

СЕКЦИЯ 2: ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ И ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ

ВЛИЯНИЕ ЗАЩИТНОГО ГАЗА И МЕХАНОАКТИВАЦИИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОРОШКОВ НА КАЧЕСТВО СПЕЧЕННОГО ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ИЗДЕЛИЙ

*Н.А. Сапрыкина, к.т.н., доц., А.А. Сапрыкин, к.т.н., доц., Д.А. Архипова, студент
Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского
Томского политехнического университета
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, тел. (38451) 7-77-61
E-mail: saprikina@tpu.ru*

В настоящее время динамично развивающимся направлением развития современной промышленности являются технологии послойного синтеза. Отдельным направлением является послойное лазерное спекание (сплавление) металлопорошковых композиций на основе 3DCAD-модели, позволяющее изготавливать функциональные изделия. Так как в основе послойного синтеза функционального изделия лежит формообразование единичного слоя одной из проблем обеспечения качества поверхностного слоя является наличие напряжений в спекленном единичном слое, которые препятствуют равномерному нанесению следующего слоя порошкового материала и искажают форму изделия.

Для того чтобы изделие полученное методом послойного лазерного спекания выполняло функциональное назначение, оно должно обладать необходимым качеством. Основными показателями качества спекленного изделия являются точность, состояние поверхностного слоя, физико-механические свойства, долговечность. Одной из проблем обеспечения качества спекленного поверхностного слоя является наличие напряжений, которые препятствуют равномерному нанесению следующего слоя порошкового материала и искажают форму изделия. Для её решения необходимо изучение закономерностей влияния физико-механических свойств порошковых материалов, режимов лазерного спекания, технологических режимов нанесения слоя порошка[1].

Целью настоящей работы является рассмотрение факторов, оказывающих влияние на качество спекленной поверхности и внутренней структуры, исследование влияния защитного газа аргона и механоактивации медного порошка ПМС-1 и кобальтхроммолибденового порошка DSK-F75 при разном диапазоне технологических режимов спекания на качество спекленного поверхностного слоя. Сравнивались толщина и шероховатость спекленной поверхности, прочностные характеристики спекленных образцов.

Процесс спекания следует начинать с назначения порошкового материала, от которого напрямую зависят технологические режимы спекания. Значимыми параметрами металлических порошков являются их форма, строение, характер межчастичного взаимодействия[2]. По форме различают частицы в виде волокон, хлопьев, пластин, кубические, шарообразные и т.д. Размер поровых промежутков зависит от формы частиц и их соразмерности. Для уменьшения пор сферические частицы лучше укладываются со сферическими, а дендритные с хлопьевидными [3]. Необходимо также помнить, что температура плавления порошковых материалов понижается с возрастанием степени дисперсности [4]. На плотность укладки влияет шероховатость поверхности частиц. Механическое зацепление – одна из форм связи таких частиц. Трение между ними является результатом адгезионного взаимодействия, поэтому большое внимание уделяется механической активации порошковых композиций[5]. При спекании однокомпонентного порошкового материала и материалов с близкой температурой плавления при непрерывном лазерном воздействии появляется коагуляция (слияние расплавленного металла в отдельные капли)[6]. Необходимо учитывать теплофизические и физико-химические свойства порошковых материалов, не соответствующие справочным, приведённым для монолитных материалов.

Технологические режимы спекания имеют значительное влияние на качество поверхностного слоя изделия. Мощность лазерного излучения зависит от температуры плавления порошкового материала и коэффициента температуропроводности, а также формы и размера частиц. Для тугоплавких материалов необходимо увеличивать мощность лазерного излучения, и уменьшать скорость перемещения луча лазера. При нерационально выбранных значениях мощности происходит возгорание порошкового материала[7].

Увеличение уплотнения порошкового материала приводит к уменьшению глубины спекания. Ее можно увеличить, повышая мощность лазерного излучения. Однако это приводит к потере энергии.

