

кафедре машиностроения Санкт-Петербургского Горного университета с использованием станка с числовым программным управлением.

Заключение. Таким образом, можно сделать вывод о том, что при производстве летательных аппаратов существует ряд проблем, требующих решения. Применение метода магнитно-абразивной обработки для кромок деталей является актуальным направлением, способным исключить имеющиеся недостатки и повысить качество соединений корпусов летательных аппаратов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Максаров В.В., Кексин А.И., Филипенко И.А. Обеспечение качества подготовки кромок листовых изделий из алюминия и его сплавов перед сваркой // *Металлообработка*. – 2020. – № 3 (117) – С. 47–55. DOI: 10.25960/mo.2020.3.47.
2. Хомич, Н.С. Магнитно-абразивная обработка изделий: монография // Минск: Белорусский национальный технический университет. – 2006. – С. 218.
3. Maksarov V V, Keksin A I. Technology of magnetic-abrasive finishing of geometrically-complex products // *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. – Vol. 327, 2018, 042068.
4. Cengiz, I., & Elaldi, F. Post-buckling design analysis for stiffened helicopter fuselage aluminum panels // *The Vertical Flight Society – Forum 75: The Future of Vertical Flight - Proceedings of the 75th Annual Forum and Technology Display*. – 2019.
5. Genna, S., Menna, E., Rubino, G., Tagliaferri, V. Experimental investigation of industrial laser cutting: The effect of the material selection and the process parameters on the kerf quality // *Applied Sciences (Switzerland)*. – 2020. – № 10(14). DOI:10.3390/app10144956.
6. Ni, Y., Zhou, C, Yu, J., Zou, J. Study on flaw depth statistics and corresponding fatigue life of helicopter aluminium alloy structure // *Jixie Qiangdu/Journal of Mechanical Strength*. – 2020. – № 42(4). – С. 941–946. DOI:10.16579/j.issn.1001.9669.2020.04.029.
7. Singh K., Jain V. K., Raghuram V. Experimental investigations into forces acting during a magnetic abrasive finishing process // *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. – 2006. – Vol. 30, N 7–8. – P. 652–662.

УДК 620.194.4

ИНТЕНСИВНОСТЬ ОБРАЗОВАНИЯ КОРРОЗИОННЫХ ДЕФЕКТОВ ПРИ КОРРОЗИИ ПОД НАПРЯЖЕНИЕМ ТРУБОПРОВОДНОЙ СТАЛИ СТ3 INTENSITY OF CORROSION DEFECTS FORMATION DURING CORROSION UNDER STRESS OF PIPELINE STEEL ST3

Жуйков И.В., аспирант кафедры МиТХИ Санкт-Петербургского Горного Университета,
г. Санкт-Петербург, s225039@stud.spmi.ru.

Болобов В.И., д.т.н., профессор кафедры машиностроения Санкт-Петербургского
Горного Университета, г.Санкт-Петербург, boloboff@mail.ru

Аннотация. С помощью фотометрической методики была дана оценка интенсивности образования коррозионных дефектов на поверхности стали Ст3 в условиях ее напряженно-деформированного состояния. Произведено сравнение количества, формы и глубины коррозионных дефектов на участке образца с дополнительными упругими растягивающими напряжениями и на участке без напряжений. Коррозионные испытания проводились в среде 3,5 % NaCl, измерение фотометрических расстояний до заданных точек образца выполнялось с помощью металлографического микроскопа Leica.

Был выявлен рост скорости коррозии в среднем по ширине образца на 26 %, а также увеличение интенсивности образования дефектов и скорости коррозии в них на 54 %.

Ключевые слова: коррозия под напряжением, углеродистая сталь, фотометрический метод, скорость язвенной коррозии.

Abstract: Using a photometric technique, an assessment was made of the formation intensity of corrosion defects on the St3 surface under stress-stain state condition. The comparison of the corrosion defects number, shape and depth was made in the sample area with additional elastic tensile stresses and in the area without stresses. Corrosion tests were carried out in a 3,5 % NaCl medium, photometric distances to specified points of the sample were measured using a Leica metallographic microscope. An increase in the corrosion rate on average over the width of the sample by 26 % was revealed, as well as an increase in the defects formation intensity and corrosion rate in them by 54 %.

Key words: corrosion under stress, carbon steel, photometric method, the rate of pitting corrosion.

Введение. Согласно информации РАН [1] до 10 % от объема всего производимого металла в России утрачивается из-за коррозии. Ежегодно на борьбу с коррозией выделяются существенные средства, в США – 3,1 % внутреннего валового продукта страны, в Китае – до 3,3 %, в Германии – 2,8 %, а в России это значение может достигать 5 %. Не смотря на использование современных методов борьбы с коррозией, это явление все еще остается основной причиной аварий и отказов оборудования в различных отраслях промышленности.

Одним из факторов, интенсифицирующих процесс коррозии металлических конструкций, является их напряженное состояние. Стоит отметить, что факт ускорения коррозионного процесса под напряжением является доказанным [2], однако вопрос дефектообразования при коррозии под напряжением остается открытым. По этой причине, актуальным представляется проведение количественной оценки влияния напряжений на интенсивность образования коррозионных дефектов. Стоит определить, имеет ли место изменение вида коррозионного поражения при воздействии на металл того или иного уровня напряжений.

