

19. Kang B. Y. et al. Characteristics of alternate supply of shielding gases in aluminum GMA welding //Journal of Materials Processing Technology. – 2009. – Т. 209. – №. 10. – С. 4716-4721.
20. Gao M. et al. Effects of shielding gas in CO2 laser-MAG hybrid welding //Transactions-China Welding Institution. – 2007. – Т. 28. – №. 2. – p. 85.
21. P. Sathiya, S.Aravindan, R.Soundararajan, and A. NoorulHaq” Effect of shielding gases on mechanical and metallurgical properties of duplex stainless-steel welds” J Mater Science (2009) 44: pp114–121
22. Ahmet DurgutluExperimental investigation of the effect of hydrogen in argon as a shielding gas on TIG welding of austenitic stainless steel. Materials and Design 25 (2004) p. 19–23
23. Mohamad Ebrahimnia, MassoudGoodarzi, Meisam Nouri, Mohsen Sheikhi Study of the effect of shielding gas composition on the mechanical weld properties of steel ST 37-2 in gas metal arc welding. Materials and Design 30 (2009) pp. 3891–3895.
24. Патента на изобретение № RU 2233211 С1 Российская Федерация, 7 В 23 К 9/173//В 23 К 103:04. Способ сварки: заявл. 27.05.2003; опубл. 27.07.2004 / Чинахов Д.А., Федько В.Т., Сараев Ю.Н. – 5 с.
25. Chinakhov D.A., Grigorieva E.G., Mayorova E.I. Study of gasdynamic effect upon the weld geometry when consumable electrode welding. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 127 (2016) 012013. doi:10.1088/1757- 899X/127/1/012013

СЕЛЕКТИВНОЕ ЛАЗЕРНОЕ ПЛАВЛЕНИЕ СПЛАВА НА ОСНОВЕ КОБАЛЬТА

Н.А. Сапрыкина¹, к.т.н., доц., А.А. Сапрыкин^{1а}, к.т.н., доц., Ю.П. Шаркеев², д.т.н., проф.,
Е.А. Ибрагимов¹, к.т.н., ст. препод., М.А. Химич², к.т.н.

¹Юргинский технологический институт (филиал) Томского политехнического университета,
652055, Кемеровская область, г.Юрга, Ул. Ленинградская, 26, тел. (38451) 7-77-61

²Институт физики прочности и материаловедения
Сибирского отделения Российской академии наук,

634055, Томская область, г. Томск, Академический пр., 2/4,

^аE-mail: saprikina@tpu.ru

Аннотация: сплавы на основе кобальта применяют в качестве коррозионностойких, жаропрочных, износостойких сплавов, предназначенных для работы в агрессивных средах и при высоких температурах. В статье описано формирование порошковой композиции из порошков 66 мас. % Со, 28 мас. % Сг, 6 мас. % Мо, альтернативной сфероидизации, более дешевой и доступной для метода селективного лазерного плавления. Представлены результаты поисковых экспериментов по созданию сплава из композиции СоСгМо с пористостью менее 5 процентов.

Abstract: cobalt-based alloys are used as corrosion-resistant, heat-resistant, wear-resistant alloys designed to work in aggressive environments and at high temperatures. The article describes the formation of a powder composition from powders of 66 wt. % Со, 28 wt. % Сг, 6 wt. % Мо, an alternative spheroidization, cheaper and available for the selective laser melting method. The results of search experiments on creating an alloy from СоСгМо composition with a porosity of less than 5 percent are presented.

Ключевые слова: селективное лазерное плавление (СЛП); кобальтовый сплав; аддитивное производство; пористость.

Keywords: selective laser melting (SLM); cobalt alloy; additive manufacturing; porosity.

В современном машиностроении жаропрочные кобальтовые сплавы занимают определенную нишу благодаря своим уникальным свойствам. Прежде всего, кобальтовые сплавы применяют в качестве коррозионностойких, жаропрочных, износостойких сплавов, предназначенных для работы в агрессивных средах и при высоких температурах. Примерами таких деталей являются лопатки, сопла, завихрители, кольца и прочие элементы турбин и двигателей внутреннего сгорания. Традиционные методы формообразования не обеспечивают в полной мере эксплуатационные и технологические характеристики перечисленных изделий машиностроительной отрасли. Применение метода селективного лазерного плавления позволяет сократить время на изготовление и себестоимость сложнопрофильных деталей [1, 2]. Для этой технологии применяют порошковые композиции, которые должны отвечать определенным требованиям: сферическая форма частиц, гранулометрический, фазовый и элементный составы, текучесть, сыпучесть и т.п.

Целью представленного исследования является формирование композитного порошка, альтернативного сферическому, более дешевого и доступного для метода селективного лазерного плавления и проведение поисковых экспериментов для создания из него, плотного образца с пористостью менее 5 процентов.