В значительной степени влияют на качество прототипа следующие факторы: коагуляция, образование пор, возникновение внутренних напряжений и деформаций.

Исследования влияния защитного газа аргона на качество спеченного поверхностного слоя осуществлялось для медного порошка ПМС-1 и кобальтхроммолибденового порошка DSK-F75 при разном диапазоне технологических режимов спекания. Аргон является защитной средой, позволяющей исключить взаимодействие порошковых изделий с кислородом и азотом, а также упрочнить поверхность изделий. При спекании медного порошка ПМС-1 в аргоне наблюдалось изменение цвета спеченной поверхности, она становилась золотистой, полученные образцы имели более прочную поверхность, без образования трещин рис. 1 [8, 9].

Сравнение образцов, спеченных на воздухе и в аргоне представленных на рис. 1 показывает увеличение толщины спеченного слоя с 115 мкм до 200 мкм, прочность образца увеличивается.

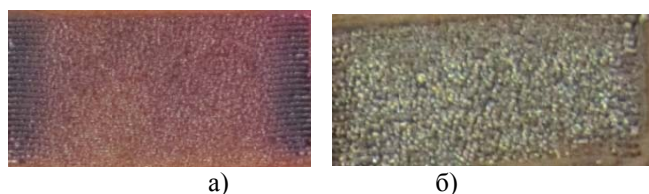


Рис. 1. Внешний вид спеченной поверхности ПМС-1 (x2)
Режимы СЛС $P=30$ Вт, $V=3000$ мм/мин, $S=0,3$ мм, $t=260^\circ\text{C}$: а– на воздухе; б– в аргоне

При спекании в аргоне (рис. 2, б), режимы СЛС $P=15$ Вт, $V=200$ мм/мин, $S=0,3$ мм, $t=200^\circ\text{C}$ дефекты в виде поперечных и продольных трещин отсутствуют, толщина спеченного слоя изменяется незначительно с 1675 при спекании на воздухе до 1735 при спекании в аргоне.



Рис. 2. Внешний вид спеченной поверхности ПМС-1 (x2).
Режимы СЛС $P=15$ Вт, $V=200$ мм/мин, $S=0,3$ мм, $t=200^\circ\text{C}$: а– на воздухе; б– в аргоне

При сравнении образцов, полученных на режимах $P=30$ Вт, $V=200$ мм/мин, $S=0,1$ мм, $t=200^\circ\text{C}$, спеченных в аргоне и на воздухе, представленных на рис. 3 наблюдалось резкое изменение качества поверхностного слоя, прочности. Шероховатость изменяется с 525 до 115 мкм, толщина спеченного слоя изменяется незначительно с 850 до 915 мкм. У образца, спеченного в аргоне, отсутствуют дефекты в виде продольных и поперечных трещин.

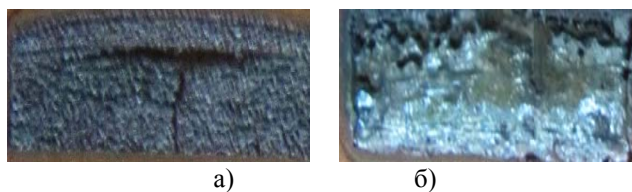


Рис. 3. Внешний вид спеченной поверхности ПМС-1 (x2).
Режимы СЛС: $P=30$ Вт, $V=200$ мм/мин, $S=0,1$ мм, $t=200^\circ\text{C}$ а– на воздухе; б– в аргоне

Спекание в аргоне значительно улучшает качество поверхностного слоя полученного из медного порошкового материала ПМС-1. Уменьшается шероховатость, отсутствуют дефекты.

