

Научная статья

Статья в открытом доступе

УДК 621.7.02

doi: 10.30987/2782-5957-2024-7-22-29

ПРОЦЕСС ФОРМИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ПОРИСТОЙ МЕТАЛЛОКЕРАМИКИ ПРИ ЛЕЗВИЙНОМ И ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

Виталий Евгеньевич Иноземцев✉

Институт конструкторско-технологической информатики Российской академии наук (ИКИ РАН), Москва, Россия
vitalin-85@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-4079-9115>

Аннотация

Целью исследования в данной работе является определение закономерностей и влияния различных факторов на пористость, специфический качественный показатель поверхности деталей из металлокерамики. Основной задачей является определение наиболее благоприятных условий обработки, когда пористость поверхностного слоя остаётся максимально высокой. Методы исследования носят экспериментальный практический характер со сравнением и оценкой полученных результатов, при которых рассматриваются особенности процесса обработки пористой металлокера-

мики и методы повышения эффективности формообразования поверхности с сохранением функциональных физических параметров поверхности деталей. Отмечаются режимы и условия обработки с выводами соответствующих рекомендаций. В результате сформулированы рекомендации к обработке таких материалов, позволяющие минимизировать эффект затягивания пор и снизить деформационные явления в материале.

Ключевые слова: металлокерамика, обработка, поверхность, пористость, воздействие, шероховатость, качество.

Ссылка для цитирования:

Иноземцев В.Е. Процесс формирования поверхностного слоя пористой металлокерамики при лезвийном и электрохимическом воздействии / В.Е. Иноземцев // Транспортное машиностроение. – 2024. - № 7. – С. 22-29. doi: 10.30987/2782-5957-2024-7-22-29.

Original article

Open Access Article

FORMING THE SURFACE LAYER OF POROUS METAL CERAMICS IN BLADE CUTTING AND ELECTROCHEMICAL EFFECTS

Vitaly Evgenievich Inozemtsev✉

Institute for Design-Technological Informatics RAS, Moscow, Russia
vitalin-85@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-4079-9115>

Abstract

The study objective of this paper is to determine the rules and influence of various factors on porosity, a specific qualitative indicator of the surface of metal ceramic parts. The main task is to find out the most favorable machining conditions when the porosity of the surface layer remains as high as possible. The research methods are of an experimental practical nature with a comparison and evaluation of the results obtained, in which machining features of porous metal ceramics and methods for improving the efficiency of

surface shaping while maintaining the functional physical parameters of the part surfaces are considered. The modes and conditions of machining are noted with the relevant recommendations. As a result, recommendations for machining such materials are formulated, which allow minimizing the effect of pore tightening and reducing deformation phenomena in the material.

Keywords: metal ceramics, machining, surface, porosity, impact, roughness, quality.

Введение

Металлокерамические спечённые пористые материалы находят достаточно широкое использование в разнообразных высокотехнологических области, включая транспортную сферу, машиностроительный и энергетический сектор промышленности. Указанные материалы обладают различными типами пористости (рис. 1), зависящими от функционального назначения и назначенных условий работы. В основном различают фильтрующие (обладают наибольшей пористостью) и антифрикционные пористые материалы, обеспечивающие повышенную работоспособность пар трения скольжения посредством сохранения в поровом пространстве определённого количества минерального масла,

которым пропитываются детали до процесса сборки.

В целях изучения методов повышения эксплуатационного ресурса и гарантированного обеспечения расчётной износостойкости узлов с металлокерамическими деталями важно провести исследования структуры и сформированного поверхностного слоя металлокерамических деталей после их финишной обработки.

Задача экспериментального исследования состояла в изучении образованной режущим инструментом поверхности деталей и сопоставление характерных особенностей обработанных поверхностей после различных инструментальных материалов при точении.

Материалы, модели, эксперименты и методы

Поставленный эксперимент был осуществлён посредством финишной обработки спечённых втулок, выполненных из бронзографита БрОгрЗн (углерода 2,2-3,5 %, никеля 4,5-5,5 %, олова 6-9 %). Процесс финишной механообработки был осуществлён токарными резцами, имеющими режущую часть, выполненную из конструкционных материалов: твёрдый сплав Т5К10, быстрорежущая сталь Р18, минералокерамика ОМТ20 и ВО75, ещё применялся в качестве режущего инструмента алмаз и режущая пластина DNMG150608 PC из твёрдого сплава с покрытием TiN.

