



Обработка металлов (технология • оборудование • инструменты)

Сайт журнала: http://journals.nstu.ru/obrabotka_metallov


Влияние технологических режимов получения поверхностей, близких к ювенильным, и ультрадисперсных порошков высокоскоростной обработкой в криогенной среде

Юрий Титов^{1, а, *}, Ренат Каменов^{1, b}, Дмитрий Белан^{2, c}, Алексей Зинкин^{3, d}

¹ Омский государственный технический университет, пр. Мира, 11, г. Омск, 644050, Россия

² Омский государственный университет путей сообщений, пр. Карла Маркса, 35, г. Омск, 644046, Россия

³ ООО «СибТочМаш», пр. Мира, 55, корп. 2, г. Омск, 644077, Россия

^а <https://orcid.org/0000-0002-6454-8310>, tyrin-88@mail.ru, ^б <https://orcid.org/0000-0001-9181-5704>, renatkamenov@mail.ru,

^с <https://orcid.org/0000-0002-7168-103X>, Baltazar.13@mail.ru, ^д <https://orcid.org/0000-0002-0347-5277>, az@sibtmk.ru

ИНФОРМАЦИЯ О СТАТЬЕ

УДК 621.7.044

История статьи:

Поступила: 13 марта 2018

Рецензирование: 10 апреля 2018

Принята к печати: 15 августа 2018

Доступно онлайн: 15 сентября 2018

Ключевые слова:

Ювенильная поверхность
Ультрадисперсный порошок
Высокоскоростная обработка
Криогенная среда

Финансирование:

Работа выполнена при финансовой поддержке Программы фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013–2020 гг. № 9.9372/БЧ.

АННОТАЦИЯ

Введение. В статье изложены результаты исследований технологических режимов высокоскоростной обработки заготовок с целью получения ювенильных поверхностей и ультрадисперсных порошков. **Методы исследования.** В качестве технологических факторов взяты наличие/отсутствие жидкого азота в зоне обработки, скорость вращения мелющего диска, продольная подача, характеристики абразивного инструмента и физико-механические характеристики обрабатываемых материалов. В качестве функций отклика при рассмотрении влияния технологических факторов приняты: наличие посторонних примесей на обработанной поверхности, размер частиц порошка и износ абразивного инструмента. Все исследования проводились на следующих материалах: сплав твердый спеченный ВК-8, сталь инструментальная Р-18, латунь Л63, алюминиевый сплав Д16, ферромагнетик М2500НМС1 и неодимовый магнит N45M. При проведении исследований использовался растровый электронный микроскоп Jeol JSM-5700. Для получения соотношения, связывающего размер частиц порошка с технологическими факторами, использовался метод планирования двухфакторного эксперимента. **Результаты и обсуждение.** Наличие жидкого азота в зоне обработки позволяет сохранить чистоту поверхности, предотвращать ее окисление и появление на ней продуктов износа абразивного инструмента. При этом обработка вязких материалов становится возможной только при использовании жидкого азота. Осуществление диспергирования заготовки при скоростях вращения мелющего диска свыше 100 м/с приводит к резкому уменьшению размеров частиц получаемого порошка. Оптимальным с точки зрения размеров частиц порошка и величины износа абразивного инструмента является использование при обработке заготовок подачи менее 1 мм/мин. Предел прочности материалов при растяжении является единственным из рассмотренных физико-механических характеристик материалов параметром, влияющим на размер частиц.

Для цитирования: Влияние технологических режимов получения поверхностей, близких к ювенильным, и ультрадисперсных порошков высокоскоростной обработкой в криогенной среде / Ю.В. Титов, Р.У. Каменов, Д.Ю. Белан, А.И. Зинкин // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2018. – Т. 20, № 3. – С. 58–71. – doi: 10.17212/1994-6309-2018-20.3-58-71.

Введение

Состояние наружного слоя деталей машин напрямую определяет их эксплуатационные характеристики, надежность и долговечность. Кроме того, чистота поверхностного слоя дета-

лей играет определяющую роль в таких технологических операциях, как создание неразъемных соединений (сварка, пайка, склейка), нанесение различных металлических и неметаллических функциональных покрытий, наплавка металла. В научно-технической литературе можно выделить три основных направления публикаций. Первое связано с обзором способов получения чистых поверхностей: травление кислотами, анодирование, плазменное напыление, лазерная обработка, абразивная обработка, скалывание

*Адрес для переписки

Титов Юрий Владимирович, ассистент

Омский государственный технический университет

пр. Мира, 11,

644050, г. Омск, Россия

Тел.: +7 (913) 681-56-64, e-mail: tyrin-88@mail.ru

или дробление кристаллов, ионная бомбардировка подложки ионами инертного газа и т.д. [1–5]. Второе направление описывает приемы сохранения чистой поверхности, например применение глубокого вакуума [6]. Последнее направление посвящено работам по изучению взаимодействия с окружающей средой [7, 8].

Повышение интереса к низкоразмерным системам (с размером морфологических элементов порядка ста нанометров) является одной из характерных черт современного этапа развития науки и техники. Это связано с тем, что материалы, такие как металлы, керамики, композиты, получаемые с использованием этих систем, обладают новыми, зачастую уникальными свойствами. Благодаря уникальности своих свойств они находят широкое применение в различных отраслях промышленности – в электронике, медицине, фармакологии, машиностроении, химической и нефтяной промышленности, космической и авиационной технике и др. [9–13]. В нашей стране такие системы получили название ультрадисперсных материалов, к которым относятся и ультрадисперсные порошки (УДП).

Накопленный опыт обращения с ювенильными поверхностями и УДП показывает, что на сегодняшний день есть три основные проблемы.

1. Разработка способов получения чистых (ювенильных) поверхностей и УДП.

2. Сохранение свойств ювенильной поверхности и порошка в процессе его хранения.

3. Сохранение ювенильных свойств поверхности и свойств малоразмерных частиц в объемно структурированном материале.

Существует три группы способов получения чистых поверхностей: физические, физико-химические и химические способы (частично они были упомянуты выше). Эти способы могут применяться как самостоятельно, так и в комплексе. В научно-технической литературе большинство авторов для получения ювенильных поверхностей отдают предпочтение механическим методам, относящимся к группе физических.

Способов получения УДП на сегодняшний день значительно больше. В них используются такие процессы, как фазовые превращения, химическое взаимодействие, рекристаллизация, высокие механические нагрузки, биологический синтез и т. д. Каждый из способов обладает своими достоинствами и недостатками. Общим их

недостатком является то, что каждый метод ориентирован на выполнение конкретных требований к порошку по химическому составу, количеству примесей, размерам и формам частиц для выполнения требований к конечному продукту.

Способ высокоскоростной обработки, реализованный в мельнице тонкого помола, которая была разработана на кафедре «Металлорежущие станки и инструменты» ОмГТУ, позволяет получать ювенильные поверхности и УДП из одно- и многокомпонентных материалов [14–15].

Для понимания сути способа высокоскоростной обработки заготовок с целью получения ювенильной поверхности или ультрадисперсного порошка на рис. 1 представлена схема данного процесса с использованием мелющего диска (МД). В общем случае направления осей МД и заготовки могут не совпадать. Направления вращения заготовки и МД противоположны. Для поддержания постоянного контакта необходимо осуществление продольной подачи МД или заготовки s . В зоне контакта реализуется сила резания F , которая дает составляющие F_x , F_y и F_z . Скорость вращения МД превышает 100 м/с. С увеличением окружной скорости МД средняя толщина срезаемого слоя будет уменьшаться (см., например, [16]). В зону обработки заготовки подается жидкий азот с целью защиты обрабатываемой поверхности от окисления и охрупчивания материала.