Исследования влияния механоактивации на качество спеченного поверхностного слоя осуществлялось для медного порошка ПМС-1 и кобальтхроммолибденового порошка DSK-F75 при разном диапазоне технологических режимов спекания. Механическая обработка порошка осуществлялась в центробежно-планетарной мельнице АГО-2. В стальных барабанах, загруженных стальными шарами диаметром 6 мм, общая масса которых составляла 600 гр. при загрузке порошка 30 гр. При механоак-

тивации увеличивается дисперсность порошка, дефектность кристаллической решетки его частиц [10], что приводит к быстрому окислению, и возможности осуществлять спекание при необычно низких температурах. Интенсивное измельчение частиц увеличивает их суммарную поверхность, повышая запас избыточной энергии порошка и увеличивает толщину дефектного слоя. Механическая обработка проводилась в течение одной, трех, пяти и семи минут. На рисунках 4-8 приведены сравнительные фотографии спеченной поверхности кобальтхроммолибденовой композиции, полученные на разных режимах, порошка неактивированного и разной активации [11]. На рис. 4 при режимах спекания $P=10$ Вт, $V=100$ мм/мин, $S=0,1$ мм, $t=200^\circ\text{C}$ для неактивированной спеченной поверхности $Rz=525$ мкм, после минутной активации $Rz=545$ мкм, после трехминутной активации $Rz=540$ мкм, после пятиминутной активации $Rz=615$ мкм увеличивается коагуляция, после семиминутной активации $Rz=545$ мкм.

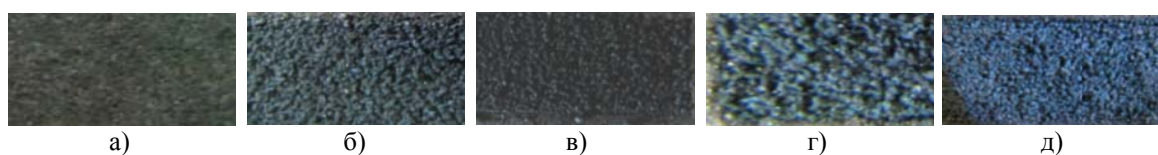


Рис. 4. Внешний вид спеченной поверхности DSK-F75 (x1).

Режимы СЛС $P=10$ Вт, $V=100$ мм/мин, $S=0,1$ мм, $t=200^\circ\text{C}$: а– неактивированный, б– после минутной активации, в– после трехминутной активации, г– после пятиминутной активации, д– после семиминутной активации

У образцов, представленных на рис. 5 шероховатость спеченной поверхности изменяется незначительно, увеличивается прочность. У образца, спеченного из порошкового материала, после семиминутной активации уменьшается пористость, на поверхности наблюдаются монолитные островки.

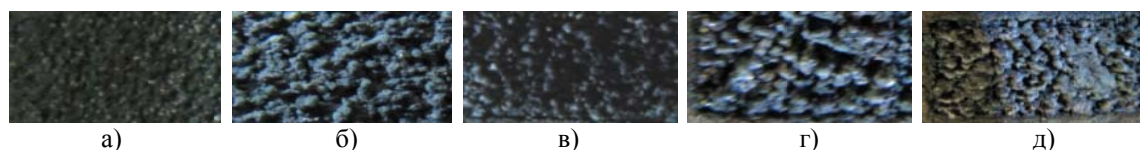


Рис. 5. Внешний вид спеченной поверхности DSK-F75 (x1). Режимы СЛС $P=20$ Вт, $V=100$ мм/мин, $S=0,1$ мм, $t=200^\circ\text{C}$: а–неактивированный, б– после минутной активации, в– после трехминутной активации, г– после пятиминутной активации, д– после семиминутной активации

Увеличение времени активации (рис. 6-8) приводит к уменьшению диаметра коагулированных частиц и их равномерному распределению по спеченной поверхности. Прочность спеченной поверхности увеличивается.

