

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ РАЗРУШЕНИЯ МАТЕРИАЛА, ПОЛУЧЕННОГО МЕТОДОМ СЕЛЕКТИВНОГО ЛАЗЕРНОГО СПЛАВЛЕНИЯ

Жуков А.С., Барахтин Б.К., Васильева О.В.

НИЦ «Курчатовский институт» – «ЦНИИ КМ «Прометей»,
Санкт-Петербург, РФ, mail@crism.ru

Одной из перспективных технологий получения изделий сложной формы для работы в поглотителях механической энергии является селективное лазерное сплавление (СЛС) порошков. В пробных опытах с изготовлением сотовых конструкций [1] было замечено, что с увеличением толщины связывающих пластин обнаруживается рост эффекта демпфирования вследствие проявления ауксетического свойства [2] материала (рис. 1). Цель работы – установление возможных причин проявления ауксетического свойства металла, полученного методом селективного лазерного сплавления, по данным фрактографического исследования клипсы с наклонными связующими пластинами, работающими в условиях сжатия.

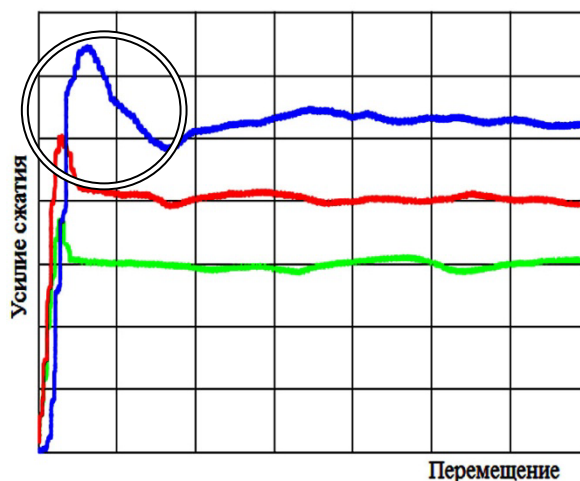


Рисунок 1- Серия диаграмм $P(\Delta)$, полученных при испытании сот. Рост ауксетического экстремума пропорционален толщине связывающих пластин.

В качестве исходного сырья выбран порошок аустенитной нержавеющей стали 03X16H15M3 производства АО «Полема» (г. Тула). Для испытаний спроектирована клипса с двумя связующими пластинами. На установке EOSINT M270 при мощности лазера 200 Вт и скорости сканирования 800 мм/с изготовлена серия клипс (рис. 2а) для испытаний сжатием. Относительно вертикальной оси симметрии клипсы наклон пластин изменялся от 40 до 60°.

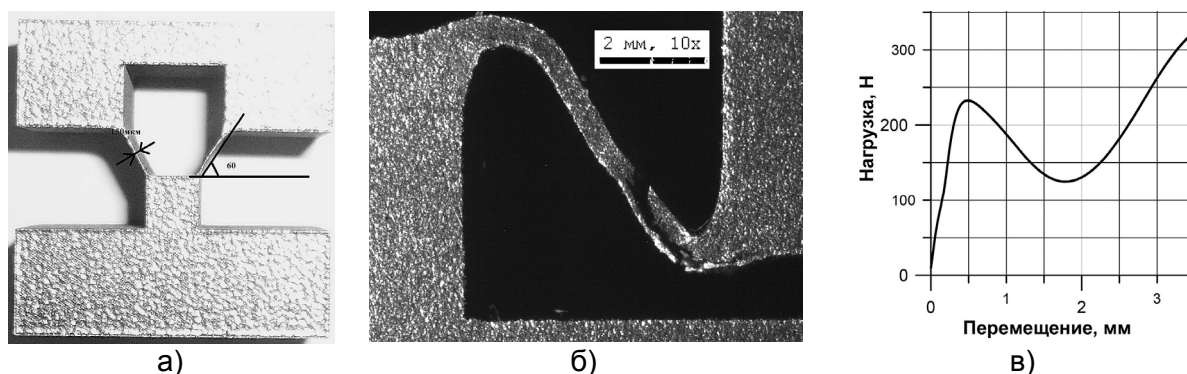


Рисунок 2- а) Клипса, изготовленная из порошка 03X16H15M3 методом СЛС; б) Фрагмент деформированной связующей пластины; в) Диаграмма сжатия $P(\Delta)$.

