

с поверхностью обрабатываемого изделия, в результате чего и происходило ее упрочнение.

Обрабатываемые матрицы и пуансоны устанавливались в тиски стола-манипулятора, который в процессе обработки совершает в автоматическом режиме возвратно-поступательные перемещения в горизонтальной плоскости с заданной скоростью. Перед упрочняющей обработкой поверхность деталей обезжиривали ацетоном, а в случае необходимости с нее предварительно удаляли окисную пленку.

В результате плазменного силицирования (в течение 40...50 с за 3...4 прохода) полированных рабочих поверхностей матриц и пуансонов, изготовленных из сталей У8 и У10 и применяющихся для штамповки стальных деталей, срок их службы увеличился в 2,5 раза, а из стали 7ХЗ – в 8 раз по сравнению с неупрочненными этим способом матрицами и пуансонами.

Библиографические ссылки

1. Крушенко Г. Г., Решетникова С. Н. Применение и перспективы развития нанотехнологий // Вестник СибГАУ. 2007. Вып. 3. С. 103–106.

2. Крушенко Г. Г., Пинкин В. Ф., Василенко З. А. Повышение износостойкости алюминиевых сплавов электроискровым легированием // Литейное производство. 1994. № 3. С. 13–14.

3. Крушенко Г. Г., Москвичев В. В., Буров А. В. Повышение износостойкости чеканочного инструмента плазменным силицированием. Технология машиностроения. 2004. № 5. С. 27–28.

References

1. Krushenko G. G., Reshetnikova S. N. Primenenie i perspektivy razvitiya nanotekhnologij. Vestnik SibGAU. 2007. Vyp. 3. S. 103–106.

2. Krushenko G. G., Pinkin V. F., Vasilenko Z. A. Povyshenie iznosostojkosti aljuminievych splavov jelektriskrovym legirovaniem. Litejnoe proizvodstvo. 1994. № 3. S. 13–14.

3. Krushenko G. G., Moskvichev V. V., Burov A. V. Povyshenie iznosostojkosti chekanochnogo instrumenta plazmennym silicirovaniem. Tehnologija mashinostrojeniya. 2004. № 5. S. 27–28.

© Крушенко Г. Г., 2013

УДК 539.374

«ПУСТОТЕЛЫЕ» КОНСТРУКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Г. Г. Крушенко

Институт вычислительного моделирования СО РАН
Россия, 660036, г. Красноярск, Академгородок, 50. E-mail: genry@icm.krasn.ru

Описаны современные технологии получения пенометаллов из металлических расплавов и их применение в технике.

Ключевые слова: пенометаллы, технологии изготовления, применение.

HOLLOW CONSTRUCTION MATERIALS

G. G. Krushenko

Institute of Computational Modeling SB RAS
50, Akademgorodok, Krasnoyarsk, 660036, Russia/ E-mail: genry@icm.krasn.ru

Some technologies of making the foam materials from the metallic liquids and their application in technique are described.

Keywords: metallic foams, technologies of making and application.

Аксиомой при работе с металлоизделиями, применяемыми в различных отраслях машиностроения, является отсутствие в них пустот, наличие которых ухудшает их физико-механические характеристики. Однако при этом в технике существуют и технологии изготовления металлических материалов, в которых, напротив, специально формируют пустоты/ячейки/поры. Одна из технологий производства пустотелых конструкционных материалов заключается во вспенивании жидкого металла с последующей его кристаллизацией. Такие материалы получили название «пенометал-

лы», ПМ (metallic foams), или «ячеистые металлы» (cellular metals), а также «пористые металлы» (porous metals).

В настоящее время ПМ получают с помощью двух основных технологий [1] – литьем и порошковой металлургией.

ПМ обладают благоприятным сочетанием физических и механических характеристик, таких как высокая жесткость в сочетании с очень низкой плотностью (низким удельным весом) и/или с высокой газопроницаемостью в сочетании с высокой теплопроводностью,

а также низкой гигроскопичностью (не более 3 %), что обуславливает морозостойкость и отсутствие трещин при перепаде температур. В сочетании с низкой плотностью и высокой жесткостью, способностью поглощать энергию удара и вибрацию, а также с высокой степенью звукопоглощения и, что очень важно, высокой технологичностью, допускающей возможность формировать из ПМ объемные конструкции, изделия из этого материала, применяют различных отраслях машиностроения: в автомобильной промышленности в виде конструктивных элементов (бамперы и др.), в аэрокосмической отрасли в виде титановых и алюминиевых «сэндвичей», а также некоторых деталей турбин, в судостроении для изготовления корпусов пассажирских судов, элеваторных и антенных платформ и др., в общественном городском транспорте; в строительной индустрии, в конструкциях металлорежущих станков.

