

МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА И СТРУКТУРА СТАЛИ 09Г2С ПОСЛЕ ЦИКЛИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ НА ИЗГИБ

© 2024 г. Гордеев Никита Витальевич^{1,2*}, А. Н. Сташков^{1**}, А. М. Матосян^{1,2},
М. К. Корх¹, Д. А. Шишкин¹, И. Г. Ширинкина¹

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

² – *Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, 620002 Екатеринбург, ул. Мира, 19*

* - Gordeev.Nikita@urfu.me; ** - stashkov@imp.uran.ru

Детали машин часто во время работы подвергаются циклическим нагрузкам. При воздействии длительных повторяющихся переменных воздействий стальные изделия могут разрушаться от усталости, причем разрушения могут происходить внезапно без заметных признаков пластической деформации [1]. В силу особого характера усталостного разрушения возникает потребность в разработке новых подходов и методов контроля, в том числе неразрушающих. Например, для контроля состояния ферромагнитных сталей применяют магнитные методы [2], так как магнитные свойства чувствительны к структурному и фазовому состоянию, а также к механическим напряжениям. Целью данной работы является изучение магнитных свойств и структуры образцов из стали 09Г2С, изготовленных методами литья и селективного лазерного сплавления и подверженных циклическим испытаниям при изгибе.

Исследования проведены на образцах из конструкционной стали 09Г2С с размерами 120×10×2 мм. Сравнивались литой образец (образец № 1), напечатанный на 3D принтере образец без термической обработки (образец № 2) и напечатанный на 3D принтере образец после нормализации при температуре 980 °С (образец № 3). Усталостные испытания на изгиб проводились на разработанной установке при консольном закреплении образцов. Коэффициент асимметрии R синусоидального цикла при усталостных испытаниях был задан -1. Условия нагружения образцов одинаковые. После испытаний с разных сторон образцов были вырезаны цилиндры диаметром 4 мм и толщиной 1 мм. Магнитные свойства были измерены с помощью вибрационного магнитометра Lake Shore Cryotronics VSM 7407. Исследования изломов образцов проводились с помощью оптического и сканирующего электронного микроскопа.

Установлено, что магнитные свойства в разных частях образцов после циклических испытаний различны - у образца № 1 коэрцитивная сила вблизи излома составляет 3,8 А/см, а у свободного края – 4,6 А/см (разница 21 %). Аналогичная тенденция к уменьшению коэрцитивной силы вблизи излома наблюдается у образца № 2 (11,8 А/см вблизи излома и 12,1 А/см у края) и у образца № 3 (5,1 А/см вблизи излома и 5,6 А/см у края). Количество циклов до разрушения составило: для образца № 1 – 73 287 циклов, для образца № 2 –

244660 циклов, для образца № 3 – 69 475 циклов. Чем больше количество циклов до разрушения, тем меньше относительная разница коэрцитивной силы в разных частях образца. Остаточная магнитная индукция имеет такую же тенденцию.

Образец № 1 характеризуется прямым, однородным и усталостным изломом без обнаруженных очагов зарождения трещин, имеется зона долома (рис. 1а). Образец № 2 также имеет прямой излом, но он неоднороден, с несколькими очагами разрушения, формирующими асимметричную сеть ступенек и рубцов, сильно сдвинутую к одному из краев; также выявлена зона долома на одном из торцов (рис. 1б). Образец № 3 демонстрирует косой и неоднородный излом, с несколькими очагами разрушения, сливающимися в сеть ступенек и рубцов (рис. 1в).



Рис. 1. Оптические изображения изломов образца № 1 (а), образца № 2 (б) и образца № 3 (в), разрушенных от усталости.

Работа выполнена в рамках государственного задания МИНОБРНАУКИ России (тема «Диагностика», №122021000030-1).

ЛИТЕРАТУРА

1. Ерасов В.С., Орешко Е.И. Испытания на усталость металлических материалов (обзор) Часть 1. Основные определения, параметры нагружения, представление результатов испытаний // Авиационные материалы и технологии. 2020. №4 (61). С. 59–70.
2. Stashkov A.N., Nichipuruk A.P., Schapova E.A., Gordeev N.V., Vshivtsev I.V., Kazantseva N.V. Magnetic Properties of Cyclically Tensile-Deformed Steel 09G2S Manufactured by Selective Laser Melting // Russian Journal of Nondestructive Testing. 2023. V. 59, No. 1. P. 54–61.