

УДК 66.669

Лапин И.В. – аспирант, ассистент

E-mail: 89003222142@mail.ru

Кузнецов В.Г. – кандидат технических наук, доцент

E-mail: aschess@yandex.ru

Аминова Г.А. – доктор технических наук, профессор

E-mail: a_guzel@mail.ru

Казанский национальный исследовательский технологический университет

Адрес организации: 420015, Россия, г. Казань, ул. К. Маркса, д. 68

Новые модификации металлов в современном производстве

Аннотация

Постановка задачи. Цель исследования рассмотреть внедрение высокоперспективных новейших материалов в строительных отраслях производства. Создать эффективные пористые материалы, которые обладают уникальными характеристиками, полезными не только для производства, но и во многих сферах жизнедеятельности человека.

Результаты. Основные результаты исследования – способы получения пенометаллов различными технологиями, виды обработки изделий. Показаны характеристики пористых структур для дальнейшего формирования открытых и закрытых пор, также получение закрытоячеистого и открытоячеистого алюминия.

Выводы. Значимость использования в строительной отрасли сильно расширит область применения металлических пен в виде негоряемых перегородок и облицовочного материала в фасадных элементах зданий, легких и огнестойких кабин лифтов, повышение жесткости полых профилей, для упрочнения анкеров в бетонных стенах, в производстве теплостойких демпфирующих материалов и многое другое. Основным фактором является дальнейшее усовершенствование технологии и снижение стоимости пенометаллов.

Технический интерес представляет пропитка пористого материала (пенометалла) различными жидкими веществами.

Ключевые слова: пористые материалы, пенометаллы, открытые и закрытые поры, прессование, спекание.

Сегодня мы заинтересованы добиваться улучшения эффективности производства и повышения качества выпускаемой продукции и это является главной задачей во всех областях жизнедеятельности. Для выполнения этой задачи необходимо внедрение более высокоперспективных процессов и создание новейших материалов, в первую очередь в области строительства.

Одним из представителей таких новейших материалов, по сравнению с обычными металлами являются пенометаллы, либо пористые металлы.

Пенометаллами являются металлы (сплавы) сетчато-ячеистой структуры, имеющих крайне низкую плотность (примерно 75-95 % ее объема составляют пустоты) в сочетании с высокой удельной жесткостью и шумопоглощением, низкой теплопроводностью, что очень важно для строительной сферы производства. Их плотность гораздо меньше даже по сравнению с древесиной, а прочность – гораздо выше. Пенометаллы прекрасно поглощают ударную энергию, т.е. обладают демпферными свойствами. Эти материалы хорошо обрабатываются резанием, их можно легко соединять с другими деталями с помощью крепежных элементов или склеивать с полимерами, фанерой или стеклом. Пенометаллы обладают хорошими акустическими характеристиками, демпфирующими свойствами, коррозионной стойкостью, свариваемостью, допускают многократную регенерацию. Этот металл имеет настолько легкий вес, что способен плавать на поверхности водных жидкостей, по прочности при этом превышая в несколько раз обычные металлы, негигроскопичный (не склонный к поглощению воды).

Металлическим пенам присуще и совершенно неожиданное свойство – они не расплавляются даже при температуре плавления исходного металла. Такие материалы, в

основном, выдерживают многократные нагревы до значительных температур без изменения свойств, что позволяет их использовать как трудновоспламеняемый, негорючий материал.

Прочность изделий из них можно значительно повысить поверхностной обработкой – прокаткой, ковкой, штамповкой и другими видами калибрования.

Наиболее распространены пенометаллы на основе алюминия (рис. 1-2) и никеля (рис. 3).