В результате полученных образцов поверхности было отмечено, что практически все применяемые инструментальные материалы существенно нарушают структурную целостность в приповерхностном слое. Таким образом, впоследствии проведённой механообработки зафиксировано резкое снижение плотности пор в металлокерамике из-за их закупоривания; также использование при обработке в качестве СОТС водосмешиваемых смазочно-охлаждающих жидкостей Укринол-1 и Велс-1М способствует сокращению заку-

поривания пор, тем не менее, это явление не ликвидируется полностью. Практически полное отсутствие открытых пор на сформированной поверхности делает деталь непригодной для эксплуатации, что резко снижает эксплуатационные качества самих механизмов и устройств с такими узлами трения скольжения из пористой металлокерамики.

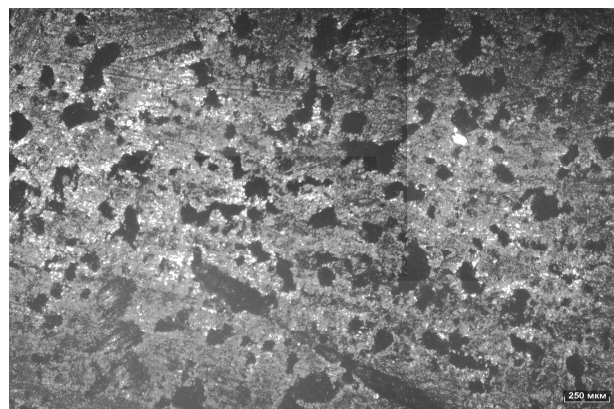


Рис. 1. Металлокерамика после спекания (увеличение x 250)

Fig. 1. Cermet structure after its sintering (zoomed 250)

Закупоривание порового пространства происходит вследствие физического давления самой режущей кромки, и чем

больше силы резания, тем больше происходит деформация, сдавливание приповерхностных слоёв материала заготовки и закупоривание. Отмеченная особенность формообразования обусловлена преимущественным содержанием меди в составе рассматриваемого бронзографита, что делает материал очень пластичным. При механообработке пористой металлокерамики режущая кромка инструмента первоначально деформирует и после этого уже удаляет часть слоя назначенного припуска. Особенно в момент выхода инструментальной кромки из материала к пространству порового канала наиболее заметно происходит структурное изменение материала, так как нижняя часть припуска не просто уплотняется, уходя в нижние слои структуры обрабатываемого материала, а смещается и выдавливается вперёд в сторону находящегося на пути лезвия кратера

Результаты

Как показала практика в ходе исследований, наименьшая шероховатость поверхности $Ra\ 1,205$ отмечается после обработки образцов бронзографита быстрорежущей сталью P18 с использованием СОТС Велс-1М с низкими скоростями (образец поверхности представлен на рис. 2).

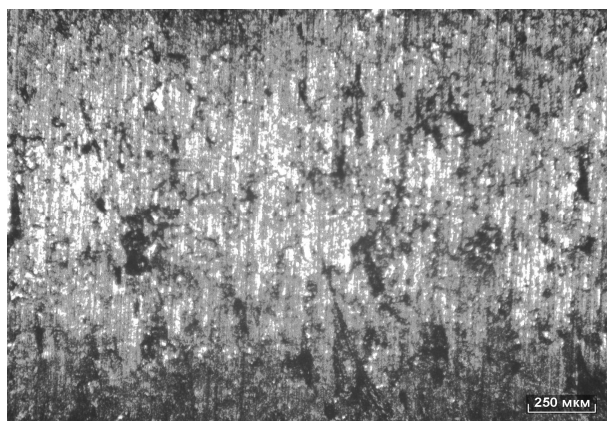


Рис. 2. Металлокерамика после механообработки P18 с СОТС (увеличение $\times 250$)

Fig. 2. The surface of cermet structure after its machining (zoomed 250)

