

УДК 621.762

DOI: 10.22213/2413-1172-2020-3-38-45

Горячее изостатическое прессование карбидосталей из стружковых отходов металлорежущего производства*

А. А. Хлыбов, доктор технических наук, Нижегородский государственный технический университет имени Р. Е. Алексеева, Нижний Новгород, Россия

Е. С. Беляев, кандидат технических наук, Нижегородский государственный технический университет имени Р. Е. Алексеева, Нижний Новгород, Россия

А. Д. Рябцев, доктор технических наук, профессор, Центр научно-технического и инновационного развития ПАО «Русполимет», Нижний Новгород, Россия

С. С. Беляева, Нижегородский государственный технический университет имени Р. Е. Алексеева, Нижний Новгород, Россия

Ю. А. Гетмановский, Нижегородский государственный технический университет имени Р. Е. Алексеева, Нижний Новгород, Россия

Представлены результаты исследований процесса изготовления карбидосталей. При исследовании использован порошок, полученный из стружковых отходов стали Р6М5, порошок карбида титана фракции 5/3 мкм и технический углерод. Рассмотрены три состава карбидосталей.

Принята следующая схема изготовления карбидосталей: отмывка и размол стружковых отходов – смешивание и пластификация шихты – холодное формование шихты – прессование в капсуле – спекание и изотермический отжиг в вакууме – заварка, дегазация и герметизация капсул – горячее изостатическое прессование – осадка полученных заготовок.

Для исследуемой порошковой шихты определялись показатели прессуемости в интервале давлений 200...700 МПа. Установлено, что увеличение доли карбидов в шихте снижает прессуемость. Для формования брикетов рассматриваемых порошковых смесей рекомендовано использовать большое давление, что обеспечит большую относительную плотность после спекания.

Была выбрана оптимальная температура спекания брикетов и листов – 1150 °С, которая обеспечивает получение после спекания максимальной относительной плотности и исключает оплавления прессовок в процессе спекания. После спекания и изотермического отжига микроструктура прессовок состоит из равномерно распределенных карбидов в матрице из сорбита и пор.

Горячее изостатическое прессование выполнено при температуре 1150 °С, давлении 200 МПа, в среде аргона, выдержке при заданной температуре и давлении 120 мин, охлаждении со скоростью 180 °С/ч до 400 °С, далее – охлаждение на воздухе. При исходной относительной плотности спеченных заготовок порядка 65...75 % цикл ГИП гарантирует их компактирование.

Горячая осадка компактных газостатированных заготовок при различной степени обжатия проводилась для придания им приближенной к диску формы для последующего изготовления опытных дисковых фрез. Показано, что степень обжатия при горячей осадке способствуют дроблению карбидной фазы, формируют благоприятную микроструктуру. Карбидная неоднородность во всех полученных материалах не хуже 1 балла (шкала 2) по ГОСТ 19265–73.

Из полученных материалов были изготовлены дисковые фрезы, которые прошли стандартную термическую обработку для стали Р6М5 и показали более высокую стойкость по сравнению с инструментами, изготовленными из аналогичной стали по обычной металлургической технологии.

Ключевые слова: стружковые отходы, холодное прессование в капсуле, спекание, горячее изостатическое прессование, осадка, компактирование, карбиды, микроструктура.

Введение

После получения приблизительной формы детали из различных материалов с помощью методов заготовительных производств в подавляющем большинстве слу-

чаев требуется последующая обработка. Для получения точных размеров применяют обработку резанием [1].

Инструмент для резания является ключевым элементом качества получаемой поверхности

© Хлыбов А. А., Беляев Е. С., Рябцев А. Д., Беляева С. С., Гетмановский Ю. А., 2020

* Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках проекта «Создание высоко-технологичного производства материалов, изделий и оборудования с использованием аддитивных технологий и технологий газостатирования» на базе ПАО «РУСПОЛИМЕТ» по соглашению № 075-11-2019-084 от 18.12.2019 (постановление Правительства Российской Федерации от 09 апреля 2010 года № 218).

и экономических показателей процесса. В настоящее время используются различные классы инструментальных материалов, однако наибольшее распространение получили быстрорежущие стали и твердые сплавы, исследования свойств которых актуальны в настоящее время [2, 3].

Быстрорежущие стали и твердые сплавы содержат в своем составе высокотвердые включения – карбиды [4]. До 30 % карбидов содержат быстрорежущие стали, которые после термической обработки приобретают твердость 62...64 HRC, теплостойкость 600...700 °С и неплохо работают в условиях ударных нагрузок. Твердые сплавы содержат до 95 % карбидов, имеют твердость 88...92 HRA, теплостойкость до 1000 °С и хуже сопротивляются ударным нагрузкам.

