

ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЕНИЙ МАГНИТНЫХ СВОЙСТВ 3D И ЛИТОЙ СТАЛИ 09Г2С ПРИ МАЛОЦИКЛОВЫХ ИСПЫТАНИЯХ

© 2022 г. Сташков Алексей Николаевич^{1*}, Е. А. Шапова^{1**}, А. П. Ничипурук¹

¹ – *Институт физики металлов имени М. Н. Михеева Уральского отделения Российской академии наук, 620108, г. Екатеринбург, ул. С. Ковалевской, 18*

* - *stashkov@imp.uran.ru*; ** - *schapova@imp.uran.ru*

Низколегированная конструкционная сталь 09Г2С используется при производстве сортового и листового проката и фасонных профилей повышенной прочности. Прокат, производимый из данной марки стали, зачастую используется для строительных конструкций разных форм и размеров. Высокая механическая прочность стали позволяет использовать более тонкие элементы по сравнению с использованием сталей прочих видов. Из стали 09Г2С изготавливают строительные конструкции, паровые котлы, нефте- и газопроводы. Сталь этой марки часто используется в производстве нефтепромышленного оборудования и разнообразных деталей сельскохозяйственных машин и оборудования. Материал применяется практически во всех сферах машиностроения и производства. Высокая температурная устойчивость позволяет использовать данный вид стали в температурном диапазоне от -70 до +450 °С.

В последнее время все большее применение находят стальные изделия, изготавливаемые с помощью аддитивных технологий и применением лазерного 3D принтера. Свойства таких сталей отличаются от сталей такого же химического состава, но изготовленных «традиционными» методами (литьем, прокаткой) [1]. Целью данной работы являлось исследование поведения магнитных свойств 3D и литой стали 09Г2С, подвергнутых малоцикловым испытаниям при одноосном нагружении.

Исследования проводились на образцах из стали 09Г2С, изготовленных как литьем, так и на лазерном 3D принтере из исходного порошка. Часть литых образцов отжигалась при 650 °С в течение 2 часов, другая часть подвергалась нормализации при 980 °С в течение 1 часа. Часть 3D образцов отжигалась при 350 °С в течение 3 часов для снятия внутренних механических напряжений, другая часть 3D образцов подвергалась нормализации от 980 С в течение 1 часа. Малоцикловые испытания проводили по схеме нагрузка-разгрузка. Нагрузка была растягивающая одноосная, для всех образцов она была выше предела текучести, но относительное его превышение для каждого из испытываемых образцов было разным (превышение предела текучести было от 20 до 70%). Измерение магнитных свойств до и во время циклических испытаний проводили на двух установках: Remagraph C-500 и магнитометрической установке для измерения обратимой магнитной проницаемости [2].

В результате исследований было установлено, что 3D сталь 09Г2С после

изготовления на лазерном 3D принтере имеет большую прочность ($\sigma_b=1057$ МПа) и низкую пластичность ($\delta=6\%$), что нехарактерно для стали 09Г2С, изготовленной по «традиционной» технологии. Испытания на малоцикловую усталость такой стали (при превышении предела текучести) невозможны. Нормализация при 980 °С (1 час) снижает предел прочности 3D стали 09Г2С в 2 раза ($\sigma_b=502$ МПа) и увеличивает относительное удлинение почти в 6 раз ($\delta = 34,6\%$), приближая эту сталь к литой стали 09Г2С.

Основные изменения магнитных свойств (H_c , B_r , μ_{max}) как литой, так и 3D стали наблюдаются на начальном этапе малоцикловых испытаний, дальнейшее увеличение количества циклов (вплоть до разрушения испытываемых образцов) не приводит к существенному изменению магнитных свойств. Характерно, что несмотря на разницу магнитных свойств недеформированных сталей, в конце малоцикловых испытаний значения магнитных свойств литой и 3D сталей становятся практически равны.

Характер изменения магнитоупругого поля H_σ , определенного из экспериментальных полевых зависимостей обратимой магнитной проницаемости, во время малоцикловых испытаний для литой и 3D сталей кардинально различается: для литой стали изменения невелики и носят неоднозначный характер, для 3D стали – изменения более существенны и однозначны (наблюдается рост H_σ при увеличении количества циклов).

Работа выполнена в рамках государственного задания МИНОБРНАУКИ России (тема «Диагностика», №АААА-А18-118020690196-3) при финансовой поддержке РФФИ (проект №20-58-00015 Бел_а).

ЛИТЕРАТУРА

1. Ничипурук А.П., Сташков А.Н., Щапова Е.А., Казанцева Н.В., Макарова М.В. Структура и магнитные свойства стали 09Г2С, полученной методом селективного лазерного сплавления // Физика твердого тела, 2021, том 63, вып. 11. С. 1719-1724.
2. Ничипурук А.П., Сташков А.Н., Кулеев В.Г., Щапова Е.А., Осипов А.А. Методика и устройство для безградуировочного определения величины остаточных сжимающих напряжений в деформированных растяжением низкоуглеродистых сталях// Дефектоскопия. 2017. №11. С. 20-27.