Наиболее приемлемые результаты снижения шероховатости до $Ra\ 0,39$ отмечается после обработки минералокерамикой ОМТ20 с высокими скоростями из рекомендованных диапазонов (образец поверхности представлен на рис. 3), также

поры, перекрывая тем самым данное поровое пространство [1]. Таким образом, наблюдается существенная деформация верхнего слоя и находящегося ниже под поверхностью заготовки. Сама пористая структура таких мягких пластичных материалов, как бронзографит практически не оказывает сопротивления внедрению режущей кромки, что приводит к большему проценту сминаемого материала, чем удаляемого резанием по сравнению с обработкой стальных деталей. Кроме того, деформируемая инструментом обрабатываемая поверхность, приобретает дополнительные внутренние остаточные напряжения, пусть даже и незначительно увеличивая прочностные характеристики поверхности, но сокращение открытой пористости совершенно лишает поверхность удерживать смазку, что так важно с точки зрения эксплуатации деталей.

похожий результат $Ra\ 0,4$ был отмечен при резании бронзографита на повышенных скоростях многогранной сменной пластиной из твёрдого сплава с покрытием TiN (рис. 4). Требуемый показатель шероховатости поверхности для готовой продукции, получаемой из бронзографита исследуемой марки (в частности, втулки и вкладыши подшипников скольжения для нефтяных насосов) составляет $Ra\ 1,25$. При этом требуется поверхность на деталях с открытыми порами (плотность пор 18-25 %). Если рассматривать результаты применения традиционной финишной механообработки, то минимальная шероховатость может быть не меньше $Ra\ 0,4$, как было отмечено выше.

Из практики и различных рекомендаций следует, что плотность пор может быть значительно увеличена за счёт снижения закупоривания крупных пор, если применять при обработке правильно заточенный инструмент или с соответствующей геометрией. Для пористой металлокерамики с требованием поверхностной пористости 18-25 % наиболее рациональным считается выбор режимов с повышенными скоростями резания, использование режущего инструмента с износостойкими по-

крытиями, имеющего минимальные радиусы при вершине и обладающим наименьшим радиусом режущей кромки (не более 10 мкм) [2]. Для увеличения плотности пор на поверхности при её обработке возможно изменить технологию обработки, воздействуя на материал поверхностно-активными веществами, добавляемыми в состав СОТС или использовать гальваническую обработку поверхности вместо механической. Также можно выбрать технологию обработки с минимальными производственными расходами переоснащения, как альтернативный вариант. Приемлемого качества можно достичь за счёт введения в технологический процесс вместо механообработки электрохимикомеханической обработки, где совмещаются три типа воздействия. Известно, что электрохимическое воздействие - это низкотемпературная технология обработки практически без разрушения приповерхностной структуры и сам процесс при этом не является доро-

гостоящим. Электрохимические технологии воздействия на обрабатываемый материал позволяют сохранять достаточно высокую плотность пор, что почти невозможно при каких-либо иных технологических подходах формообразования [3]. Влияние химического состава электролита на эффективность протекания анодно-катодных процессов достаточно существенно [4]. С увеличением степени сохранения естественной плотности пор сама шероховатость поверхности также неизбежно возрастает, поэтому минимизация шероховатости в материале между пор в итоге позволяет минимизировать общее значение микронеровностей и в результате соответствовать необходимому значению Ra 1,25 по окончании обработки. Таким образом, вместо СОТС был выбран электролит (водный раствор сульфата меди), который в тоже время продолжил выполнять и роль СОТС и обеспечил в итоге 24 % поверхностную пористость.