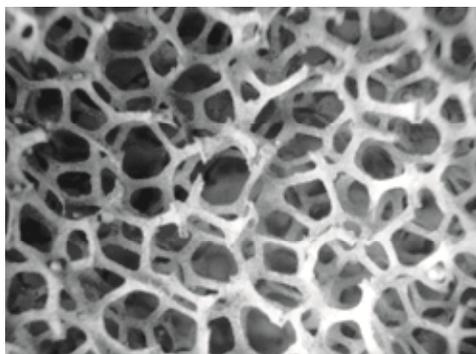


Рис. 1. Микроструктура пеноалюминия [3]

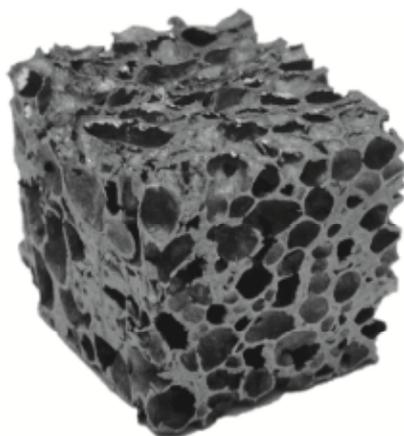


Рис. 2. Пеноалюминий, полученный порошковым методом [1]

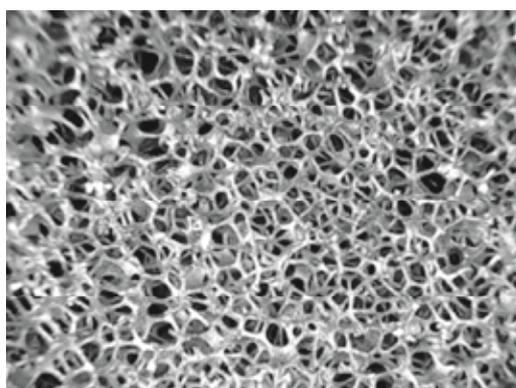


Рис. 3. Микроструктура пеноникеля [3]

Одним из наиболее передовых методов получения пенометаллических изделий, которые имеют множество достоинств, является порошковая металлургия. Ее технологии дают возможность получить изделия с заданными составом и характеристиками, какие иногда трудно или невозможно решить литейным способом. Высокая производительность (механизация, автоматизация) и высокая экономичность (до 60 %)

сделали этот метод высокоэффективным. В технологию порошковой металлургии входит: получение металлического порошка или смеси, формование, спекание и дополнительная обработка порошковых изделий, то есть использование порошкового вещества как исходного материала и нагрев его до температуры ниже точки плавления основного металлического порошка $T_p = (0,4-0,6)T_{пл}$.

Fraunhofer Institute (Германия) является основной мировой разработчик технологии производства пеноалюминия порошковым методом [2].

Физические и механические свойства готовых порошковых изделий зависят от условий их изготовления: давления, прессования, температуры, времени и атмосферы спекания, а также от состава компонентов и других факторов.

Прессованием порошков получают полуфабрикаты (прессовки, брикеты) с размерами, необходимыми для изготовления изделий с учетом деформаций при последующих операциях (спекание, калибрование и т. п.). Прочность, плотность в результате увеличения контакта увеличивается в зависимости от температуры и времени спекания, где происходит процесс развития скрепления и формирования изделия, полученного при нагреве спрессованного порошка. Важным условием спекания является безокислительное условие нагрева изделий.

После спекания изделия подвергаются калибровке для увеличения физико-механических свойств и образования конечных геометрических размеров и форм, наложения покрытий и защиты от коррозии изделий.

Для повышения физико-механических свойств спеченных изделий производят прессование и спекание повторно, что позволяет получить изделия с наибольшей плотностью. Затем производят термо- или химико-термическую обработку.

Спеченное изделие можно подвергнуть ковке, прокатке, штамповке, при повышенных температурах, для снижения пористости и повышения пластичности.

Порошковые металлы (ПМ) изготавливают из приготовленной шихты, подвергают прессованию в форму и спекают заготовки в защитной среде или в вакууме. К ним относятся твердые сплавы, композитные материалы, анти – и фрикционные сплавы, спеченные порошковые черные и цветные металлы.

