

ВЛИЯНИЕ ВНУТРЕННИХ НАПРЯЖЕНИЙ НА ПРОЦЕСС КОРРОЗИИ ОБРАЗЦОВ ИЗ СТАЛИ 12Х1МФ

Соляник Алексей Евгеньевич

студент Томского политехнического университета, РФ, г. Томск

Зайцев Александр Игоревич

студент Томского политехнического университета, РФ, г. Томск

Мальцев Егор Андреевич

студент Томского политехнического университета, РФ, г. Томск

Шмитов Денис Максимович

студент Томского политехнического университета, РФ, г. Томск

Фисенко Роман Николаевич

научный руководитель, инженер, Томского политехнического университета, РФ, г. Томск

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-08-01265.

Сталь 12 Х1МФ широко применяется в энергетическом машиностроении в трубах пароперегревателей и трубопроводах высокого давления и имеет следующий химический состав: 0.08-0.15 С; 0.9-1.2 Cr; 0.25-0.35 Мо; 0.15-0.30 V; 0.4-0.7 Mn; 0.17-0.37 Si; ≤ 0.25 Ni; ≤ 0.2 Cu ; ≤ 0.025 S; ≤ 0.030 P; остальное железо.

Проблема коррозионной стойкости металлов и сплавов актуальна не один десяток лет, а механизмы коррозии активно обсуждаются в печати [1 - 3].

Коррозия, как самопроизвольное окисление металлов, является вредным для промышленной практики процессом в связи с существенными необратимыми потерями металла. В качестве факторов, влияющих на коррозионные процессы, выделяют следующие [1 - 3]:

- природу металла, структуру и характер его поверхности, степень деформации и напряжённости (отклонением от равновесного состояния);
- наличие поверхностных плёнок окислов или иных соединений или адсорбированных веществ;
- химический состав, температуру и концентрацию электролита;
- давление, которое в свою очередь определяет растворимость водорода.

Факторы, влияющие на коррозионные процессы, разделяют на внешние, касающиеся влияния среды и условий эксплуатации, и внутренние, связанные с микроструктурой металла . Часто

внутренние факторы недооценивают или ими вообще просто пренебрегают.

В этой связи цель настоящей работы заключается в установлении роли внутренних структурных напряжений на процесс разрушения металла от коррозии.

Методика определения параметра элементарной ячейки и внутренних напряжений

Параметр элементарной ячейки для кубических кристаллов рассчитывается по выражению:

$$a_i = d_i \sqrt{H_i^2 + K_i^2 + L_i^2}$$

где a - параметр элементарной ячейки, Å; $(H K L)$ - индексы Миллера плоскости; d - межплоскостное расстояние, Å, которое устанавливается по формуле Вульфа-Брэгга:

$$\lambda = 2d \cdot \sin \theta \rightarrow d = \frac{\lambda}{2 \cdot \sin \theta}, \text{ где}$$

λ - длина волны используемого излучения, Å.

Внутренние напряжения первого рода определяются по закону Гука:

$$\sigma_I = \frac{a_i - a_0}{a_0} \cdot E,$$

где a_i - текущий параметр элементарной ячейки, Å; a_0 - параметр элементарной ячейки эталона, Å; E - модуль нормальной упругости.