В качестве исходных материалов применены порошки кобальта, хрома и молибдена. Порошок кобальта представлял собой конгломераты неправильной формы размером 10-150 мкм, состоящие из отдельных частиц, размер которых не превышал 20 мкм. Однофазный порошок хрома представлял собой смесь отдельных частиц размером до 50 мкм и конгломератов неправильной формы, размер которых варьировался в диапазоне 10-250 мкм, при этом доля крупных конгломератов не превышала 15%. Однофазный порошок молибдена состоял из конгломератов размером 10-150 мкм, которые, в свою очередь, содержали мелкие частицы размером не более 15 мкм. Доля крупных конгломератов в порошке не превышала 10 об. %. Для формирования порошковой композиции исходные порошки подвергались классификации на ситах с размерами ячеек 20-70 мкм. Механическое перемешивание осуществлялось вручную путем помещения исходных порошков в одной емкости в соотношении 66 мас. % Со, 28 мас. % Сг, Мо и перемешивания в течение 15 минут. Механическое легирование осуществлялось в стаканах высокоэнергетической планетарной шаровой мельницы АГО-2С в течение 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 40 и 60 минут в защитной атмосфере аргона или на воздухе.

Эксперимент по формированию объемных образцов из смеси порошков 66 мас. % Со, 28 мас. % Сг, Мо был реализован на установке селективного лазерного плавления ВАРИСКАФ-100МВС, позволяющей изменять все технологические параметры процесса. Процесс плавления порошковых материалов осуществлен в камере, заполненной инертным газом Аг после предварительного вакуумирования. Образцы сформированы на подложке из титана марки ВТ1-0, предварительно нагретой до температуры 190-200 °С. Анализ литературных данных позволил предварительно оценить диапазоны варьируемых параметров изготовления [3, 4]. Диапазоны скоростей сканирования - 50-90 мм/с и 350-400 мм/с; толщина слоя порошка - 25 мкм; шаг сканирования (межстрочное расстояние) - 100 мкм; мощность лазерного излучения - 100 Вт; режим лазера - импульсный. Схема сканирования построчная по областям, направление штриховки взаимоперпендикулярное от слоя к слою. Под воздействием лазерного излучения получены образцы квадратного сечения со стороной 10 мм, содержащие по 15 слоев. Установлено, что при относительно низких скоростях сканирования (50-90 мм/с) наблюдается значительное коробление образцов, на поверхности видны глубокие трещины, значительно превосходящие толщину слоя порошка. При увеличении скорости сканирования до скоростей 350-400 мм/с на поверхности сплавленного образца трещины отсутствовали. На оптическом изображении поверхности образца, полученного при высокой скорости сканирования, можно видеть границы ванн расплава, имеющих форму вырожденной окружности. Такая форма связана с применением импульсно-периодического режима СЛП, рис. 1.

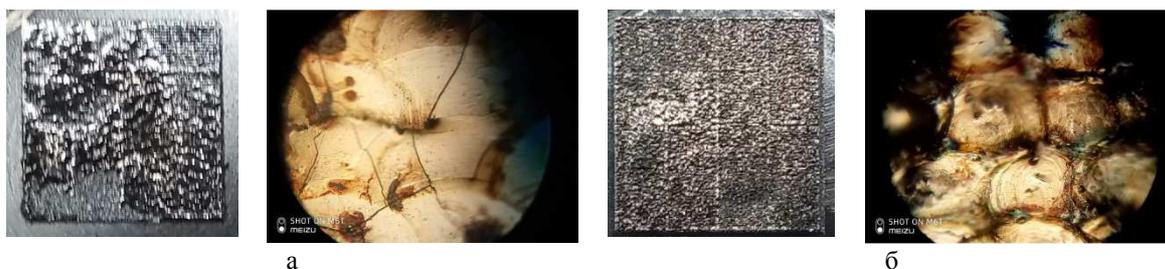


Рис. 1. Поверхность образцов при различных скоростях сканирования: скорость сканирования 80 мм/с, скорость сканирования 400 мм/с

Дальнейшие поисковые эксперименты проводились в диапазонах скоростей сканирования 300-450 мм/с. В результате из порошков Со, Сг и Мо смешанных вручную получена панель объемных образцов, которая позволяет анализировать характер изменения пористости в зависимости от скорости сканирования (рис. 2). Микросъемка производилась по трем разным областям каждого образца.

По оптическим изображениям, снятым со шлифов поверхностей полученных образцов, видно, что на данных режимах при скорости 350 мм/с достигается наименьшая объемная пористость, менее 5 процентов. Пористость рассчитана на основе данных, полученной из измерения металлографическим методом на оптических изображениях шлифов. С увеличением скорости сканирования объемная пористость уменьшается нелинейно.