Антифрикционные порошковые металлы – это хорошо обрабатываемые и износостойкие материалы с низким коэффициентом трения.

Металлические порошки бывают как из черных металлов (железо, сталь), так из цветных металлов (алюминий, медь, никель, хром, кобальт, вольфрам, молибден, титан).

Для их измельчения применяют различные процессы – это дробление (крупное, среднее, мелкое) и измельчение (тонкое и сверхтонкое), которое производится путем удара, истирания, раскалывания и раздавливания. Крупное дробление имеет размер кусков после измельчения порядка 100-300 мм, а сверхтонкое измельчение – 0,1-75 мкм.

На (рис. 4) показан еще один вид пенометалла на основе меди.

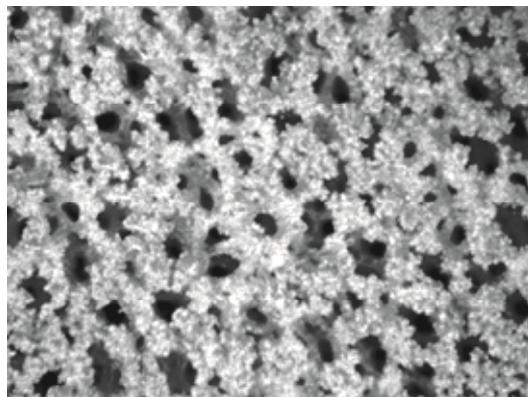


Рис. 4. Микроструктура пеномеди [3]

В основном применяют физико-химический способ получения металлических порошков: получение оксидов, выделение порошка из водного раствора соли, химическое изменение состава сырья. Этот способ является наиболее экономичным, благодаря

дешевизне сырья. Химический состав порошков определяется содержанием основного металла или компонента и примесей. Физические свойства порошков характеризуются формой и размером фракции, насыпной плотностью, образованием кристаллической решетки. С добавлением графита или свинца уменьшается износ изделия.

Основными характеристиками, определяющими физико-механические свойства ПМ, являются физико-механические свойства материала стенок пор, относительная плотность: ρ/ρ_s (где ρ – плотность, ρ_s – плотность материала, из которого сформированы стенки пор), а также структура пор (открытые ячейки или закрытые поры). Иногда вместо относительной плотности для характеристики ПМ используется величина пористости $m=1-\rho/\rho_s$. Плотность образцов пеноалюминия, получаемых в настоящее время, составляет 300...1900 кг/м³, что соответствует пористости от 0,89 до 0,31 [4].

Технологические свойства определяются текучестью, прессуемостью и спекаемостью порошков. Текучесть влияет на производительность при заполнении форм в прессовании и неоднородность плотности заготовок. Пластичность материала влияет на прессуемость, размер, форму и повышается с добавлением поверхностно-активных веществ. При помощи порошковой металлургии получают конструкционные композитные, трениевые материалы.

Высокопористые материалы из металлов изготавливают путем спекания порошков, предварительно прессуя. В процессе спекания для образования пор вводят специальные вещества.

В соответствии с патентом Fraunhofer Institute (Pat. DE 4101630 A1 от 12.12.1991) основные операции изготовления панелей из пеноалюминия: смешивание металлического порошка с пенообразователем (TiH₂) и подача на стол пресса; горячая прессовка (полосы или прутка); горячая карточная прокатка полосы на лист толщиной 5-6 мм, затем холодная карточная прокатка на тонкий лист (1-3 мм), далее осуществляется вспенивание заготовки.

Технология Fraunhofer Institute (Германия) характерна некоторыми недостатками: сложность и многооперационность технологического процесса; невозможность производства крупногабаритных панелей из пеноалюминия размером более 1000×1000×12-24 мм и ограничение в объемах производства; высокая себестоимость пеноалюминия, что вызвано многостадийностью производства [5].

