

ВЛИЯНИЯ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НИКЕЛЕВОГО ЖАРОПРОЧНОГО СПЛАВА ХН55МЗБ5ТЮ-ПС НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА МАТЕРИАЛА

Ширяев Е.А., Жуков О.М., Редькин И.А.
ПАО «ОДК-Сатурн», г. Рыбинск, evgeny.shiryaev@uec-saturn.ru
Научный руководитель – Данилов Д.В. к.т.н.
ПАО «ОДК-Сатурн», г. Рыбинск

Ключевые слова: жаропрочные никелевые сплавы, термическая обработка, аддитивные технологии.

В последнее время в отечественной промышленности активно внедряются инновационные технологии изготовления изделий, что позволяет обеспечить создание продуктов на принципиально новом уровне и реализацию национальных проектов, а также увеличить доминирование на внутреннем рынке с последующим повышением экспортного потенциала промышленных предприятий страны. Активное внедрение новых технологий связано с необходимостью увеличить эффективность производственных мощностей предприятий промышленности за счет внедрения в производственный цикл передовых технологий производства изделий.

Важным направлением внедрения в производственный цикл технологии изготовления изделий является аддитивное производство, характеризующееся минимальным временным промежутком между производством и выходом на рынок произведенного продукта. Для успешного внедрения данной технологии требуются отечественные материалы, не уступающие по характеристикам зарубежным.

Одним из отечественных разработанных материалов для аддитивной технологии, является железохромоникелевый жаропрочный сплав марки ХН55МЗБ5ТЮ-ПС. Данный сплав является прямым аналогом UNS N07718 (Inconel 718) ASTM A1014/A1014M [1], это никелевый суперсплав, обладающий превосходными эксплуатационными свойствами от криогенных температур до 650 °С.

С целью достижения требуемых свойств готовой детали требуется подвергать заготовки термической обработке, как правило, термическая обработка выбирается из расчета условий эксплуатации материала в составе изделия, в данном докладе рассматривается режим ТО в соответствии с AMS 5664. Режим включает в себя проведение гомогенизации и двухступенчатого старения. Стоит отметить важность и возможность обеспечения свойств конечного продукта, процессом термической обработки синтезированного материала, формирующей оптимальную микроструктуру.

В рамках опытной работы было проведено исследование двух отечественных производителей материала UNS N07718, который полностью обеспечивают целевые свойства, установленные для данного материала, полученного при аддитивном производстве ASTM F3055 с химическим составом в соответствии с табл.1 [2].

Таблица 1 – Химический состав порошка марки IN718 и ASTM F3055-14a

Элемент, масс. %	Ni	Cr	Mo	Co	Al	Ta+Nb	Ti	C	Cu	Mn	Si	P	S	B	Fe
ASTM F3055-14a	50-55	17,0-21,0	2,8-3,3	0-1	0,2-0,8	4,75-5,50	0,65-1,15	0-0,8	0-0,3	0-0,35	0-0,35	0-0,015	0-0,015	0-0,006	ост.
Исследуемый материал 1	52,68	19,83	3,30	0,16	0,6	4,79	0,82	0,01	0,02	0,02	0,12	0,01	0,01	0,003	Ост.
Исследуемый материал 2	53,31	20,04	3,24	0,13	0,49	5,07	0,84	0,02	0,03	0,05	0,15	0,01	0,01	0,00	ост.

Сплав UNS N07718 представляет из себя гранецентрированную кубическую (ГЦК) γ -матрицу с дисперсно упрочняющими фазами. В зависимости от элементного состава, режимов термической обработки, сплав может иметь несколько фаз, приведенных в табл. 2, а именно γ' - $\text{Ni}_3(\text{Ti}, \text{Al})$ кубические частицы, γ'' - Ni_3Nb дисковидные частицы, δ – Ni_3Nb , фазы Лавеса и карбиды (МС-типа), каждая из фаз влияет на прочность, пластичность и стабильность сплава при высоких температурах [3, 4].

Таблица 2 – Фазы в сплаве UNS N07718

Фаза	Кристаллическая решетка	Химическая формула	Температура сольвус, °C
Твердый раствор (γ)	ГЦК	Ni	1227-1320 (солидус) 1260-1364 (ликвидус)
γ'	ГЦК	$\text{Ni}_3(\text{Al}, \text{Ti})$	850-970
γ''	ОЦТ	Ni_3Nb	910-940
δ -фаза	Орторомбическая	Ni_3Nb	990-1020
Фаза Лавеса	Гексагональная	$(\text{Ni}, \text{Cr}, \text{Fe})_2(\text{Nb}, \text{Ti})$	1010-1160
Карбиды	Кубическая	$(\text{Nb}, \text{Ti})\text{C}$	1260-1305

Микроструктура синтезированного материала UNS N07718 представлена на рис. 1, металлопорошковая композиция изготовлена на отечественных металлургических предприятиях, ТО проведена в соответствии с AMS 5664.