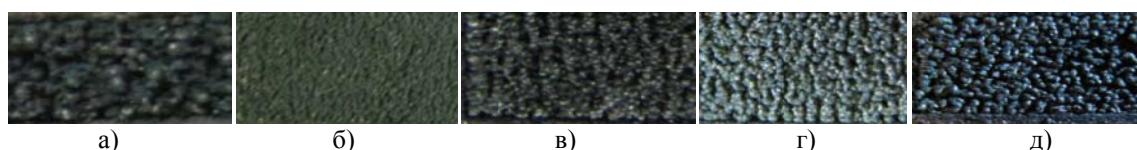


Рис. 6. Внешний вид спеченной поверхности DSK-F75 (x1). Режимы СЛС $P=20$ Вт, $V=300$ мм/мин, $S=0,1$ мм, $t=26^\circ\text{C}$: а–неактивированный, б– после минутной активации, в– после трехминутной активации, г– после пятиминутной активации, д– после семиминутной активации

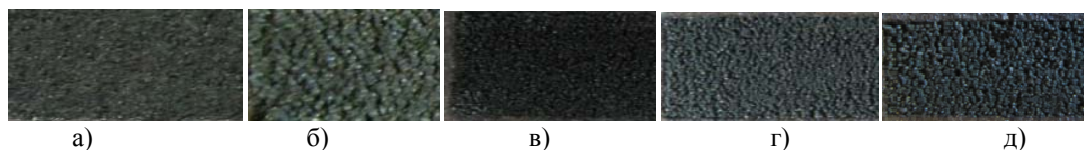


Рис. 7. Внешний вид спеченной поверхности DSK-F75 (x1). Режимы СЛС $P=10$ Вт, $V=300$ мм/мин, $S=0,15$ мм, $t=26^\circ\text{C}$: а–неактивированный, б– после минутной активации, в– после трехминутной активации, г– после пятиминутной активации, д–после семиминутной активации

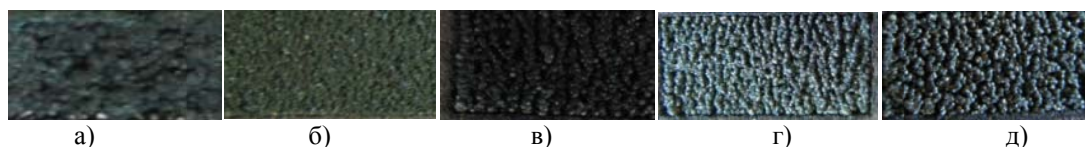


Рис. 8. Внешний вид спеченной поверхности DSK-F75 (x1). Режимы СЛС $P=20$ Вт, $V=300$ мм/мин, $S=0,15$ мм, $t=26^{\circ}\text{C}$: а–неактивированный, б– после минутной активации, в– после трехминутной активации, г– после пятиминутной активации, д– после семиминутной активации

На рисунке 9 показаны дифрактограммы кобальтхроммолибденового порошка. На оси ординат указана интенсивность дифракционных пиков, на оси абсцисс показана угловая характеристика с максимальным углом съемки 2θ .

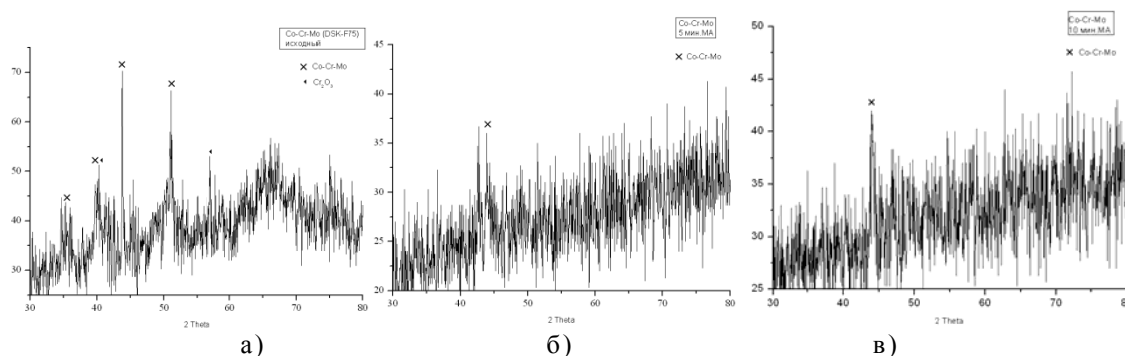


Рис. 9. Дифрактограммы порошка кобальтхроммолибдена:
а) неактивированного, б) после пяти минутной активации, в) после десятиминутной активации

При сравнении дифрактограмм неактивированного (рис. 9, а) и механоактивированного (рис. 9, б) порошка кобальтхроммолибденовой композиции видно, что после механоактивации окись хрома исчезает. Время активации незначительно влияет на дифрактограмму. После активации пики возникают только в одном положении.

