

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: $P=100\text{Вт}$, $V=350\text{ мм/с}$, $s=0,1\text{ мм}$, $h=0,03\text{ мм}$.

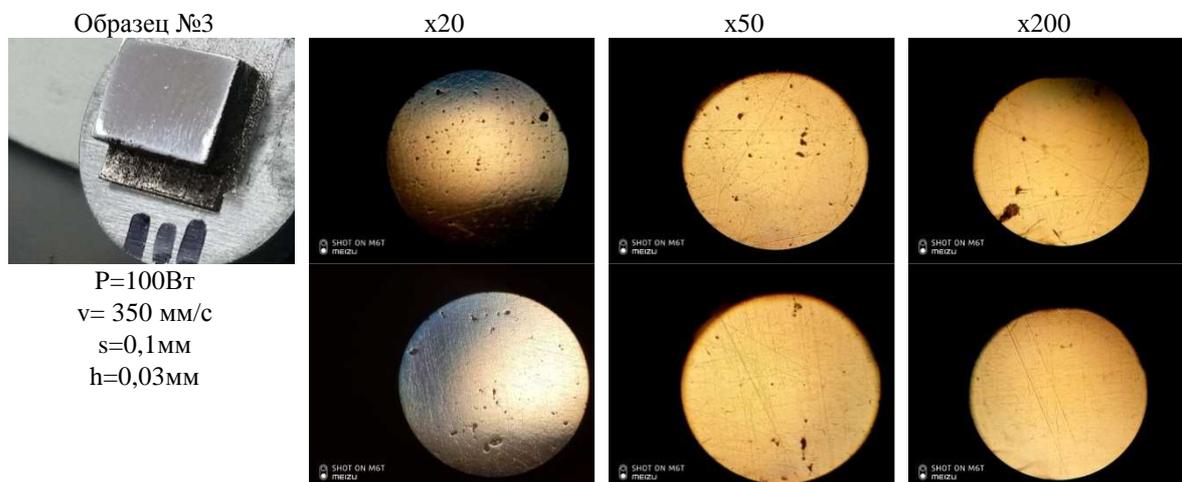


Рис. 2. Фотографии структуры образца

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 капль-брызг расплавленного электродного металла, но и способствует небла-

гоприятным изменениям структуро-фазового состава поверхностных слоев, под каплей, что необходимо избегать особенно при сварке сталей аустенитного класса.

Abstract: The article presents the results of a television study of the temperature of the splashes (drops) of molten metal during manual arc welding with coated electrodes (MMA). The surface temperature of the droplet-spray (droplets with a diameter of ≥ 1.6 mm) was experimentally determined at the moment of contact with the solid surface of the part to be welded, which lies in the range from 1750 °C to 500 °C at different distances from the weld axis from 10 to 60 mm, respectively, which causes not only adhesion of droplet-spray of molten electrode metal, but also contributes to adverse changes in the structure-phase composition of the surface layers, under the drop, which must be avoided especially when welding austenitic steel.

Ключевые слова: тепловизор, сварка, капля, разбрызгивание, температура.

Keyword: thermal imager, welding, drop, spray, temperature.

Температура капли в момент контакта и последующее её изменение по времени оказывают существенное влияние на характер взаимодействия капли расплавленного металла с поверхностью свариваемого изделия. В работах [1-4] приводятся экспериментальные данные по рассматриваемому вопросу применительно к механизированной сварке в углекислом газе. Обзор литературных источников [1-4], позволил установить, что данная проблема при ручной дуговой сварке покрытыми электродами рассмотрена не достаточно. Электродный металл при РДС переносится каплями различного размера, поверхность которых покрыта (частично или полностью) слоем расплавленного шлака, а при механизированной сварке в углекислом газе капля не имеет шлакового покрытия. Проблема изучения температуры капли в момент касания с поверхностью свариваемого изделия и скорость ее охлаждения при РДС, актуальная задача.

Экспериментально определить поверхностную температуру капель (брызг) в момент соприкосновения с поверхностью свариваемого изделия при РДС при наплавке валика (покрытые электроды LB 52U, 3 мм; пластины Ст3 100x150x6 мм толщиной 6 мм), можно с использованием тепловизора фирмы ThermoCAM P65HS. Тепловизионную съемку осуществляли на протяжении времени накладки валика, с частотой 5 кад/сек. Полученные файлы обработаны с помощью компьютерного приложения ThermoCAM Researcher (рис. 1-3).