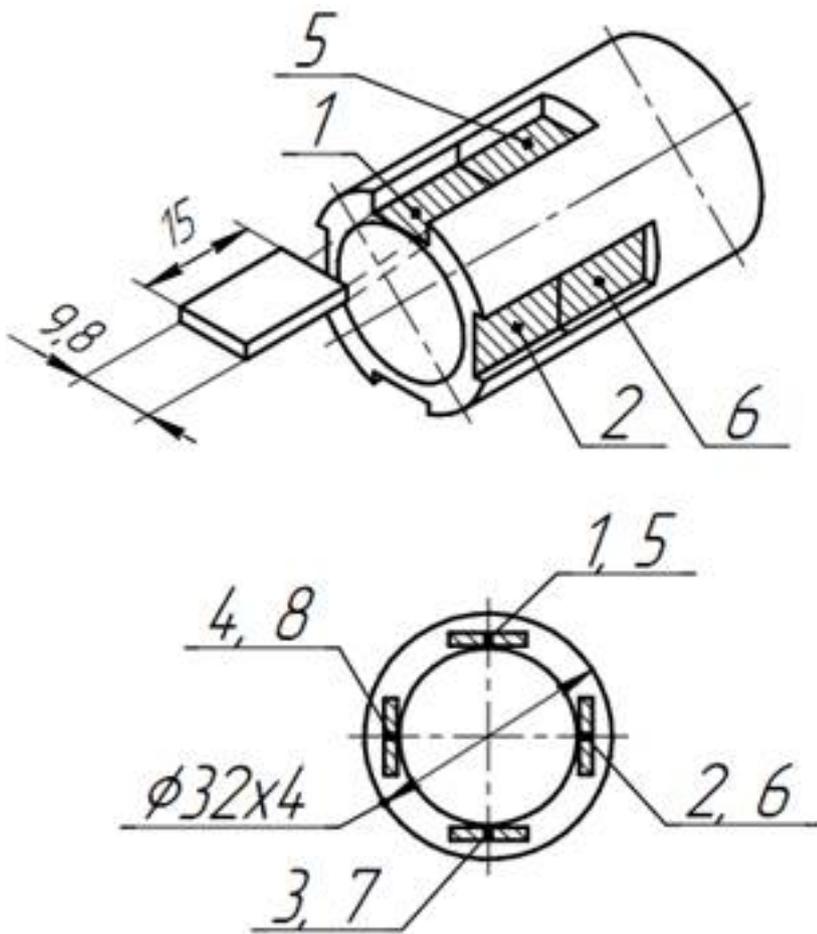


Рисунок 1. Схема вырезки образцов из стали 12Х1МФ

Установка для коррозионных испытаний имеет вид, изображенный на рис.2.

