

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ SLM ПЕЧАТИ НА СТРУКТУРУ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТАЛИ 03X17H14M3

В.А. ОБЧАРЕНКО, И.Л. СТРЕЛКОВА
Томский политехнический университет
E-mail: yag14@tpu.ru

Аддитивное производство привлекательно для многих отраслей промышленности, с увеличением разновидностей материалов, используемых для печати интерес к данной сфере, растет год от года, открывая новые задачи для исследователей. Печать металлом имеет стратегическое значение в современном промышленном и технологическом контексте. Изделия и компоненты из нержавеющей стали, полученных методами аддитивного производства, нашли практическое применение в авиационной, судостроительной, нефтегазовой, медицинской и др. ключевых отраслях производства [1-2]. Так, применение аддитивного производства в авиационной отрасли, открывает возможность оптимизации конструктивных элементов, позволяя снизить их вес до 25 % [3] с сохранением требуемых прочностных характеристик. Изготовление запасных частей на удаленных буровых установках в нефтегазовой отрасли.

Анализ существующих областей применения деталей из нержавеющей стали показывает, что условия их работы отличаются широким диапазоном температур, воздействием различных коррозионных сред. Поэтому особое внимание уделяется оценке влияния режимов производства на структуру и свойства материалов, формируемых в процессе послойного сплавления. В данной работе будут рассмотрены структурно-фазовые состояния и механические свойства образцов коррозионностойкой стали марки 03X17H14M3 полученных технологией SLM на 3D-принтере TruPrint 1000. Нарращивание образцов проводилось вдоль направления лазерного излучения (вдоль оси Z). Химический состав образцов представлен в таблице 1. Дополнительные термическая и механическая обработка не проводились. Полученные в результате печати структуры стали рассматриваются в данной работе как исходные. Анализ полученных структур проводился с помощью металлографического микроскопа Axio Observer производства Karl Zeis с увеличениями до 1000 крат. Испытания на растяжение были проведены при температуре 20°C на универсальной машине Instron 5882 с автоматической регистрацией значений деформирующей нагрузки и удлинения образца в соответствии с ГОСТ 1497-84.

Таблица 1 – Химический состав образцов

Маркировка	Массовая доля элементов, %										
	C	SI	Mn	Cr	Mo	Ni	Al	Cu	Co	V	Fe
03X17H14M3	0,03	0,6	0,6	17,9	2,24	11,5	0,02	0,03	0,02	<0,01	остальное

Результаты исследований и их обсуждение

Микроструктура стали, сформировавшаяся в процессе печати при разных режимах представлена на рисунке 1. Результаты механических испытаний образцов приведены в таблице 2. Предел прочности образца (режим 1) имеет меньшее значение предела прочности $\sigma_b \sim 412$ МПа в результате не достаточной мощности лазера, что привело к возникновению высокой дефектности сформированной структуры в виде не сплавления порошка. Образцы, полученные по режимам 2 и 3, обладают относительно высоким пределом прочности $\sigma_b \sim (590-604)$ МПа, что можно объяснить сформированным структурным состоянием.

Таблица 2 – Результаты механических испытаний

№	Режим печати		Диаметр [мм]	Длина [мм]	Модуль Юнга [ГПа]	Предел текучести [МПа]	Предел прочности [МПа]	HV 0.1
	$V_{\text{скан}}$ мм/с	Мощность Вт						
1	900	60	4.10	42.00	66.9	353	412	283
2	900	120	4.10	42.00	101	528	604	299
3	700	120	4.10	42.00	102	534	593	389

Микроструктура образцов в плоскостях XZ и YZ одинаково имеет характерный чешуйчатый вид со столбчатым строением разного кристаллографического направления внутри. Дендритное строение структуры не наблюдается, что является следствием высокой скорости охлаждения стали, после лазерного воздействия. Также в структуре наблюдаются отдельные дефекты в виде не сплавления и пор. Больше всего их в образце, полученном по режиму 1, рисунок 1 (а, б), в остальных образцах их наличие не оказывает принципиального влияния на свойства.

Сформированная микроструктура существенно зависит от интенсивности термического воздействия и последующего охлаждения. Быстрое охлаждение стали из однофазной аустенитной области фиксирует структуру без выделения избыточных фаз. Однофазное закалочное состояние стали обеспечивает максимальную коррозионную стойкость стали, наилучшую пластичность, ковкость холодной деформацией. В образцах, полученных по режимам 2 и 3, рисунок 1 (в, г, д, е) сталь в результате медленного охлаждения, обусловленного высокой мощностью лазерного луча, при кристаллизации приобретает многофазную структуру аустенита и вторичных твердых фаз. Чем больше мощность луча лазера, тем ниже скорость охлаждения и длительней выдержка образцов при повышенных температурах. Что приводит к укрупнению избыточных фаз. Такая многофазная структура обладает повышенными механическими характеристиками, но низкой коррозионной стойкостью и меньшей пластичностью.