Сэндвич-панели (рис. 5) состоят из двух листов металла с наружной стороны изделия и внутреннего слоя пенометалла, изготовленного из пеноалюминиевого сплава. Эти панели являются высококачественным строительным материалом с улучшенными демпфирующими свойствами и жесткостными характеристиками.

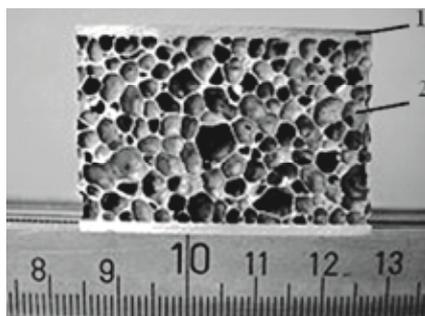


Рис. 5. Сэндвич-панель с пеноалюминием: 1 – металлический лист, 2 – пенометалл [6]

Области применения сэндвич-панелей из пеноалюминия [6]:

- 1) в строительстве – пожаробезопасная облицовка фасадов стен, перегородок, лифтов, профилей жесткости, полы и потолки с защитой от электромагнитных излучений;
- 2) в транспорте – перегородки, полы, внутренняя облицовка в авиатранспорте, судах, в железнодорожных вагонах; для автомобиля – бамперы, кожуха, шумоизоляция, фильтрующий наполнитель глушителя;
- 3) в промышленности – шумозащитные кожуха, теплоизоляционные и фильтрующие элементы, катализаторы.

Существует несколько технологий получения пенометаллов:

- это введение газа (воздух, азот, аргон) непосредственно в жидкий металл;
- смешивание песчано-глинистой смеси и полимерного порошка с выжиганием полимера и наполнение под давлением литейной формы жидким металлом. Подобный метод применим для Al, Mg, Ni, Cr и Cu сплавов [3];
- получение ПМ путем введения в расплав порофоров (веществ, образующих пузырьки – порообразователей) т.е. вспенивающего вещества, обеспечивающего образование пор.

Литейный (жидкофазный) способ получил широкое применение, как самый продуктивный и недорогой [7]. Литейный способ производится по следующей технологической схеме:

- расплав металла;
- ввод загущающих частиц в жидкий металл;
- ввод порофора в расплав или продувку его газом;
- заливка в форму;
- охлаждение пенометалла в форме.

В мировой практике пользуются популярностью два способа получения пеноалюминия: литейный (рис. 6) (компания Sumat – Канада, Alcan – Канада, Norsk Hydro – Норвегия и др.) и порошковый (компании Fraunhofer Institute – Германия, ОАО ВИС – Россия и др.) [8].

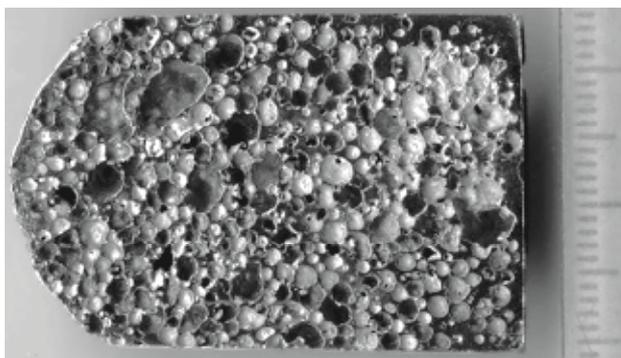


Рис. 6. Отливка пеноалюминия, полученная литейным методом [9]

При производстве пенометалла из цинка и сплава (Al – 4,0 %; Cu – 1,0 %; Zn – ост.) в качестве порообразователя применяются гидриды титана, магния, циркония, для сплава (Al – 12,0 %, Si) – TiH₂[6], для сплава (Si – 9,0 %; Mg – 0,5 %; Cu – 0,2 %; Al – ост.) – CaCO₃, мрамор и TiH₂, для сплава (Si – 12,0 %; Mg – 1,0 %; Ni – 2,5 %; Al – ост.) – углекислый газ [10].