Существует промежуточный класс материалов по содержанию карбидов между быстрорежущими сталями и твердыми сплавами – карбидостали, содержащие 30...70 % карбидной фазы.

Содержание карбидов достигается их введением в виде порошка в шихту на основе порошков различных сталей и сплавов [5–7]. В свою очередь, основной порошок получают различными методами: размолотом стружковых отходов, распылением расплавов, газовой атомизацией [8, 9] и др.

Карбидостали получают методами порошковой металлургии (формование → спекание → доуплотнение). Критически важной в технологии карбидосталей является операция доуплотнения заготовок до беспористого состояния, которое может быть выполнено различными способами: горячее динамическое прессование [10]; горячее прессование; горячая прокатка; горячее изостатическое прессование (ГИП) [11] и др. [12]. Некоторые этапы порошковой технологии

можно объединить, например, по технологии ГИП – этап спекания и доуплотнения при высокой температуре.

Изучение свойств карбидосталей является актуальной задачей современного материаловедения [13–15].

Цель исследования – разработка технологии переработки стружковых отходов быстрорежущей стали в высококачественные заготовки методом горячего изостатического прессования.

Материалы и методика экспериментов

Для проведения исследований изготавливались цилиндрические образцы – прессовки двух размеров: для исследований прессуемости и спекаемости диаметром 12 мм и высотой 3...5 мм; для изготовления опытных изделий диаметром 75 и высотой 40 мм в капсулах.

Основа шихты – порошок быстрорежущей стали ледебуритного класса с составом близким к стали Р6М5. Порошок получали размолотом предварительно подготовленных стружковых отходов после их тщательной отмывке от следов смазывающе-охлаждающих жидкостей в щелочных и нейтральных моющих растворах.

В шихту дополнительно вводились технический углерод и порошок карбида титана ТУ 1798-111-75420116–2006 фракции 5/3 мкм. Технический углерод вводился с целью интенсификации восстановления окислов в толще образцов во время спекания из расчета 0,075 % технического углерода на 0,1 % кислорода в исходной стружке. Порошок карбида титана вводился с целью формирования эксплуатационных свойств конечного изделия.

Для улучшения свойств шихты (формуемости и прессуемости) вводили раствор каучука в бензине БР-2ТУ 38.401-67-108-92 из расчета 1,5 % каучука по массе. Химический состав порошка Р6М5 и использованной шихты приводится в табл. 1 и 2.

Таблица 1. Химический состав порошка стали Р6М5

Table 1. Chemical composition of the powder of steel Р6М5

С	Mn	Si	Cr	W	V	Не более					
						Co	Mo	Ni	Cu	S	P
0,836	0,425	0,326	4,056	5,706	1,856	0,32	0,11	0,05	0,15	0,01	0,015

Таблица 2. Химический состав шихты

Table 2. Chemical composition of the charge

№ шихты	Химический состав, масс. %			Фракция, мкм
	O ₂	C	TiC	
1	1,3	0,75	3,4	–40
2	–	0,00	3,0	–160
3	0,7	0,52	0,9	–63

Спекание и отжиг прессовок выполняли в вакуумной печи СНВЛ-1,3.1/16-М2, остаточное давление не более 0,133 Па. Температура спекания 1150...1200 °С, время выдержки 240 мин с последующим охлаждением вместе с печью. После спекания проводили дополнительный вакуумный изотермический отжиг:

температура 850 °С, выдержка 120 мин, охлаждение до 750 °С со скоростью 5...7 °С/мин, выдержка 240 мин, далее – охлаждение до 100 °С.

Компактирование заготовок выполняли горячим изостатическим прессованием (ГИП) с дальнейшей осадкой компактов для получения формы диска с целью изготовления опытных дисковых фрез. Режим ГИП: температура 1150 °С, давление 200 МПа, среда – аргон, выдержка 120 мин, охлаждение со скоростью 180 °С/ч до 400 °С, далее – охлаждение на воздухе. ГИП выполняли с помощью газостатического комплекса ABB-ASEA-QIH-345.

Прессование и спекание

Прессование порошков карбидосталей выполнялось на гидравлическом прессе при усилиях 200...700 МПа. На рис. 1 приводится график изменения относительной плотности в зависимости от усилия прессования.

