

- ные покрытия, 2014. № 1. С. 70-76.
4. Полевой С.Н., Евдокимов В.Д. Упрочнение металлов: Справочник. М.: Машиностроение, 1986.
 5. Белевский Л.С. Пластическое деформирование поверхностного слоя и формирование покрытия при нанесении гибким инструментом. - Магнитогорск: Лицей РАН, 1996.
 6. Koptseva N.V., Chukin M.V., Nikitenko O.A. Use of the Thixomet PRO software for quantitative analysis of the ultrafine-grain structure of low-and medium-carbon steels subjected to equal channel angular pressing. // *Metal Science and Heat Treatment*. 2012. Т. 54. № 7-8. С. 387-392.
 7. Формирование структуры и механических свойств углеродистой конструкционной стали в процессе наноструктурирования методом равноканального углового прессования / Коццева Н.В., Ефимова Ю.Ю., Барышников М.П., Никитенко О.А. // *Деформация и разрушение материалов*. 2011. № 7. С. 11-17.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

IMPACT FRICTION COMBINED PROCESSING BY FLEXIBLE TOOLS

Belevskiy Leonid Sergeevich – D.Sc. (Eng.), Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. Phone: +7 (3519) 09 76 79. E-mail: l.belevskiy@mail.ru.

Belevskaya Irina Valeryevna – Postgraduate Student, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. Phone: +7 (3519) 23 06 82. E-mail: belirena@yandex.ru.

Efimova Yuliya Yurevna – Ph.D. (Eng.), Associate Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. Phone: +7 (3519) 29 84 81. E-mail: jefimova78@mail.ru.

Koptseva Nataliya Vasilevna – D.Sc. (Eng.), Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. Phone: +7 (3519) 29 85 67. E-mail: kopceva1948@mail.ru.

Abstract. This article investigates a possible use of a section rotary wire wheel brush for nanostructure formation of a metalware surface layer with further application of functional coatings by a solid wire brush. It is established that the impact friction processing technique may be used to get a hard nanostructured surface layer containing fragments of 0.13 μm or less, just as it is achieved by intensive plastic deformation.

Keywords: surface hardening, nanostructure formation, friction plating, flexible tool.

References

1. Perepichka E.V. *Ochistno-uprochnyayushchaya obrabotka izdeliy shchetkami* [Cleaning and hardening processing of products by brushes]. Moscow: Mashinostroenie, 1989.
2. Abinder A.A. Metal coating application technique. Author's certificate USSR, no. 57162, 1940.
3. Belevskiy L.S., Belevskaya I.V., Efimova Yu.Yu. *Friktsionnaya nanostukturiruyushchaya obrabotka metallicheskih poverkhnostey i nanosenie friktsionnykh pokrytiy gibkim instrumentom* [Friction nanostructuring of metal surfaces and application of friction coatings by flexible tools]. *News of higher educational institutions. Powder metallurgy and functional coatings*, 2014, no. 1, pp. 70-76.
4. Polevoy S.N., Evdokimov V.D. *Uprochnenie metallov* [Metal hardening]: Handbook. Moscow: Mashinostroenie, 1986.
5. Belevskiy L.S. Plastic deformation of a surface layer and coating formation by flexible tools. Magnitogorsk: Lyceum of the Russian Academy of Sciences, 1996.
6. Koptseva N.V., Chukin M.V., Nikitenko O.A. Use of the Thixomet PRO software for quantitative analysis of the ultrafine-grain structure of low-and medium-carbon steels subjected to equal channel angular pressing. *Metal Science and Heat Treatment*, 2012, vol. 54, no. 7-8, pp. 387-392.
7. Koptseva N.V., Efimova Yu.Yu., Baryshnikov M.P., Nikitenko O.A. Formation of the structure and mechanical properties of carbon structural steel during nanostructuring by equal channel angular pressing. *Material deformation and destruction*, 2011, no. 7, pp. 11-17.

УДК 621.762

ОСОБЕННОСТИ ВЛИЯНИЯ СОСТАВА РАЗМОЛЬНЫХ СРЕД ПРИ МЕХАНОХИМИЧЕСКОЙ АКТИВАЦИИ ШИХТЫ НА ФОРМИРОВАНИЕ ГОРЯЧЕДЕФОРМИРОВАННОГО ПОРОШКОВОГО МАТЕРИАЛА СИСТЕМЫ AL-SI-C

Дюжечкин М.К., Сергеенко С.Н.

