

**АНАЛИЗ МЕХАНИЗМА ОБРАЗОВАНИЯ ДЕФЕКТОВ ГАЗОПРОВОДА  
В РЕЗУЛЬТАТЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ДУГОВОГО РАЗРЯДА НА СТЕНКУ ТРУБЫ**  
© 2024 г. Надежда Юрьевна Трякина<sup>1\*</sup>, С. В. Трапезников<sup>1</sup>, А.С. Саломатин<sup>1</sup>,  
С. С. Кукушкин<sup>1\*\*</sup>, Я. Г. Смородинский<sup>2</sup>, В. Н. Костин<sup>2</sup>, А. В. Михайлов<sup>2\*\*\*</sup>,  
О. Н. Василенко<sup>2</sup>

<sup>1</sup> - ООО «Газпром трансгаз Екатеринбург», 620075 Екатеринбург,  
ул. Клары Цеткин, д. 14

<sup>2</sup> - ИФМ УрО РАН, 620108 Екатеринбург, ул. Софьи Ковалевской, д. 18

\* - [N.Tryakina@ekaterinburg-tr.gazprom.ru](mailto:N.Tryakina@ekaterinburg-tr.gazprom.ru); \*\* - [S.Kukushkin@ekaterinburg-tr.gazprom.ru](mailto:S.Kukushkin@ekaterinburg-tr.gazprom.ru);

\*\*\* - [mikhaylov@imp.uran.ru](mailto:mikhaylov@imp.uran.ru)

При обследовании газопровода, проходящего под ВЛ 110 кВ, в районе верхней образующей трубы были обнаружены дефекты, внешний вид которых имел признаки воздействия электрической дуги, в том числе наплывы и брызги металла, оплавленные края кратера дефектов. На внутренней стенке трубы в зоне каждого дефекта выявлены локальные потемнения, характерные для термического воздействия на металл (рис. 1).

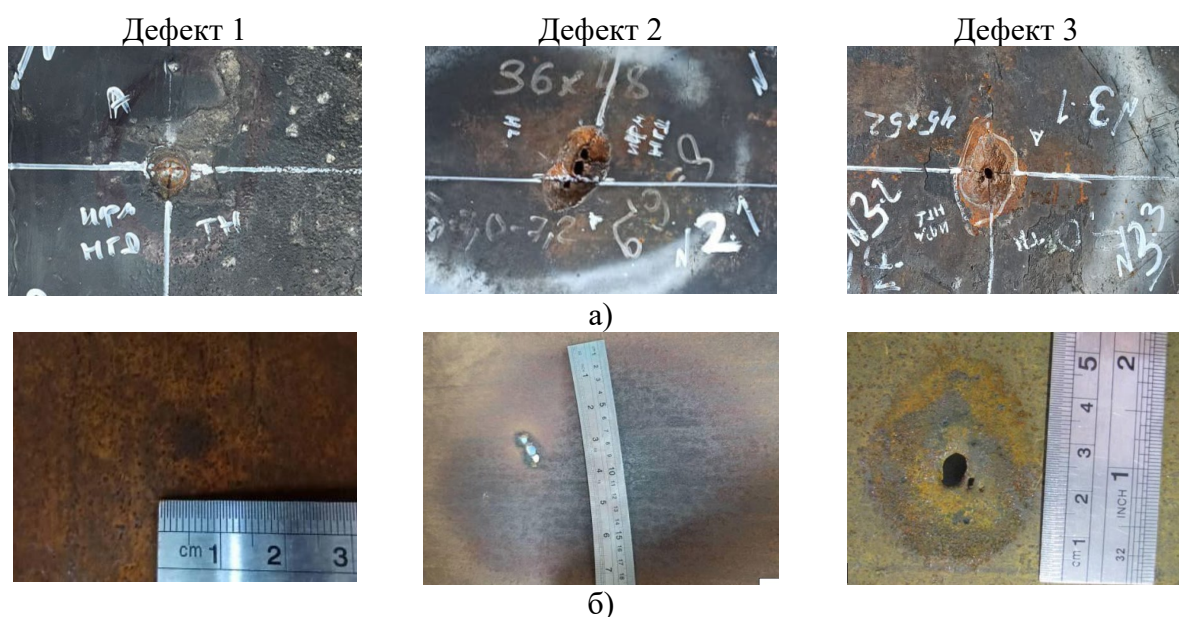


Рис. 1. Повреждения, выявленные при обследовании газопровода;  
а – наружная поверхность, б – внутренняя поверхность.