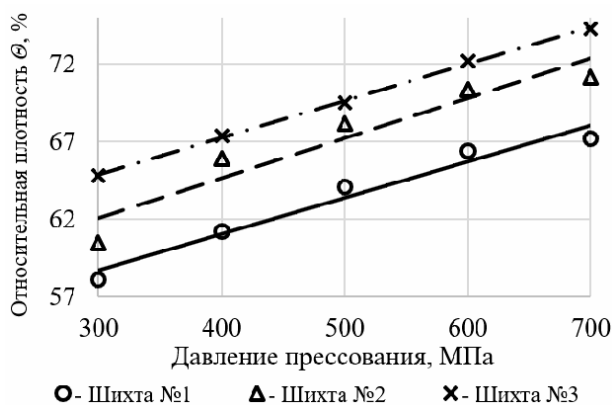


Рис. 1. Зависимость относительной плотности карбидосталей от усилия прессования

Fig. 1. Dependence of the relative density of carbide steels on the pressing force

В табл. 3 приводятся данные о рассчитанных константах m и $\lg p_{\max}$ в логарифмическом уравнении прессования М. Ю. Бальшина, а также площади S прямоугольного треугольника, образованного осями координат, и прямой, совпадающей с отрезком, построенным по соответствующему уравнению.

Таблица 3. Рассчитанные константы в логарифмическом уравнении М. Ю. Бальшина
Table 3. The calculated constants in the logarithmic equation of M.Yu. Balshin

№ шихты	C	TiC	Фракция, мкм	m	$\lg p_{\max}$	S
1	0,75	3,4	-40	5,22	3,72	1,324
2	0,00	3,0	-160	4,89	3,53	1,274
3	0,52	0,9	-63	6,09	3,64	1,09

В результате корреляционного анализа установлена одна сильная корреляция 0,99 в паре TiC – S (доверительная вероятность 0,95).

Значения углового коэффициента m в формуле М. Ю. Бальшина по результатам расчета имеют близкие значения, угол наклона отрезков составляет 79...81 °С. Соответственно, площадь треугольника в данном случае характеризует прессуемость каждой смеси. Содержание технического углерода ухудшает прессуемость, однако в 16 раз менее интенсивно, чем содержание карбида титана. По выполненным экспериментам введение карбида титана в количестве 2,1 масс. % ухудшает прессуемость на 16,9 %, а 2,5 масс. % – на 21,5 %.

Следует отметить, что плотность по сечению прессовок после прессования неодинакова, и для получения лучших результатов по распределению плотности необходимо уплотнять шихту со всех сторон при совместном действии температуры.

Спекание прессовок производилось при температурах 1150 и 1200 °С с последующим изотермическим отжигом на зернистый перлит. Значения относительной плотности после спекания приведены на рис. 2.

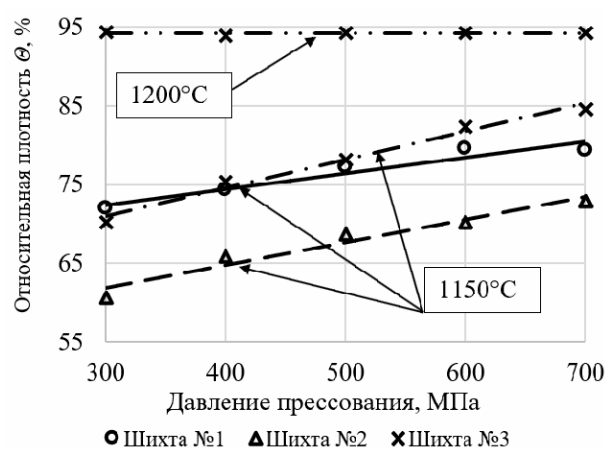


Рис. 2. Зависимость относительной плотности карбидостали из шихты №3 после прессования, спекания при различной температуре и изотермического отжига

Fig. 2. Dependence of the relative density of carbide steel from charge no. 3 after pressing, sintering at different temperatures and isothermal annealing

Спекание при температуре 1200 °С проводилось только для прессовок из шихты №3, при этом возможно достичь относительной плотности примерно 94 %, которая никак не зависит от давления формования прессовок. Однако после спекания некоторые прессовки имели следы

оплавления. В структуре образцов имелась ледебуритная эвтектика (рис. 3), свидетельствующая о большом количестве жидкой фазы, что существенно интенсифицирует спекание.

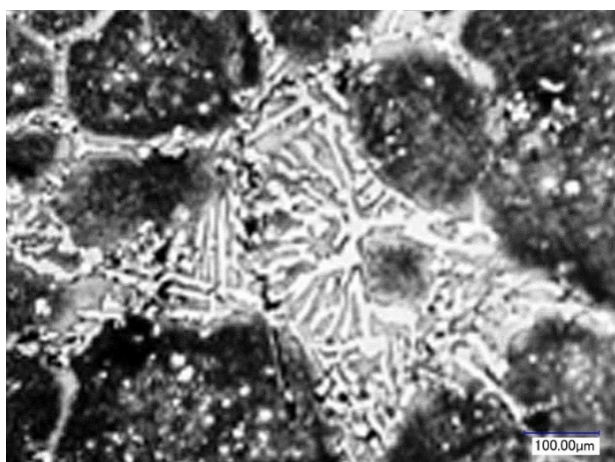


Рис. 3. Ледебуритная эвтектика в спеченных при температуре 1200 °С прессовках, ×400