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) им. М.И. Платова, г. Новочеркасск, Россия

Аннотация. В работе исследовано влияние состава жидких размольных сред и приведенной энергии горячей штамповки порошковых заготовок на формирование структуры и свойств горячедеформированных материалов системы Al-Si-C на основе механохимически активированных шихт. Установлено формирование в процессе механохимической активации шихты алюминий-кремний-графит твердого раствора Al_3Si в неравновесном

состоянии. Предложена энергоэффективная технология получения горячедеформированного порошкового материала Al-Si-C с повышенными значениями предела прочности на срез 192 МПа и твердости 262 HV при пониженном значении приведенной работы горячей штамповки.

Ключевые слова: механохимическая активация, горячедеформированный порошковый материал, алюминий, кремний, графит, структура, агломерат.

Введение

Сплав Al-Si характеризуется износостойкостью и комплексом удельных механических свойств, необходимых для изготовления деталей автомобильной, авиационной и космической техники [1]. Технологии порошковой металлургии позволяют получать материалы системы Al-Si с повышенными эксплуатационными свойствами за счет равномерно распределенных частиц Si и дисперсных включений в матрице на основе алюминия, препятствующих движению дислокаций [2]. Механическое легирование кремнием алюминия обеспечивает формирование мелкодисперсной структуры, наследуемой консолидированным материалом [3]. Использование жидкой размольной среды этанола в процессе механического легирования шихты алюминий-кремний устраняет налипание Al к стенкам кюветы [4]. Перспективным способом приготовления шихты, обеспечивающим неокисляемость Al и активированное спекание порошка в атмосфере воздуха, является гидрохимическое легирование в среде насыщенного раствора борной кислоты [5,6]. При использовании механохимически активированных в насыщенном водном растворе борной кислоты шихт Д16-ферротитан [7] интенсифицируются процессы уплотнения горячей штамповки и формируется мелкодисперсная структура горячедеформированного порошкового материала (ГДПМ). Введение графита при механохимической активации стружки сплава Д16 [8] приводит к синтезу упрочняющей фазы Al₄C₃.

Цель работы – установить закономерности влияния состава жидких размольных сред механохимической активации на формирование структуры и свойств ГДПМ системы Al-Si-C, разработать усовершенствованную энергоэффективную технологию его получения.

Методика проведения эксперимента

На основании предварительно проведенных исследований [9] горячей штамповки (ГШ) стружкового порошка сплава АЛ30 была предложена технология изготовления образцов, включающая приготовление шихты, холодное прессование (ХП) давлением 310 МПа и ГШ при температуре нагрева 650°C в течение 0,12 кс и приведенной работе ГШ, равной 1–70 МДж/м³. В качестве исходных материалов для приготовления шихты алюминий-кремний-графит исполь-

зовали порошки алюминия ПА-4, кремния Кр00 (17,5% мас.) фракции менее 63 мкм и графит ГК-3 (2,7% мас.). Активирование шихт проводили в шаровой планетарной мельнице САНД-1 при частоте вращения ротора 290 мин⁻¹, соотношении масс шаров (диаметр шаров 10 мм) и шихты 10:1. Для получения шихты алюминий-кремний-графит использовали механическую обработку в жидких средах (табл. 1) НВРБК (Т1) и спирта (Т2), способствующих смещению динамического равновесия конкурирующих процессов диспергирования-агломерации в сторону разрушения исходных частиц алюминия, кремния, графита и агломератов на их основе за счет эффекта абсорбционного понижения прочности (эффект Ребиндера) [10,11].

Таблица 1

План проведения эксперимента при исследовании МХА шихт алюминий-кремний и алюминий-кремний-графит

Состав размольной среды, % мас.	Варианты технологий	
	Т1	Т2
H ₃ BO ₃	5,5	–
H ₂ O	14,5	–
C ₂ H ₅ OH	–	20

Для оценки степени агломерирования частиц шихты в процессе МХА определяли коэффициент ($КАГ_{0,1} = d_{0,1} / d_n$) и показатель агломерации ($ПАГ = d_0 / d_1$) с учетом среднего размера частиц исходной d_n , активированной d_0 и прошедшей растирание пестиком в ступке d_1 шихты.

