

УДК 620.179.17

**ПОРТАТИВНЫЙ СТЕНД ДЛЯ ЦИКЛИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ НА УСТАЛОСТЬ
ОБРАЗЦОВ СТАЛИ 09Г2С, ПОЛУЧЕННЫХ С ПОМОЩЬЮ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**
Бусько В.Н.¹, Венгринович В.Л.¹, Винтов Д.А.¹, Ничипурук А.П.², Шашков А.Н.²

¹Институт прикладной физики НАН Беларуси
Минск, Республика Беларусь

²Институт физики металлов имени М.Н. Михеева УрО РАН
Екатеринбург, Россия

В последнее время в различных отраслях промышленности (машиностроение, авиастроение, космонавтика, ракетостроение, оборонный комплекс, строительство, стоматология, биомедицина) происходит постепенная замена деталей и изделий, изготовленных с помощью традиционных способов (литьё, прокат,ковка, штамповка, фрезерование) на полученные с помощью аддитивных технологий (АТ). По сути АТ – это инновационные технологии, основанные на изготовлении различных высокоточных изделий способом послойного синтеза материалов с использованием компьютерных моделей и 3D-печати. При этом достигается возможность получить материал, который часто нельзя изготовить традиционными способами [1]. По мнению ряда авторов, стальные материалы, полученные с помощью АТ, обладают повышенными прочностными свойствами [2–4].

Однако в настоящее время физико-механические свойства (ФМС), в т. ч., прочностные и надёжность изделий материалов, полученных с помощью цифрового производства и 3D-печати, пока мало изучены (экспериментальные данные практически отсутствуют). Известных систематических данных по влиянию внешних циклических (повторно-переменных) нагрузок, ФМС, способов и режимов получения изделий на закономерности усталостного разрушения также недостаточно (практически не обнаружено).

Для исследования изменения механических свойств и оценки сопротивления усталости образцов стальных материалов, полученных с помощью АТ, необходимо проводить стандартные механические испытания при циклических нагрузках.

Сложность и отличия испытания и исследования УД таких материалов от полученных обычным путём обусловлены рядом особенностей, наиболее важными из которых являются:

– как правило, готовый продукт или образцы, имеют малые размеры и габариты (длиной до ≈ 30–80 мм и толщиной 1–2 мм), возможно также появление анизотропии, остаточных напряжений, зон их концентрации и т.д., которые ярче проявляют себя относительно, например, литья;

– возникающие при производстве и эксплуатации за счёт пластической деформации изделий дефекты в виде трещин, пор, несплошностей, включений, несплавлений, также имеют конечные малые размеры – значительно меньшие, чем

в образцах, полученных традиционными способами, что влечёт за собой использование несколько иного оборудования и методики испытаний и изучения таких материалов.

Обычно для механических испытаний и исследования УД стальных образцов используют промышленные установки, стенды, машины или дорогостоящее импортное оборудование. Однако их высокая стоимость, габариты, дороговизна обслуживания и др. ограничивают их использование.

В связи с этим, а также масштабным фактором и несовершенством микроструктуры получаемых с помощью металлических 3D-принтеров образцов, отсутствием данных по взаимосвязи условий циклического нагружения с УД, актуальным и необходимым является создание портативного, простого и универсального испытательного стенда с «мягкими» условиями испытаний.

Цель работы – создать макет портативного стенда-установки для проведения циклических механических испытаний и изучения прочностных характеристик образцов стальных материалов, полученных с помощью АТ и литья.

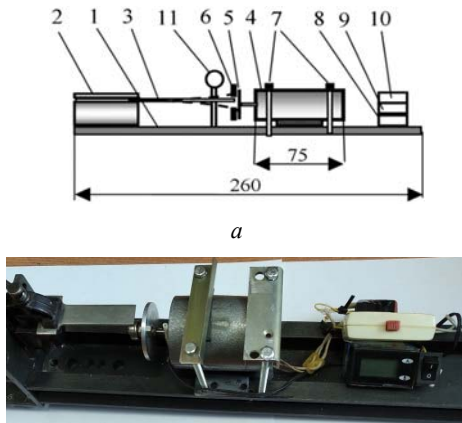
За основу предложенного и созданного портативного стенда-установки использованы принцип и схема формирования циклических напряжений в плоском консольно закреплённом ферромагнитном образце при изгибе [5]. Сущность работы установки основана на механическом воздействии одночастотного циклического нагружения на свободный конец консольно закреплённого образца с использованием электродвигателя и силовозбудителей в виде подшипников качения.

На рисунке 1 показана упрощённая видоизменённая под условия эксперимента схема портативной установки для исследования УД при циклических механических испытаниях.