Обработка деталей на скоростях вращения МД, превышающих 100 м/с, требует специальных подходов к проектированию конструкции МД. Она должна обеспечивать его прочность при вращении. Авторами статьи была разработана специальная конструкция сборного МД, способная выдерживать нагрузки при скорости вращения 300 м/с, которая показана на рис. 2. Данная конструкция защищена патентом 030364 РФ [17].

Корпус 1 МД для высокоскоростной обработки имеет внешний диаметр D и толщину H . С торцевой стороны выполнены 16 отверстий диаметром d , симметричных относительно оси шлифовального круга и расположенных по диаметру d_1 . В эти отверстия установлены шлифовальные сегменты, состоящие из шлифовальной головки 2, установленной в стакане 3 на клеевой основе 4, выступающие относительно торца корпуса 1 на величину h_1 . При этом стакан 3

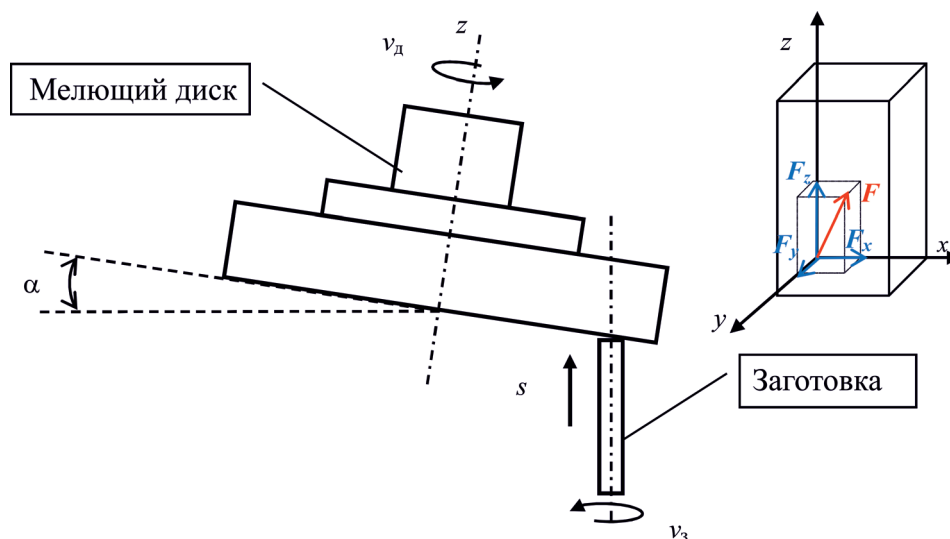


Рис. 1. Принципиальная схема обработки заготовки

Fig. 1. The basic scheme of billet processing

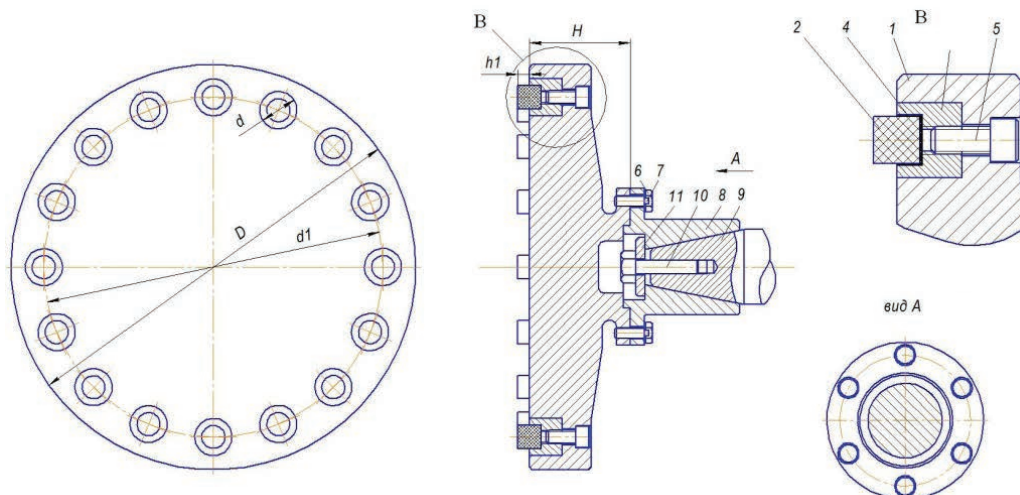


Рис. 2. Конструкция МД для диспергирования заготовки

Fig. 2. Construction of a grinding disk for dispersing a billet

зафиксирован в корпусе 1 крепежным болтом 5. Корпус 1 закреплен болтами 6 и стопорными шайбами 7 на оправке 8, установленной на конце шпиндельного вала 9.

Оправка 8 зафиксирована на валу 9 при помощи болта 10 и шайбы 11. После износа (~50 % высоты) шлифовальных головок 2 шлифовальные сегменты выкручиваются, стаканы 3 удаляются вместе с изношенными шлифовальными головками 2. На их место устанавливают новые шлифовальные сегменты.

На рис. 3 показана конструктивная схема мельницы тонкого помола, собранной на раме 1 универсального станка 3Е642. Сбор полученно-

го порошка происходит в специальную камеру 2, окружающую зону контакта МД 3 и заготовки 5. В этой камере предусмотрено отверстие, через которое в зону обработки из баллона по шлангу 8 подается жидкий азот с использованием специальной насадки. Вращение и подача заготовки обеспечиваются узлом 4, в котором заготовка закреплена с помощью цанги 6. Герметизация камеры в месте подвода узла 4 осуществляется с помощью защитных элементов 7 [14–15].

Высокоскоростной способ получения ювелирных поверхностей и УДП является новой разработкой, реализованной в мельнице тонкого помола, которая ориентирована на реализацию

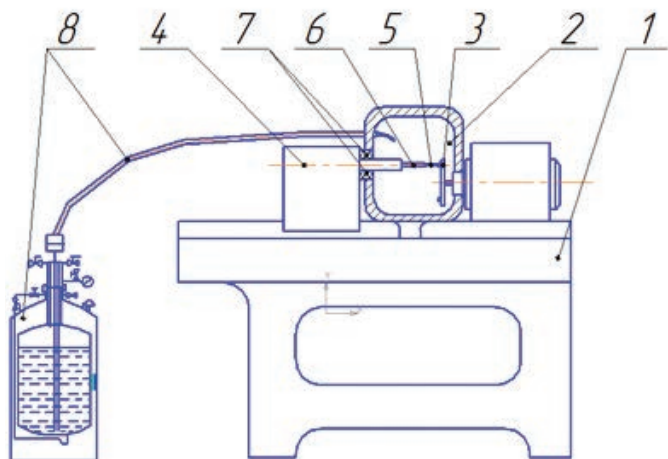


Рис. 3. Конструктивная схема мельницы

Fig. 3. Structural scheme of the mill

именно этого способа. Конструкционные возможности этой мельницы позволяют варьировать режимы обработки заготовки в достаточно широких пределах. Для обеспечения выполнения требований по качеству конечного продукта (чистота поверхности, размер частиц порошка и т. д.) необходимо знание оптимальных технологических режимов, которые, с одной стороны, позволяли бы выполнять данные требования, а с другой – обеспечивали бы высокий уровень производительности операций. Именно определение влияния различных технологических факторов на чистоту обработанных поверхностей и размер частиц является основной целью проведенных исследований. Задача исследований заключается в варьировании параметров технологических факторов и определении значений функций отклика, характеризующих качество конечного продукта.