Процессы уплотнения и деформации при ХП и ГШ порошковой заготовки оценивали значениями высотной деформации ϵ_h относительных плотностей $\theta_{хп}$, $\theta_{гш}$ горячедеформированного порошкового материала

$$\epsilon_h = \ln(h_{гш} / h_{хп}),$$

где $h_{гш}$ – высота горячедеформированных заготовок.

Механические свойства ГДПМ определяли измерением твердости HV по Виккерсу (нагрузка F=98,07 Н с выдержкой 10 с) и предела прочности на срез $\tau_{ср}$ цилиндрических образцов. Синхронный термический анализ, объединяющий в одном измерении термогравиметрию (ТГ) с дифференци-

альной сканирующей калориметрией (ДСК), проводился на приборе STA 449 Jupiter в воздушной и инертной (He) среде. Образцы нагревались со скоростью 20 К/мин до 800°C. Рентгенофазовый анализ (РФА) проводился на дифрактометре ДРОН-7 при медном излучении.

Результаты исследований и их обсуждение

Анализ результатов экспериментальных исследований (табл. 2) влияния состава размольных сред на гранулометрический состав порошковых шихт показал, что в процессе МХА при использовании жидких сред НВРБК и спирта происходит протекание конкурирующих процессов диспергирования-агломерации, приводящих к агломерированию частиц шихты алюминий-кремний-графит (КАГ₀=1,21–1,48).

Таблица 2

Остаток шихты на сите (% мас.), средний размер частиц d_{0,1}, КАГ_{0,1} и значения ПАГ

Технология	ΔRi, % мас.								d ₀ , мкм		КАГ ₀	ПАГ
	-63	-100	-160	-200	-250	-315	-400	-630	d ₁ , мкм	КАГ ₁		
Т1	61,9	17,9	12,1	2,3	3,7	1,4	0,5	0,2	69	1,21	0,50	
	33,4	21,3	10,7	0,9	0,2	33,2	0,2	0,0	139	2,43		
Т2	58,5	16,6	2,3	7,5	11,3	3,8	0,0	0,0	85	1,48	0,59	
	40,7	21,0	2,6	1,3	5,2	11,4	17,9	0,0	143	2,51		

Растирание пестиком в ступке шихт алюминий-кремний-графит приводит к бимодальному

распределению вторично агломерированных (ПАГ=0,5–0,59) частиц путем формирования новых связей. Рентгенофазовый анализ (рис. 1) шихты алюминий-кремний-графит, обработанной в жидкой среде НВРБК, показал, что в процессе механохимической активации формируется твердый раствор Al₉Si с гранцентрированной кубической структурой решетки, находящийся в неравновесном состоянии, по аналогии с формированием твердого раствора Al_{10,94}Si_{0,06} в процессе закалки сплава Al-Si [12].

В результате синхронного термического анализа (рис. 2) в воздушной среде, механохимически активированной в жидкой среде НВРБК шихты алюминий-кремний-графит, выявлен экзотермический эффект с максимумом при температуре 614,3°C, обусловленный не только окислением Al с пониженной интенсивностью, но и протеканием экзотермических реакций между компонентами шихты [13, 14, 6].

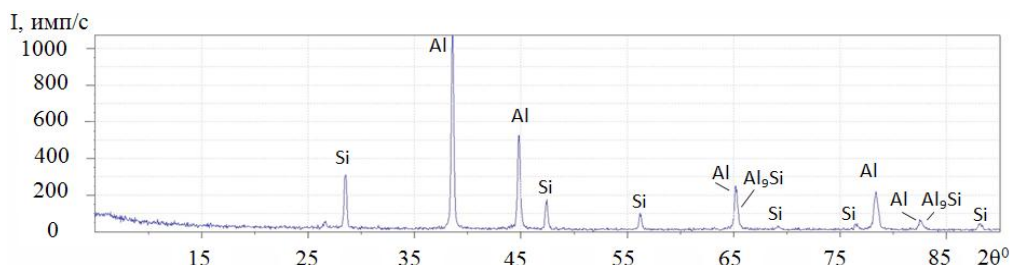
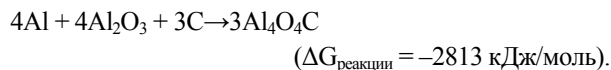
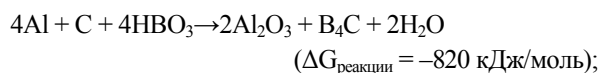
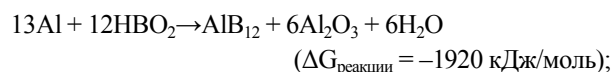
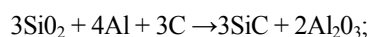
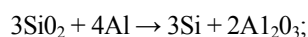


