

МАГНИТНО-СТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ 3D СТАЛИ 09Г2С

© 2021 г. Александр Петрович Ничипурук*, А.Н. Сташков**, Е.А. Шапова***,
Н.В. Казанцева****

*Институт физики металлов имени М.Н. Михеева УрО РАН, 620108, Екатеринбург, ул.
С. Ковалевской, 18*

* - *nichip@imp.uran.ru*, ** - *stashkov@imp.uran.ru*, *** - *schapova@imp.uran.ru*, **** -
kazantseva@imp.uran.ru

Селективное лазерное сплавление (СЛС) является одной из технологий 3D печати металлами [1]. Технология СЛС используется для получения деталей сложной формы без дальнейшей механической обработки. Исходным сырьем в СЛС является металлический порошок. Большое количество работ посвящено исследованию структуры и механических свойств 3D изделий. Основной проблемой технологии СЛС является то, что в процессе изготовления в силу температурного градиента при нагреве и охлаждении локального участка в детали возникают остаточные механические напряжения. Эти напряжения могут приводить к короблению и разрушению деталей. Уменьшение уровня механических напряжений после 3D печати является важной нерешенной проблемой. В 3D сталях возможно применять для снятия внутренних механических напряжений термообработку. Однако для каждого материала режимы и виды термообработки должны подбираться индивидуально. После термообработки для аттестации качества готовых деталей целесообразно применять физические неразрушающие методы. Для ферромагнитных материалов целесообразно применять магнитный структурный анализ.

Целью данной работы являлось экспериментальное изучение структуры, магнитных и электрических свойств образцов из 3D стали 09Г2С после различных термообработок и сравнение со свойствами литой стали 09Г2С.

Эксперименты проводились на образцах из конструкционной низколегированной стали 09Г2С (0,1% С; 1,5% Мп; <1% Si). Образцы из порошка стали 09Г2С были изготовлены с помощью метода селективного лазерного сплавления в среде азота. Размеры фракции исходного порошка составляли от 10 до 45 мкм. Мощность лазера – 200 Вт. Площадь пятна лазера – 50 мкм. Стол для построения подогревался до 100 °С. После изготовления образцы отжигались вместе со столом при температуре 350 °С в течение 1 и 3 часов. После отжига образцы отрезались от стола на электроэрозионном станке. Часть образцов была нормализована (нагрев до 980 °С, выдержка 30 минут, охлаждение на воздухе). После термообработки образцы шлифовались с малой подачей шлифовального круга и водяным охлаждением. Размер образцов составил 4x9x120 мм³. Для исследования структуры с разных граней образцов на электроэрозионном станке вырезались фрагменты. Структурные исследования проводились на оптическом, сканирующем и

просвечивающем микроскопах. Измерения петель магнитного гистерезиса проводили в пермеаметре с помощью измерительного комплекса REMAGRAPH C-500 (Magnet-Physik Dr. Steingroever GmbH). Определены коэрцитивная сила, остаточная и максимальная индукции, максимальная магнитная проницаемость.

В результате структурных исследований и измерения магнитных свойств образцов из стали 09Г2С, изготовленных методом селективного лазерного сплавления после отжига и нормализации, установлено, что структура и магнитные свойства отожженной 3D стали 09Г2С существенно отличаются от структуры и магнитных свойств как литой стали, так и 3D стали, подвергнутой дополнительной нормализации. На основе анализа экспериментальных полевых зависимостей дифференциальной магнитной восприимчивости [2] литой и 3D стали 09Г2С определены критические поля смещения 90- и 180-градусных доменных границ, а также поле наведенной магнитной анизотропии [3], обусловленной внутренними механическими напряжениями и неферромагнитными выделениями (карбидами). По магнитометрическим данным и рентгенографическим исследованиям оценены внутренние механические напряжения: наибольшие значения получились в образцах из 3D стали, подвергнутой после изготовления отжигу в течение 3 часов. Дополнительная нормализация при 980 °С уменьшила внутренние микронапряжения в 3D образцах до уровня литой стали 09Г2С.

ЛИТЕРАТУРА

1. A. Yadollahi, N. Shamsaei, S.M. Thompson, A. Elwany, L. Bian Effects of building orientation and heat treatment on fatigue behavior of selective laser melted 17-4 PH stainless steel // International Journal of Fatigue. 2017. Vol. 94. P. 218-235.
2. Кулеев В.Г., Сташков А.Н., Царькова Т.П., Ничипурук А.П. Экспериментальное нахождение критических полей смещения 90-градусных доменных границ в пластически деформированных малоуглеродистых сталях // Дефектоскопия. 2018. №10. С. 37-41.
3. Розенфельд Е.В., Ничипурук А.П. Модель Прейзаха для ферромагнетиков с кубической симметрией. I. Теория // ФММ. 1997. Т. 84. с. 29-46.