Fig. 3. Ledeburite eutectic in compacts sintered at a temperature of 1200 °C, ×400

Наличие большого количества жидкой фазы во время спекания обусловлено снижением температуры плавления некоторых объемов шихты, что в большей степени связано с наличием свободного углерода. Температура спекания 1200 °С является предельной, небольшое превышение этой температуры приводит к оплавлению или расплавлению прессовок, что недопустимо. Поэтому температура спекания всех трех видов образцов принята 1150 °С. Спекание при температуре 1150 °С позволяет получить достаточно плотные прессовки. В данном случае спекание интенсифицируется при увеличении давления прессования. Во время спекания в структуре имеется три составляющие: поры, порошок стали Р6М5 и порошок карбида титана.

При больших давлениях прессования формируется более полноценный металлический контакт между частицами порошка стали Р6М5 за счет сдвигания частиц порошка карбида. При меньших давлениях прессования частицы порошка быстрорежущей стали изолируются друг от друга карбидами и порами.

Объемная усадка образцов после спекания представлена на рис. 4.

Максимальные значения усадки соответствуют меньшим значениям размера частиц шихты (40 и 63 мкм) и одновременно близким содержаниям технического углерода и резко отличающимся содержаниям порошка карбида. Отсутствует усадка у шихты с большим содержанием

порошка карбида, самым крупным размером частиц шихты и полным отсутствием содержания сажи. Соответственно, усадка в данной системе зависит в большей мере от содержания технического углерода, порошка карбида и размера частиц в порядке уменьшения воздействия.

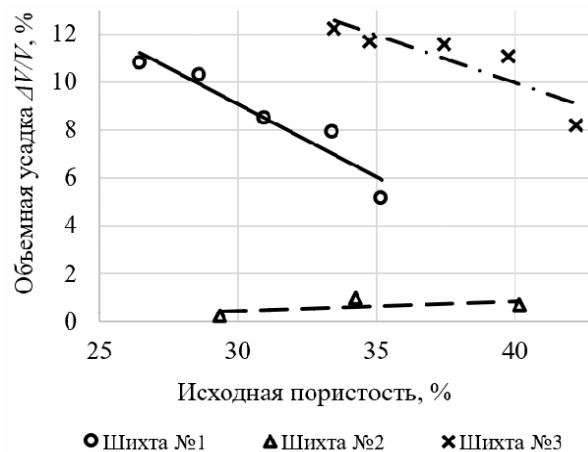


Рис. 4. Объемная усадка карбидосталей после спекания при температуре 1150 °С и изотермического отжига

Fig. 4. Volumetric shrinkage of carbide steels after sintering at a temperature of 1150 °C and isothermal annealing

По выполненным экспериментам можно рекомендовать применение больших удельных давлений 600...700 МПа для прессования шихты рассматриваемых карбидосталей с дальнейшим спеканием при температуре 1150 °С и изотермическим отжигом в вакууме для получения спеченных заготовок с максимальными значениями относительной плотности без оплавления.

Типичная микроструктура карбидосталей после спекания и изотермического отжига представлена на рис. 5.

Прессовки, изготовленные из высокодисперсной шихты, имеют мелкозернистое строение, состоят из равномерно распределенных карбидов (имеются следы разорванной карбидной сетки) в матрице из сорбита. Из порошка большой дисперсности формируется крупнозернистая структура легированного феррита, имеются включения более крупных карбидов и значительная пористость.

Горячее изостатическое прессование и осадка заготовок

В стакан внешним диаметром 75 мм, высотой 55 мм и толщиной стенки 3 мм засыпалась шихта. Стакан помещался в открытую пресс-форму, шихта в нем уплотнялась пуансоном при давлении 600...700 МПа. Полученную заготовку спе-

кали в вакууме при температуре 1150 °С в течение 240 мин. После спекания относительная плотность порошковой заготовки составила 65...75 %. На открытую часть стакана устанавливалась крышка с отводом, после чего крышка приваривалась к стакану, а через отвод производилась дегазация заготовки при температуре 400 °С в течение 60 мин, после чего капсула герметизировалась. Эскиз полученной заготовки показан на рис. 6.