Методика исследований

В качестве технологических факторов были взяты наличие/отсутствие жидкого азота в зоне контакта МД и заготовки, скорость вращения МД, продольная подача, физико-механические характеристики обрабатываемых материалов и характеристики абразивного инструмента. В качестве функций отклика при рассмотрении влияния технологических факторов были приняты: наличие посторонних примесей на обработанной поверхности, размер частиц порошка и износ абразивного инструмента.

В качестве объектов исследований были взяты три группы материалов – высокопрочные, пластичные и хрупкие. Группу высокопрочных материалов составили сплав твердый спеченный ВК-8 и сталь инструментальная Р-18. В группу пластичных (вязких) и менее прочных материалов вошли латунь Л63 и алюминиевый сплав Д16. Группа хрупких материалов – ферромагнетик М2500НМС1 и неодимовый магнит N45М.

Определение размера частиц проводилось с использованием растрового электронного микроскопа Jeol JSM-5700 по фотографическим снимкам путем замера ее максимального размера. Разрешающая способность данного микроскопа составляет 5 нм.

Влияние наличия жидкого азота на содержание кислорода в частицах материала, полученных в процессе высокоскоростной обработки, оценивалось путем сравнения результатов химического анализа материала, полученного без использования азота и с ним. Образцы исследовались с помощью энерго-дисперсионного анализа на растровом электронном микроскопе Jeol JSM-5700 с использованием ZAF Method Standardless Quantitative Analysis [18].

Исследование состояния обработанной поверхности было проведено на образцах из двух материалов – Д16 и Л63. Для этого были взяты по два стержня (10×100 мм) из одного прутка каждого материала, т. е. исходное состояние материалов было одинаковым для обоих стержней. Они были шлифованы со скоростью 300 м/с и подачей 1 мм/мин. Были использованы абразивные головки AC483/60 на металлической связке. У каждого образца было снято по 10 мм. При этом один стержень обрабатывался без подачи азота, другой – с подачей азота.

Выбор оптимальной величины подачи МД с точки зрения минимальных значений дисперсности и загрязнения решался экспериментальным путем. Эксперименты проводились на стержнях из всех рассматриваемых материалов. Результаты группировались: первую группу составили Д16 и Л63 (пластичные материалы), вторую группу – М2500НМС1 и N45М (хрупкие магнитные материалы), в третью группу вошли ВК8 и Р18 (инструментальные материалы). Скорость вращения МД была выбрана 300 м/с. Подача варьировалась с 0,1 до 1,4 мм/мин с шагом 0,05 мм/мин. При каждом значении пода-

чи (продолжительность обработки составляла 5 мин) фиксировались средний размер частиц порошка a_{cp} и износ абразивного инструмента (использовались головки на бакелитовой или металлической связках, начальная масса АГ составляла 37 г).

Для определения зависимости удельного расхода алмазов от их концентрации были проведены испытания с образцами из сплава Д16. Скорость вращения МД составляла 300 м/с, подача – 1 мм/мин, жидкий азот подавался в зону обработки. Использовались головки АС4 на металлической связке.

Для исследования зависимости удельного расхода алмазов от скорости вращения МД были проведены испытания с образцами из сплава Д16. Скорость вращения МД изменялась в диапазоне от 50 до 300 м/с, подача – 1 мм/мин, жидкий азот подавался в зону обработки.

Во всех исследованиях скорость вращения заготовки была постоянной и составляла 5 м/с.

Износ абразивных головок определялся их взвешиванием на аналитических весах с погрешностью $\pm 0,2$ мг. Удельный расход алмазов q_p определялся по соотношению [19]

$$q_p = \frac{\Delta M_{AG} \alpha}{\Delta M}, \quad (1)$$

где ΔM_{AG} – разность массы абразивной головки до и после опыта, мг; ΔM – разность массы образца до и после опыта, г; α – коэффициент, определяющий количество алмазов в алмазосодержащем слое.

Коэффициент α , зависящий от марки связки и концентрации алмазов, выбирался по таблицам [20].

При рассмотрении возможной корреляции среднего размера частиц a_{cp} от физико-механических характеристик в качестве последних были рассмотрены твердость, предел прочности на растяжение и изгиб, ударная вязкость. Количественные значения этих параметров брались из научно-технической литературы и соответствующей нормативной документации (ГОСТы, технические условия и т. д.).

На основании анализа зависимостей, связывающих размер частицы порошка a с технологическими факторами процесса шлифования (величинами подачи s и скорости вращения МД v_k), были сделаны следующие предположения относительно вида этой функции [16].

1. Существует зависимость размера частицы a от предела прочности измельчаемого материала.

2. Имеет место линейная зависимость размера частицы a от подачи.

3. Имеется степенная зависимость размера частицы a от скорости вращения МД с неизвестным показателем степени z .

Таким образом, данная функция должна выглядеть следующим образом:

$$\alpha = k(\sigma_b) s v_k^z. \quad (2)$$

Для определения численных значений поправочного коэффициента $k(\sigma_b)$ и показателя степени z были использованы результаты серии экспериментов с различными материалами (разные пределы прочности на растяжение). Величины подачи s и скорости вращения МД v_k варьировались в рамках матрицы планирования двухфакторного эксперимента.

Результаты и их обсуждение

В результате серии экспериментов для разных материалов с различными пределами прочности были получены среднее значение показателя степени $z = -1,7$ и зависимость $k(\sigma_b)$, представленная на рис. 4.

Соотношение (2) позволяет при известных значениях показателя степени z и предела прочности на растяжение обрабатываемого материала рассчитать теоретическую зависимость

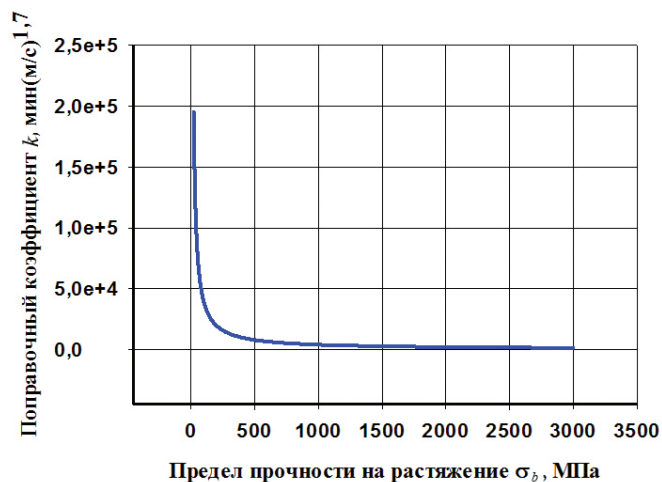


Рис. 4. Зависимость коэффициента k от предела прочности σ_b

Fig. 4. Dependence of the coefficient k on the ultimate strength σ_b

среднего размера частицы a от скорости вращения МД v_k . Эти зависимости были построены для всех исследованных материалов.

На рис. 5 для иллюстрации представлены расчетная зависимость (красная линия) и экспериментальные значения (черные точки) средних размеров частиц порошка для латуни Л63, а также показан разброс экспериментальных точек. Практически видно полное совпадение расчетных и экспериментальных значений, которое наблюдается и для других материалов.

Необходимо выделить два момента. Во-первых, видно, что при скорости вращения МД выше 100 м/с происходит резкое уменьшение среднего размера частиц по отношению к классическому уровню скорости порядка 30 м/с.

Во-вторых, сопоставление средних размеров частиц порошков a_{cp} с размерами зерен материалов d , которые приведены в табл. 1 (с указанием источников), показывает следующее.

