УДК 621.74
Клочихин В.В.[1], Касай П.А. [1], Наумик В.В. [2]
[1] АО «Мотор Сич», Запоріжжя
[2] д-р техн. наук, профессор НУ «Запорожская политехника», Запорожье

ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВА МАТЕРИАЛА АДДИТИВНЫХ ОБРАЗЦОВ ИЗ СПЛАВА IN718, ВЫРАЩЕННЫХ ИЗ ПОРОШКА ИЗГОТОВЛЕННОГО МЕТОДОМ ГАЗОВОГО РАСПЫЛЕНИЯ

Существенными недостатками широко распространённых для получения заготовок деталей методов литья являются ликвационные процессы. В результате последних развивается химическая неоднородность отливок и образуются различные усадочные дефекты, что приводит к снижению уровня физико-механических свойств изделий. Широко распространён целый комплекс технологических воздействий, таких как, ускорение охлаждения отливки, направленная кристаллизация, и т.д., позволяющих снизить негативный эффект от указанных процессов. Радикальным решением указанных проблем является применение аддитивных технологий (послойная наплавка, 3D-печать).

Построение таких деталей осуществляется в процессе перемещения лазерного или электронного луча в различных направлениях системы координат XYZ и послойного селективного сплавления порошка.

На базе АО «Мотор Сич» провели комплекс исследований образцов, изготовленных 3D-принтингом из сплава Inconel (IN718) на установке «EOS M400» из порошка производства фирмы «LPW» (Великобритания), изготовленного методом газового распыления.

Построение опытных образцов осуществляли в направлении XY, а также в направлении Z. Образцы изготавливали как цилиндрические (Ø14мм), так и прямоугольные с сечением квадрата (12 мм). Все образцы имели малорельефную окисленную поверхность.

Механические и жаропрочные свойства определяли на образцах до термообработки, после термообработки, а также после операции горячего изостатического прессования и термообработки.

Термическую обработку выполняли, в соответствии с требованиями технических условий на авиационно-космические материалы AMS 5662M в динамическом вакууме по режиму:

– отжиг на твердый раствор под воздействием температуры 954 °C (1750 °F) в течение 1 часа на 25мм (0,98 °F) толщины с охлаждением в потоке аргона;

– старение при температуре 718 °C (1325 °F) в течение 8 часов с медленным охлаждением в печи до температуры до 621 °C (1150 °F); выдержка под воздействием температуры до 621 °C (1150 °F) в течение

суммарного времени упрочнения 18 часов с последующим охлаждение в потоке аргона.

Операцию горячего изостатического прессования (ГИП) проводили по следующему режиму:

– начальное давление – 25 ± 5 МПа;

– нагрев со скоростью 8-10 °С/мин. до температуры 1040 ± 10 °С (выдержка 1 ч.), рабочее давление в СВД – 120 МПа;

– нагрев со скоростью 3-5 °С/мин. до температуры 1150 ± 10 °С (выдержка 3-4 ч.), рабочее давление в СВД – 160 МПа;

– скорость охлаждения до температуры 800 °С – 60-100 °С/мин, далее – не регламентировано.

Исследуемый никелевый сплав IN718 представляет собой порошок из жаропрочного коррозионностойкого никелевого сплава, предназначенный для обработки на установках для прямого лазерного спекания металлов.

Исследования проводили в сравнении с аналогичным Ni-Fe-Cr деформированным сплавом ЭП718-ВД (ИД) (ХН45МВТЮБР), предназначенным для изготовления высоконагруженных деталей горячей части газотурбинных двигателей, работающих при температурах до 700 °С [1].

Проведенными исследованиями установлено, что химический состав образцов, изготовленных из сплава Inconel (IN718) методом 3D-принтинга на установке «EOS M400» из порошка производства фирмы «LPW» (Великобритания), соответствует требованиям AMS 5662M для сплава IN718.