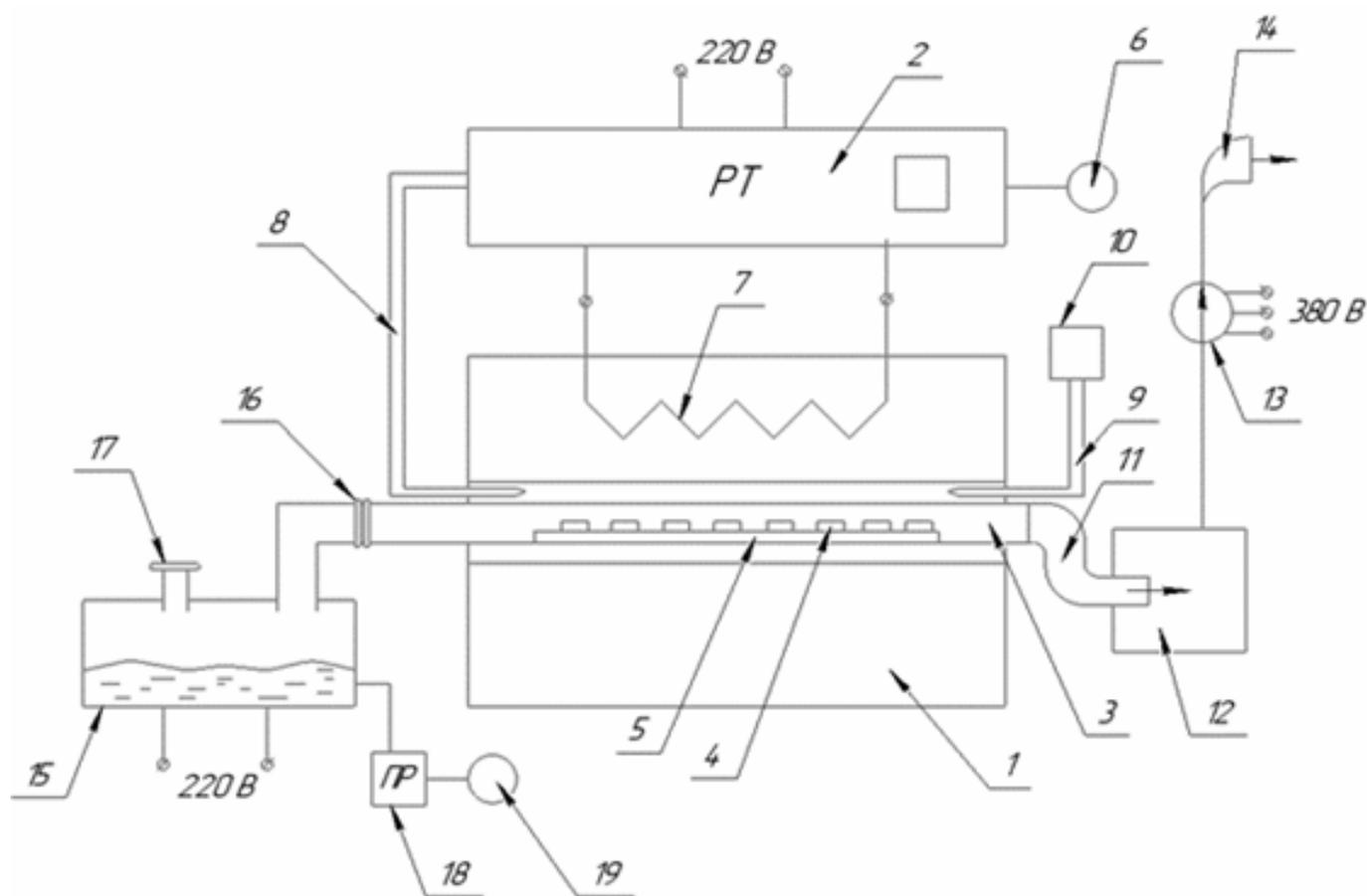


Рисунок 2. Принципиальная схема экспериментальной установки для проведения коррозионных испытаний :

1 - электропечь СУОЛ-0,4.4/12-М2; 2 - регулятор температуры; 3 - кварцевая трубка; 4 - экспериментальные образцы; 5 - подставка; 6 - переключатель регулятора температуры; 7 - нагреватель; 8 - термопара ПП; 9 - термопара ХА; 10 - пирометр; 11 - стальная труба; 12 - вытяжной шкаф; 13 - вентилятор; 14 - выхлопной патрубок; 15 - генератор пара; 16 - переходник; 17 - предохранительный клапан; 18, 19 - устройство поддержания температуры воды по методу Викакса

Основной её элемент 1 - электропечь СУОЛ-0,4.4/12-М2, снабженная регулятором температуры 2 с переключателем 6. Температура в активной зоне печи контролировалась двумя термопарами: платинородий-платиновая 8 (ПП) и хромель-алюмелевой 9 (ХА). Термопара 8 работала совместно с регулятором 2, а датчик температуры 9 - с показывающим потенциометром 10. Нагреватель печи на рис. 2 обозначен позицией 7. Насыщенный пар образовывался из дистиллированной воды в парогенераторе 15, снабжённым устройством поддержания температуры воды 18 и предохранительным клапаном 17. Попадание пара из парогенератора 15 в кварцевую трубку 3 (рабочий участок установки), расположенную в активной зоне печи 1, осуществлялось через фланцевый переходник 16. В этой трубке 3 пар перегревался до необходимой температуры и омывал исследуемые образцы 4, располагающиеся на керамической подставке 5. Кварцевая трубка 3 соединена со стальной

трубой - эжектором 11, которая способствовала организации требуемой среды вокруг образцов 4, так как пар двигался через рабочий участок установки благодаря работе, как парогенератора 15, так и вентилятора 13. Пройдя трубу 11, пар попадал в вытяжной шкаф 12, а затем через выхлопной патрубок 14 удалялся в атмосферу.