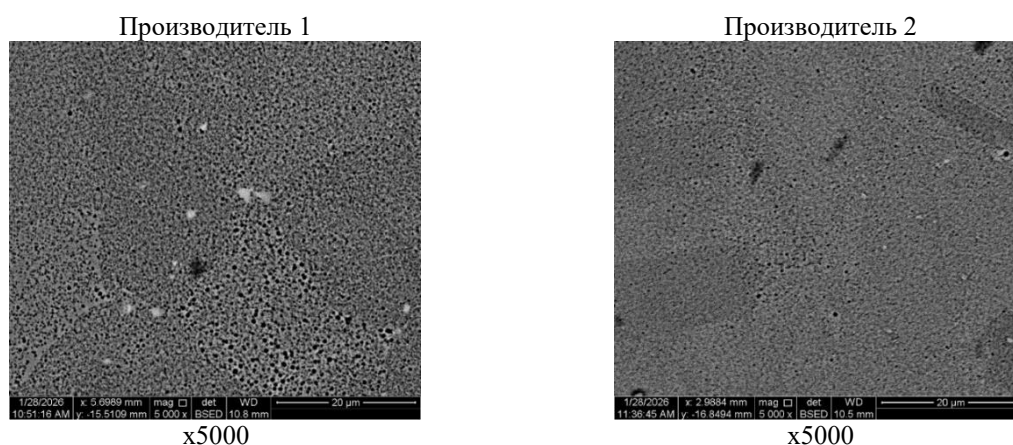


Рис. 1 – Микроструктура образцов после термической обработки в соответствии с AMS 5664

По результатам металлографического исследования установлено, что дефектов в структуре синтезированного материала не выявлено. На рис. 2 показаны микроструктуры образцов после испытаний на длительную прочность по режиму 750 °C / 280 МПа.

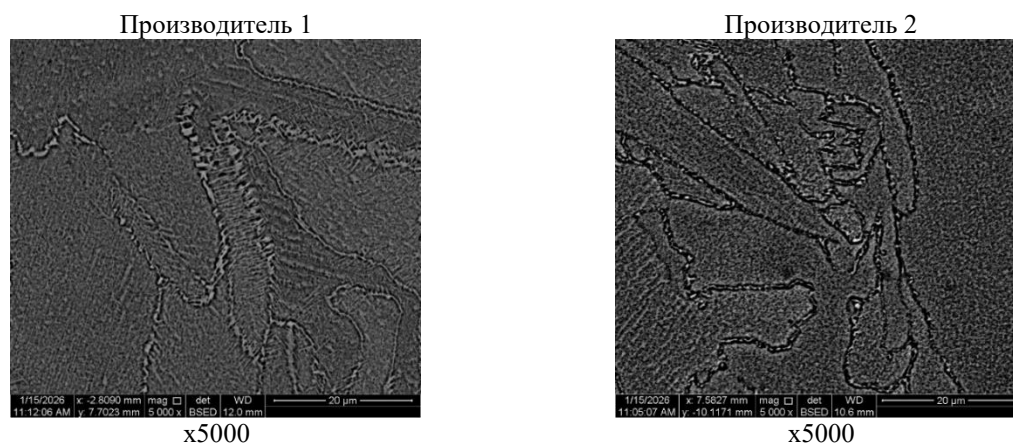


Рис. 2 – Структура после испытаний (750 °C / 280 МПа)

Как видно из рис. 2, в структуре образцов после испытаний по границам зерен присутствуют карбиды типа MC, а именно карбиды NbC, повышающие жаропрочность, но в излишнем количестве охрупчивающие сплав. Фазы Лавеса, находящиеся так же по границам зерен, снижают пластичность и длительную прочность. Результаты физико-механических испытаний на длительную прочность при 750°C и 280 МПа представлены в табл. 3.

Таблица 3 – Свойства длительной прочности, полученные от разных производителей МПК

Производитель	σ , МПа	T, °C	τ , ч
Производитель 1	280	750	77,55
			132,53
			136,58
Производитель 2	280	750	231,35
			259,12
			226,34

Из полученных результатов видно, что присутствует отличия в длительной прочности между производителями материалов МПК. Данный аспект требует отдельного изучения, так как 750 °C для данного материала является уже не рабочей температурой и в данной работе мы определяли диапазон длительной прочности для данной температуры. В дальнейшем будет проанализировано влияние на свойства предварительной высокотемпературной термообработки на физико-механические свойства, а также влияния микролегирующих элементов, находящихся в рамках ASTM F3055-14a.

Список литературы

1. ASTM A1014/A1014M – 16 Standard Specification for Precipitation Hardening Bolting (UNS N07718) for High Temperature Service.
2. ASTM F3055-14a Standard Specification for Additive Manufacturing Nickel Alloy (UNS N07718) with Powder Bed Fusion.
3. Recrystallization and grain growth kinetics of IN718 manufactured by laser powder bed fusion Merve Nur Do_gu, Kemal Davut, Muhannad Ahmed Obeidi Mustafa Alp Yalc.in, Hengfeng Gu, Thaddeus Song En Low, Jon Ginn, Dermot Brabazon.
4. Суперсплавы II: Жаропрочные материалы для аэрокосмических и промышленных энергоустановок/ Под ред. Симса Ч.Т., Столоффа Н.С., Хагеля У.К.: Кн.1. /Под ред. Шалина Р.Е. -: Металлургия 195.-384с..

Сведения об авторах

Ширяев Евгений Александрович – заместитель главного металлурга опытного завода по новым материалам, область научных интересов: аддитивные технологии, жаропрочные никелевые сплавы.

Жуков Олег Михайлович – инженер-технолог 3 категории, область научных интересов: аддитивные технологии, жаропрочные никелевые сплавы.

Редькин Иван Александрович – главный металлург опытного завода, кандидат технических наук, область научных интересов: аддитивные технологии, жаропрочные никелевые сплавы.

THE INFLUENCE OF HEAT TREATMENT OF NICKEL HEAT-RESISTANT ALLOY XH55M3B5TIU-PC ON THE STRUCTURE AND PROPERTIES OF THE MATERIAL

Shiryayev E.A., Zhukov O.M., Redkin I.A.
PJSC «UEC-Saturn», Rybinsk

This paper describes the structures of samples produced using additive manufacturing techniques from metal-powder composites from various manufacturers. The results of physical and mechanical tests for the long-term strength of the resulting samples are presented.