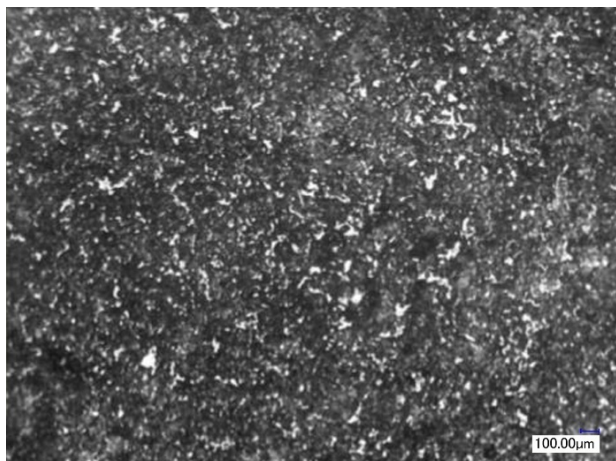


Рис. 5. Типичная микроструктура карбидосталей после спекания и изотермического отжига, $\times 400$

Fig. 5. Typical microstructure of carbide steels after sintering and isothermal annealing, $\times 400$

1120...900 °С, степень обжатия составляла 2,5; 5 и 8 раз по высоте.

Степень деформации существенно влияет на распределение карбидов в микроструктуре заготовок, измельчая их. Типичная микроструктура приводится на рис. 7. Следует отметить, что при всех обжатиях величина карбидной неоднородности не хуже 1 балла (шкала 2) по ГОСТ 19265–73.

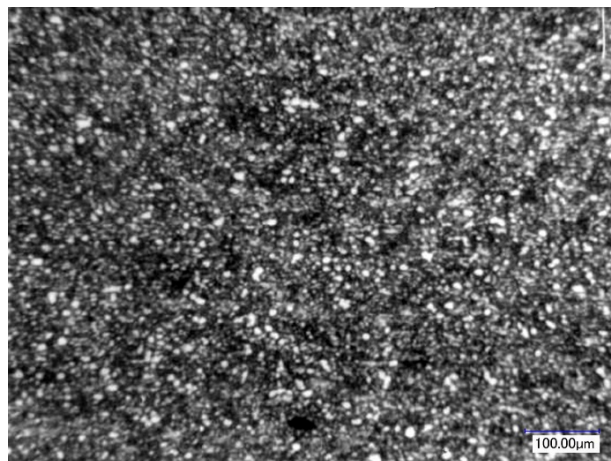


Рис. 7. Типичная микроструктура карбидосталей после обжатия, $\times 400$

Fig. 7. Typical microstructure of carbide steels after compression, $\times 400$

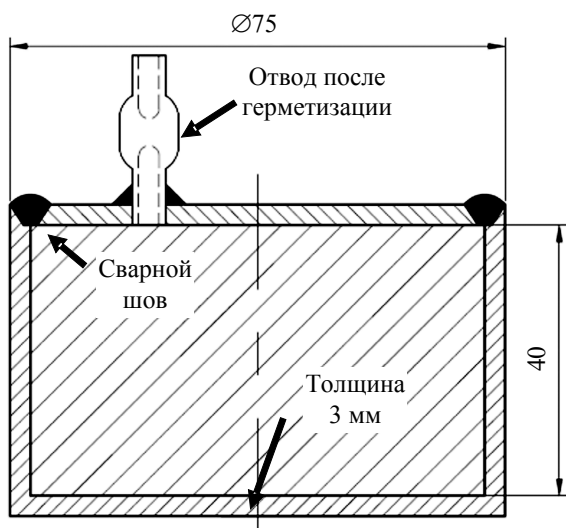


Рис. 6. Схема заготовки для горячего изостатического прессования

Fig. 6. Scheme of blanks for hot isostatic pressing

После цикла ГИП относительная плотность всех заготовок составила 100 %. Для придания компактам формы, приближенной к дискам, они подвергались осадке при температуре

После горячей деформации защитную оболочку с заготовки снимали методом точения (рис. 8). На краях плоской заготовки имеются трещины глубиной не более 5 % по ее диаметру. Растрескивание по краям является следствием снижения пластичности от введения избыточного количества карбидной фазы.

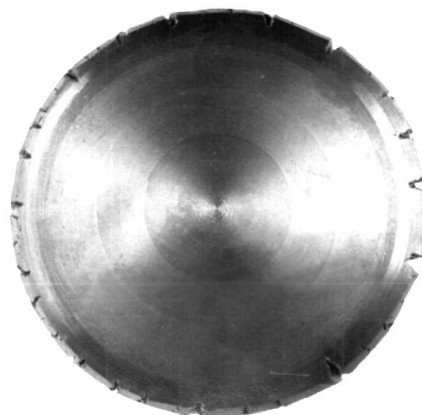


Рис. 8. Внешний вид освобожденной от защитной оболочки заготовки, степень обжатия 8

Fig. 8. Appearance of the workpiece freed from the protective shell, compression ratio 8

Из полученных компактов были изготовлены дисковые фрезы. После термической обработки, стандартной для стали Р6М5, была достигнута твердость изделий 63...64 HRC.