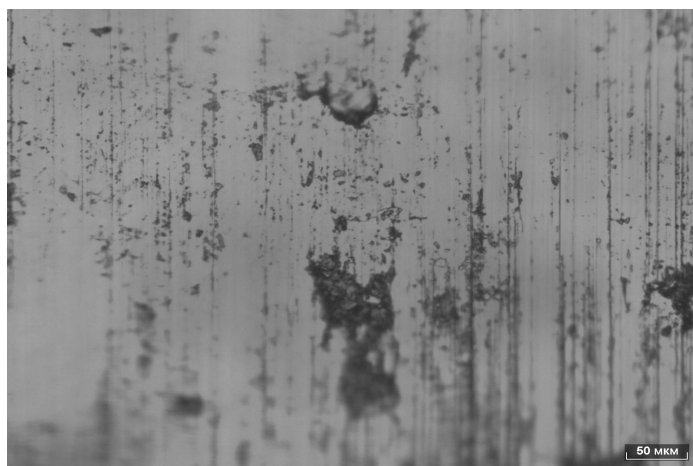


Рис. 3. Металлокерамика (бронзографит) после механообработки ОМТ20 (увеличение x 50)
Fig. 3. The surface of cermet structure after its machining by cutting tool marked OMT20 (zoomed 250)

Варьирование уровня поверхностной пористости при изменении условий процесса формообразования контролировалось через показатель насыщения маслом поверхностного слоя металлокерамики. В итоге был применён для сравнения полученных результатов коэффициент насыщения ρ , условно отражающий изменение качества поверхности после обработки:

$$\rho = \frac{m_{н.п.} - m_{н.с.}}{m_{о.п.} - m_{о.с.}},$$

где $m_{н.п.}$ – масса необработанной заготовки, пропитанной минеральным маслом; $m_{н.с.}$ – сухая масса той же необработанной заготовки; $m_{о.п.}$ – масса пропитанной минеральным маслом обработанной заготовки; $m_{о.с.}$ – сухая масса той же обработанной заготовки. Графические результаты статистики приведены ниже в соответствии с полученными значениями при использовании различных инструментальных материалов.

Таким образом, введенный коэффициент или показатель насыщения поверхности демонстрирует изменение объемов удерживаемого поверхностью заготовки минерального масла в зависимости от

применявшихся к ней режимов механообработки. Чем ниже значение ρ , тем, следовательно, большее количество масла удерживается на обработанной поверхности.

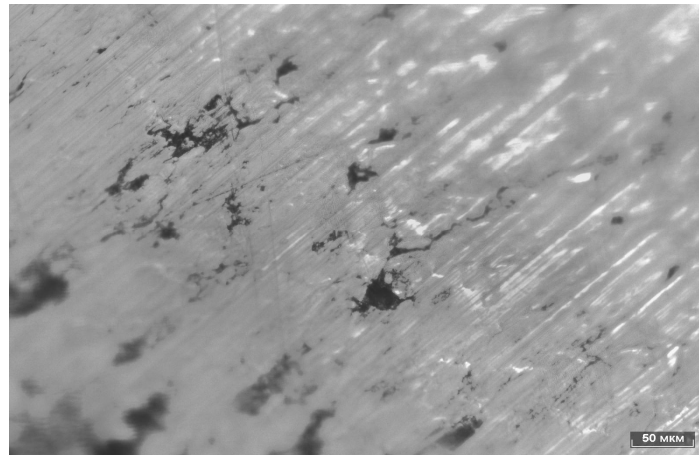


Рис. 4. Металлокерамика (бронзографит) после механообработки твёрдым сплавом с покрытием TiN (увеличение $\times 50$)
 Fig. 4. The surface of cermet structure after its machining by cutting tool based on hard alloy with TiN covering (zoomed 250)

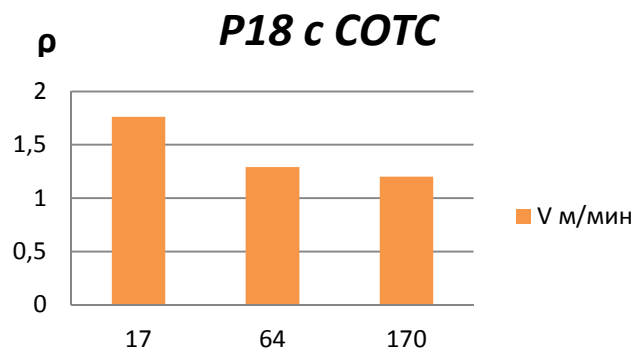


Рис. 5. Насыщение поверхности металлокерамики маслом после механообработки P18 с СОТС
 Fig. 5. Saturation of the cermet surface with oil after machining by tool made of high speed steel R18 with coolant

