

ОЦЕНКА УСТАЛОСТНОЙ ПРОЧНОСТИ РЫЧАГА ПЕРЕДНЕЙ ПОДВЕСКИ, ПОЛУЧЕННОГО НА ОСНОВЕ 3D-ПЕЧАТИ ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ НАПЛАВКОЙ

*Хлыбов А.А., Кабалдин Ю.Г., Аносов М.С., Киселев А.В., Шатагин Д.А.
Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева,
г. Нижний Новгород*

Ключевые слова: беспилотное транспортное средство, рычаг передней подвески, циклическая прочность, усталость, 09Г2С, 3D-печать, электродуговая наплавка.

Аннотация. В работе приводятся результаты оценки усталостной прочности стали 09Г2С, полученной с использованием технологии 3D-печати электродуговой наплавкой. При выборе режимов нагружения использовались результаты компьютерного моделирования рычага. Получены кривые усталости, характеризующие усталостную прочность образцов и рычага передней подвески. Показано, что результаты моделирования усталостного нагружения рычага передней подвески и оценка его напряженно-деформированного состояния согласуются с результатами экспериментальных исследований.

EVALUATION OF THE FATIGUE STRENGTH OF THE FRONT SUSPENSION ARM, OBTAINED ON THE BASIS OF 3D-PRINTED ARC WELDING

*Khlybov A.A., Kabaldin Yu.G., Anosov M.S., Kiselev A.V., Shatagin D.A.
Nizhny Novgorod State Technical University named after R.E. Alekseeva, N. Novgorod*

Keywords: unmanned vehicle, front suspension arm, cyclic strength, fatigue, 09G2S, 3D printing, electric arc surfacing.

Abstract. The paper presents the results of assessing the fatigue strength of 09G2S steel obtained using 3D-printing technology by electric arc surfacing. When choosing the loading modes, the results of computer simulation of the lever were used. Fatigue curves were obtained that characterize the fatigue strength of the samples and the front suspension arm. It is shown that the results of modeling the fatigue loading of the front suspension arm and the assessment of its stress-strain state are consistent with the results of experimental studies.

Интенсивно развиваются технологии получения практически готовых изделий в одном технологическом процессе, одной из которых является 3D-печать металлами. Одной из универсальных и перспективных технологий 3D-печати металлами является электродуговая наплавка деталей. Многие из деталей работают в условиях усталостного нагружения [1]. В связи с этим ставится задача оценки усталостной прочности полученных металлов. Но, как показывает анализ существующих публикаций, особенности усталостного разрушения металлов, полученных на основе 3D-печати электродуговой наплавкой, мало изучены. Поэтому задача оценки усталостных характеристик материала деталей является актуальной.

В качестве объекта исследования выступали образцы из стали 09Г2С и рычаг передней подвески (испытывающий усталостный характер нагружения), изготовленные с использованием технологии 3D-печати.

Изготовление образцов и детали «Рычаг передней подвески» выполнялось на специально разработанном экспериментальном стенде с возможностью 3D-печати электродуговой наплавкой и последующей механической обработкой [2]. На рисунке 1а показан внешний вид рычага передней подвески после 3D-печати и механической обработки с посадочными поверхностями. На рисунке 1б показано соединение и рычаг в составе узла.



Рис. 1. Обработанная деталь рычаг (а) и рычаг, установленный в переднюю подвеску ТС (б)

Образцы для усталостных испытаний из стали 09Г2С изготавливали по размерам в соответствии с ГОСТ 25.502-79 (тип IV). Нагружение образцов осуществляли по схеме консольного изгиба ($R = -1$). Частота циклического нагружения 5 Гц. Исследования проводили в диапазоне амплитуд напряжений σ_{\max} от 250 до 470 МПа. Для контроля напряжений в процессе усталостного нагружения использовали тензометрические датчики.

Для проведения усталостных испытаний детали «рычаг нижней подвески» был спроектирован и изготовлен стенд (рис. 2). Рычаг нагружался по схеме консольного изгиба.