Опытные изделия показали лучшую износостойкость, по сравнению со сталью Р6М5, изготовленной по обычной технологии.

Заключение

В результате выполненной работы установлены оптимальные режимы изготовления порошковых заготовок для получения карбидосталей инструментального назначения (давление прессования шихты, температура спекания, режим ГИП и степень обжата при осадке 8 раз по высоте).

Стойкость инструмента, изготовленного из исследованных составов, не уступает инструменту, полученному традиционным методом. Применение метода горячего изостатического прессования в герметичной оболочке, совмещенного с последующей горячей деформацией и ТО, позволило сформировать микроструктуру, состоящую из повышенного количества дисперсных карбидов и основы из мартенсита отпуска. Такая микроструктура пригодна для эксплуатации карбидосталей в условиях резания.

Библиографические ссылки

1. Тюкпиеков В. Н., Никитина О. В. Напряженное состояние в зоне резания при механической обработке синтетрана лезвийным режущим инструментом // Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. 2018. Т. 21, № 1. С. 3–6. DOI: 10.22213/2413-1172-2018-1-3-6.
2. Исследование адгезионно-активных поверхностных структур в быстрорежущей стали Р6М5 / В. А. Ким, Ч. Ф. Якубов, Е. Б. Щелкунов, Е. В. Самар // Диагностика материалов. 2018. № 84 (12). С. 40–44. <https://doi.org/10.26896/1028-6861-2018-84-12-40-44>.
3. Структура и свойства крупнозернистых твердых сплавов WC-Co с особо однородной микроструктурой / Е. Н. Авдеенко, Е. И. Замулаева, А. А. Зайцев, И. Ю. Коляшин, Е. А. Левашов // Известия вузов. Цветная металлургия. 2019. № 4. С. 70–78. <https://doi.org/10.17073/0021-3438-2019-4-70-78>.
4. Ружицкая Е. В., Арестов О. В., Хачатрян С. А. Физические и технологические свойства порошков карбидосталей системы TiC–Р6М5, полученных механохимическим синтезом // Вестник инженерной школы ДВФУ. 2016. № 1 (26). С. 65–77.
5. Оглезнева С. А., Князев А. А., Гревнов Л. М. Исследование влияния дисперсности порошка никеля на свойства алмазного инструмента // Фундаментальные исследования. 2017. № 10-3. С. 497–501.
6. Оглезнева С. А., Мазеин А. В., Саенков К. Л. Исследования фазовых превращений в карбидосталах на основе нанодисперсных порошков при трении //

Современные проблемы науки и образования. 2015. № 2-2.

7. Структура и свойства спеченных хромистых карбидосталей на основе системы Fe – Cr – C / В. А. Маслюк, Р. В. Яковенко, А. Н. Грипачевский, Г. А. Баглюк // Вопросы материаловедения. 2015. № 2 (82). С. 17–22.

8. Металлопорошковые композиции жаропрочного сплава ЭП648 производства ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ в технологиях селективного лазерного сплавления, лазерной газопорошковой наплавки и высокоточного литья полимеров, наполненных металлическими порошками / Е. Н. Каблов, А. Г. Евгенов, О. Г. Оспенникова, Б. И. Семенов [и др.] // Известия вузов. Серия «Машиностроение». 2016. № 9 (678). С. 62–80.

9. Amosov A. P., Samboruk A. R., Yatsenko I. V. TiC - Fe Powders by Coupled SHS Reactions: An Overview. Int. J. Self-Propag. High-Temp. Synth., 2019, 28, 10-17. <https://doi.org/10.3103/S1061386219010023>.

10. Дорофеев В. Ю., Свиридова А. Н., Свистун Л. И. Влияние микролегирования натрия на контактную выносливость и механические свойства горячедеформированных порошковых сталей // Известия вузов. Порошковая металлургия и функциональные покрытия. 2019. № 4. С. 4–13. <https://doi.org/10.17073/1997-308X-2019-4-4-13>.

11. Агеев С. В., Гиришов В. Л. Горячее изостатическое прессование в порошковой металлургии // Металлообработка. 2015. № 4 (88). С. 56–60.

12. Yatsenko I. V., Yatsenko V. V., Amosov A. P., Samboruk A. R. Fe reduction by carbon during self-propagating high-temperature synthesis of Fe - TiC composite. Key Eng. Mater., 2016, vol. 685, pp. 768-771. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/КЕМ.685.768>.