При скорости вращения МД 30 м/с средние размеры частиц оказались сопоставимыми величинами с размерами зерен. Причем для одних материалов они достаточно близки (например,

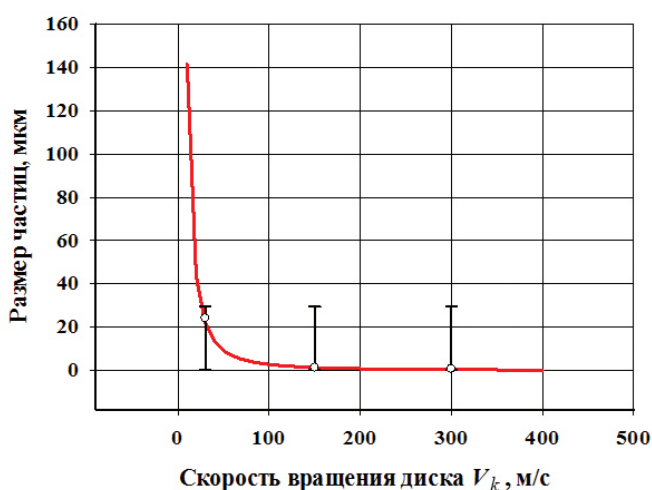


Рис. 5. Зависимость дисперсности порошка из Л63 от скорости вращения МД

Fig. 5. Dependence of powder dispersion from L63 on the grinding disk rate of revolution

для ВК8 и Д16), а для других (М2500НМС1 и N45М) размер зерна в разы меньше размера частиц.

Таким образом, при малых скоростях вращения частица может включать в себя несколько зерен. Это говорит о том, что при скорости 30 м/с

Таблица 1

Table 1

Средний размер частиц порошка a_{cp} и размеры зерен d
Average particle size of a powder a_{cp} and grain sizes d

Материал Material	Скорость, speed, м/с	a_{cp} , мкм	d , мкм
ВК8	30	7,30	8 [21]
	150	1,90	
	300	1,40	
Р18	30	5,20	15 [22]
	150	1,40	
	300	0,90	
Л63	30	24,20	40 [23]
	150	1,30	
	300	0,80	
Д16	30	18,40	28 [24]
	150	1,50	
	300	0,25	
М2500НМС1	30	90,50	40 [25]
	150	1,00	
	300	0,25	
N45М	30	93,20	20 [26]
	150	0,70	
	300	0,20	

механизм образования стружки основан на «вырывании» зерен.

При скоростях 150 и 300 м/с размеры частиц для всех материалов значительно меньше размеров кристаллов, т. е. частицы образуются за счет срезания зерен. По расчетным зависимостям $a_{cp}(v_k)$ получается, что смена механизма стружкообразования и, следовательно, образования поверхностей, близких к ювенильным, для рассматриваемых материалов происходит при скорости вращения МД около 100 м/с.

Еще одним параметром технологического процесса измельчения является величина подачи МД. Из соотношения (2) следует, что с увеличением подачи размер частиц порошка увеличивается линейно. Поэтому для получения минимальной дисперсности необходимо работать с минимальной подачей МД. Однако это приводит к снижению производительности, увеличению времени нахождения заготовки при повышенных температурах, увеличению расхода жидкого азота и т. д. Вместе с тем увеличение подачи приводит не только к укрупнению частиц, но и к увеличению износа абразивных головок, т. е. к загрязнению ювенильной поверхности и одновременно порошка.

Внутри каждой группы рассматриваемых материалов результаты по определению влияния подачи на величины среднего размера частиц и износа абразивных головок получились близ-

кими. Для примера на рис. 6 и 7 показаны полученные экспериментальные зависимости для сплавов Д16 и ВК8 с указанием доверительных интервалов (95 %).

Необходимо отметить тот факт, что величина подачи около 1 мм/мин является для всех рассматриваемых материалов критической. С увеличением подачи свыше данного значения происходит резкое увеличение износа головок и среднего размера частиц порошка. Поэтому все дальнейшие исследования проводились при подачах меньше 1 мм/мин.

В графическом виде полученная зависимость удельного расхода алмазов от концентрации для сплава Д16 представлена на рис. 8, а. Для сравнения на рис. 8, б показана зависимость износа абразивных головок от концентрации. На графиках указан доверительный интервал (95 %).

Несмотря на то что и удельный расход алмазов, и износ абразивных головок являются величинами, характеризующими потери алмазов, их зависимости от концентрации существенно отличаются. Зависимость удельного расхода имеет тенденцию к постоянному росту, зависимость износа АГ имеет ярко выраженный минимум при концентрации 100 %. При оценке экономической эффективности того или иного технологического процесса следует пользоваться параметром удельного расхода алмазов.

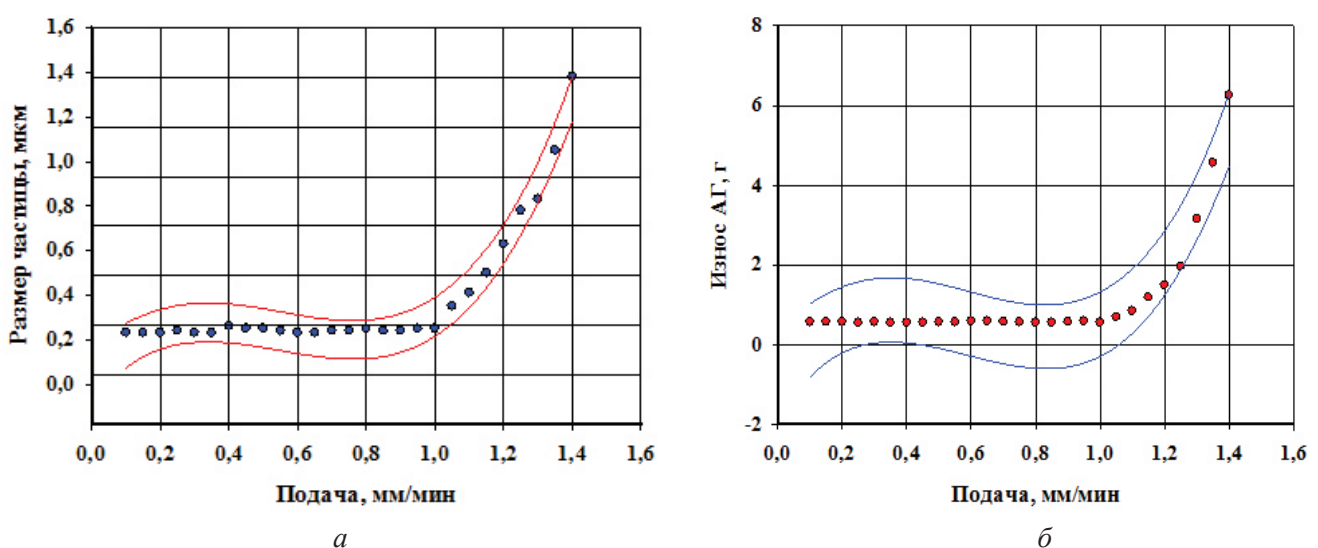


Рис. 6. Зависимость среднего размера частиц a_{cp} (а) и износа абразивных головок (б) от подачи для сплава Д16

Fig. 6. Dependences of the average particle size a_{cp} (a) and wear of abrasive heads (б) on feed for the alloy D16