Разработаны и технологии, предоставляющие возможность получать металлы с ячеистой структурой, такие как порошки цинка или сплава (Al – 4,0 %; Cu – 1,0 %; Zn – ост.) смешивают с порообразователями гидрид титана или гидрид магния, далее прессуют в заготовки холодным, затем горячим прессованием, помещают его в форму и нагревают ее выше температуры ликвидуса. При этом выделяется водород, образуя пену в расплаве, заполняет форму, которую быстро охлаждают [11].

В последнее время проявляется большой интерес к пористым материалам на основе алюминия, которые обладают множеством уникальных свойств.

Например, ниже представлены 2 способа получения ПМ из алюминия:

1) в расплав при 680 °C вводят 1,5 % кальция, несколько минут перемешивают. В жидком металле выделяются оксид кальция CaO, алюминат кальция CaAl₂O₄ и, возможно, интерметаллид Al₄Ca, происходит сгущение металл. Далее металл переливают в форму и вводят 1,6 % гидрида титана TiH₂, который разлагаясь выделяет водород и вспенивает металл заполняя форму. Затем изделие удаляется из формы [12].

Существующая в этом методе проблема стабилизации (устойчивости) жидкой пены успешно разрешается введением в расплав частиц с более высокой температурой, чем у вспениваемого металла, что исключает слияние пузырьков. Степень их действия зависит

от размера, смачиваемости и формы, образующихся внутри и на поверхности перемычек. Наибольшая стабилизация пены при производстве пеноалюминия происходит при введении наночастиц оксида алюминия Al_2O_3 .

2) в расплав алюминия А7 в шамотно-графитовом тигле, разогретым до 800 °С, засыпают мраморный порошок в количестве 5 % масс при этом одновременно перемешивая, устанавливают тигель в печь с выдержкой 10 мин при 800 °С. Затем тигель вынимается и расплав перемешивается в течение 3-х мин и ставится в печь на 15 мин при 850 °С, далее тигель извлекается из печи и охлаждается на воздухе. После затвердевания металлическое изделие удаляется из тигля. Доминирует шаровидная форма пор, их величина от 0,5 до 10,0 мм, с равномерно распределенными по объему порами, их плотность составляет $0,83 \text{ г/см}^3$, а пористость 70 % [13].

Пенометаллы испытывают по прочности на сжатие, прогиб или пробой. Механические свойства ПМ характеризуются также массой, размерами, видом и характером распределения пор по объему.

Различают закрытоячеистый и открытоячеистый пористый алюминий.

Материал с закрытыми порами получается путем вспенивания алюминия порофорами, а материал с открытыми порами, получается литейным методом с использованием удаляемого наполнителя или путем гальванического покрытия на пенополиуретане, который потом удаляют.

Закрытоячеистый пеноалюминий обладает теплоизоляционными и звукопоглощающими свойствами, а также свойством, которое может быть использовано для демпфирования удара. Преимуществами являются такие его характеристики как электрическая и термическая проводимость, отличное энергоабсорбирующее свойство, разный температурный диапазон и негорючесть материала. Применяется для обеспечения жёсткости конструкции, как теплоизолирующий материал, в строительстве в виде несгораемых перегородок и облицовочного материала, кабин лифтов и прочее.

Плотность открытоячеистого (пористого) алюминия $0,9-1,2 \text{ г/см}^3$, что составляет 55-67 % пористости. Материал обладает высокой жесткостью, проницательностью, негорючестью, высокой стойкостью к температурным изменениям, неигроскопичностью и др. Пористый алюминий имеет большую внутреннюю поверхность, составляющую при плотности $1,1 \text{ г/см}^3$ от 1 до $2 \text{ м}^2/\text{г}$ [14], что учитывается для дальнейшего использования в теплообменниках.