13. Оглезнева С. А., Саенков К. Л., Князев А. А. Исследование влияния дисперсности и гомогенности структуры на свойства порошковых метастабильных аустенитных карбидосталей и алмазного инструмента // Известия вузов. Порошковая металлургия и функциональные покрытия. 2019. № 1. С. 52–60. <https://doi.org/10.17073/1997-308X-2019-1-52-60>.

14. Саенков К. Л., Оглезнева С. А., Князев А. А. Исследование структуры и свойств порошковых карбидосталей и алмазно-абразивного инструмента системы Fe – Ni – TiC // Конструкции из композиционных материалов. 2018. № 4 (152). С. 22–25.

15. Krioni N. K., Migranov M. S., Fox-Rabinovich G. S. Study of the Tribotechnical Properties of a Cutting Tool Made of Sintered Powder Tool Materials. J. Frict. Wear, 2019, 39, 12-18. <https://doi.org/10.3103/S1068366618010099>.

References

1. Tyukpiekov V.N., Nikitina O.V. [Stress state in the cutting zone during machining of sintegran with blade cutting tool]. Vestnik IzhGTU imeni M.T. Kalashnikova, 2018, vol. 21, no. 1, pp. 3-6 (in Russ.). DOI: 10.22213/2413-1172-2018-1-3-6.

2. Kim V.A., Yakubov Ch.F., Shchelkunov E.B., Samar E.V. [Investigation of adhesive-active surface structures in high-speed steel R6M5]. *Diagnostika materialov*, 2018, no. 12, pp. 40-44 (in Russ.). <https://doi.org/10.26896/1028-6861-2018-84-12-40-44>.
3. Avdeenko E.N., Zamulaeva E.I., Zaitsev A.A., Konyashin I.Yu., Levashov E.A. [Structure and properties of coarse-grained hard alloys WC-Co with a particularly homogeneous microstructure]. *Izvestiya vuzov. Tsvetnaya metallurgiya*, 2019, no. 4, pp. 70-78 (in Russ.). <https://doi.org/10.17073/0021-3438-2019-4-70-78>.
4. Ruzhitskaya E.V., Arestov O.V., Khachatryan S.A. [Physical and technological properties of powders of carbide steels of the TiC - P6M5 system obtained by mechanochemical synthesis]. *Vestnik inzhenernoi shkoly DVFU*, 2016, no. 1, pp. 65-77 (in Russ.).
5. Oglezneva S.A., Knyazev A.A., Grevnov L.M. [Investigation of the effect of the dispersion of nickel powder on the properties of diamond tools]. *Fundamental'nye issledovaniya*, 2017, no. 10-3, pp. 497-501 (in Russ.).
6. Oglezneva S.A., Mazein A.V., Saenkov K.L. [Studies of phase transformations in carbide steels based on nanodispersed powders during friction]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*, 2015, no. 2-2 (in Russ.).
7. Maslyuk V.A., Yakovenko R.V., Gripachevskii A.N., Baglyuk G.A. [Structure and properties of sintered chromium carbide steels based on the Fe - Cr - C system]. *Vo-prosy materialovedeniya*, 2015, no. 2, pp. 17-22 (in Russ.).
8. Kablov E.N., Evgenov A.G., Ospennikova O.G., Semenov B.I. [Metal-powder compositions of EP648 heat-resistant alloy produced by FGUP VIAM SSC RF in technologies of selective laser alloying, laser gas-powder surfacing and high-precision casting of polymers filled with metal powders]. *Izvestiya vuzov. Seriya "Mashinostroenie"*, 2016, no. 9, pp. 62-80 (in Russ.).
9. Amosov A. P., Samboruk A. R., Yatsenko I. V. TiC - Fe Powders by Coupled SHS Reactions: An Overview. *Int. J. Self-Propag. High-Temp. Synth.*, 2019, 28, 10-17. <https://doi.org/10.3103/S1061386219010023>.
10. Dorofeev V.Yu., Sviridova A.N., Svistun L.I. [Effect of sodium microalloying on contact endurance and mechanical properties of hot-deformed powder steels]. *Izvestiya vuzov. Poroshkovaya metallurgiya i funktsional'nye pokrytiya*, 2019, no. 4, pp. 4-13 (in Russ.). <https://doi.org/10.17073/1997-308X-2019-4-4-13>.
11. Ageev S.V., Girshov V.L. [Hot isostatic pressing in powder metallurgy]. *Metalloobrabotka*, 2015, no. 4, pp. 56-60 (in Russ.).
12. Yatsenko I.V., Yatsenko V.V., Amosov A.P., Samboruk A.R. Fe reduction by carbon during self-propagating high-temperature synthesis of Fe - TiC composite. *Key Eng. Mater.*, 2016, vol. 685, pp. 768-771. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.685.768>.
13. Oglezneva S.A., Saenkov K.L., Knyazev A.A. [Investigation of the effect of dispersity and homogeneity of the structure on the properties of powder metastable austenitic carbide steels and diamond tools]. *Izvestiya vuzov. Poroshkovaya metallurgiya i funktsional'nye pokrytiya*, 2019, no. 1, pp. 52-60 (in Russ.). <https://doi.org/10.17073/1997-308X-2019-1-52-60>.
14. Saenkov K.L., Oglezneva S.A., Knyazev A.A. [Investigation of the structure and properties of powder carbide steels and diamond-abrasive tools of the Fe - Ni - TiC system]. *Konstruktsii iz kompozitsionnykh materialov*, 2018, no. 4, pp. 22-25 (in Russ.).
15. Krioni N.K., Migranov M.S., Fox-Rabinovich G.S. Study of the Tribotechnical Properties of a Cutting Tool Made of Sintered Powder Tool Materials. *J. Frict. Wear*, 2019, 39, 12-18. <https://doi.org/10.3103/S1068366618010099>.