Механические испытания показали, что сжатие клипс приводит к S-образной форме связующих пластин (рис. 2б). На диаграммах $P(\Delta)$ зарегистрированы участки, указывающие на стадии упругости, разгрузки и пластической деформации. За точкой экстремума нагрузки обнаружен ниспадающий участок (рис. 2в), косвенно указывающий на проявление ауксетического свойства. Отмеченная особенность

позволяет предположить, что в материале, полученном СЛС, могут образовываться микрообласти с разными упругими параметрами и пластической податливостью.

Ранее установлено [3, 4], что металл после СЛС прочнее монолитного с аналогичным химическим составом. Предполагается, что особенности в атомно кристаллическом строении металла после СЛС являются определяющими факторами в упругих и пластических свойствах создаваемых демпфирующих устройств.

Фрактографическим исследованием механически испытанных клипс установлено, что до катастрофических деформаций связующих пластин с образованием противоположно изогнутых линзообразных расслоений, в основаниях пластин происходили локальные развороты. На это косвенно указывали россыпи шарообразных частиц размерами от десятых долей до единиц микрометров, наблюдавшиеся на участках величиной до 30 мкм с оглаженной поверхностью (рис. 3).

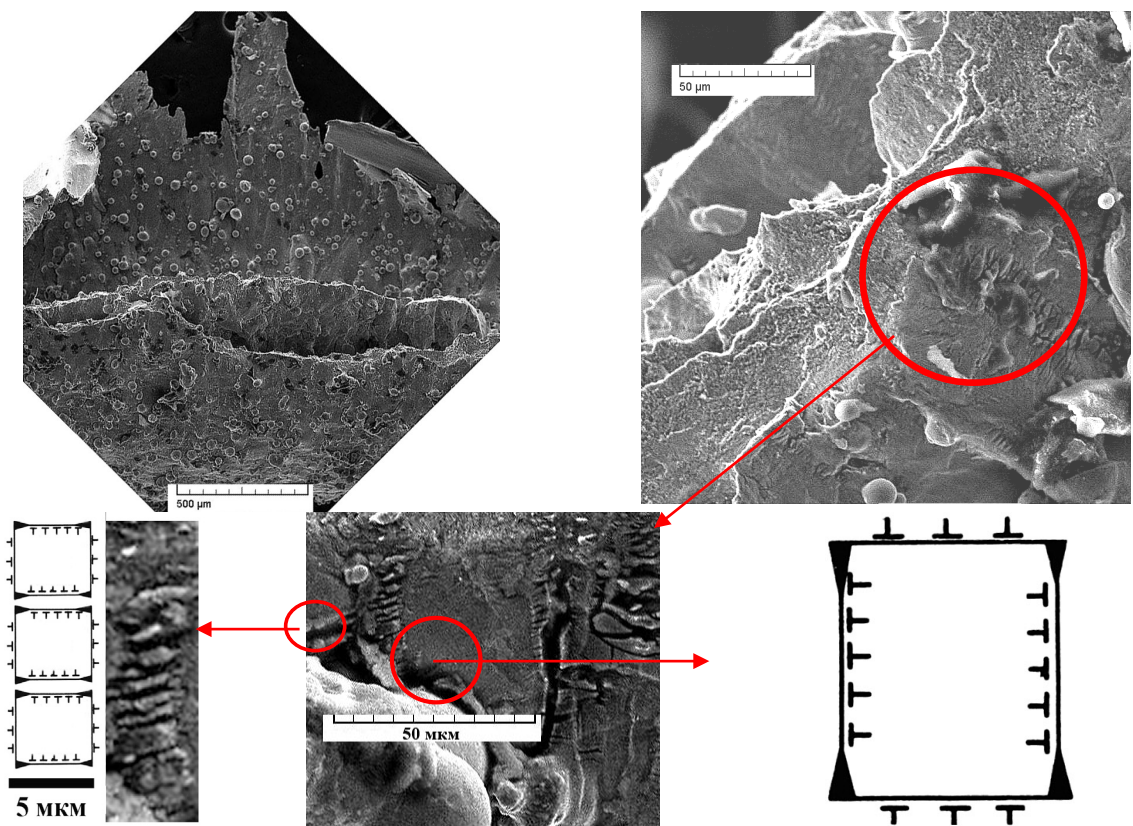


Рисунок 3 - Морфология микрорельефа на участках излома связующих пластин, разрушенных при испытаниях клипс сжатием. Верхний ряд: линзообразные раскрытия и площадки локализованного сдвига (слева) и участки разной морфологии (справа). Нижний ряд: выделенные особенности со схемами их образования как результат коллективного взаимодействия дефектов кристаллического строения (дислокаций «Т» и микротрещин расслоения).

Мелкодисперсные частицы являются фактором упрочнения, а их структура разной степени кристаллизации может оказывать влияние на упругие модули материала, полученного методом СЛС. Между участками зафиксированы протяженные и узкие полосы (~50x5 мкм) с чередующимися поперечными микротрещинами внутри. Выявленные особенности свидетельствуют о различных упругих и пластических свойствах в микрообъемах металла после СЛС. Например, в объемах полосового вида с более прочной структурой доминирует вклад межатомного взаимодействия. В менее прочных объемах реализуется микропластическая аккомодационная деформация с образованием расслоений. Можно предположить, что акты аккомодации микрообъемов