Рис. 1. Дифрактограмма шихты Al-Si, полученной по технологии Т1

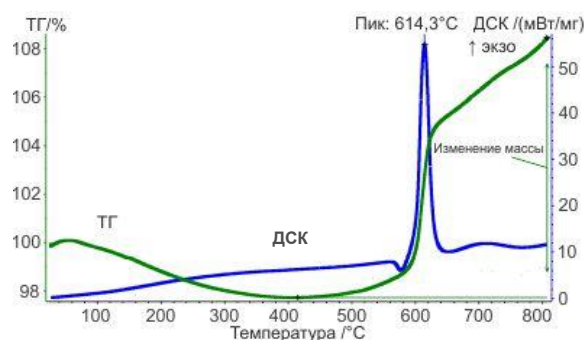


Рис. 2. Кривые теплового потока (ДСК) и изменения массы (ТГ) шихты алюминий-кремний-графит, полученной по технологии Т1

Результаты экспериментальных исследований процессов уплотнения при ХП и ГШ заготовок, механических свойств ГДПМ Al-Si-C представлены в **табл. 3**. Переход от обработки шихты алюминий-кремний-графит в жидкой среде спирта (Т2) к НВРБК (Т1) обеспечивает снижение значения относительной плотности холоднопрессованной формовки с 0,822 до 0,778.

Таблица 3

Экспериментальные значения $\theta_{гш}$, ϵ_h , $T_{ср}$ и HV при различной приведенной работе горячей штамповки ($w_{гш}$)

Технология	$\theta_{хп}$	Выходные параметры	Значения $w_{гш}$, МДж/м ³			
			1-5	17	30	70
Т1	0,778	$\theta_{гш}$	0,754	0,990	1,000	0,989
		ϵ_h	-0,099	-0,466	-0,473	-0,561
		$T_{ср}$	68	215	215	192
		HV	71	254	252	262
Т2	0,822	$\theta_{гш}$	0,772	0,949	0,985	0,965
		ϵ_h	-0,019	-0,294	-0,299	-0,385
		$T_{ср}$	-	68	108	57
		HV	28	77	91	123

Протекание экзотермических реакций в процессе нагрева (650°C) порошковых формовок

интенсифицировало прогрев по всему объему. Кратковременный (0,12 кс) нагрев не приводит к чрезмерному размягчению образцов, препятствующему проведению ГШ в условиях компактирования неостывших продуктов реакций. Проведенный рентгенофазовый анализ (**рис. 3**) формовки на основе шихт алюминий-кремний-графит, обработанной в НВРБК (Т1), прошедшей нагрев, показал, что исчезает твердый раствор Al₉Si, а основными фазами, формирующими материал, являются Al и Si.

Зависимости $\theta_{гш}$ ($w_{гш}$) для шихты алюминий-кремний-графит, обработанной в средах НВРБК и спирта, характеризуются уплотнением при увеличении значений $w_{гш}$ до критических значений, равных 36 МДж/м³, с последующим разуплотнением (**рис. 4**). Использование механохимически активированной в НВРБК шихты алюминий-кремний-графит обеспечивает активацию процессов горячего доуплотнения ($|\epsilon_h|=0,561$), связанную с пониженной сдвиговой вязкости В₂О₃, плакирующего частицы Al и Si при температурах кратковременного нагрева (650°C).

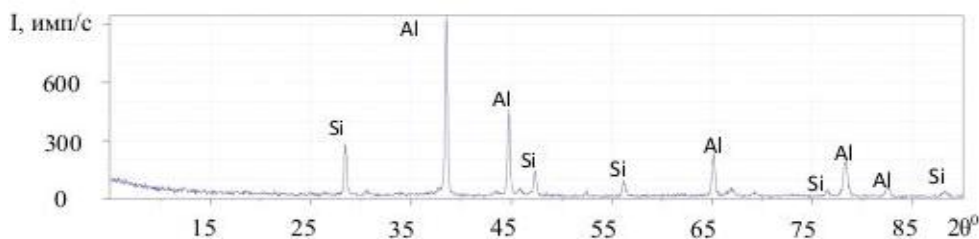


Рис. 3. Дифрактограмма материала формовки после нагрева на основе шихты алюминий-кремний-графит, полученной по технологии Т1