Методика коррозионных испытаний заключалась в выдержке исследуемых образцов в среде перегретого водяного пара (250 °С) на протяжении 500 часов.

Взвешивание образцов до и после коррозионных испытаний для определения прироста массы осуществлялось с помощью высокоточных аналитических весов Pioneer (точность измерения составляла 0,0001 г). Увеличение массы образцов подтверждало протекание процесса коррозии.

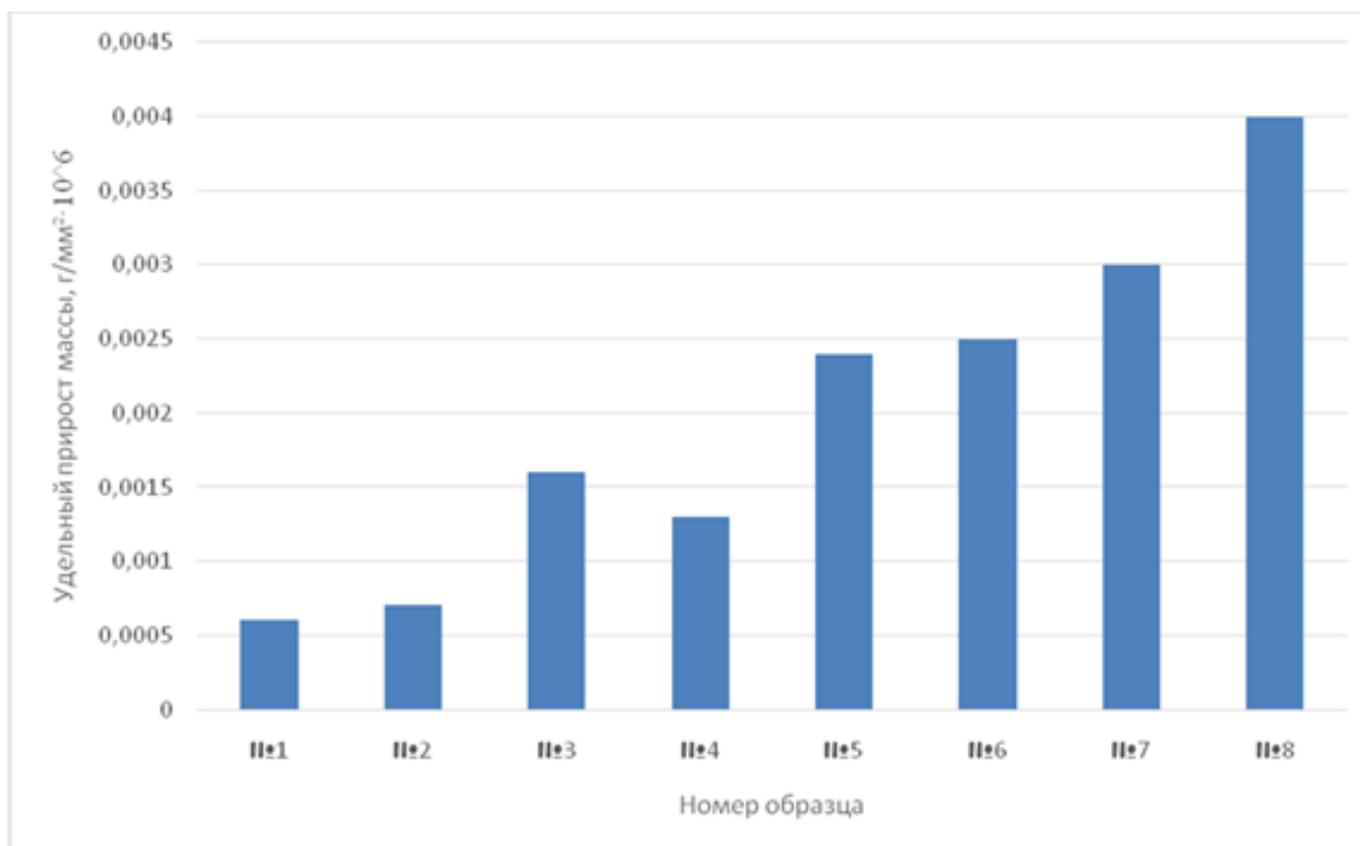


Рисунок 3. Удельный прирост массы образцов из стали марки 12Х1МФ

Из рис. 3 следует, что наибольший прирост массы отмечается у образцов №3, № 5, № 6, № 7 и № 8.

Особенность распределения внутренних напряжений для этих образцов заключается в том, что на одной из сторон они носят сжимающий характер, тогда как на другой стороне - растягивающий.

