

ОЦЕНКА СТРУКТУРНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ В СТАЛИ 09Г2С, ПОЛУЧЕННОЙ АДДИТИВНЫМ ЭЛЕКТРОДУГОВЫМ ВЫРАЩИВАНИЕМ ПРИ МАЛОЦИКЛОВОЙ УСТАЛОСТИ

© 2022 г. Максим Сергеевич Аносов^{1*}, Д.А.Рябов^{1**}, Д.А. Шатагин^{1***}

¹ – Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, 603950 г. Н. Новгород, улица Минина, 24

* - anosov-maksim@list.ru; ** - ryabovdm1996@gmail.com; *** - dmitsanych@gmail.com

С интенсивным развитием технологий 3D-печати остро стоит проблема обеспечения и контроля структурного состояния конструкционных сплавов как на этапе их получения, так и в процессе эксплуатации. Наиболее универсальной среди аддитивных технологий является электродуговое выращивание (WAAM).

Большое количество деталей механизмов и конструкций работают в условиях усталостных нагрузок [1]. Процесс усталостного разрушения сопровождается процессом зарождения и развития трещин, который начинается, прежде всего, в поверхностном слое деталей [1]. В связи с чем, особый интерес представляет изучение структуры металла, прежде всего на его поверхности и оценки степени его деградации в процессе эксплуатации, еще до появления макротрещины. В последние годы в металловедении стали широко использоваться подходы фрактальных представлений и цифровой обработки микроструктур, позволяющие проводить количественную оценку процессов деградации структуры металла на основе показателя фрактальной размерности, представляющие значительный интерес и для настоящего исследования.

Целью исследования является оценка структурных изменений в металле, полученном на основе аддитивного выращивания при малоциклового усталости на основе подходов фрактального анализа и цифровой обработки изображений микроструктур.

В качестве материала для исследования выступает сталь 09Г2С, обладающая хорошими технологическими и эксплуатационными свойствами и широко используется для получения изделий методом 3D-печати электродуговой наплавкой. Образцы для испытаний были получены с использованием специализированного стенда [2]. Для оценки механических характеристик исследуемого сплава и выбора амплитуд напряжений были изготовлены и испытаны образцы на растяжение. Условный предел текучести, предел прочности и относительное удлинение составили в среднем 362МПа, 502МПа и 28% соответственно, и практически не отличаются от механических свойств образцов, полученных из проката стали 09Г2С. В процессе испытаний выявлена значительная анизотропия механических и усталостных свойств стали 09Г2С, так

долговечность образцов, полученных в поперечном направлении наплавки меньше на 20...25% по сравнению с образцами, полученными в продольном направлении.

Микроструктуры рабочей зоны образца стали 09Г2С при различной наработке (N/N^*) показаны на рис. 1 при амплитуде напряжений в цикле 350МПа.

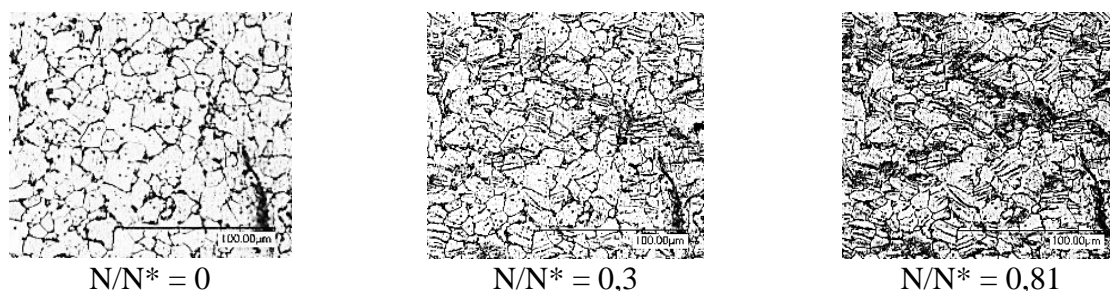


Рис. 1 Структурные изменения в процессе усталостного нагружения при различной наработке образца (N/N^*) ($\sigma_{\max} = 350$ МПа) (x1000)

С использованием специально разработанной программы в MATLAB определялись информативные параметры микроструктуры металла, в частности, фрактальная размерность изображения микроструктуры D_F и относительная площадь $S_{отн}$ образовавшихся в процессе усталостного нагружения дефектов микроструктуры и полос скольжения. Полученные зависимости показаны на рис. 2.

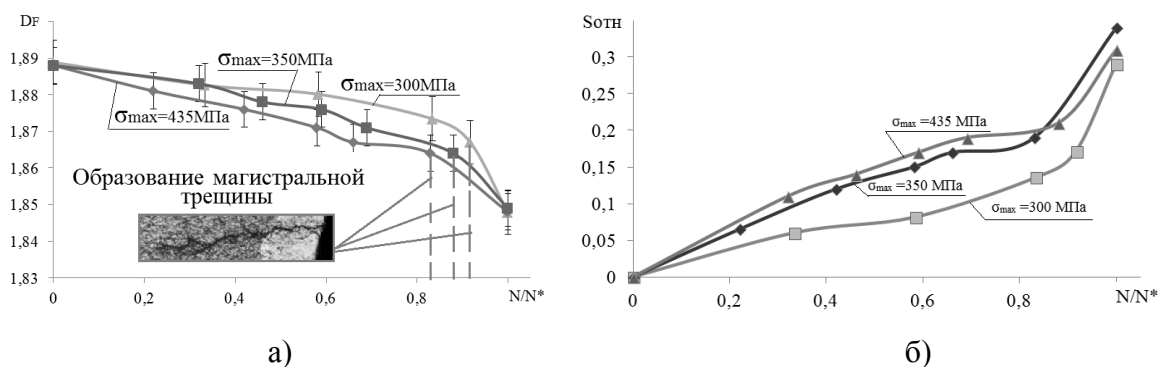


Рис. 2 Зависимость D_F (а) и $S_{отн}$. (б) образовавшихся в процессе усталостного нагружения дефектов микроструктуры и полос скольжения от наработки (N/N^*) образца

Полученные зависимости фрактальной размерности микроструктуры и относительной площади, образовавшихся в процессе усталостного нагружения дефектов и полос скольжения, отражают структурные изменения в материале, и могут быть использованы для неразрушающего контроля структурной поврежденности металла.

ЛИТЕРАТУРА

1. Терентьев, В.Ф., Кораблева С. А. Усталость металлов. Ин-т металлургии и материаловедения им. А. А. Байкова Российской акад. наук. Москва: Наука, 2015. 484 с.
2. Кабалдин Ю.Г., Хлыбов А.А., Аносов М.С., Рябов Д.А. Исследование усталостной прочности стали 09Г2С, полученной на основе трехмерной печати электродуговой наплавкой, в широком диапазоне пониженных температур // Черные металлы. 2022. №2. С. 42-48.