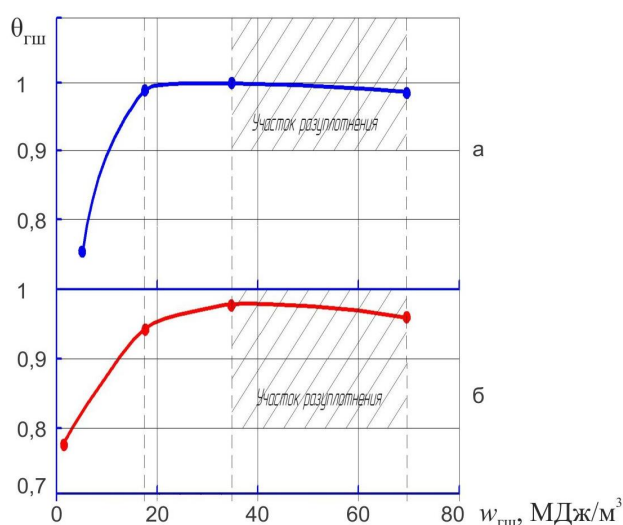


Рис. 4. Графики зависимости $\theta_{гш}=f(w_{гш})$ Т1(а), Т2(б)

Зависимости влияния приведенной удельной работы на значения предела прочности на срез $\tau_{ср}$ ($w_{гш}$) для шихт алюминий-кремний-графит, обработанных в средах НВРБК и спирта, характеризуются экстремальным характером (рис. 5). Образец на основе механохимически активированной в среде спирта шихты алюминий-кремний-графит, полученный ГШ при минимальном значении $w_{гш}$, равном 1 МДж/м³, разрушился в процессе механической обработки. Увеличение приведенной работы горячей штамповки с 17 до 36 МДж/м³ приводит к повышению предела прочности ГДПМ на срез $\tau_{ср}$ до максимального значения 108 МПа, дальнейший рост значений $w_{гш}$ приводит к разупрочнению материала. В процессе ГШ образцов на основе механохимически активированной в НВРБК шихты алюминий-кремний-графит достигается интенсивное повышение значений $\tau_{ср}$ ГДПМ на этапе

уплотнения ($w_{гш}=1-17$ МДж/м³). При оптимальном значении $w_{гш}$, равном 17 МДж/м³, наблюдается максимальное значение $\tau_{ср}$, равное 192 МПа.

Зависимость HV ($w_{гш}$) для шихт алюминий-кремний-графит, обработанных в средах НВРБК и спирта, характеризуется непрерывным ростом значений HV (рис. 6). При использовании образцов на основе механохимически активированной в НВРБК шихты алюминий-кремний-графит в процессе ГШ достигается интенсивное повышение значений HV ГДПМ на начальном этапе ($w_{гш}=1-17$ МДж/м³) и достигается локальный максимум 262 HV.

Рентгенофазовый анализ (рис. 7) показал возможность формирования ГДПМ горячедоформованного материала на основе шихты алюминий-кремний-графит, механохимически активированной в среде НВРБК с пониженным содержанием Al₂O₃.

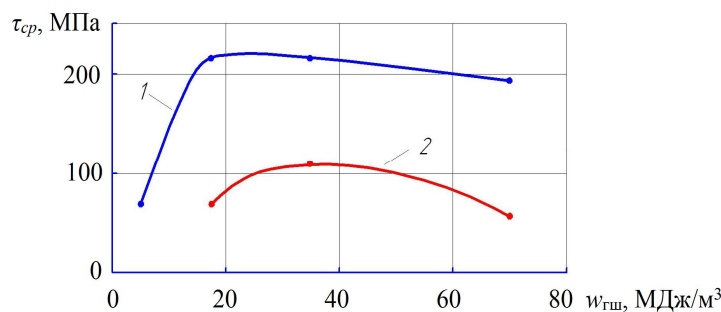


Рис. 5. Графики зависимости $\tau_{ср} = f(w_{гш})$

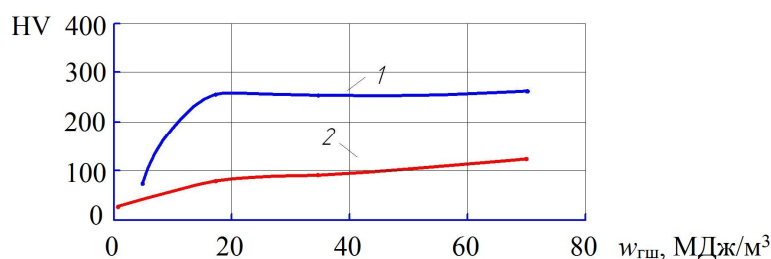


Рис. 6. Графики зависимости HV=f($w_{гш}$)