Hot Isostatic Pressing of Carbide Steels from Chip Waste of Metal Cutting Production

A.A. Khlybov, DSc in Engineering, Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev, Nizhny Novgorod, Russia

E.S. Belyaev, PhD in Engineering, Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev, Nizhny Novgorod, Russia

A.D. Ryabtsev, DSc in Engineering, Professor, Center for Scientific and Technical and Innovative development of PJSC "Ruspolimet"

S.S. Belyaeva, Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev, Nizhny Novgorod, Russia

Yu.A. Getmanovskiy, Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev, Nizhny Novgorod, Russia

This paper presents the results of studies on the process of manufacturing carbide steels. In the work, we used a powder obtained from chip waste, P6M5 steel, a powder of titanium carbide fraction 5/3 μm , and carbon black. Three compositions of carbide steels are considered.

The following scheme for the manufacture of carbide steels was adopted: washing and grinding of chip waste; mixing and plasticization of the mixture; cold molding of the mixture: pressing in a capsule; sintering and isothermal annealing in a vacuum; welding, degassing and sealing capsules; hot isostatic pressing; sediment of the obtained blanks.

For the studied powder blends, compressibility indicators were determined in the pressure range 200...700 MPa. It is shown that an increase in the proportion of carbides in the mixture reduces compressibility. It is recommended to use high pressures for forming briquettes of the considered powder mixtures, which will provide a higher relative density after sintering.

The optimum sintering temperature of 1150 °C of briquettes and sheets was selected, which ensures the receipt of maximum relative density after sintering and eliminates the melting of the compacts during sintering.

After sintering and isothermal annealing, the microstructure of compacts consists of uniformly distributed carbides in a matrix of sorbitol and pores.

Hot isostatic pressing was performed at a temperature of 1150 °C, a pressure of 200 MPa, argon in a medium, holding at a given temperature and pressure of 120 minutes, cooling at a speed of 180 °C / hour to 400 °C, then cooling in air. At an initial relative density of sintered billets of the order of 65...75 %, the ISU cycle guarantees their compaction.

Hot sediment of compact gas-stabilized billets at various degrees of compression was carried out to give them a shape close to the disk for the subsequent manufacture of experimental disk mills. It is shown that the degree of compression during hot sediment contributes to the fragmentation of the carbide phase and forms a favorable microstructure. Carbide heterogeneity in all materials obtained is not worse than 1 point (scale 2), according to GOST 19265-73.

Disk mills were made from the materials obtained, which underwent standard heat treatment for P6M5 steel and showed higher resistance than tools made of similar steel by conventional metallurgical technology.

Keywords: chip waste, cold pressing in a capsule, sintering, hot isostatic pressing, sediment, compacting, carbides, microstructure.

Получено 11.06.2020

Образец цитирования

Горячее изостатическое прессование карбидосталей из стружковых отходов металлорежущего производства / А. А. Хлыбов, Е. С. Беляев, А. Д. Рябцев, С. С. Беляева, Ю. А. Гетмановский // Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. 2020. Т. 23, № 3. С. 38–45. DOI: 10.22213/2413-1172-2020-3-38-45.

For Citation

Khlybov A.A., Belyaev E.S., Ryabtsev A.D., Belyaeva S.S., Getmanovskii Yu.A. [Hot isostatic pressing of carbide steels from metal-cutting waste shavings]. *Vestnik IzhGTU imeni M.T. Kalashnikova*, 2020, vol.23, no. 3, pp. 38-45 (in Russ.). DOI: 10.22213/2413-1172-2020-3-38-45.