

М. В. Рашковец**, *А. А. Ляпунова

Новосибирский государственный технический университет, г. Новосибирск

**lipa_04@mail.ru*

Научный руководитель – канд. техн. наук, доцент *А. А. Никулина*

ПОЛУЧЕНИЕ ЖАРОПРОЧНЫХ НИКЕЛЕВЫХ СПЛАВОВ МЕТОДОМ ГЕТЕРОФАЗНОЙ ЛАЗЕРНОЙ ПОРОШКОВОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

Разработка отечественных установок комплексных технологий аддитивного производства является актуальным направлением развития промышленности. Наиболее перспективным методом является аддитивная технология гетерофазной лазерной порошковой металлургии [1]. Различные режимы обработки при послойном (аддитивном) производстве за счет повторного термического влияния на материал оказывают различное воздействие на структуру получаемых изделий.

Ключевые слова: структура, никелевые сплавы, аддитивные технологии, гетерофазная лазерная порошковая металлургия.

M. V. Rashkovets, A. A. Lyapunova

PRODUCTION OF HEAT-RESISTANT NICKEL-BASED ALLOYS BY THE METHOD OF HETEROPHASE LASER POWDER METALLURGY

The development of domestic devices of additive manufacturing is an actual trend in the development of industry. The most promising method is the additive technology of heterophase laser powder metallurgy [1]. Different operating parameters of additive manufacturing have a different effects on the structure of material due to layer-by-layer manner of obtains a products.

Keywords: structure, Ni-based alloys, additive manufacturing, heterophase laser powder metallurgy.

Структура является одним из основных критериев, отвечающих за механические свойства деталей ответственных деталей, создание которых целесообразно с использованием аддитивных технологий. Например, размер зерен оказывает влияние на скорость ползучести, механизм которой при высоких рабочих температурах обусловлен диффузией, которая в свою очередь снижается при увеличении размера зерна [2–3].

В работе рассмотрен жаропрочный сплав на основе никеля [4]. При формировании образцов варьировалась мощность лазерного излучения экспериментальной установки [5], изменение которых оказывало линейную зависимость на толщину выращиваемой стенки образца, при постоянных остальных рабочих параметрах [4]. Детальное изучение

структуры образцов показало строгий перпендикулярный рост зерен, содержащих оси первого порядка, относительно направления Y для первых слоев с наиболее активным отводом тепла в рабочую подложку (рис. 1, *a*). Разориентация роста зерен вдоль оси Y наблюдается в слоях, сформированных на ранее выращенных слоях в средней и верхней части образцов с пониженной скоростью охлаждения (рис. 1, *б*). Кроме того, вследствие более низкого температурного влияния дендриты среднего слоя имеют оси второго порядка, в отличие от слоев с повышенной теплопроводностью. Например, размер осей второго порядка со средним размером 12 мкм характерно для мощности 500 Вт и 18 мкм для 1000 Вт (рис. 2, *a*, *б*).

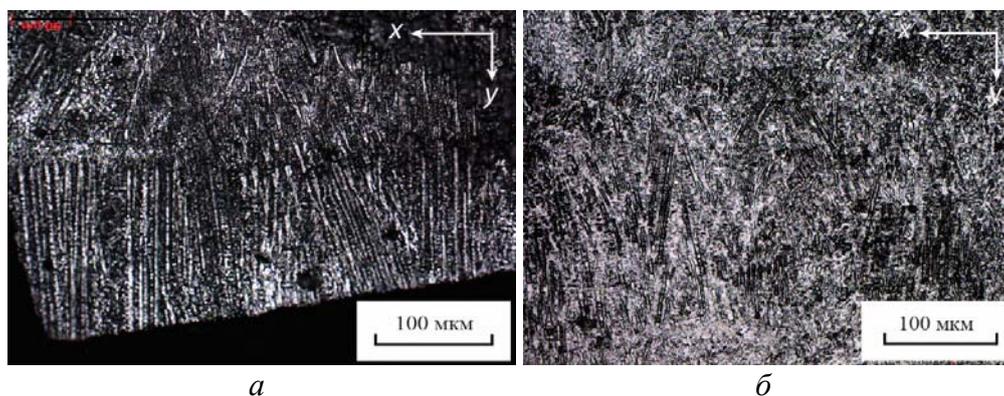


Рис. 1. Микроструктура продольного сечения образца: *a* – первые слои выращивания относительно подложки; *б* – средние слои выращивания относительно подложки