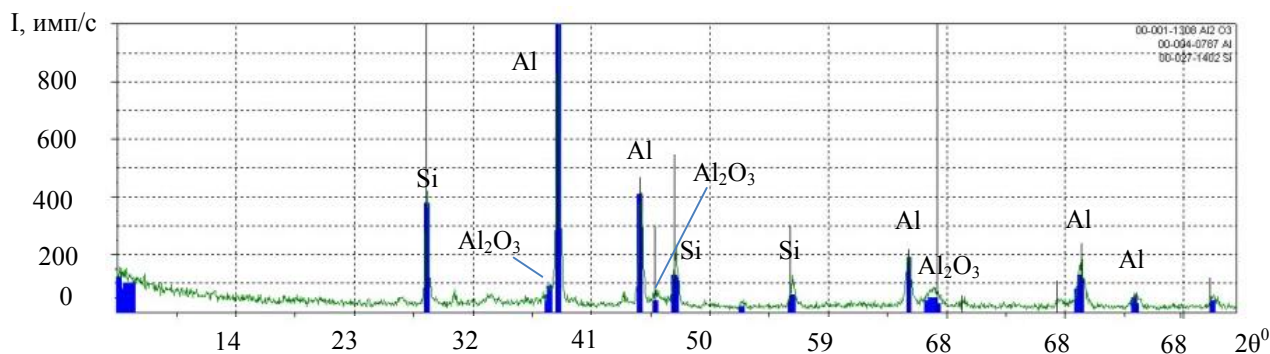


Рис. 7. Дифрактограмма ГДПМ Al-Si-C (T1) при значении приведенной работы горячей штамповки, равной 17 МДж/м³

Выводы

Установлены закономерности влияния состава размольных сред на формирование структуры и свойств ГДПМ Al-Si-C на основе механохимически активированных шихт. Использование НВРБК в качестве размольной среды обеспечивает активацию процессов уплотнения при ГШ, характеризующуюся повышенными абсолютными значениями высотной деформации. Предложена энергоэффективная технология получения ГДПМ Al-Si-C на основе механохимически активированной в НВРБК шихты с повышенными механическими свойствами ($\tau_{ср}=192$ МПа и 262 HV) при пониженном значении приведенной работы горячей штамповки 17 МДж/м³.

Список литературы

1. Спеченные материалы из алюминиевых порошков / В.Г. Гопаенко, М.Е. Смагоринский, А.А. Григорьев, А.Д. Беллавин; под ред. М.Е. Смагоринского. М.: Металлургия, 1993. 320 с.
2. Dispersion Strengthening in a Hypereutectic Al-Si Alloy Prepared by Extrusion of Rapidly Solidified Powder / Matsuura Kiyotaka, Suzuki Kazuhiro, Ohmi Tatsuya, Kudoh Masayuki [и др.] // *Metallurgical and Materials Transactions*. 2004. № 1. С. 333–339.
3. Витязь П.А., Ловшенко Ф.Г., Ловшенко Г.Ф. Механически легированные сплавы на основе алюминия и меди. Мн.: Беларуская наука, 1998. 351 с.
4. Malchere A., Gaffet E. Mechanosynthesis structural study of the ternary system Al-Si-C. // *J. de Physique. Sec. IY*. 1994. Vol. 4 (C3). P. 251–256.
5. Технология получения композиционного материала системы Al-Al₂O₃-B₂O₃ / Л.У. Котиева, Н.М. Иевлева, С.Д. Шляпин и др. // *Цв. металлургия*. 1983. №5. С. 25–28.
6. Введение в алюминиевый порошок упрочняющих фаз / Л.У. Котиева, Н.Л. Галетова, В.В. Павлова и др. // *Цветная металлургия*. 1986. №4. С. 35–37.
7. Горячедеформированные материалы на основе механохимически активированной стружки алюминиевого сплава Д-16 / М.А. Федосеева, Д.В. Слабкий, А.А. Волхонский, С.Н. Сергеенко // *Вестник Череповецкого государственного университета*. 2012. Т. 2, № 3 (41). С. 20–25.
8. Дорофеев Ю.Г., Безбородов Е.Н., Сергеенко С.Н. Горячедеформированные порошковые материалы на основе механически легированных шихт Al-C // *Физика и химия обработки материалов*. 2003. № 3. С. 64–72.
9. Дюжечкин М.К. Особенности формирования горячедеформированного материала на основе стружки алюминиевого сплава АЛ 30 // *Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки*. 2012. № 4. С. 60–62.
10. Гончарова О.Н. Инфильтрованные материалы на основе механически активированных в жидких средах порошковых шихт Fe-Ni / О.Н. Гончарова, С.Н. Сергеенко // *Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова*. 2012. № 1. С. 98–101.
11. Коломиец Р.В. Порошковые высокопористые материалы Ni-Fe на основе механически активированных в жидких средах шихт: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Новочеркасск, 2007. 11 с.
12. Chevrier J., Suck J.B. Soft Transverse Phonons in nonequilibrium fcc Al:Si solid solution quenched under high pressure // *Physical review letters*. 1988. № 5. С. 554–557
13. Громов Д.Г. Учебно-методическое пособие для самостоятельной работы студентов по дисциплине «Металлизация в системах с наноразмерными элементами». М.: МИЭТ, 2011. 204 с.
14. Сборник научных работ студентов высших учебных заведений Республики Беларусь «НИРС, 2006» / редкол.: А.И. Жук (пред.) [и др.]. Минск: Изд. центр БГУ, 2007. 375 с.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