Хотя пенометаллы в своей основе являются металлическими, по свойствам они заметно различаются от исходных металлов. Это новые материалы, которые еще мало применяются в строительстве и других областях науки и техники, здравоохранения, где пористая основа ускоряет производственные процессы, спасает от аварий, тушит пожары, поглощает пыль, грязь и шум, охраняет природу и лечит людей.

Таким образом, дальнейшее усовершенствование технологии и снижение стоимости пенометаллов сильно увеличит область применения металлической пены в строительной отрасли.

Металлическая пена является материалом будущего, обладающая уникальными свойствами.

Технический интерес представляет пропитка пористого материала (пенометалла) различными жидкими веществами.

В этом случае необходимо использовать методы получения пенометаллов с большим количеством сквозных пор. Методы определения пористости хорошо известны. Оптимальные размеры пор для каждого вещества зависят от его физико-химических свойств (вязкости, прилипаемости, температуры и т.д.), что определяется экспериментальными способами.

Список библиографических ссылок

1. Свойства пеноалюминия. 2016 URL: <http://nvcemt.ru/a83352-svoystva-penoaluminiuma.html> (дата обращения: 28.04.2017).
2. Fraunhofer IFAM. // 2010.URL: <http://www.ifam.fraunhofer.de/> (дата обращения: 29.04.2017).

3. Пеноматериалы (пенометаллы). 2013. URL: <http://ekokataliz.ru/penomaterials/> (дата обращения: 22.04.2017).
4. Бутарович Д. О., Смирнов А. А., Рябов Д. М. Пеноалюминий как энергопоглощающий материал и его механические свойства // Известия высших учебных заведений. 2011. № 7. С. 53–58.
5. Сарафанов М. А. Новая технология и оборудование для получения конструкционных материалов на основе пеноалюминия // Тяжелое машиностроение. 2011. № 2. С. 34–38.
6. Aluminiumfoamsandwich (пеноалюминиевая сэндвич – панель) // Wikipedia, the free encyclopedia. 2014. URL: http://en.wikipedia.org/wiki/Aluminium_foam_sandwich (дата обращения: 25.04.2017).
7. Иванов Д. О. Перспективные методы получения пеноалюминия // Metallurgia машиностроения. 2008. № 6. С. 35–38.
8. Вспененный алюминий // 2015. URL: <http://www.cosmus.ru/stat/Vspennyialuminiivposlednie.html> (дата обращения: 25.03 2017).
9. Canadian Manufacturing – Cymat // URL: <http://www.canadianmanufacturing.com/> (дата обращения: 28.05.2017).
10. Способ изготовления стальной опоры многогранного сечения : пат. 2556603 Рос. Федерация. № 2014121172/03 ; заявл. 26.05.14 ; опубл. 10.07.15, Бюл. № 19. 5 с.
11. Способ получения пенометалла : пат. 2046151 Рос. Федерация. № 5011037/02 ; заявл. 11.07.1990 ; опубл. 20.10.1995. 22 с.
12. Kovacik J., Simancik F. Comparison of zinc and aluminium foam behaviour // Kovove materialy. 2004. Vol. 42. № 2. P. 79–90.
13. Vanhart J. Manufacturing routes for metallic foams // J. of metals. 2000. Vol. 52. P. 22–27.
14. Крушенко Г. Г., Редькин В. Е., Ардамин В. А. Технологии получения и применение пенометаллов в технике // Проблемы разработки, изготовления и эксплуатации ракетно-космической и авиационной техники: материалы VI Всерос. научно-техн. конф / ОмГТУ. Омск, 2011. С. 116–118.
15. Цукров С. С. Пеноалюминий // Уральский рынок металлов. 2009. № 11. С. 30–35.