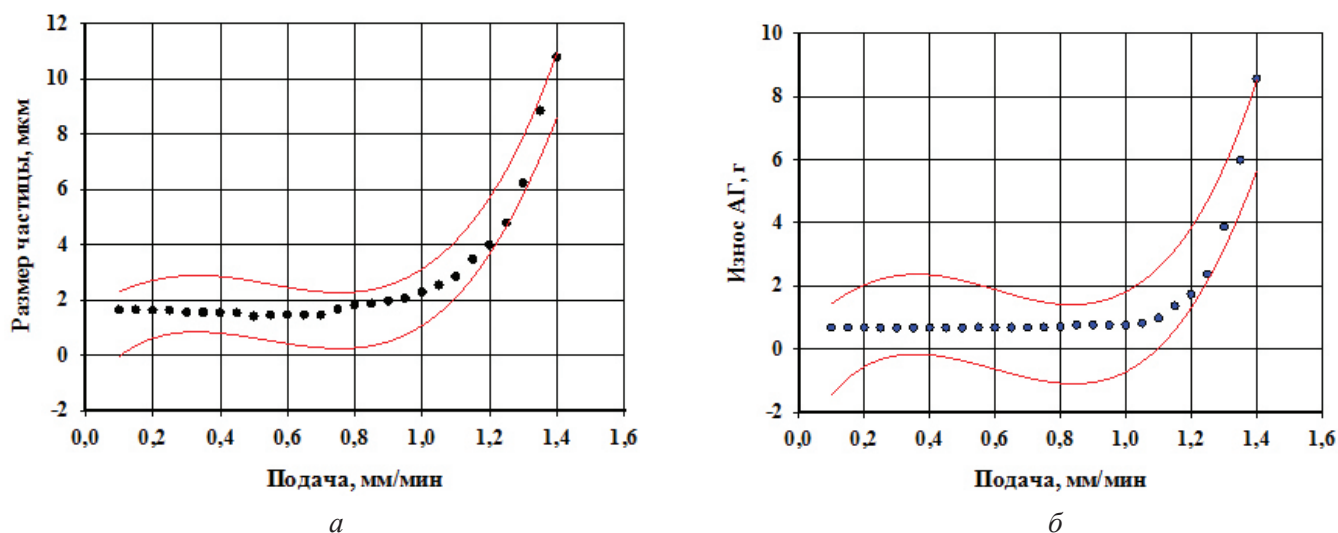


Рис. 7. Зависимость среднего размера частиц a_{cp} (а) и износа абразивных головок (б) от подачи для сплава ВК8

Fig. 7. Dependences of the average particle size a_{cp} (a) and wear of abrasive heads (б) on feed for the alloy VK8

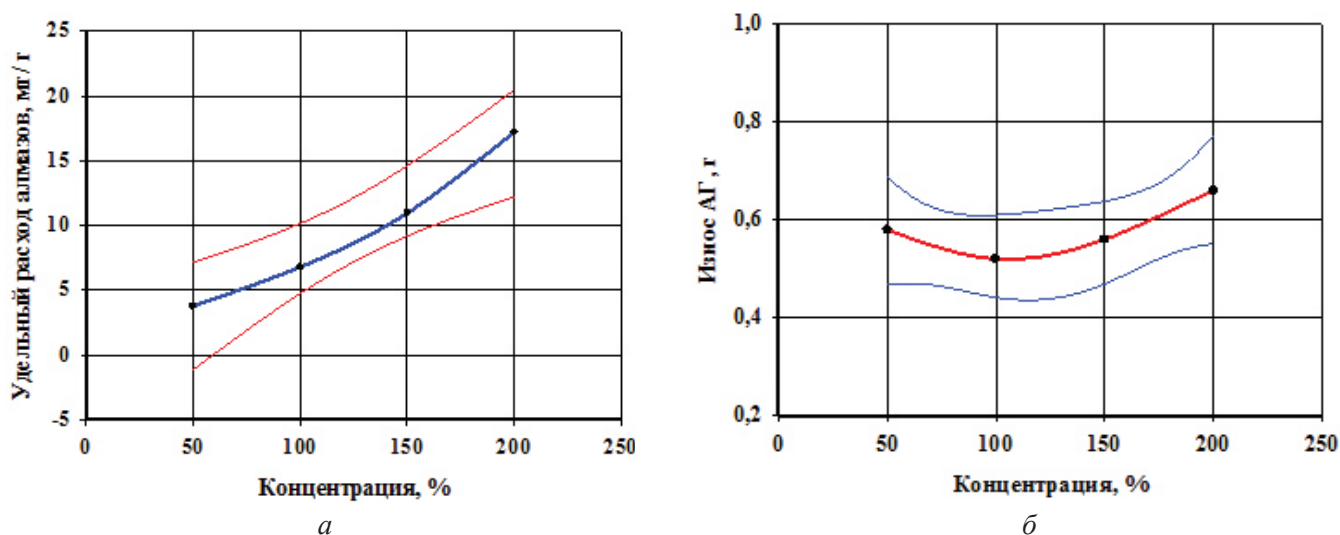


Рис. 8. Зависимость удельного расхода алмазов (а) и износа абразивных головок (б) от концентрации для сплава Д16

Fig. 8. Dependences of specific consumption of diamonds (a) and wear of abrasive heads (б) on concentration for the alloy D16

Полученная для сплава Д16 зависимость удельного расхода алмазов от скорости вращения МД в графическом виде с указанием доверительного интервала (95 %) представлена на рис. 9.

Видно, что данная зависимость имеет ярко выраженный экстремум при скорости вращения 100 м/с. При превышении этого порога происходит уменьшение удельного расхода вследствие изменения условий резания, связанных с уменьшением сил резания и температуры. Отметим,

что при скоростях менее 100 м/с также отмечается тенденция уменьшения удельного расхода, что совпадает с результатами Е.В. Васильева, который исследовал эту зависимость при скоростях вращения от 10 до 40 м/с. Результаты его исследований показывают, что в данном диапазоне удельный расход синтетического алмаза увеличивается при повышении скорости вращения круга [27].

Оценка возможной корреляции среднего размера частиц a_{cp} от физико-механических харак-

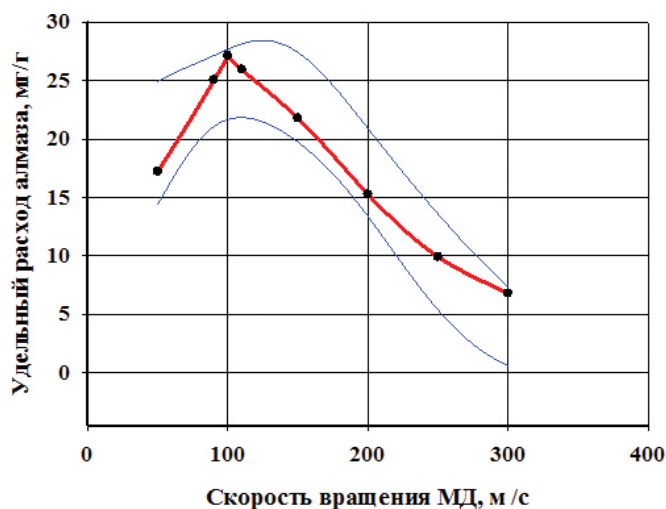


Рис. 9. Зависимость удельного расхода алмазов от скорости вращения МД для сплава Д16

Fig. 9. Dependence of specific consumption of diamonds on the speed of grinding disk for the alloy D16

теристик (кроме предела прочности на растяжение) дала отрицательные результаты. Таким образом, можно заключить, что связь размера частицы порошка с пределом прочности материала на растяжение является единственной.

Одним из основных технологических факторов служит наличие жидкого азота в зоне обработки. Создание криогенных условий оказалось необходимым для обработки вязких материалов, таких как Л63 и Д16. Именно отрицательные температуры осуществляли охрупчивание этих материалов и создавали условия для обработки

поверхности путем срезания зерен. Еще одним положительным моментом является отсутствие загрязнения обработанной поверхности. В табл. 2 приведены результаты химического анализа поверхностей двух стержней из Д16.