Было выдвинуто предположение о повреждении газопровода в результате воздействия мощного дугового разряда на стенку трубы с проплавлением металла и образованием сквозных дефектов. Для подтверждения предположения из трубы были вырезаны темплеты, проведены лабораторные исследования по определению структуры и элементного состава материала трубопровода в местах его повреждений, механические испытания. Рассмотрены сценарии возникновения мощных дуговых разрядов в грунте природного или техногенного характера.

По результатам локального спектрального анализа металла непосредственно в очаге дефектов установлено наличие повышенного количества примесных элементов (кремний, алюминий, калий, кальций, титан) вследствие переноса их из грунта при высокотемпературном воздействии (присутствие примесных элементов в грунте в месте укладки газопровода подтверждено качественным элементным анализом).

По результатам металлографии установлено, что структура металла трубы вдали от дефектов феррито-перлитная, характерная для горячекатанной низколегированной трубной стали. В зоне дефекта с малым проплавлением на глубину до 700 мкм от поверхности наблюдается слой металла, характеризующийся наличием участков столбчатой структуры, затем наблюдается переходная зона глубиной до 600 мкм со структурой неполного проплавления. Такая структура характерна для процессов формирования сварочной ванны. В случае образования дефектов с большим проплавлением на глубину до 700 мкм от поверхности установлено наличие зоны со структурой мартенсита, образование которого характерно для высокотемпературного нагрева с последующим резким охлаждением.

Электронно-микроскопический анализ показал, что на внешней поверхности трубопровода в кратере дефектов присутствуют множественные очаги оплавления металла, для которых характерны плавные линии внешних контуров, отдельные сформированные капли металла, напоминающие брызги (рис. 2). На внутренней поверхности трубопровода подобных явлений не наблюдается, что свидетельствует о высокотемпературном точечном воздействии на внешней поверхности трубы.

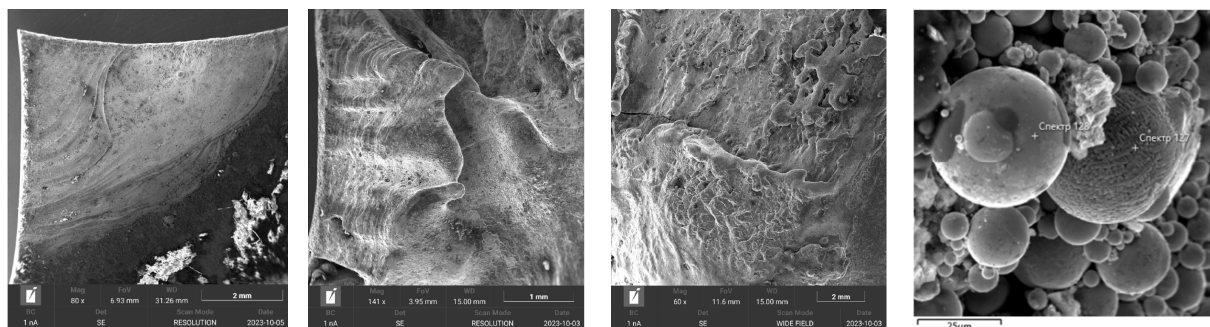


Рис. 2. Следы расплавления металла в зоне кратеров сквозных дефектов (электронная микроскопия).

Измерения твердости по сечению стенки трубы от поверхности вглубь образцов в зоне дефектов показали наличие резкого скачка твердости с 200-250 HV в основном металле до 450-600 HV в зоне закалочной структуры на поверхности.

Таким образом, по результатам выполненных исследований показано, что вероятным механизмом повреждения трубопровода с образованием дефектов явилось образование дугового разряда в грунте с оплавлением металла трубы вследствие природного или техногенного характера.