Существует ряд технологий получения ПМ, например, путем прямого введения газа (воздух, азот, аргон) в жидкий металл [2]. По другой технологии ПМ получают введением в расплав порофоров (порофоры – вещества, образующие пузырьки, пену). Например, при получении ПМ из Zn и сплава (4,0 % Al; 1,0% Cu; ост. – Zn) в качестве порофоров использовали гидриды TiH_2 , MgH , ZrH_2 , а из сплава (Al-12,0% Si) – TiH_2 [3].

Разработаны технологии, которые позволяют получать готовые металлоизделия с ячеистой структурой. Например, [3] порошки цинка или сплава (4,0% Al; 1,0% Cu; ост. – Zn) смешивали с порошками TiH_2 или MgH , затем эту смесь в холодную прессовали в заготовки, которые далее горячим прессованием прессовали в прекурсор, помещали его в форму и нагревали ее выше температуры плавления металла. При этом выделяющийся из гидридов водород образовывал в жидком металле пену, которая заполняла полость формы.

Исходя из анализа имеющейся информации нами была проведена работа [4] по получению пеноалюминия с использованием в качестве порофора крошки саяногорского мрамора, содержащего вспенивающий компонент CaO порядка 52,0–55,2 %. На рис. 1 приведена фотография образца типичного пеноалюминия [4]. Плотность $\sim 0,83 \text{ г/см}^3$, пористость $\sim 70 \%$, размеры пор 0,5...10,0 мм.



Рис. 1. Образец (40×35×35 мм) из пеноалюминия марки А7

Некоторые примеры применения пенометаллов в аэрокосмическом машиностроении

На рис. 2 показан фрагмент передней кромки кры-

ла самолета [5], изготовленного из листового деформируемого алюминиевого сплава, до (а) и после (б) заполнения полости пеной сплава Al-10% Si (плотность $\rho = 0,90 \text{ г/см}^3$). В качестве порофора применяли TiH_2 . Толщина листа пустотелой кромки стандартной конструкции составляла 2,5 мм, а в результате заполнения пеносплавом ее уменьшили до 1,5 мм. Испытания на удар показали, что деформация пустотелой кромки составляет $9,8 \pm 0,4\%$, тогда как заполненной пеносплавом – $2,5 \pm 0,1\%$ (меньше ~ 4 раза).

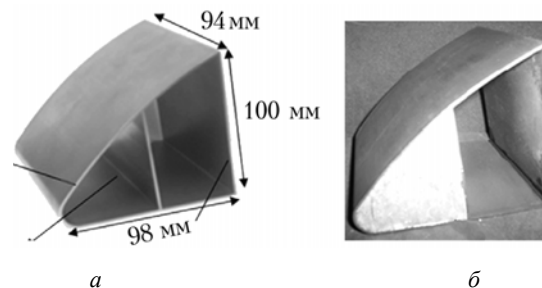


Рис. 2. Передняя кромка крыла самолета: до (а) и после (б) заполнения пеносплавом Al-10% Si [5]

В работе [6] описана технология изготовления одного из компонентов ракеты-носителя «Ариан 5» – Cone 3936 (Конус 3936) с применением сэндвичей, заполненных алюминиевой пеной. Технология изготовления сегментов состояла из следующих последовательных операций. Контейнер из листового металла заполняли требуемыми количествами порошка из сплава (6,0% Si; 10,0% Cu; Al – ост.), легирующих компонентов и порошка гидрида водорода TiH_2 с последующим уплотнением. Полученный прекурсор помещали между алюминиевыми листами толщиной 1,5 мм и подвергали его прокатке, затем нагревали до расплавления металлических компонентов и разложения TiH_2 с выделением водорода, который и образовывал пенно-пористую структуру, фиксирующуюся при последующем охлаждении. Толщина сэндвича составляла 25 мм. Для придания сэндвичу требуемой толщины и устранения деформации поверхности, вызванной образованием пены, его подвергают повторному прессованию. Полученные заготовки резали лазером до нужных размеров. Сегмент с требуемой криволинейной геометрией получали прессованием, конечные размеры – обработкой резанием. Сегменты собирали в конструкцию конуса (рис. 3) с помощью сварки плавлением, запатентованной ВИЛСом еще в 2001 г. [7].