Отчетливо видно, что при обработке без применения азота создается среда, благоприятная для образования оксидов. Алюминий и медь на поверхности полностью переходят в Al_2O_3 и CuO . Этого не происходит в случае применения азота при обработке. Аналогичные результаты были получены для латуни Л63.

Результаты исследования химического состава частиц порошка также показали, что присутствие жидкого азота является необходимым условием для обеспечения чистоты продукта измельчения.

Для примера в табл. 3 приведены результаты химического анализа частиц порошка неодимового магнита N45M. При отсутствии жидкого азота в зоне обработки химический анализ показал, что помимо элементов, входящих в состав магнита (железо и неодим), зафиксировано наличие кислорода и углерода (продукт износа абразивных головок). При присутствии жидкого азота кроме элементов, входящих в состав магнита, других элементов не обнаружено в пределах чувствительности микроскопа Jeol JSM-5700. Аналогичные результаты были зафиксированы для порошков из латуни Л63 и алюминиевого сплава Д16.

Таблица 2

Table 2

Результаты анализа поверхностей стержней из Д16

Results of the analysis of the alloy D16 rods surface

Элемент Element	Параметр Parameter			
	Масс., % Mass., %	Погрешность, % Error, %	Соединение Compound	Масс., % Mass., %
Обработка стержня без использования жидкого азота Treatment of the rod end without liquid nitrogen				
Кислород	45,94			
Алюминий	50,70	0,37	Al_2O_3	95,79
Медь	3,36	1,63	CuO	4,21
Сумма	100,00	—		100,00
Обработка стержня с использованием жидкого азота Treatment of the bar end with liquid nitrogen				
Алюминий	92,62	0,35	—	
Медь	7,38	2,86	—	
Сумма	100,00		—	

Таблица 3

Table 3

Результаты анализа частиц порошка неодимового магнита N45M
The results of the analysis of the particles of the neodymium magnet powder N45M

Элемент Element	Параметр Parameter	
	Масс. % Mass. %	Погрешность, % Error, %
Порошок, полученный без использования жидкого азота Powder obtained without feeding liquid nitrogen		
Углерод	18,28	0,43
Кислород	14,61	0,38
Железо	49,43	7,59
Неодим	17,67	9,60
Сумма	100,00	—
Порошок, полученный с использованием жидкого азота Powder obtained with the supply of liquid nitrogen		
Железо	77,28	58,56
Неодим	22,72	74,14
Сумма	100,00	—

Выводы

1. Подача жидкого азота является обязательным технологическим фактором при получении ювенильных поверхностей и ультрадисперсных порошков различных материалов. Жидкий азот предотвращает окисление обрабатываемой поверхности и снижает уровень ее загрязнения продуктами износа абразивных головок. Кроме того, использование жидкого азота в случае обработки пластичных материалов приводит к их охрупчиванию, что уменьшает степень засаливания абразивных головок.

2. При скоростях вращения мелющего диска выше 100 м/с размеры частиц оказываются меньше размеров зерна материалов, что говорит о механизме образования стружки путем срезания зерна. Экспериментальным путем установлено, что при превышении подачи свыше 1 мм/мин происходит резкое увеличение размеров частиц и износа абразивных головок. Определены зависимости удельного расхода алмазов от концентрации алмазов и скорости вращения мелющего диска.

Список литературы

1. Molitor P., Barron V., Young T. Surface treatment of titanium for adhesive bonding to polymer composites:

a review // International Journal of Adhesion and Adhesives. – 2001. – Vol. 21, iss. 2. – P. 129–136. – doi: 10.1016/S0143-7496(00)00044-0.

2. Handbook of adhesives and surface preparation: technology, applications and manufacturing / ed. by S. Ebnesajjad. – 1st ed. – Amsterdam: William Andrew/Elsevier, 2011. – 450 p. – ISBN 978-1-4377-4461-3. – doi: 10.1016/C2010-0-65918-9.

3. Roberts R.W. Generation of clean surfaces in high vacuum // British Journal of Applied Physics. – 1963. – Vol. 14, N 9. – P. 537–543. – doi: 10.1088/0508-3443/14/9/301.

4. Jona F. Preparation and properties of clean surfaces of aluminum // Journal of Physics and Chemistry of Solids. – 1967. – Vol. 28, iss. 11. – P. 2155–2158; 2159–2160. – doi: 10.1016/0022-3697(67)90239-9.

5. A practical excimer laser-based cleaning tool for removal of surface contaminants / H.K. Park, C.P. Grigoropoulos, W.P. Leung, A.C. Tam // IEEE Transactions on Components, Packaging, and Manufacturing Technology: Part A. – 1994. – Vol. 17, iss. 4. – P. 631–643. – doi: 10.1109/95.335050.

6. Preparation of atomically clean surfaces of selected elements: a review / R.G. Musket, W. McLean, C.A. Colmenares, D.M. Makowiecki, W.J. Siekhaus // Applications of Surface Science. – 1982. – Vol. 10, iss. 2. – P. 143–207. – doi: 10.1016/0378-5963(82)90142-8.