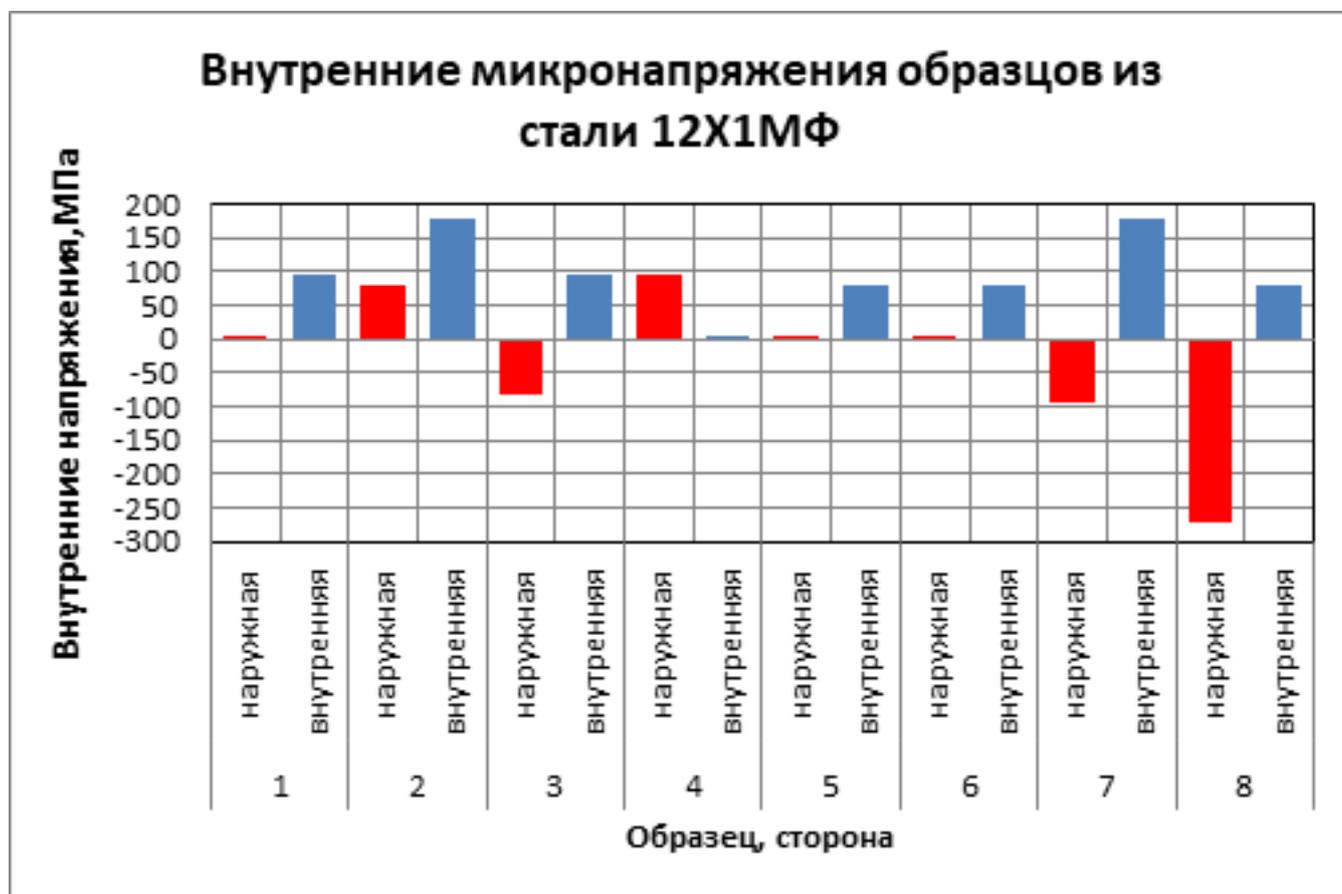


Рисунок 4. Распределение внутренних напряжений в образцах из стали марки 12Х1МФ

Из рис. 3, 4 следует, что коррозионным повреждениям в большей степени подвержены те образцы, у которых отмечается существенная неоднородность в распределении внутренних напряжений, и чем она значительнее, тем сильнее развивается процесс коррозии. Так, у образца №1 напряжения распределились следующим образом: на наружной поверхности 0 МПа, на внутренней поверхности + 96 МПа. Этот образец подвержен коррозии в меньшей степени, чем, для сравнения, образцы № 7 и № 8. У образца № 7 на тех же поверхностях напряжения составляют соответственно -96 МПа и +178 МПа, а у образца № 8 – это -274 МПа и + 81 МПа. Видно, что наиболее сильно корродируют именно эти образцы (рис. 3).

Таким образом, нельзя не учитывать роли внутренних напряжений в процессах разрушения, в том числе и от коррозии [4 – 8]. Возможно, в этих процессах внутренние напряжения, как структурный фактор, играют самостоятельное значение, а создание благоприятных распределений полей внутренних напряжений является ресурсом в повышении коррозионной стойкости стали.

Список литературы:

1. Maurice V., Marcus P. Progress in corrosion science at atomic and nanometric scales. Progress in Materials Science, 2018, vol. 95, pp. 132-171.