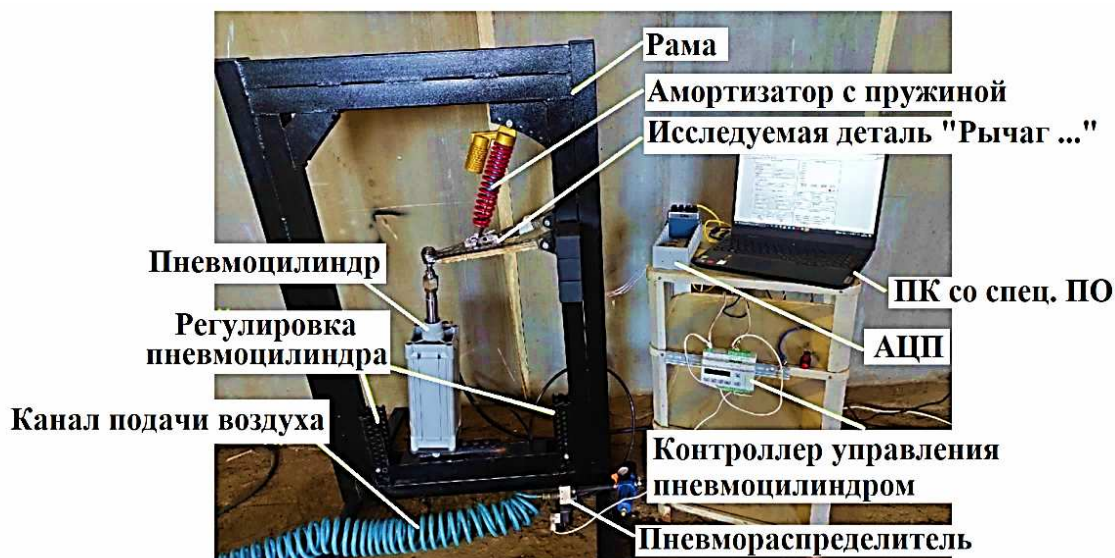


Рис. 2. Общий вид установки для усталостных испытаний рычага нижней подвески

В ходе испытаний образцов из стали 09Г2С на усталость в указанном диапазоне амплитуд напряжений получены кривые усталости (рис. 3 (1)). На рисеurt 3 (2) представлены данные для образцов, полученных 3D-печатью. Анализ полученных результатов показал, что наблюдается снижение усталостной прочности материала, полученного 3D-печатью по сравнению с материалом, изготовленным из листа. Как известно, одним из методов повышения циклической прочности деталей является их термическая обработка (ТО) [3].

Для исследования влияния ТО на усталостные характеристики стали 09Г2С был проведен ряд режимов термической обработки, при этом анализ показал, что в качестве оптимального режима выступает нормализация при температуре 930°C. За счет проведения ТО наблюдается значительное увеличение числа циклов до разрушения образца (рис. 3 (3)).

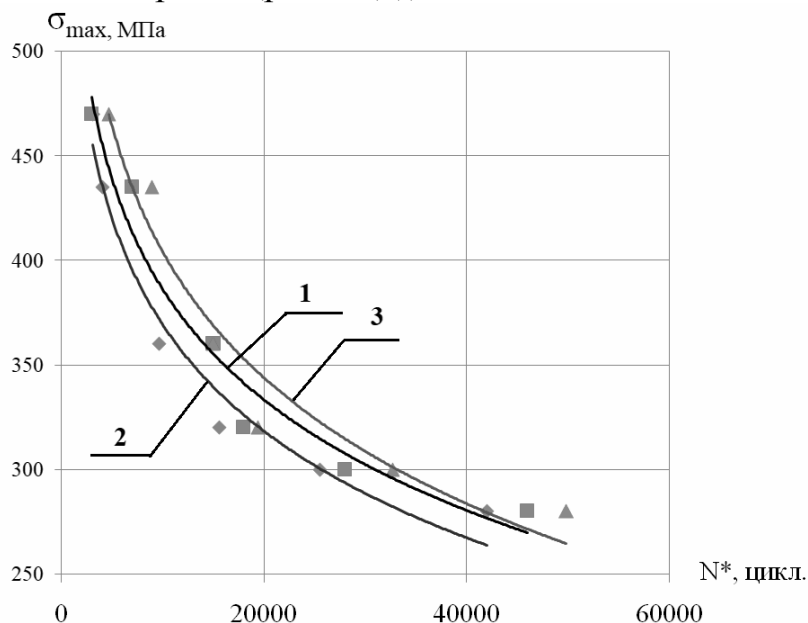


Рис. 3. Кривые усталости стали 09Г2С полученной:

1 – из проката, 2 – путем 3D-печати электродуговой наплавкой, 3 – путем 3D-печати электродуговой наплавкой с последующей нормализацией при 930°C

Полученные данные (рис. 3) использовались для моделирования усталостных испытаний в среде Autodesk Inventor Professional 2022 и Autodesk Inventor Nastran 2022. В ходе моделирования установлены участки наиболее вероятного разрушения детали «Рычаг передней подвески». Это, прежде всего, область в средней части рычага. В выделенной области устанавливались датчики для контроля температуры и тензометрические датчики. Условия нагружения выбраны при полном смыкании пружины, что эквивалентно ударным нагрузкам в подвеске автомобиля.