SPECIAL FEATURES OF EFFECT OF GRINDING MEDIA DURING MECHANOCHEMICAL ACTIVATION OF A MIXTURE ON THE FORMATION OF HOT-DEFORMED AL-SI-C POWDER MATERIAL

Dyuzhechkin Mikhail Konstantinovich – engineer, Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), Novocherkassk, Russia. E-mail: m.tsenturion@yandex.ru.

Sergeenko Sergei Nikolaevich – Ph.D. (Eng.), Senior Researcher, Deputy Head of the Mechanical Faculty for Research, Professor, Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), Novocherkassk, Russia.

Abstract. This paper studies the effect of grinding media and reduced energy of powder billet hot stamping on the structure and properties of hot-deformed Al-Si-C materials based on mechanochemically activated mixtures. We determined formation of Al₉Si solid solution in a nonequilibrium state in the process of mechanochemical activation of the aluminum-silicon-graphite mixture. This paper suggests an energy-efficient technology for production of a hot-deformed Al-Si-C powder material with increased values of shear strength (192 Mpa) and hardness (262 HV) at a lower value of reduced energy of hot stamping.

Keywords: mechanochemical activation, hot-deformed powder material, aluminum, silicon, graphite, structure, agglomerate.

References

1. Gopienko V.G., Smagorinskiy M.E., Grigoriev A.A., Bellavin A.D. *Spechennye materialy iz alyuminiyevykh poroshkov* [Sintered materials of aluminum powder]. Moscow: Metallurgiya, 1993, 320 p.
2. Matsuura Kiyotaka, Suzuki Kazuhiro, Ohmi Tatsuya, Kudoh Masayuki and others. Dispersion Strengthening in a Hypereutectic Al-Si Alloy Prepared by Extrusion of Rapidly Solidified Powder. *Metallurgical and Materials Transactions*, 2004, no. 1, pp. 333–339.
3. Vityaz P.A., Lovshenko F.G., Lovshenko G.F. *Mehanicheski legirovannye splavy na osnove alyuminiya i medi* [The mechanically alloyed aluminum-base alloys and copper]. Minsk: Belarusian science, 1998, 351 p.
4. Malchere A., Gaffet E. Mechanosynthesis structural study of the ternary system Al-Si-C. *J. de Physique. Sec. IY*, 1994, vol. 4 (C3), pp. 251–256.
5. Kotieva L.U., Ievleva N.M., Shlyapin S.D. and others. Al-Al₂O₃-