7. X-ray photoelectron studies of the reaction of clean metals (Mg, Al, Cr, Mn) with oxygen and water vapour /

- J.C. Fuggle, L.M. Watson, D.J. Fabian, S. Affrossman // Surface Science. – 1975. – Vol. 49, iss. 1. – P. 61–76. – doi: 10.1016/0039-6028(75)90328-3.
8. Muktepavela F., Maniks J. Mechanical properties and accommodation processes on metallic interfaces // Nanostructured Materials. – 1998. – Vol. 10, iss. 3. – P. 479–484. – doi: 10.1016/S0965-9773(98)00090-7.
9. Muktepavela F., Manika I., Mironovsb V. Structure and mechanical properties of Al–B composite powder // Materials & Design. – 1997. – Vol. 18, iss. 4–6. – P. 257–259. – doi: 10.1016/S0261-3069(97)90061-3.
10. Qureshi A.T. Silver nanoparticles as drug delivery systems: Dr. of philosophy diss. – Louisiana, 2013. – 173 p. – Identifier: etd-11052013-124819.
11. Karkare M. Nanotechnology: fundamentals and applications. – New Delhi: I.K. International Publishing House, 2008. – 252 p. – ISBN-10: 8189866990. – ISBN-13: 978-8189866990.
12. Koçak A., Karasu B. General evaluations of nanoparticles // El-Cezerî Journal of Science and Engineering. – 2018. – Vol. 5, N 1. – P. 191–236.
13. Nanoengineered colloidal inks for 3D bioprinting / C.W. Peak, J. Stein, K.A. Gold, A.K. Gaharwar // Langmuir. – 2018. – Vol. 34, iss. 3. – P. 917–925. – doi: 10.1021/acs.langmuir.7b02540.
14. Preparation of multi-component powder of any high solids process / Yu. Titov, D. Rechenko, I. Tsarenko, I. Petrov // Scientific-Technical Conference “Innovations in Engineering”: Proceedings. – Burgas, 2015. – P. 27–29.
15. Unit engineering of solid materials complex powder production by high speed process / Yu. Titov, D. Rechenko, I. Tsarenko, I. Petrov // 2nd Scientific Congress “Innovations in engineering”: Proceedings. – Varna, 2016. – P. 41–42.
16. Филимонов Л.Н. Высокоскоростное шлифование. – Л.: Машиностроение, 1979. – 248 с.
17. Патент 146455 Российская Федерация, МПК В 22 F 9/04. Устройство для получения металлических порошков / А.Ю. Попов, Д.С. Реченко, Ю.В. Титов, К.К. Госина, Р.У. Каменов. – № 2014119229/02; заявл. 13.05.2014; опубл. 10.10.2014, Бюл. № 28. – 3 с.
18. Scanning electron microscopy and X-Ray microanalysis / J.I. Goldstein, D.E. Newbury, P. Echlin, D.C. Joy, C. Fiori, E. Lifshin. – 1st ed. – New York; London: Springer US Publ., 1981. – 673 p. – ISBN 978-1-4613-3275-6. – eISBN 978-1-4613-3273-2. – doi: 10.1007/978-1-4613-3273-2.
19. Бакуль В.Н. Основы проектирования и технология изготовления абразивного и алмазного инструмента. – М.: Машиностроение, 1975. – 296 с.
20. Справочник по алмазной обработке металлорежущего инструмента / В.Н. Бакуль, И.П. Захаренко, Я.А. Кункин, М.З. Мильштейн; под общ. ред. В.Н. Бакуль. – Киев: Техніка, 1971. – 208 с.
21. Борисенко Н.И., Чичиро Е.А. Износостойкий твердый сплав ВК8УДП для подшипников скольжения и режущего инструмента // Материалы Международной научно-технической конференции ААИ «Автомобиле- и тракторостроение в России: приоритеты развития и подготовка кадров». Секция 9 «Техническая физика». – М.: МГТУ «МАМИ», 2010. – С. 18–24.
22. ГОСТ 19265–73. Прутки и полосы из быстрорежущей стали. Технические условия. – Введ. 01.01.75. – М.: Изд-во стандартов. – 23 с.
23. Пачурин Г.В. Сопротивление усталости при разных температурах отожженной и упрочненной латуни Л63 // Международный журнал экспериментального образования. – 2014. – № 3, ч. 1. – С. 119–126.
24. Шаклеина А.В. Микроструктура и механические свойства алюминиевого сплава Д16 при нагружении в коррозионной среде: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Тюмень, 2010. – 18 с.
25. Саврук Е.В., Смирнов С.В., Климов А.С. Модификация поверхности Mn-Zn-феррита пучком низкоэнергетических электронов // Доклады ТУСУР. – 2012. – № 2 (26), ч. 2. – С. 172–174.
26. Влияние термической обработки на магнитные свойства и структуру магнитов типа (Nd,Pr)-(Tb,Dy,Gd)-(Fe,Co,Al,Cu,Re)-В // О.А. Ариничева, А.С. Лилеев, А.А. Лукин, М. Райзнер, А.С. Старикова, Е.М. Семенова / Известия РАН. Серия физическая. – 2013. – Т. 77, № 10. – С. 1387–1390.
27. Васильев Е.В. Повышение производительности алмазного шлифования твердосплавных изделий и ресурса кругов выбором оптимальных схем и режимов шлифования и характеристики круга: дис. ... канд. техн. наук. – Омск, 2005. – 169 с.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

© 2018 Авторы. Издательство Новосибирского государственного технического университета. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)



Obrabotka metallov - Metal Working and Material Science

Journal homepage: http://journals.nstu.ru/obrabotka_metallov



The Influence of Technological Modes of Forming the Surface, Close to Juvenile and Ultrafine Powders with a High-Speed Method in a Cryogenic Environment





Yury Titov^{1, a, *}, Renat Kamenov^{1, b}, Dmitry Belan^{2, c}, Alexey Zinkin^{3, d}

¹ Omsk State Technical University, 11 Mira ave., Omsk, 644050, Russian Federation

² Omsk State Transport University, 35 Prospekt Marksa, Omsk, 644046, Russian Federation

³ LLC "SibTochMash", 55 (build. 2) Mira ave., Omsk, 644077, Russian Federation

^a  <https://orcid.org/0000-0002-6454-8310>,  tyrin-88@mail.ru, ^b  <https://orcid.org/0000-0001-9181-5704>,  renatkamenov@mail.ru,

^c  <https://orcid.org/0000-0002-7168-103X>,  Baltazar.13@mail.ru, ^d  <https://orcid.org/0000-0002-0347-5277>,  az@sibtmk.ru

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 13 March 2018

Review: 10 April 2018

Accepted: 15 August 2018

Available online: 15 September 2018

Keywords:

Juvenile surface

Ultrafine powder

High-speed processing

Cryogenic medium

Funding:

The work was carried out with the financial support of the Program of Fundamental Scientific Research of the State Academies of Sciences for 2013-2020. No. 9.9372 / BP.

ABSTRACT

Introduction. The paper describes the research results of technological modes for high-speed processing of billets with the aim of obtaining juvenile surfaces and ultrafine powders. **Methods of research.** As technological factors, the presence/absence of liquid nitrogen in the treatment zone, the rate of revolution of grinding disk, the longitudinal feed, the characteristics of the abrasive tool, and the physical and mechanical characteristics of the materials being processed are taken. As response functions, when considering the influence of technological factors, foreign impurities are taken on the treated surface, the particle size of the powder and the wear of the abrasive tool. All the studies were carried out on the following materials: sintered-hard alloy VK-8, tool steel R-18, brass L63, aluminum alloy D16, ferromagnet M2500NMC1 and neodymium magnet N45M. A scanning electronic microscope Jeol JSM-5700 was used in the studies. The method of planning a two-factor experiment was used to obtain the ratio connecting the size of powder particles with technological factors. **Results and discussion.** The presence of liquid nitrogen in the processing area allows keeping the surface clean, preventing its oxidation and the appearance of abrasive wear products on it. The processing of viscous materials becomes possible only with the use of liquid nitrogen. The dispersion of the billet at grinding disc rate of revolution higher than 100 m/s leads to a sharp decrease in the particle size of the resulting powder. The use of a feed of less than 1 mm/min in the processing of billets is optimal in terms of the particle size of the powder obtained and the wear of the abrasive tool. The tensile strength of materials is the only parameter considered by physicomechanical characteristics of materials that affects the particle size.

For citation: Titov Yu.V., Kamenov R.U., Belan D.Y., Zinkin A.I. The influence of technological modes of forming the surface, close to juvenile and ultrafine powders with a high-speed method in a cryogenic environment. *Obrabotka metallov (tekhnologiya, oborudovanie, instrumenty) = Metal Working and Material Science*, 2018, vol. 20, no. 3, pp. 58–71. doi: 10.17212/1994-6309-2018-20.3-58-71. (In Russian).

References

1. Molitor P., Barron V., Young T. Surface treatment of titanium for adhesive bonding to polymer composites: a review. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 2001, vol. 21, iss. 2, pp. 129–136. doi: 10.1016/S0143-7496(00)00044-0.
2. Ebnesajjad S., ed. *Handbook of adhesives and surface preparation: technology, applications and manufacturing*. 1st ed. Amsterdam, William Andrew/Elsevier, 2011. 450 p. ISBN 978-1-4377-4461-3. doi: 10.1016/C2010-0-65918-9.