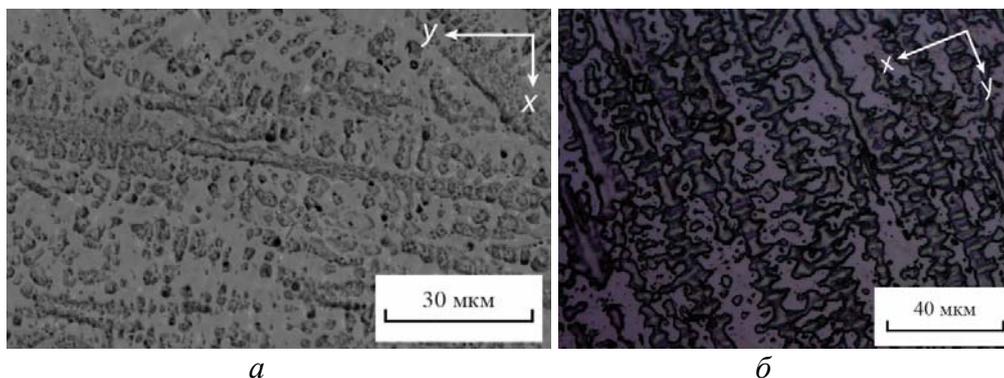


Рис. 2. Микроструктура продольного сечения образца: *a* – первые слои выращивания относительно подложки; *б* – средние слои выращивания относительно подложки

Согласно исследованиям, опубликованным в статье [6] расстояние между осями второго порядка дендритов увеличивается с уменьшением скорости сканирования. Так как в данном исследовании изменению подвергается мощность лазера при постоянных остальных параметрах, можно также предположить, что наличие осей второго порядка зависит не только от температурного влияния, но и от мощности лазерного излучения, рост которой приводит к увеличению расстояния между осями второго порядка. Таким образом, применяя режим с более высокой мощностью, в

зонах деталей с низким температурным влиянием будут формироваться крупные зерна со значительными размерами осей второго порядка. Меньшее расстояние между осями второго порядка при низкой мощности является положительным аспектом, так как мелкозернистая структура улучшает механические свойства в соответствии с теорией Холла–Петча (упрочнение структурными барьерами) [2].

Размер дендритов при малых мощностях в большей степени ограничивается пределами одного слоя, что подтверждается снимком со светового микроскопа на рис. 3 *а*, при увеличении мощности столбчатые зерна распространяются в пределах нескольких последовательных слоев (рис. 3, *б*). «Сквозной» рост столбчатого зерна обусловлен эпитаксиальным ростом первичного дендрита из частично переплавленных зерен ранее осажденного слоя, которые действуют как зародыши для направленного роста кристаллов.

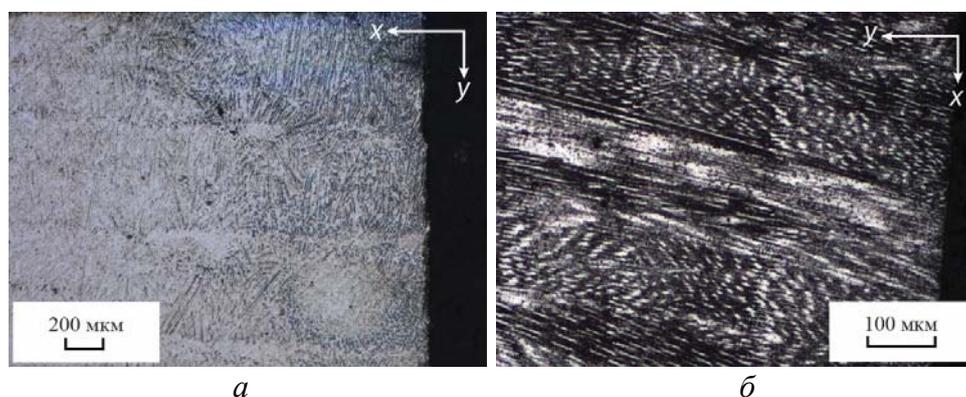


Рис. 3. Микроструктура продольного сечения образца: *а* – мощность лазерного излучения в 500 Вт; *б* – мощность лазерного излучения в 1500 Вт

В образцах, полученных при мощности 250 Вт, были выявлены неп полностью расплавившиеся частицы исходного материала с окаймляющими их порами (рис. 4, *а*), что может неблагоприятно влиять на механические свойства изделий.