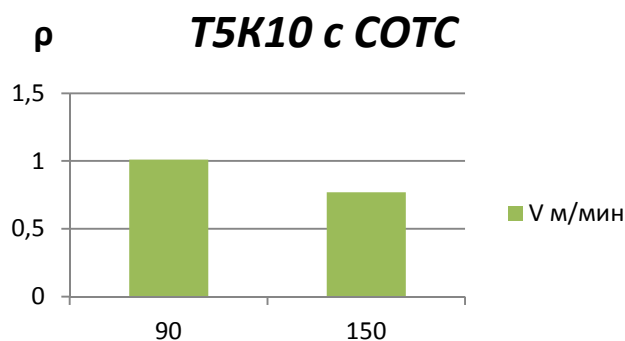


Рис. 6. Насыщение поверхности металлокерамики маслом после механообработки T5K10 с СОТС
 Fig. 6. Saturation of the cermet surface with oil after machining by tool made of hard alloy T5K10 with coolant

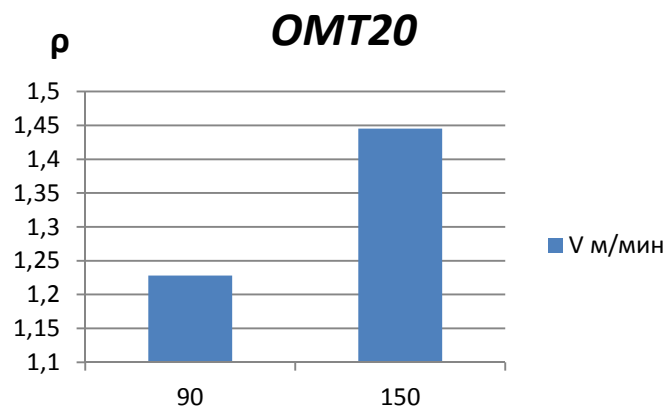


Рис. 7. Насыщение поверхности металлокерамики маслом после механообработки ОМТ20

Fig. 7. Saturation of the cermet surface with oil after machining by tool made of ceramic OMT20

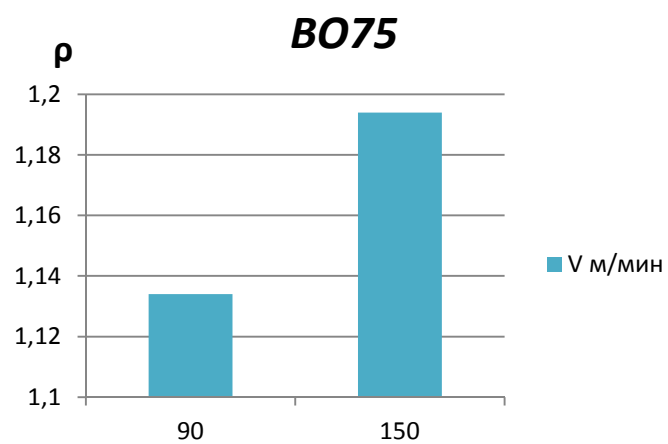


Рис. 8. Насыщение поверхности металлокерамики маслом после механообработки ВО75

Fig. 8. Saturation of the cermet surface with oil after machining by tool made of ceramic ВО75

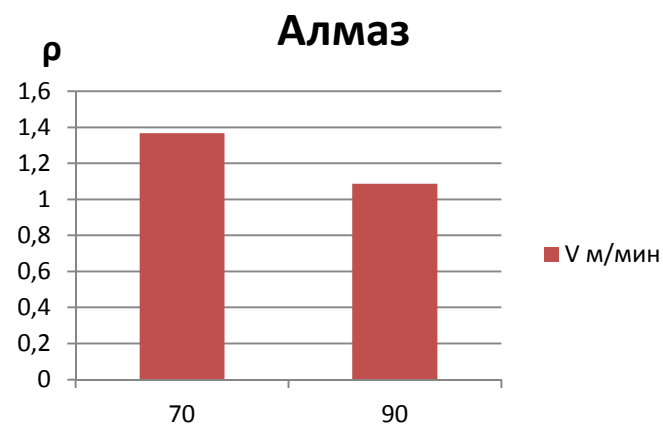


Рис. 9. Насыщение поверхности металлокерамики маслом после механообработки алмазом

