

Междугородние поездки опрошенные и женщины, и мужчины предпочитают совершать на собственных транспортных средствах или с помощью друзей и знакомых.

Таким образом, нам удалось выяснить: сервисам такси еще предстоит завоевать полное доверие среди пользователей их услуг. О своей безопасности по большей части заботятся девушки, они же и чаще пользуются услугами такси. Мужской половине не свойственно переживать за небольшие путешествия, они же «мужчины» и предпочтительнее справляются своими силами.

УДК 669

## **ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ, ФАЗОВОГО СОСТАВА И МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СПЛАВА 9CRMOV-N, ПОЛУЧЕННОГО МЕТОДОМ ХОЛОДНОГО ПЕРЕНОСА МЕТАЛЛА**

К. А. Осинцев<sup>1</sup>, В. В. Шляров<sup>2</sup>

Научный руководитель: С. В. Коновалов, д.т.н., профессор

Ключевые слова: аддитивные технологии, ферритно-мартенситная сталь, проволочно-дуговое аддитивное производство, 3D-печать

Процесс аддитивного производства, также известный как 3D-печать, привлекает в настоящее время многих исследователей и инженеров по всему миру. Это связано с изобретенным в 1986 году Чаком Халлом методом стереолитографии, который подтолкнул научное сообщество к развитию новых способов создания материалов [1]. В соответствии с ГОСТ Р 57558—2017 главной особенностью аддитивного производства является то, что оно «основано на создании физического объекта по электронной геометрической модели путем добавления материала, как правило, слой за слоем, в отличие от вычитающего (субтрактивного) производства (механической обработки) и традиционного формообразующего производства (литья, штамповки)». Преимуществами аддитивных технологий, по сравнению с традиционными, являются экономичность (сокращение затрачиваемых экономических и материальных ресурсов на изготовление оснастки, уменьшение потребляемого материала [2]), экологичность (уменьшение отходов, в связи с отсутствием необходимости в применении токсичных химических смазок или охладителей [3]), а также возможность оптимизации дизайна изделий и др.

---

<sup>1</sup> Кирилл Александрович Осинцев, студент группы 1239-220402D, email: kirilloss@yandex.ru

<sup>2</sup> Виталий Владиславович Шляров, студент ФГБОУ ВО «СибГИУ», email: shlyarov@mail.ru

## LXX Молодёжная научная конференция

Целью настоящей работы является изучение микроструктуры, фазового состава и механических свойств сплава 9CrMoV-N, полученного методом холодного переноса металла.

В качестве материала для проведения исследований была выбрана стальная жаропрочная проволока марки 9CrMoV-N, имеющая, в соответствии с технической документацией AWS A5.28, следующий состав: С 0,08-0,13 %, Мп 0,4-0,8 %, Si 0,15-0,5 %, S  $\leq$  0,01 %, P  $\leq$  0,01 %, Cr 8,5-9,5 %, Ni 0,4-0,8 %, Mo 0,85-1,1 %, Nb 0,03 %, V 0,15-0,25 %, Cu  $\leq$  0,1 %, Al  $\leq$  0,4 %, Fe - остальное. Высокое содержание хрома и наличие в составе тугоплавких переходных металлов, таких как W, Mo, V, Nb, Ta, обеспечивают повышенные антикоррозионные свойства и более низкую скорость ползучести, что позволяет использовать эту сталь в условиях воздействия высоких температур [4]. Изготовление образцов осуществлялось с помощью проволочно-дугового аддитивного производства по технологии холодного переноса металла с помощью сварочного оборудования Fronius CMT Advanced 4000R и 6-ти осевого робота FANUC Robot M-10iA с числовым программным управлением и многофункциональным устройством подачи проволоки для аргонодуговой сварки. Толщина наносимого слоя составляла 6 мм, скорость подачи проволоки была 6 м/минуту, сила тока – I = 195 А, напряжение – U = 15,5 V. В качестве защитного газа использовалась смесь, состоящая из 80% Ar и 20% CO<sub>2</sub>, которая расходовалась со скоростью 20 л/мин.