- B₂O₃ composite material production. *Nonferrous metallurgy*, 1983, no. 5, pp. 25–28.
6. Kotieva L.U., Galetova N.L., Pavlova V.V. and others. Adding strengthening phases in aluminum powder. *Nonferrous metallurgy*, 1986, no. 4, pp. 35–37.
 7. Fedoseyeva M.A., Slabkiy D.V., Volkhonskiy A.A., Sergeenko S.N. Hot-deformed materials based on mechanochemically activated swarf of D-16 aluminum alloy. *Cherepovets State University Bulletin*, 2012, no. 3, pp. 20–25.
 8. Dorofeev Yu.G., Bezborodov E.N., Sergeenko S.N. Hot-deformed powder materials based on mechanically alloyed Al-C mixtures. *Physics and chemistry of materials processing*, 2003, no. 3, pp. 64–72.
 9. Dyuzhechkin M.K. Particular features of hot deformed materials compacted from swarf of AL 30 aluminum alloy. *News of higher educational institutions. North Caucasian region. Technical sciences*, 2012, no. 4, pp. 60–62.
 10. Goncharova O.N., Sergeenko S.N. Infiltrated materials based on Fe-Ni powder mixtures mechanically activated in liquid medium. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2012, no. 1, pp. 98–101.
 11. Kolomiets R.V. Ni-Fe highly porous powdered materials based on mixtures mechanically activated in liquid medium. Extended abstract of PhD dissertation. Novochebassk, 2007, 11 p.
 12. Chevrier J., Suck J.B. Soft transverse phonons in nonequilibrium fcc Al:Si solid solution quenched under high pressure. *Physical review letters*, 1988, no. 5, pp. 554–557.
 13. Gromov D.G. Self-instructional study guide for students of the course: Metallization in systems with nanoscale elements]. Moscow: MIET, 2011, 204 p.
 14. Collection of research papers by students of higher educational institutions of the republic of Belarus, *NIRS*, 2006. Edited by Zhuk A.I. et al. Minsk: BSU, 2007, 375 p.

УДК 621.336

НОВЫЕ СПОСОБЫ И УСТРОЙСТВА, ДЕГАЗИРУЮЩИЕ УГЛЕРОДНЫЕ ПОРОШКОВЫЕ КОМПОЗИЦИИ ПЕРЕД КОМПАКТИРОВАНИЕМ

Самодурова М.Н., Барков Л.А., Джигун Н.С., Латфулина Ю.С.

Южно-Уральский государственный университет (НИУ), г. Челябинск, Россия

Аннотация. Описаны новые способы компактирования углеродных порошковых композиций и новые конструкции устройств, разработанные авторами статьи на уровне изобретений, позволяющие перед основной операцией формования удалять значительные объемы газов и паров жидкостей из засыпки порошка в пресс-форму и из прессовки.

Ключевые слова: углеродная композиция, способ компактирования, дегазирующее устройство, пресс-форма.

Введение

Газонасыщение углеродных материалов – явление адсорбции, было открыто и описано шведским ученом К.В. Шееле еще в 1773 году [1]. При компактировании углеродных порошковых материалов наибольший интерес представляет физическая адсорбция, при которой молекулы газов и паров жидкостей удерживаются на поверхностях отдельных частиц порошковых композиций силами Ван-дер-Ваальса (Ван-дер-ваальсовая адсорбция). Изучение адсорбции показало, что скорость газонасыщения частиц углерода очень велика. Так, древесный уголь насыщается молекулами диоксида углерода, располагающимися в 2, 3 и более слоев, менее чем за 20 с [2].

Газонасыщенность углеродных композиций кроме химического состава зависит от их физических и технологических свойств [3, 4]. Так, важным физическим свойством, влияющим на газонасыщенность углеродных порошковых композиций, является гранулометрический состав порошков углерода. Из работы авторов [5], в которой представлены результаты исследова-

ния гранулометрического состава порошков графита по ТУ 1916-106-71-2000, используемых для получения изделий электротехнического назначения, следует, что частицы размерами менее 50 мкм, составляют 12,5% массы от общего количества частиц, частицы размерами 50–100 мкм – 5,3% массы и частицы 100–450 мкм – 89,2% массы. Средний размер частиц равен 280 мкм, что означает отношение этого графита к крупнозернистым материалам [6]. Важным технологическим свойством является насыпная плотность графита, в соответствии с публикацией [5] равная 0,67 г/см³ и составляющая 0,29 от плотности беспористого графита.

Новые способы, дегазирующие углеродные порошковые композиции перед их компактированием

Способ и устройство по патенту РФ № 2381870

Дегазация в изобретении [7], разработанная с участием одного из авторов статьи для дегазации ультрадисперсных порошков тугоплавких метал-