На рисунках 10-16 приведены сравнительные фотографии спеченного слоя медной порошковой композиции ПМС-1, полученные на разных режимах, порошка неактивированного и разной активации. После трехминутной активации увеличивается прочность спеченного образца (рис. 10), R_z незначительно изменяется с 625 мкм до 630 мкм, толщина спеченного слоя увеличивается с 820 до 950 мкм.

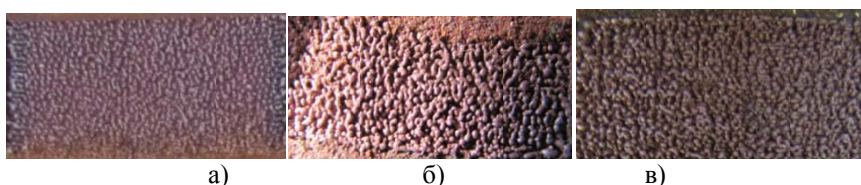


Рис. 10. Внешний вид спеченной поверхности ПМС-1 (x2). Режимы СЛС $P=30$ Вт, $V=3000$ мм/мин, $S=0,3$ мм, $t=26^{\circ}\text{C}$: а–неактивированный, б– после минутной активации, в– после трехминутной активации

При сравнении двух образцов (рис. 11) наблюдается улучшение качества поверхностного слоя, исчезают трещины, уменьшается шероховатость с 975 до 715 мкм.

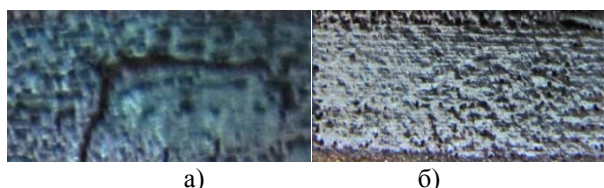


Рис. 11. Внешний вид спеченной поверхности ПМС-1 (x2). Режимы СЛС $P=30$ Вт, $V=200$ мм/мин, $S=0,3$ мм, $t=26^{\circ}\text{C}$: а–неактивированный, б– после трехминутной активации

На рис. 12 у спеченных образцов, полученных из механоактивированных порошковых материалов, шероховатость поверхности уменьшается с 700 до 426 мкм.

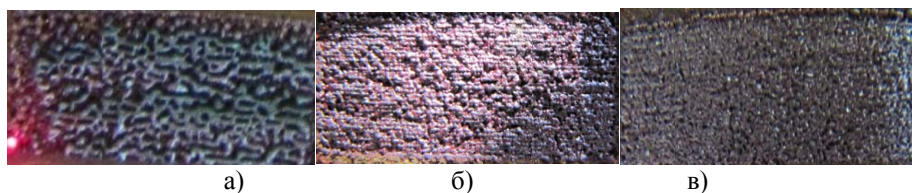


Рис. 12. Внешний вид спеченной поверхности ПМС-1 (x2). Режимы СЛС $P=15$ Вт, $V=200$ мм/мин, $S=0,3$ мм, $t=26^{\circ}\text{C}$: а–неактивированный, б– после минутной активации, в– после трехминутной активации