В качестве методов исследования были использованы металлографический и рентгенофазовый анализ, проведение испытаний на микротвердость и растяжение.

В результате проволочно-дугового аддитивного производства по технологии холодного переноса металла были получены образцы стали 9CrMoV-N, которые представляют собой параллелепипеды, состоящие из 30 слоев наплавочного металла с размерами 60×6×100 мм. Их микроструктура характеризуется ферритно-мартенситным строением. Анализ микрошлифов показал, что средняя площадь поперечного сечения зерна стали составляет  $1961 \pm 552 \text{ мкм}^2$  при вероятности ошибки 20 %, значении коэффициента Стьюдента  $\approx 1,3$  и относительной ошибке 28%. Зерна, расположенные на расстоянии до 50 мкм от условной границы между нанесенными слоями, отличаются меньшим размером. Это может быть связано с тем, что в процессе построения образца происходит передача тепла от расплавленного металла в объем уже сформированного предыдущего слоя. В результате этого происходит быстрая кристаллизация наносимого слоя с формированием мелкого зерна и рекристаллизация с укрупнением зерен на поверхности предварительно нанесенного слоя.

## LXX Молодёжная научная конференция

Результаты испытаний полученных образцов на микротвердость показали, что ее значения варьируются от 358 HV до 454 HV. Такой диапазон значений в  $\sim 100$  HV может быть обусловлен особенностями процесса проволочно-дугового аддитивного производства, при котором каждый слой проходит через различные тепловые циклы, что оказывает влияние на неоднородность свойств различных слоев. Среднее значение микротвердости составляет  $406 \pm 6$  HV, что превышает значение микротвердости исходной проволоки в 1,52 раза. Минимальные значения микротвердости наблюдаются на расстояниях 5 и 55 мм от подложки, максимальные значения - при 50 и 65 мм. Это связано с различными скоростями охлаждения в различных областях, которые, согласно кинетике кристаллизации и теории затвердевания, влияют на накопление меньшего количества тепла в верхних слоях, что способствует измельчению зерна.

Изучение диаграмм деформация при растяжении полученных образцов показало, что предел прочности на растяжение составляет 1200 МПа, предел упругости - 1000 МПа, а удлинение 19 %. Предел прочности и упругости превышают в 1,5 раза соответствующие значения исходной проволоки.

Рентгенофазовый анализ полученных образцов показал наличие основных фаз  $\text{Cr}_{23}\text{C}_6$ , NbN, VN, VC и  $\text{Cr}_7\text{C}_3$ . Фазовый состав образцов коррелирует с результатами работ [5].

Таким образом, в данной работе с помощью проволочно-дугового аддитивного производства была получена ферритно-мартенситная сталь 9CrMoV-N. Средняя площадь поперечного сечения зерна составляет  $1961 \pm 552$   $\mu\text{m}^2$ , среднее значение микротвердости -  $406 \pm 6$  HV, предел прочности на растяжение - 1200 МПа, предел упругости - 1000 МПа, а удлинение 19 %. Рентгенофазовый анализ полученных образцов показал наличие основных фаз  $\text{Cr}_{23}\text{C}_6$ , NbN, VN, VC и  $\text{Cr}_7\text{C}_3$ .

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Hull C.W. Apparatus for production of three-dimensional objects by stereolithography: pat. 4,575,330 USA. 1984. № 19. P. 16.
2. Ryan E.M. et al. The influence of build parameters and wire batch on porosity of wire and arc additive manufactured aluminium alloy 2319 // J. Mater. Process. Technol. Elsevier B.V., 2018. Vol. 262. P. 577–584.
3. Buchbinder D. et al. High power Selective Laser Melting (HP SLM) of aluminum parts // Phys. Procedia. 2011. Vol. 12, № PART 1. P. 271–278.
4. Faulkner R.G. et al. Influence of Co, Cu and W on microstructure of 9%Cr steel weld metals // Mater. Sci. Technol. 2003. Vol. 19, № 3. P. 347–354.
5. Gao C. et al. Location dependence of microstructure and mechanical properties on wire arc additively manufactured nuclear grade steel // Vacuum. Elsevier, 2019. Vol. 168, № July. P. 108818.