчитать оптимальные параметры режимов обработки и, соответственно, прогнозировать работу без брака. Данные зависимости были проверены на кругломере (рис.4) - измерительном приборе для определения некруглости - наибольшего расстояния точек реального профиля цилиндрических поверхностей в поперечном сечении до прилегающей (охватывающей) окружности.



Рис. 4. Кругломер

При помощи кругломера с устройством для выделения гармонических составляющих некруглости (круглограмм) и с устройствами для исключения из результатов измерения неточности первоначального центрирования детали были получены результаты замеров, представленные в виде поперечного сечения детали. При анализе полученных изображений выявлено, что при обработке инструментом, оснащенным режущей керамикой с удельным электрическим сопротивлением $R \approx 100$ Ом, отклонения по параметру некруглости обработанной детали (рис.5, а) меньше, чем при обработке инструментом с $R \approx 10$ Ом (рис.5, б).



a)

б)

**Рис. 5. Круглограммы при обработке керамикой ВОК-63:
а – $R \approx 100$ Ом, б – $R \approx 10$ Ом**

Таким образом, можно сделать окончательный вывод, что точность обработки заготовок при одинаковых режимах резания керамикой ВОК-63 с параметрами удельного электрического сопротивления $R \approx 100$ Ом выше, чем при обработке керамикой с $R \approx 10$ Ом, что подтверждает анализ проведенных исследований и полученных при их обработке расчетных зависимостей и проведенных испытаний с использованием кругломера [5].

Выводы:

1. Установлено, что режущая керамика обладает определенным электрическим сопротивлением, ее структуру характеризуют следующие параметры: количество зерен, средний диаметр зерен карбидов Ti, W, Mo, суммарная линия протяженности границ карбидных зерен, пористость. Экспериментально доказано, что образцам с относительно малым электрическим сопротивлением ($R \approx 10$ Ом) присущи больший диаметр зерна, больший процент пористости, малое значение суммарной линии протяженности границ зерен, малое количество зерен.

2. Установлено, что с увеличением параметров режимов резания фактически получаемый запас точности у керамики марки ВОК63 с $R \approx 100$ Ом выше, чем у керамики ВОК63 с $R \approx 10$ Ом. Следовательно, при обработке керамикой с $R \approx 100$ Ом получается лучшая геометрическая форма детали по сравнению с обработкой керамикой с $R \approx 10$ Ом. Вывод этой зависимости позволяет не только определить запас точности детали, но и прогнозировать работу без брака.

3. Определена возможность управлять работоспособностью режущего инструмента, оснащенного режущей керамикой, за счет подбора параметров режимов резания при обработке инструментом с различными величинами удельного электрического сопротивления.

Список литературы

1. **Максаров В.В., Ольт Ю., Халимоненко А.Д.** Управление качеством процесса точения инструментом из режущей керамики. Монография / СПб.: Изд-во СЗТУ, 2010. - 172 с.

2. **Максаров В.В., Ольт Ю., Лаатсит Т., Халимоненко А.Д.** Управление работоспособностью режущего инструмента, оснащенного сменными пластинами из режущей керамики / Металлообработка - СПб.: Издательство «Политехника», 2008, №6 (48), С. 50-58.

3. **Максаров В.В., Ольт Ю., Лаатсит Т., Халимоненко А.Д.** Исследование работоспособности инструмента, оснащенного сменными пластинами из режущей керамики / Инструмент и технологии – СПб.: «Инструмент и технология», 2008, №30-31, С. 132-136.

4. **Maksarov V., Khalimonenko A. and Timofeev D.** Machining quality when lathing blanks with ceramic cutting tools / «Agronomy Research» – Tartu: Estonian University of Life Sciences, 2014, Vol. 12, №1, P. 269-278.

5. **Халимоненко А.Д., Вьюшин Р.В.** Точность обработки при точении заготовок режущим инструментом, оснащенным сменными керамическими пластинами / «Записки Горного института» – СПб.: Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», 2014, том 209 - С. 99-103.