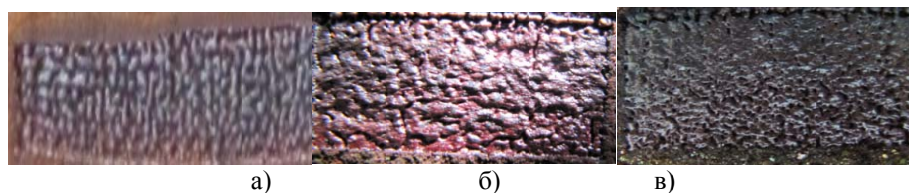


Рис. 13. Внешний вид спеченной поверхности ПМС-1 (x2). Режимы СЛС $P=30$ Вт, $V=3000$ мм/мин, $S=0,1$ мм, $t=200^{\circ}\text{C}$: а–неактивированный, б– после минутной активации, в– после трехминутной активации

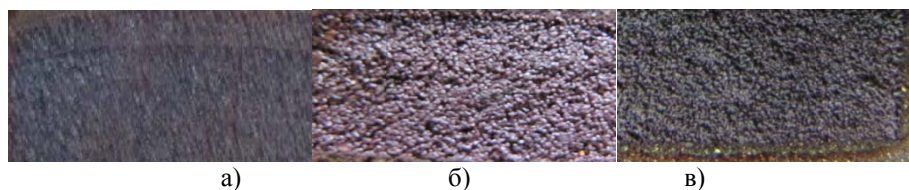


Рис. 14. Внешний вид спеченной поверхности ПМС-1 (x2). Режимы СЛС $P=15$ Вт, $V=3000$ мм/мин, $S=0,1$ мм, $t=200^{\circ}\text{C}$: а–неактивированный, б– после минутной активации, в– после трехминутной активации

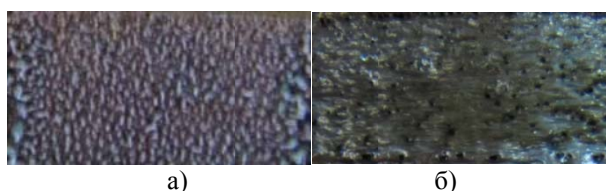


Рис. 15. Внешний вид спеченной поверхности ПМС-1 (x2). Режимы СЛС $P=30$ Вт, $V=200$ мм/мин, $S=0,1$ мм, $t=26^{\circ}\text{C}$: а–неактивированный, б– после минутной активации

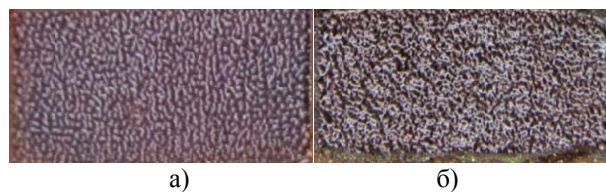


Рис. 16. Внешний вид спеченной поверхности ПМС-1 (x2). Режимы СЛС $P=22$ Вт, $V=1600$ мм/мин, $S=0,2$ мм, $t=26^{\circ}\text{C}$: а–неактивированный, б– после минутной активации

Сравнение фотографии образцов наглядно показывает влияние механоактивации на качество поверхности: уменьшается коагуляция, шероховатость.

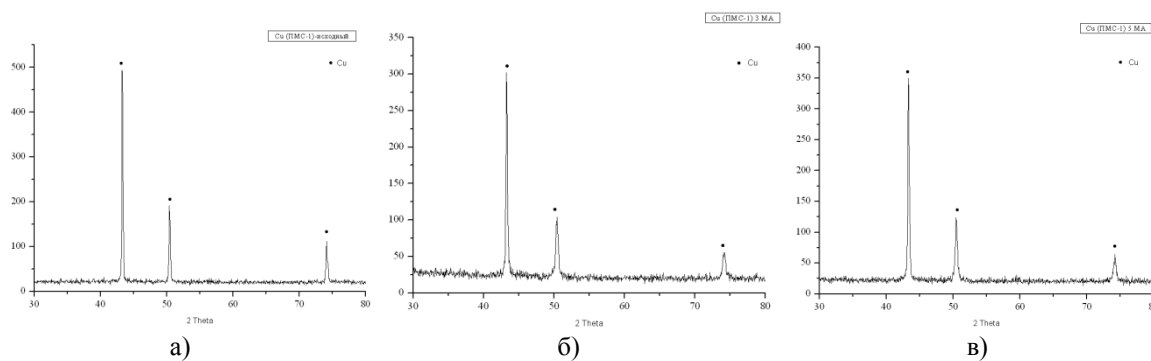


Рис. 17. Дифрактограммы медного порошка ПМС-1: а– неактивированный, б– после трехминутной активации, в– после пятиминутной активации