Lapin I.V. – post-graduate student, assistant

E-mail: 89003222142@mail.ru

Kuznetsov V.G. – candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: aschess@yandex.ru

Aminova G.A. – doctor of technical sciences, professor

E-mail: a_guzel@mail.ru

Kazan State Technological University

The organization address: 420015, Russia, Kazan, K. Marks st., 68

New modifications of metals in modern production

Abstract

Problem statement. The purpose of the study is to consider the introduction of highly promising new materials in the construction industries. Create effective porous materials that have unique characteristics that are useful not only for production, but also in many spheres of human activity.

Results. The main results of the study are the methods for the production of foam metals by various technologies, types of processing of products. The characteristics of porous structures for the further formation of open and closed pores are shown, as well as the production of closed-cell and open-celled aluminum.

Conclusions. The importance of use in the construction industry will greatly expand the scope of application of metal foams in the form of fireproof partitions and facing material in facade elements of buildings, light and fireproof elevator cabins, increase the rigidity of hollow profiles, strengthen anchors in concrete walls, manufacture heat-resistant damping materials and

much more. The main factor is the further improvement of technology and the reduction of the cost of the ferro-metals.

Of technical interest is impregnation of a porous material (foammatal) with various liquid substances.

Keywords: porous materials, metal foams, open and closed pores, pressing and sintering.

References

1. Properties of foam aluminum // 2016 URL: <http://nvcent.ru/a83352-svoystva-penoaluminiumiya.html> (reference date: 28.04.2017).
2. Fraunhofer IFAM. 2010. URL: <http://www.ifam.fraunhofer.de/> (reference date: 29.04.2017).
3. Foam materials (foams). 2013. URL: <http://ekokataliz.ru/penomaterials/> (reference date: 22.04.2017).
4. Butarovich D. O., Smirnov A. A., Ryabov D. M. Penoaluminium as an energy-absorbing material and its mechanical properties // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii*. 2011. № 7. P. 53–58.
5. Sarafanov M. A. New technology and equipment for the production of structural materials based on foam aluminum // *Heavy engineering*. 2011. № 2. P. 34–38.
6. Aluminiumfoamsandwich (foam-aluminum sandwich panel) // Wikipedia, the free encyclopedia. 2014. URL: http://en.wikipedia.org/wiki/Aluminium_foam_sandwich (reference date: 24.04.2017).
7. Ivanov D. O. Promising methods of obtaining foam aluminum, *Metallurgy of Mechanical Engineering*. 2008. № 6. P. 35–38.
8. Foamed aluminum // 2015. URL: <http://www.cosmus.ru/stat/Vspenennyialyminiiyposlednie.html> (reference date: 25.03.2017).
9. Canadian Manufacturing – Cymat. URL: <http://www.canadianmanufacturing.com/> (reference date: 28.05.2017).
10. Method for manufacturing a steel support of polyhedral cross-section: pat. 2556603 Russian Federation. № 2014121172/03 ; decl. 26.05.14 ; publ. 10.07.15, Bul. № 19. 5 p.
11. Method for producing a foam metal : pat. 2046151 Ros. Federation. № 5011037/02 ; Claimed. 11.07.1990 ; Publ. 20.10.1995. 22 c.
12. Kovacic J., Simancik F. Comparison of zinc and aluminum foam behavior // *Kovove materialy*. 2004. Vol. 42. № 2. P. 79–90.
13. Banhart J. Manufacturing routes for metallic foams // *J. of metals*. 2000. Vol. 52. P. 22–27.
14. Krushenko G. G., Redkin V. E., Ardamin V. A. Technologies of production and use of foam metals in engineering // *Problems of development, manufacture and operation of rocket-space and aviation equipment: materials VI All Russian scientific and technical conference / OmGTU. Omsk, 2011. P. 116–118.*
15. Tsukrow C. C. Foam Aluminum // *Ural'skiy rynek metallov*. 2009. № 11. P. 30–35.