В качестве электродвигателя использовался универсальный асинхронный двигатель типа УАД-34 однофазного включения в сеть переменного тока напряжением 220 В частотой 50 Гц, развивающий номинальную мощность 2 Вт с частотой вращения вала 1280 об./мин с внешними размерами корпуса длиной 75 мм и Ø50 мм. Размеры портативного стенда – 260×70 высотой 80 мм, вес – около 4 кг.

Для проведения циклических механических испытаний на УД были изготовлены плоские образцы методом селективного лазерного сплавления (СЛС). Исходным компонентом для изготов-

ления образцов был порошок малоуглеродистой стали 09Г2С с размером фракции 10–45 мкм. Размеры образцов соответствовали ГОСТ 25.502-79: длина 150 мм, толщина 15 мм, ширина в средней части – 15 мм, в галтельной – 30 мм. Размеры и форма образцов позволяли проводить испытания на УД с применением различных видов формирования циклических напряжений.



б

Рисунок 1 – Упрощенная блок-схема макета портативного стенда для циклических механических испытаний УД образцов материалов, полученных с помощью АТ (а) и фотография внешнего вида (б):

1 – основание; 2 – узел защемления образца; 3 – образец; 4 – электродвигатель (ЭД) с герконом; 5 – диск; 6 – силовой будители; 7 – болты крепления; 8 – электронный счётчик оборотов (ЭС); 9 – батарея «Крона»; 10 – выключатели питания ЭД и ЭС; 11 – индикатор прогиба

Для сравнения свойств также были изготовлены образцы из стали 09Г2С, изготовленные «традиционным» методом при помощи литья. Исходные образцы были разрезаны по толщине на электроэрозсионном станке. В итоге получились образцы толщиной 2 и 10 мм (рисунок 2).



Рисунок 2 – Фотография образцов из стали 09Г2С, полученных с помощью АТ и литья, для механических испытаний на циклическую прочность

Поверхности всех образцов подвергались шлифованию вдоль оси абразивным камнем с малой подачей и водяным охлаждением. Для снижения остаточных напряжений в 3D образцах, неизбежно образующихся в процессе изготовления, они подвергались отжигу и нормализации. Характеристики образцов и режимы термической обработки представлены в таблице 1.

После резки пополам по длине образцов на описанном выше стенде появляется возможность

проводить циклические испытания образца при изгибе на УД с консольно закреплённым одним и вторым свободным концом.

Таблица 1 – Характеристики образцов 3D-материалов и после литья для механических испытаний и исследований усталостной прочности*

№№, п/п	Толщина образца, мм	Способ изготовления	Режим т/о
1	2	3D (СЛС)	Отжиг 350°C, 3 часа
2	10	3D (СЛС)	Отжиг 350°C, 3 часа
3	2	3D (СЛС)	Отжиг 350°C, 3 часа + нормализация 980°C, 0,5 часа, охлажд. на воздухе
4	10	3D (СЛС)	Отжиг 350°C, 3 часа + нормализация 980°C, 0,5 часа, охлажд. на воздухе
5	2	литьё	нет
6	10	литьё	нет

*Образцы изготовлены в ИФМ им. М.Н. Михеева УрО РАН (г. Екатеринбург, Россия)

Предварительные испытания изготовленного макета портативного лабораторного стенда-установки показали работоспособность и возможность использования для проведения циклических механических испытаний образцов стали 09Г2С, полученных с помощью литья и аддитивных технологий, и изучения особенностей сопротивления усталости.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке совместного проекта между БРФФИ (грант № Т20Р – 119) и РФФИ (проект №20-58-00015 Бел_а).

Литература

1. Чижик С.А. Аддитивные технологии: состояние и перспективы развития аддитивных технологий в Республике Беларусь // Матер. НТК «Аддитивные технологии, материалы и конструкции», 5–6.10.2016, г. Гродно. – С. 3–4.
2. Алёшин Н.П., Григорьев М.В., Щипаков Н.А. и др. Применение методов неразрушающего контроля для оценки качества деталей непосредственно в процессе аддитивного производства // Дефектоскопия, 2016. – № 9. – С. 64–71.
3. Горбовец М.А., Евгенов А.Г., Беляев М.С., Васильев Д.А. Усталостные характеристики литейных жаропрочных никелевых сплавов, полученных методом селективного лазерного сплавления // Матер. III между. научн. конф. «Аддитивные технологии: настоящее и будущее», М. 23.03.2017. ВИАМ.
4. Чемодуров А.Н. Применение аддитивных технологий в производстве изделий машиностроения // Известия ТулГУ. Технич. наук. – 2016, вып. 8, ч. 2. – С. 210–217.
5. Бусько В.Н. Лабораторная установка для исследования усталостной повреждаемости плоских ферромагнитных образцов // Приборы и техника эксперимента, 2011. – № 1. – С. 165–167.