2. Marcus P. Corrosion mechanisms in theory and practice. Boca Raton, CRC Press Publ., 2012. 905 p.
3. Taylor C.D., Marcus P. Molecular modeling of corrosion processes: Scientific development and engineering applications. Hoboken, John Wiley & Sons, Inc., 2015. 256 p.

4. Shen Z., Chen K., Tweddle D., He G., Arioka K., Lozano_Perez S. Characterization of the crack initiation and propagation in Alloy 600 with a cold_worked surface. *Corrosion Science*, 2019, vol. 152, pp. 82-92.
5. Song Z., Xie Z. H. A literature review of in situ transmission electron microscopy technique in corrosion studies. *Micron*, 2018, vol. 112, pp. 69-83.
6. Ghosh S., Rana V.P.S., Kain V., Mittal V., Baveja S.K. Role of residual stresses induced by industrial fabrication on stress corrosion cracking susceptibility of austenitic stainless steel. *Materials & Design*, 2011, vol. 32, no. 7, pp. 3823-3831.
7. Zhang W., Fang K., Hu Y., Wang S., Wang X. Effect of machining_induced surface residual stress on initiation of stress corrosion cracking in 316 austenitic stainless steel. *Corrosion Science*, 2016, vol. 108, pp. 173-184.
8. Kumar P.S., Acharyya S.G., Rao S.V.R., Kapoor K. Distinguishing effect of buffing vs. grinding, milling and turning operations on the chloride induced SCC susceptibility of 304L austenitic stainless steel. *Materials Science and Engineering: A*, 2017, vol. 687, pp. 193-199.