Проведенные исследования спеченного слоя из активированного и неактивированного порошкового материала показало, что предварительная механическая обработка оказывает влияние на процесс спекания и приводит к улучшению качества поверхности: уменьшается диаметр коагулированных частиц, снижается шероховатость. Наблюдалось улучшение внутренней структуры и прочностных свойств.

Показано положительное влияние защитной атмосферы и механоактивации металлических порошковых материалов на качество спеченного поверхностного слоя. Для уменьшения шероховатости. Улучшения внутренней структуры и прочностных свойств спекание рекомендуется проводить в аргоне с применением металлических порошковых материалов, подвергнутых одно- и трёхминутной активации с целью уменьшения шероховатости, улучшения внутренней структуры и прочностных свойств.

Литература.

1. Отто А. Объединение лазерной обработки материалов с процессом формообразования // Фотоника. – 2007. – № 5. – С. 2 – 6.
2. Панченко В.Я. Лазерные технологии обработки материалов: современные проблемы фундаментальных исследований и прикладных разработок, монография. – М.: Физматлит, 2009. – 664 с.
3. A.V. Proskokov, S.I. Petrushin. Process clip formation with a single conditional shear surface // Applied Mechanics and Materials. vol. 682 (2014). pp. 304-312.
4. R. H Gubaidulina, S.I. Petrushin. A.A Galeeva. Selecting an Economical Variant of the Manufacturing Method of Engineering Product Fabrication under Current Conditions.// AppliedMechanicsandMaterials. vol. 682 (2014). pp. 613-616.
5. P.V.Arhipov, A.S. Yanyushkin, D.V. Lobanov. The effect of diamond tool performance capability on the quality of processed surface // Applied Mechanics and Materials. vol. 379 (2013). pp. 124-130.
6. Chinakhov D.A. Dependence of Silicon and Manganese Content in the Weld Metal on the Welding Current and Method of Gas Shielding. Applied Mechanics and Materials. Vol. 756 (2015) pp 92-96. doi:10.4028/www.scientific.net/AMM.756.92.
7. Saprykin A. A., Saprykina N. A. Improvement of surface layer formation technology for articles produced by layer-by-layer laser sintering // Applied Mechanics and Materials. – 2013. – Vol. 379. – P. 56 – 59.
8. Lychagin D.V., Tarasov S.Yu., Chumaevskii A.V., Alfeyorova E.A. Macrosegmentation and strain hardening stages in copper single crystals under compression // International Journal of Plasticity. – 2015. – №69. – P. 36-53.
9. Babakova E. V. , Gradoboev A. V. , Saprykin A. A. , Ibragimov E. A. , Yakovlev V. I. , Sobachkin A. V. Comparison of Activation Technologies Powder ECP-1 for the Synthesis of Products Using SLS // Applied Mechanics and Materials. - 2015 - Vol. 756. - p. 220-224
10. Сапрыкина Н. А., Сапрыкин А. А., Шигаев Д. А. Исследование факторов, влияющих на качество поверхности, полученной лазерным спеканием // Обработка металлов. – 2011. – № 4. – С. 78–82.
11. Saprykina N. A., Saprykin A.A., Matrunchik M.S. Formation of Surface Layer of Cobalt Chrome Molybdenum Powder Products with Differentiation of Laser Sintering Modes // Applied Mechanics and Materials. Vol. 682 (2014) pp. 294-298.