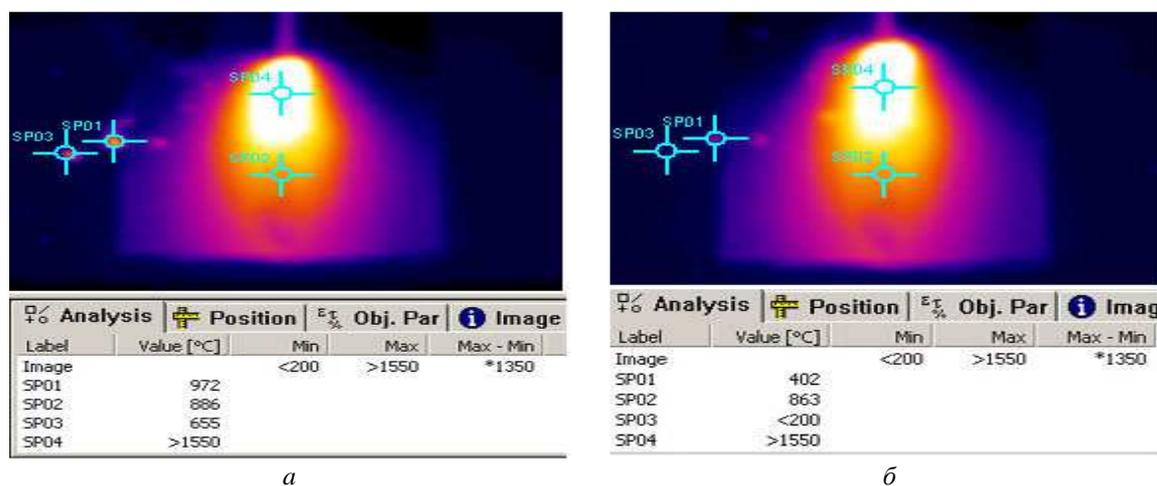


Рис. 1. Тепловизионные кадры ручной дуговой сварки покрытыми электродами при попадании каплей-брызг расплавленного металла на поверхность свариваемых изделий:
 а) в момент соприкосновения со свариваемой поверхностью,
 б) через 2 секунды после соприкосновения

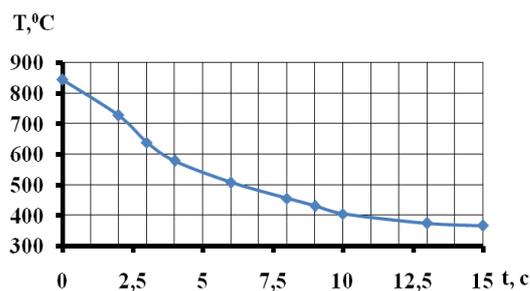


Рис. 2. График зависимости поверхностной температуры капли-брызги (диаметр 1,6 мм) на поверхности свариваемого изделия (на расстоянии 30 мм от оси шва) от времени нахождения (начальная температура изделия в момент касания капли 2730С, на 15 секунде $T_{изд} = T_{капли}$)

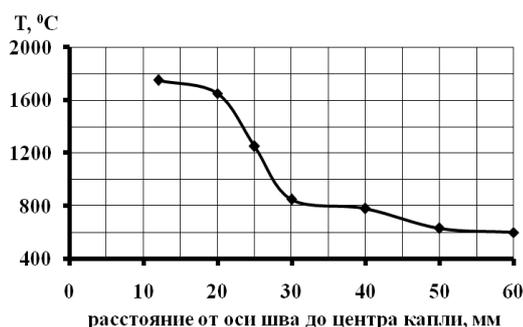


Рис. 3. График зависимости поверхностной температуры капли-брызги в момент соприкосновения с поверхностью свариваемого изделия на расстояния от оси шва (капли диаметром $\geq 1,6$ мм)

Экспериментально определена поверхностная температура капли-брызги (капли диаметром $\geq 1,6$ мм) в момент соприкосновения с твердой поверхностью свариваемой детали, которая лежит в пределах от 1750 °C до 500 °C на расстоянии от оси шва 10 – 60 мм соответственно, что вызывает не только сцепление брызг с поверхностью свариваемых изделий, но и способствует неблагоприятным изменениям структуро-фазового состава поверхностных слоев, под каплей, что необходимо избегать особенно при сварке сталей аустенитного класса.

Список используемых источников:

1. Fed'ko, V.T., Sapozhkov, S.B. (1999), Investigation of temperature fields in the contact zone of droplets (splashes) on molten metal with the surface of welded metal, *Welding Int.* 13(4): 310-313. doi: 10.1080/09507119909447386.
2. Il'yashchenko, D.P., Sapozhkov, S.B. Splashing in manual arc coated electrode welding and methods of reducing splashing (2008) *Welding International*, 22 (12), pp. 874-877.
3. Зернин Е.А., Томас К.И. Автоматизированный метод исследования процесса нанесения покрытий// *Инженерный вестник дона.* – 2015. - Т. 36. № 2-2. – С. 70.
4. Dmitry P. Ilyashchenko, Dmitry A. Chinakhov, Elena V. Verkhoturova, Elena V. Lavrova/ Stability of mma welding with protective coatings structural integrity and life// *Vol. 20, No 1 (2020)*, pp. 33–36.

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СВАРНОГО ШВА В ИЗДЕЛИЯХ ИЗ ТИТАНОВОГО СПЛАВА Ti-6Al-4V, ПОЛУЧЕННЫХ АДДИТИВНЫМИ МЕТОДАМИ

А. Яхин, аспирант,

Томский политехнический университет,
634050, г. Томск пр. Ленина 30, тел. (3822)-12-34-56,
E-mail: albertodebertto@mail.ru

Аннотация: В данной работе проводился сравнительный анализ микроструктуры и микротвердости сварных соединений, полученных методом электроннолучевой сварки (ЭЛС). В качестве образцов исследовались пластины, полученные прокаткой и аддитивным методом EBF³ (electron-beam freeform fabrication – электронно-лучевое изготовление свободной формы). Выявлено аналогичное формирование трех сварочных зон после ЭЛС в 3D-напечатанных образцах. Показано влияние исходной структуры на процесс формирования сварного соединения. Из результатов дюрOMETРИЧЕСКОГО анализа следует, что зона плавления (FZ) характеризуется повышенной микротвердостью относительно основного материала. Однако в случае образцов, полученных методом EBF³, характер повышения отличается, что связано с особенностями формирования сварного шва.

Abstract: Comparing analysis of the microstructure and microhardness has been investigated in electron-beam welded Ti-6Al-4V alloy parts obtained by rolling and additive manufacturing. Electron-beam