В ходе испытаний рычага при различных уровнях напряжений, были построены зависимости напряжений и количества циклов до разрушения (рис. 4). Зарождение трещины и разрушение рычага происходило в области, выделенной по результатам моделирования. В изломе рычага четко видны усталостные бороздки, подтверждающие факт усталостного механизма разрушения материала (рис. 4).

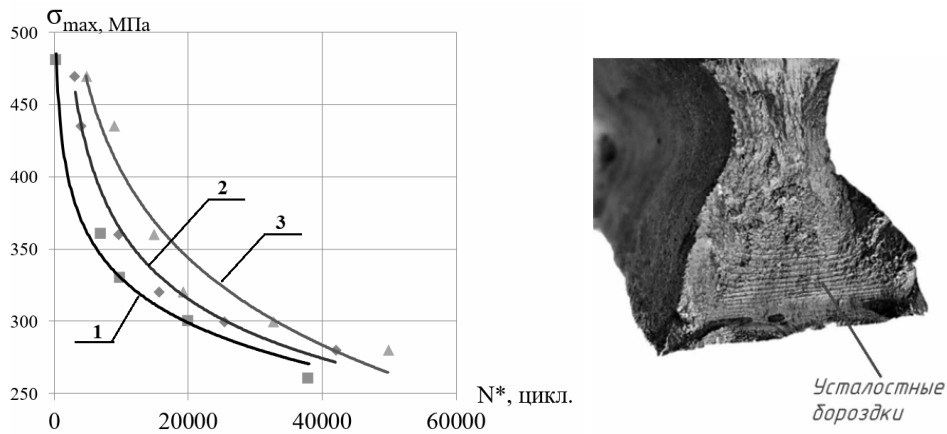


Рис. 4. Кривые усталости стали 09Г2С, полученной путем 3D-печати электродуговой наплавкой (слева): 1 – рычага подвески, 2 – образца на усталость, 3 – образца на усталость с последующей нормализацией при 930°С (усталостные бороздки в изломе (справа))

Исследование выполнено по гранту РНФ №19-19-00332 «Разработка научно обоснованных подходов и аппаратно-программных средств мониторинга поврежденности конструкционных материалов на основе подходов искусственного интеллекта для обеспечения безопасной эксплуатации технических объектов в арктических условиях».

Список литературы

1. Терентьев В.Ф., Кораблева С.А. Усталость металлов. Ин-т металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова Российской акад. наук. – М.: Наука, 2015. – 484 с.
2. Кабалдин Ю.Г., Шатагин Д.А., Аносов М.С., Колчин П.В., Киселев А.В. Диагностика процесса 3D-печати на станке с ЧПУ с использованием подходов машинного обучения // Вестник машиностроения. 2021. № 1. С. 55-59.
3. Дощечкина И.В. Роль разных способов поверхностной обработки в повышении усталостной прочности изделий / И.В. Дощечкина, В.Р. Семенчук // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета: сб. науч. тр. – Харьков: ХНАДУ 2018. – Вып. 82. – С. 44-50.

Сведения об авторах:

Хлыбов Александр Анатольевич – д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Материаловедение, технологии материалов и термическая обработка металлов», НГТУ им. Р.Е. Алексеева, г.Нижний Новгород;

Кабалдин Юрий Георгиевич – д.т.н., профессор, профессор кафедры «Технология и оборудование машиностроения», НГТУ им. Р.Е. Алексеева, г. Нижний Новгород;

Аносов Максим Сергеевич – к.т.н., профессор, доцент кафедры «Технология и оборудование машиностроения», НГТУ им. Р.Е. Алексеева, г. Нижний Новгород;

Киселев Андрей Викторович – аспирант кафедры «Технология и оборудование машиностроения», НГТУ им. Р.Е. Алексеева, г. Нижний Новгород;

Шатагин Дмитрий Александрович – к.т.н., профессор, доцент кафедры «Технология и оборудование машиностроения», НГТУ им. Р.Е. Алексеева, г. Нижний Новгород.