Таким образом, используя метод селективного лазерного плавления, получены объемные образцы сплава 66 мас. % Со, 28 мас. % Сг, 6 мас. % Мо из порошков, сформированных разными спо-

собами подготовки, а именно, простым механическим перемешиванием; механическим легированием в планетарной шаровой мельнице АГО-2С. Проведены поисковые эксперименты. Определено, что пористость, менее 5 процентов получена у образцов, полученных на следующих технологических режимах: $P=100\text{Вт}$, $V=350\text{ мм/с}$, $s=0,1\text{ мм}$, $h=0,03\text{ мм}$.

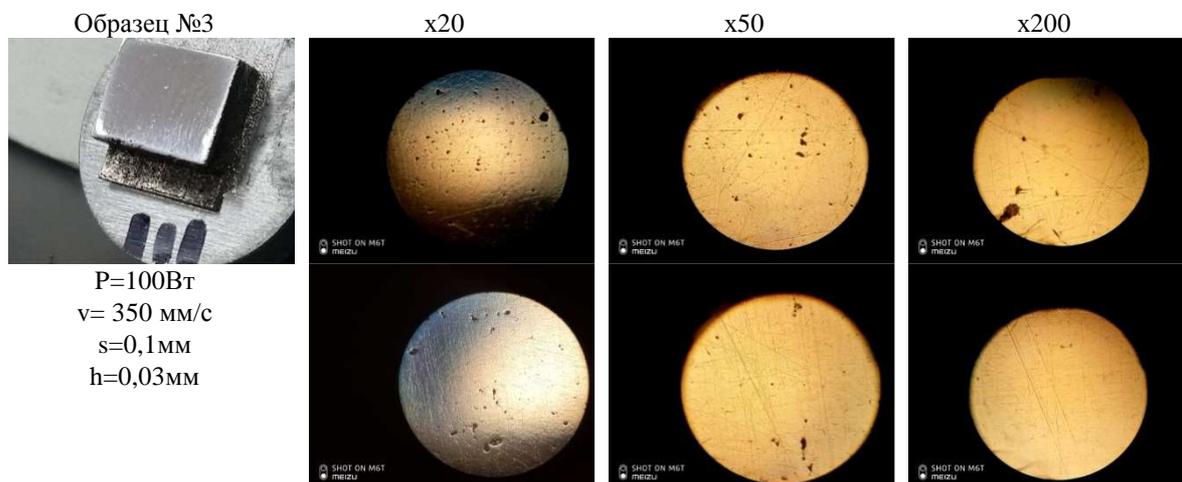


Рис. 2. Фотографии структуры образца

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Томской области в рамках научного проекта №19-48-700022 p_a.

Список используемых источников:

1. Barucca, G., Santecchia, E., Majni, G., Girardin, E., Bassoli, E., Denti, L., Gatto, A., Iuliano, L., Moskalewicz, T., Mengucci, P., 2015. Structural characterization of biomedical Co-Cr-Mo components produced by direct metal laser sintering. *Mater. Sci. Eng. C* 48, 263–269.
2. Zhou, X., Li, K., Zhang, D., Liu, X., Ma, J., Liu, W., Shen, Z., 2015. Textures formed in a CoCrMo alloy by selective laser melting. *J. Alloys Compd.* 631, 153–164. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2015.01.096>.
3. Takaichi, A., Suyalatu, Nakamoto, T., Joko, N., Nomura, N., Tsutsumi, Y., Migita, S., Doi, H., Kurosu, S., Chiba, A., Wakabayashi, N., Igarashi, Y., Hanawa, T., 2013. Microstructures and mechanical properties of Co-29Cr-6Mo alloy fabricated by selective laser melting process for dental applications. *J. Mech. Behav. Biomed. Mater.* 21, 67–76. <https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2013.01.021>.
4. Zhang, M., Yang, Y., Song, C., Bai, Y., Xiao, Z., 2018. An investigation into the aging behavior of CoCrMo alloys fabricated by selective laser melting. *J. Alloys Compd.* 750, 878–886. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2018.04.054>.

ТЕПЛОВИЗИОННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ БРЫЗГ (КАПЕЛЬ) РАСПЛАВЛЕННОГО МЕТАЛЛА ПРИ РДС

Д.П. Ильященко, к.т.н, доцент,

Ю Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского
Томского политехнического университета,
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, тел. 89236030500
E-mail: mita8@rambler.ru

Аннотация: В статье представлены результаты телевизионного исследования температуры брызг (капель) расплавленного металла при ручной дуговой сварке покрытыми электродами (РДС). Экспериментально определена поверхностная температура капли-брызги (капли диаметром $\geq 1,6\text{ мм}$) в момент соприкосновения с твердой поверхностью свариваемой детали, которая лежит в диапазоне от $1750\text{ }^\circ\text{C}$ до $500\text{ }^\circ\text{C}$ на различном удалении от оси шва от 10 до 60 мм соответственно, что вызывает не только сцепление капель-брызг расплавленного электродного металла, но и способствует небла-