Основная часть. Исследования проводились по фотометрической методике, которая позволяет определить количество, вид и глубину коррозионных дефектов [3]. В качестве образца для испытаний была использована пластина из стали Ст3 с размерами 150×15×3 мм.

Образец подвергался упругой деформации, при этом, уровень напряжений рассчитывался исходя из значения стрелы прогиба в соответствии с ГОСТ 9.909-86 [4]. Значение стрелы прогиба фиксировалось при помощи индикатора часового типа.

Коррозионные испытания проводились в среде 3,5 % NaCl [5]. Для ускорения процесса коррозии была повышена концентрация кислорода в растворе путём подачи в зону реакции воздуха.

Таким образом, на образце были сформированы 2 зоны: без напряжений (на краю образца) и зона с дополнительными упругими растягивающими напряжениями (по центру образца). На каждой из зон отмечались две параллельные линии. Первая линия служила в качестве нулевой отметки, перед коррозионными испытаниями она покрывалась эмалью для сохранения поверхности от коррозионного поражения. Все дальнейшие измерения производились относительно нулевых отметок. На другой линии выполнялись измерения фокусного расстояния до точек поверхности пластины с шагом в один миллиметр по ее ширине до и после коррозионных испытаний. Фокусные расстояния фиксировались с помощью металлографического микроскопа Leica.

После коррозионных испытаний пластина извлекалась из агрессивной среды. С нулевых отметок снималась эмаль и производилось измерение фокусного расстояния

до анализируемых точек относительно нулевых на прокорродировавшей поверхности, отмечалось количество дефектов, их вид и глубина.

В зоне без дополнительных напряжений было выявлено 12 значимых коррозионных дефектов, глубины трех самых крупных из них составили: 11,56, 12,15 и 12,87 мкм.

В зоне с дополнительными растягивающими напряжениями обнаружено 16 значимых коррозионных дефектов, глубины трех самых крупных из них составили: 19,54, 19,01 и 20,12 мкм.

Исходя из значений величин коррозионного поражения, были рассчитаны скорость коррозии по ширине пластины и в дефектах.

Скорость сплошной коррозии ненапряженного участка образца составила 1,06 мм/год, с упругими растягивающими напряжениями – 1,34 мм/год. В то же время скорость коррозии на дне дефектов составила: на участке пластины без напряжений – 2,4 мм/год, с растягивающими напряжениями – 3,7 мм/год.

Заключение. Анализируя полученные значения, можно заключить, что в случае дополнительных растягивающих напряжений скорость коррозии в среднем по ширине пластины увеличивается на 26 %, на дне дефектов скорость коррозии возросла на 54 %. Кроме того, на участке с дополнительным напряжением после испытаний появилось большее количество крупных коррозионных дефектов по сравнению с ненапряжённым участком, что позволяет сделать вывод о более интенсивном процессе образования дефектов на поверхности напряженного металла.

Кроме того, был установлен факт изменения формы дефектов в зоне с напряжениями. В участках без напряжений местная коррозия в основном проявлялась в виде язв, но с ростом величины упругих растягивающих напряжений был замечен переход от язв к питтингам, т. е. уменьшение площади дефекта при увеличении его глубины.

Полученные результаты показывают, что упругие растягивающие напряжения не только ускоряют процесс коррозии стали Ст3, но и способствуют повышению интенсивности образования (зарождения) коррозионных дефектов, а также оказывают влияние на форму коррозионного поражения.

Подводя итог, следует сказать, что вопрос подробного представления о вкладе напряжений в процесс дефектообразования является перспективным. Дальнейшие исследования в этом направлении могут способствовать разработке методики по эффективному подбору стали для конструкций, работающих в условиях знакопеременных нагрузок.

ЛИТЕРАТУРА

1. Роствинская А. С., Роствинская В. С. Коррозия – ущерб экономике и способы борьбы с ней / А. С. Роствинская, В. С. Роствинская // Трибуна ученого, 2020. – № 02/2020. – С. 57–64.

2. Гутман, Э. М. Механохимия металлов и защита от коррозии / Э. М. Гутман. – Москва: Металлургия, 1981. – 270 с.

3. Патент № 2757634 Российская Федерация, МПК G01N 17/00 (2006.01) Способ оценки стойкости трубопроводных сталей к «канавочной» коррозии: № 2021106581 : заявл. 15.03.2021 : опубл. 19.10.2021 / Болобов В. И., Попов Г. Г., Сивенков А. В., Жуйков И. В. ; заявитель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет». – 12 с.

4. ГОСТ 9.909-86. Единая система защиты от коррозии и старения. Металлы, сплавы, покрытия металлические и неметаллические неорганические. Методы испытаний на климатических испытательных станциях. – Введен 1987-07-01. – М.: Издательство стандартов, 1993. – 22 с.

5. ASTM G44-99(2013), Standard Practice for Exposure of Metals and Al-loys by Alternate Immersion in Neutral 3.5 % Sodium Chloride Solution, ASTM International, West.