Установлено, что механические свойства при комнатной температуре (20 °С) образцов из сплава IN718 (как горизонтальных, так и вертикальных) соответствуют требованиям AMS 5662M.

Проведение термообработки способствует повышению и стабилизации механических свойств. При газостатировании с последующей термообработкой (ГИП + т/о) наблюдается повышение пластических характеристик материала и модуля Юнга.

Установлено, что для вертикальных образцов (выращенных в направлении Z) характерно некоторое снижение прочностных свойств ($\sigma_в$, σ_{02} – в пределах требований AMS 5662M) и повышение пластических (δ, Ψ, KCU) в сравнении со значениями горизонтальных образцов (выращенных в направлении XY).

Следует отметить, что механические свойства образцов из сплава IN718 (как вертикальных, так и горизонтальных), испытанных при 20°С, значительно превышают свойства сплава ЭП718-ВД (ИД).

Кратковременные испытания механических свойств при температурах 500 °С, 600 °С и 700 °С (как термообработанных образцов, так и образцов после ГИП и последующей термообработки) показали, что повышение температуры испытания приводит к снижению, в основном, значений

прочностных характеристик сплава IN718.

Механические свойства образцов из сплава IN718 (как вертикальных, так и горизонтальных), испытанных при 500 °С, 600 °С и 700 °С, превышают свойства сплава ЭП718-ВД(ИД) при указанных температурах

Жаропрочные свойства термообработанных образцов (выращенных как в направлении XY, так и в направлении Z) соответствуют требованиям AMS 5662M; время до разрушения ~4,5 раза превышает требования AMS 5662M. При этом следует отметить, что значения длительной прочности горизонтальных образцов (выращенных в направлении XY) в ~ 1,6 раза ниже, чем вертикальных (выращенных в направлении Z).

Макроструктура образцов, изготовленных методом 3D-принтинга, после ГИП и термообработки – плотная, однородная, характеризуется мелкозернистым строением с наличием макрозёрен, вытянутых в направлении роста образца.

Материал образцов до проведения операции горячего изостатического прессования (как в горизонтальных, так и в вертикальных) характеризуется наличием микропористости с размером пор до ~20 мкм, а также локальных несплошностей на границе раздела со сферическими частицами. Кроме того, в образцах имеются оксидные включения размером до ~12 мкм – в горизонтальных образцах и до ~35 мкм – в вертикальных.

Проведение операции горячего изостатического прессования (ГИП) с последующей термообработкой по указанным выше режимам способствует практически полному «залечиванию» пор и микронесплошностей, сосредоточенных во внутренних объёмах металла. При этом в зонах «залечивания» выявлены глобулярные и (или) плёночные окислы.

Микроструктура образцов, изготовленных методом 3D-принтинга, до проведения термообработки имеет дендритное строение, представляет собой Ni-Fe-Cr γ-твердый раствор с наличием карбидов и карбонитридов, характерна для сплава IN718. В микроструктуре исследуемых образцов (выращенных как в направлении XY, так и в направлении Z) наблюдается структурная неоднородность, обусловленная формированием зёрен, вытянутых в направлении роста образца, а также зон послойного сплавления.

Микроструктура материала поступивших на исследование образцов, изготовленных методом 3D-принтинга после проведения термообработки характерна для сплава IN718 в нормально термообработанном состоянии; перегрева нет. Термическая обработка способствует получению более однородной структуры за счет выравнивания химического состава между зонами послойного сплавления.

Микроструктура сплава IN718 после проведения операции горячего изостатического прессования (ГИП) с последующей термообработкой по указанным выше режимам более однородна за счет гомогенизации твердого

раствора.

Проведение кратковременных испытаний механических свойств при температурах 500°С, 600°С и 700°С показало, что с повышением температуры испытания происходит некоторое огрубление структуры вследствие коагуляции интерметаллидных фаз.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авиационные материалы [Текст]: справочник / под ред. Р.Е. Шалина. – 6-е изд., перераб. и доп. – М.: ОНТИ, 1989. – С.182–193.