* Corresponding author

Titov Yury V., Assistant

Omsk State Technical University

11 Mira ave.,

644050, Omsk, Russian Federation

Tel.: +7 (913) 681-56-64, e-mail: tyrin-88@mail.ru

3. Roberts R.W. Generation of clean surfaces in high vacuum. *British Journal of Applied Physics*, 1963, vol. 14, no. 9, pp. 537–543. doi: 10.1088/0508-3443/14/9/301.
4. Jona F. Preparation and properties of clean surfaces of aluminum. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*. 1967, vol. 28, iss. 11, pp. 2155–2158, 2159–2160. doi: 10.1016/0022-3697(67)90239-9.
5. Park H.K., Grigoropoulos C.P., Leung W.P., Tam A.C. A practical excimer laser-based cleaning tool for removal of surface contaminants. *IEEE Transactions on Components, Packaging, and Manufacturing Technology: Part A*, 1994, vol. 17, iss. 4, pp. 631–643. doi: 10.1109/95.335050.
6. Musket R.G., McLean W., Colmenares C.A., Makowiecki D.M., Siekhaus W.J. Preparation of atomically clean surfaces of selected elements: a review. *Applications of Surface Science*, 1982, vol. 10, iss. 2, pp. 143–207. doi: 10.1016/0378-5963(82)90142-8.
7. Fuggle J.C., Watson L.M., Fabian D.J., Affrossman S. X-ray photoelectron studies of the reaction of clean metals (Mg, Al, Cr, Mn) with oxygen and water vapour. *Surface Science*, 1975, vol. 49, iss. 1, pp. 61–76. doi: 10.1016/0039-6028(75)90328-3.
8. Muktepavela F., Maniks J. Mechanical properties and accommodation processes on metallic interfaces. *Nanostructured Materials*, 1998, vol. 10, iss. 3, pp. 479–484. doi: 10.1016/S0965-9773(98)00090-7.
9. Muktepavela F., Manikaa I., Mironovsb V. Structure and mechanical properties of Al–B composite powder. *Materials & Design*, 1997, vol. 18, iss. 4–6, pp. 257–259. doi: 10.1016/S0261-3069(97)90061-3.
10. Qureshi A.T. *Silver nanoparticles as drug delivery systems*. Dr. of philosophy diss. Louisiana, 2013. 173 p. Identifier: etd-11052013-124819.
11. Karkare M. *Nanotechnology: fundamentals and applications*. New Delhi, I.K. International Publishing House, 2008. 252 p. ISBN-10: 8189866990. ISBN-13: 978-8189866990.
12. Koçak A., Karasu B. General evaluations of nanoparticles. *El-Cezeri Journal of Science and Engineering*, 2018, vol. 5, no. 1, pp. 191–236.
13. Peak C.W., Stein J., Gold K.A., Gaharwar A.K. Nanoengineered colloidal inks for 3D bioprinting. *Langmuir*, 2018, vol. 34, iss. 3, pp. 917–925. doi: 10.1021/acs.langmuir.7b02540.
14. Titov Yu., Rechenko D., Tsarenko I., Petrov I. Preparation of multi-component powder of any high solids process. *Scientific-Technical Conference “Innovations in Engineering”*: Proceedings. Burgas, 2015, pp. 27–29.
15. Titov Yu., Rechenko D., Tsarenko I., Petrov I. Unit engineering of solid materials complex powder production by high speed process. *2nd Scientific Congress “Innovations in engineering”*: Proceedings. Varna, 2016, pp. 41–42.
16. Filimonov L.N. *Vysokoskorostnoe shlifovanie* [High-speed grinding]. Leningrad, Mashinostroenie Publ., 1979. 248 p.
17. Popov A.Yu., Rechenko D.S., Titov Yu.V., Gosina K.K., Kamenov R.U. *Ustroistvo dlya polucheniya metallicheskih poroshkov* [An apparatus for producing metallic powders]. Patent RF, no. 146455, 2014.
18. Goldstein J.I., Newbury D.E., Echlin P., Joy D.C., Fiori C., Lifshin E. *Scanning electron microscopy and X-Ray microanalysis*. 1st ed. New York, London, Springer US Publ., 1981. 673 p. ISBN 978-1-4613-3275-6. eISBN 978-1-4613-3273-2. doi: 10.1007/978-1-4613-3273-2.
19. Bakul’ V.N. *Osnovy proektirovaniya i tekhnologiya izgotovleniya abrazivnogo i almaznogo instrumenta* [Basics of designing and technology of manufacturing of the abrasive and diamond tool]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1975. 296 p.
20. Bakul’ V.N., Zakharenko I.P., Kunkin Ya.A., Mil’shtein M.Z. *Spravochnik po almaznoi obrabotke metallovezhushchego instrumenta* [Directory of diamond processing of metal cutting tools]. Kiev, Tekhnika Publ., 1971. 208 p.
21. Borisenko N.I., Chichiro E.A. [Wear-resistant hard alloy VK8UDP for bearings of sliding and cutting tools]. *Materialy Mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii AAI “Avtomobile- i traktorostroenie v Rossii: priority razvitiya i podgotovka kadrov”* [Materials of the International Scientific and Technical Conference AAI “Automobile and Tractor in Russia: Development Priorities and training”]. Moscow, MSTU MAMI Publ., 2010, pp. 18–24. (In Russian).
22. GOST 19265–73. *Prutki i polosy iz bystrovezhushchei stali. Tekhnicheskie usloviya* [State Standard 19265–73. Bars and strips of high-speed steel. Specifications]. Moscow, Standartinform Publ., 1975. 23 p.
23. Pachurin G.V. Soprotivlenie ustalosti pri raznykh temperaturakh otozhzhennoi i uprochnennoi latuni L63 [Fatigue resistance of annealed at different temperatures and strengthening brass L63]. *Mezhdunarodnyi zhurnal eksperimental’nogo obrazovaniya = International Journal of Experimental Education*, 2014, no. 3, pt. 1, pp. 119–126.
24. Shakleina A.V. *Mikrostruktura i mekhanicheskie svoystva alyuminievogo splava D16 pri nagruzhении v korrozionnoi srede*. Avtoref. diss. kand. tekhn. nauk [Microstructure and mechanical properties of aluminum alloy D16 under loading in a corrosive environment. Author’s abstract of PhD eng. sci. diss.]. Tyumen’, 2010. 18 p.



25. Savruk E.V., Smirnov S.V., Klimov A.S. Modifikatsiya poverkhnosti Mn-Zn-ferrita puchkom nizkoenergeticheskikh elektronov [The modification of Mn-Zn- ferrite surface by a low-energy electron beam]. *Doklady Tomskogo gosudarstvennogo universiteta sistem upravleniya i radioelektroniki = Proceedings of Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics*, 2012, no. 2 (26), pt. 2, pp. 172–174.

26. Arinicheva O.A., Lileev A.S., Lukin A.A., Raizner M., A.S. Starikova, E.M. Semenova Vliyanie termicheskoi obrabotki na magnitnye svoistva i strukturu magnetov tipa (Nd,Pr)-(Tb,Dy,Gd)-(Fe,Co,Al,Cu,Re)-B [Effect of thermal treatment on the magnetic properties and structure of (Nd, Pr)-(Tb, Dy, Gd)-(Fe, Co, Al, Cu, Re)-type magnets]. *Izvestiya Rossiiskoi akademii nauk. Seriya fizicheskaya = Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics*, 2013, vol. 77, no. 10, pp. 1387–1390. (In Russian).

27. Vasil'ev E.V. *Povyshenie proizvoditel'nosti almaznogo shlifovaniya tverdosplavnykh izdelii i resursa krugov vyborom optimal'nykh skhem i rezhimov shlifovaniya i kharakteristiki kruga*. Diss. kand. tekhn. nauk [Increasing the productivity of diamond grinding of carbide-tipped products and the life of the wheels by selecting the optimum grinding schemes and modes and the characteristics of the grinding wheel. PhD eng. sci. diss.]. Omsk, 2005. 169 p.

Conflicts of Interest

The authors declare no conflict of interest.

© 2018 The Authors. Published by Novosibirsk State Technical University. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).