При увеличении мощности до 500 Вт (рис. 4, *б*) наблюдается рост зерен с ориентацией, возникшей вследствие кристаллизации от частиц исходного порошка. Такая кристаллизация сплава по теоретическим расчетам СПбПУ характеризует изделия с высокими механическими свойствами [7].

Таким образом, наиболее благоприятными режимами мощности лазерного излучения при обработке никелевого сплава методом гетерофазной лазерной порошковой металлургии для получения изделий свободных от трещин и пор при постоянных остальных параметрах [4] являются 500, 750, 1000, 1200 Вт.

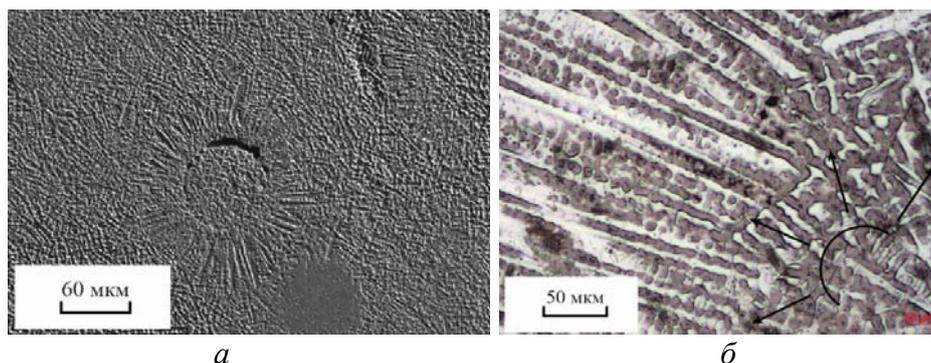


Рис. 4. Микроструктура продольного сечения образцов: *а* – неп полностью расплавленное частицы порошка с порами, мощность 250 Вт; *б* – кристаллизация сплава от центров частиц порошка, мощность 500 Вт

Исследования выполнены в ЦКП ССМ НГТУ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Technology of High-speed Direct Laser Deposition from Ni-based Superalloys / O. Klimova-Korsmik [et al.] // Physics Procedia. 2016. Vol. 83. P. 716–722.
2. Тушинский Л. И. Структурная теория конструктивной прочности материалов: Монография / Л. И. Тушинский. Новосибирск : Изд-во НГТУ. 2004. 400 с. («Монографии НГТУ»).
3. Гуляев А. П. Металловедение / А. П. Гуляев. Москва : Metallurgy, 1986. 544 с.
4. Рашковец М. В. Особенности структуры и фазового состава материала, полученного высокоскоростным прямым лазерным выращиванием никелевого сплава / М. В. Рашковец, О. Э. Матц // сб. материалов XVII Международной научно-технической Уральской школы-семинара металлургов – молодых ученых, Екатеринбург, 5–9 декабря 2016 г., в 2 ч., т. 1. С. 334–337.
5. Babkin K. High-speed direct laser deposition: technology, equipment and materials / K. Babkin, E. Zemlyakov, V. Somov // All-Russian scientific-practical conference of young scientists, post-graduate students and students «Material handling: current problems and solutions». Yurga : Yurga Technological Institute (branch) ; Tomsk Polytechnic University, 2015. P. 56–61.
6. Nie P. Numerical modeling of microstructure evolution during laser additive manufacturing of a nickel-based superalloy / P. Nie, O. A. Ojo, Zh. Li // Acta Materialia. 2014. Vol. 77. P. 85–95.
7. Turichin G. Technological foundations of high-speed direct laser deposition of products by the method of heterophase powder metallurgy / G. Turichin // Fotonika, 2015. № 4. P. 68–83.