Выводы

Проведены исследования структуры и механических свойств коррозионностойкой стали 03X17N14M3, полученного с использованием технологии послойного лазерного плавления. Экспериментально определена зависимость структурно-фазовых состояний и механических свойств от режимов печати образцов. Мощность луча в 60 Вт является недостаточной, для получения бездефектного объема материала. При увеличении мощности до 120 Вт количество и размер объемных дефектов снижается до размеров, не оказывающих критического влияния на механические свойства образца. Однако выпадение вторичных фаз, отвечающих за прочностные свойства, могут оказывать отрицательное влияние на такие параметры, как коррозионная стойкость и пластичность, что требует проведения дальнейших экспериментальных исследований.

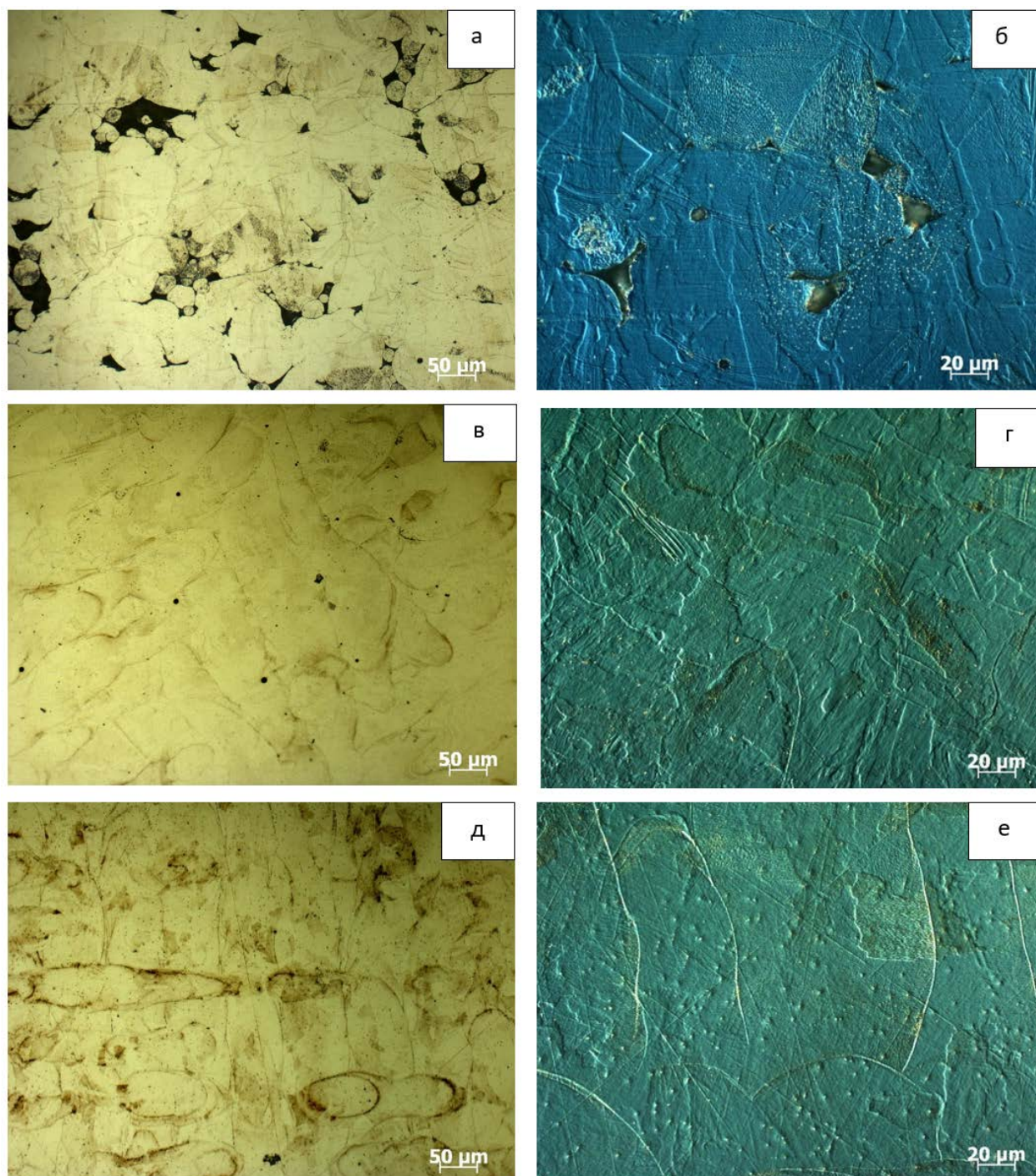


Рисунок 1 – Микроструктуры образцов в светлом поле и ДИК:
режим 1-а, б; режим 2 - в, г; режим 3 - д, е

Список литературы

1. Hassanin H., Elshaer A., Benhadj-Djilali R., Modica F., Fassi I. Surface finish improvement of additive manufactured metal parts // *Micro and Precision Manufacturing*. 2018. – P. 145–164.
2. Beiderbeck D., Deradjat D., Minshall T. The Impact of Additive Manufacturing Technologies on Industrial Spare Parts Strategies. 2018.– 57 p.
3. Herzog D., Seyda V., Wycisk E., Emmelmann C. Additive manufacturing of metals. *Acta Materialia*. 2016.– Vol.117.– P. 371–392.