Fig. 9. Saturation of the cermet surface with oil after machining by tool made of diamond tool



Рис. 10. Насыщение поверхности металлокерамики изделий маслом после механообработки твёрдым сплавом с покрытием нитрида титана

Fig. 10. Saturation of the cermet surface with oil after machining by tool made of hard alloy with TiN covering

Заключение

Таким образом, увеличение количества удерживаемого минерального масла обработанными поверхностями было вызвано не только изменением пористости поверхности, а также и изменением шероховатости, достигаемой поверхностью после обработки. Чем выше шероховатость, тем соответственно больший объём масла удерживается поверхностью. В результате всех рассмотренных вариантов минимальная шероховатость поверхностного слоя зафиксирована после обработки образцов бронзографита твёрдым сплавом с покрытием нитрида титана. Снижение шероховатости способствует с точки зрения геометрии достижению более точных и определённых форм кромок детали после обработки. Таким образом, основная цель исследования состояла из достижения двух факторов – минимальной шероховатости

при которой чистота участков поверхности между порами будет минимальной; и повышения пористости практически до 24% за счёт вскрытия закупоренных пор.

Финишная лезвийная обработка пористой металлокерамики снижает пористость вследствие замазывания самих пор. Применение СОТС при финишной лезвийной обработке несущественно повышает вскрытие пор. Изменение химического состава СОТС за счёт использования в его качестве электролита в виде водного 20-25 % раствора с содержанием солей металла (CuSO_4), входящего в состав металлокерамики, позволяет решить проблему закупоривания поверхностных пор. Сохранение естественной плотности пор обеспечивает расчётные эксплуатационные показатели для машин и механизмов с деталями из металлокерамики.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Иноземцев, В.Е.. Использование и обработка металлокерамики. Мир транспорта». 2010. № 4. С. 44-48.
2. Подураев, В.Н.. Резание труднообрабатываемых материалов. - М.: Высшая школа, 1974. С. 469-470, 494.
3. Сычикова Я.А., Кидалов В.В., Сукач Г.А., Балан А.С., Коноваленко А.А. Влияние концентрации электролита на формирование пористой струк-

туры фосфида индия Вісник ХНУ, № 915, серія «Фізика», вип. 14, 2010. С. 99-103.

4. Иноземцев В.Е. Факторы, влияющие на технологические возможности металлокерамических спечённых материалов, в процессе лезвийной чистовой обработки. Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2011. -№ 4/2 (288). С. 61-66.

REFERENCES

1. Inozemtsev VE. Use and machining of metal ceramics. World of Transport. 2010;4:44-48.

2. Poduraev VN. Cutting of hard-to-cut materials. Moscow: Visshaya Shkola; 1974.

3. Sychikova YaA, Kidalov VV, Sukach GA, Balan AS, Konovalenko AA. Effect of electrolyte concentration on the formation of the porous structure of indium phosphide. Textbook of KhNU. 2010;915(14):99-103.

4. Inozemtsev VE. Factors affecting the technological capabilities of metal ceramic sintered materials during blade finishing. Fundamental and Applied Problems of Technics and Technology. 2011;4/2(288):61-66.

Информация об авторе:

Иноземцев Виталий Евгеньевич – кандидат технических наук, доцент, тел.+79652545506, международные идентификационные номера автора: Scopus-Author ID: 56104638700, Author-ID-РИНЦ: 709210.

Inozemtsev Vitaly Evgenyevich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, phone: +79652545506, Scopus-Author ID: 56104638700, Author-ID-RSCI: 709210

Статья опубликована в режиме Open Access.

Article published in Open Access mode.

Статья поступила в редакцию 13.05.2024; одобрена после рецензирования 24.05.2024; принята к публикации 26.06.2024. Рецензент – Нагоркин М.Н., доктор технических наук, доцент Брянского государственного технического университета.

The article was submitted to the editorial office on 13.05.2024; approved after review on 24.05.2024; accepted for publication on 26.06.2024. The reviewer is Nagorkin M.N., Doctor of Technical Sciences, Associate Professor of Bryansk State Technical University.