с разными упругопластическими свойствами являются причиной проявления ауксетического свойства.

По результатам проведенной работы можно заключить следующее:

1. В материале, полученном методом СЛС, могут образовываться микрообъемы с разными упругими и пластическими свойствами.
2. Строение металла после СЛС следует рассматривать как неоднородную податливую структуру измельченных зерен, разделенных слоями с дисперсоидами кристаллизации разной степени завершенности.
3. В изделиях с конструктивными усилениями для демпфирования (рассеяния механической энергии) в условиях сжатия применение материалов, полученных методом СЛС, возможно.
4. За счет неоднородного строения с аккомодирующими межзеренными слоями в металлических материалах, полученных СЛС, вероятно проявление эффекта ауксетизма.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда по направлению «Проведение фундаментальных и поисковых исследований по приоритетным тематическим направлениям исследований» (проект № 15-19-00210). Экспериментальные исследования выполнены на оборудовании Центра коллективного пользования «Состав, структура и свойства конструкционных и функциональных материалов» НИЦ «Курчатовский институт» – ЦНИИ КМ «Прометей» при финансовой поддержке государства в лице Минобрнауки (уникальный идентификатор субсидии RFMEF159517X0004).

Литература

1. Vitaliy Bobyr, Artem Deev, Anton Zhukov, Pavel Kuznetsov. Manufacturing of thin-walled parts for machinery by selective laser melting // MATEC Web of Conferences, 2017.- №129 (01053).
2. Sicong Shan, Sung H. Kang, Jordan R. Raney et al. Multistable Architected Materials for Trapping Elastic Strain Energy // Advanced Materials, 2015.- №29, v.27.- P.4296-4301.
3. Кузнецов П.А., Зисман А.А., Петров С.Н., Гончаров И.С. Структура и механические свойства аустенитной стали 316L, полученной методом селективного лазерного сплавления // Деформация и разрушение материалов, 2016.-№4.- С.9-13
4. Барахтин Б.К., Вознюк А.В., Деев А.А., Жуков А.С. Структурно-механическое состояние аддитивного материала в условиях горячей пластической деформации // Деформация и разрушение материалов, 2017.- №2.- С.8-14.