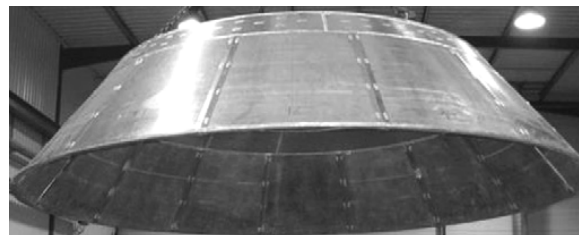


Рис. 3. Собранный конус Cone 3936 (Конус 3936). Диаметр верхней части составляет 2,6 м, нижней – 3,9 м, высота 0,8 м, масса 200–210 кг

Библиографические ссылки

1. Cambroner L. E. G. et al. Manufacturing of Al-Mg-Si alloy foam using calcium carbonate as foaming agent // *Journal of materials processing technology*. 2009. Vol. 209. Iss. 4. P. 1803–1809.
2. Asholt P. Metal foams and porous metal structures // Banhart J., Ashby M. F., Fleck N. A., editors. *Intern. Conf., Germany: MIT Press-Verlag*, 14–16. June 1999. P. 133.
3. Kovacik J., Simancik F. Comparison of zinc and aluminium foam behaviour // *Kovove materialy*. 2004. Vol. 42. № 2. P. 79–90.
4. Крушенко Г. Г. Применение пенометаллических материалов в технике // XXXVII Академические чтения по космонавтике : тезисы докладов. М. : РАН, 2013. С. 39–40.
5. Reglero J. A. et. al. Aluminium foams as a filler for leading edges: Improvements in the mechanical behavior under bird strike impact tests // *Materials and design*. 2011. Vol. 32. № 2. P. 907–910.
6. Schwingel D. et. al. Aluminium foam sandwich structures for space applications // *Acta Astronautica*. 2007. Vol. 61. Iss. 1–6. P. 326–330.

7. Патент РФ 2202454. Способ соединения заготовок из пеноалюминия / А. Г. Погибенко и др. Опубл. 20.04.2003.

References

1. Cambroner L. E. G. et al. *Journal of materials processing technology*. 2009. V. 209. Issue 4. P. 1803–1809.
2. Asholt P. *Intern. Conf., Germany: MIT Press-Verlag*, 14–16. June 1999. P. 133.
3. Kovacik J., Simancik F. *Kovove materialy*. 2004. V. 42. № 2. P. 79–90.
4. Krushenko G. G. *XXXVII Akademicheskie chteniya po kosmonavtike*. Moscow. RAN. 2013. S. 39–40.
5. Reglero J. A. et. al. *Materials and design*. 2011. V. 32. № 2. P. 907–910.
6. Schwingel D. et. al. *Acta Astronautica*. 2007. V. 61. Issue 1–6. P. 326–330.
7. Pogibenko A. G. *Patent RF 2202454*. Publ. 20.04.2003.

© Крушенко Г. Г., 2013

УДК 677.025

ВЫБОР МАТЕРИАЛА МИКРОПРОВОЛОКИ ДЛЯ ВЯЗАНИЯ ОТРАЖАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ТРАНСФОРМИРУЕМЫХ АНТЕНН

Л. А. Кудрявин, В. А. Заваруев, О. Ф. Беляев

Московский государственный университет дизайна и технологии
Россия, 117997, г. Москва, ул. Садовническая, д. 33, стр. 1

Доклад посвящен проблеме выбора материала микропроволок для вязания отражающей поверхности трансформируемых космических антенн. Показано, что по массовым и жесткостным характеристикам одними из наиболее подходящих для этих целей являются стальные микропроволоки.

Ключевые слова: трансформируемые космические антенны, сетеполотно.

CHOICE OF MATERIAL MICROWIRE FOR KNITTING REFLECTING SURFACE OF LARGE-SIZE TRANSFORMABLE ANTENNAS

L. A. Kudravin, V. A. Zavaruev, O. F. Beliaev

Moscow State University of design and technology
33, Sadovnicheskaya str., Moscow, 117997, Russia

The research is devoted to the problem of choice of microwire material for knitting reflecting surface of transformable space antennas. It is shown that steel microwire is the most suitable for these purposes according to the mass and stiffness characteristics.

Keywords: space antennas, steel microwire, characteristics.

Для создания отражающей поверхности (ОП) трансформируемых космических антенн широко используются сетеполотна, связанные по трикотажной технологии из микропроволок, покрытых золотом или никелем для уменьшения контактных сопротивлений между элементами структуры. К ОП предъявляются следующие основные требования: малая мас-

са, высокая эластичность (малая жесткость), высокий коэффициент отражения электромагнитных волн. Для получения ОП с малыми размерами ячеек, необходимыми для получения коэффициента отражения, мы используем одинарные 20 мкм стальные или молибденовые микропроволоки и двойные 15 мкм вольфрамовые микропроволоки (одинарные