

**УДК 620.19.40**

**Павло Марущак, д.т.н., проф.**

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

## **МЕХАНІЗМИ СТАТИЧНОГО РУЙНУВАННЯ ТРУБНОЇ СТАЛІ ЗА НАЯВНОСТІ РОЗПОРОШЕНОЇ СТРУКТУРНОЇ ПОШКОДЖЕНОСТІ**

**Pavlo Maruschak, Dr., Prof.**

### **MECHANISMS OF STATIC FRACTURE OF PIPELINE STEEL IN THE PRESENCE OF SCATTERED DAMAGE**

З праць проф. Г.М. Никифорчина та його учнів відомо, що тривала експлуатація магістральних газопроводів понад 30 років знижує твердість і відносне звуження сталей, спричиняє збільшення дисперсії міцнісних властивостей. Зміцнення трубних сталей, яке з першого погляду видається нетиповим, зумовлене вичерпуванням їх пластичності, накопиченням структурних дефектів.

Відомо також про протилежні закономірності зміни характеристик пластичності тривалоексплуатованих трубних сталей: відносне звуження із напрацюванням зменшується, а відносне видовження зростає. Разом з тим є праці, які свідчать, що розпорошена структурна деградація майже не впливає на механічні властивості матеріалу труби, хоча на структурному рівні вона спричиняє перерозподіл цементиту, а експлуатаційне наводнювання зумовлює знеуглецювання матеріалу.

Відомо, що вивчення дефектності тривало експлуатованих трубних сталей є основою створення сталей підвищеної міцності з різними типами мікроструктур. Слід відзначити, що систематизація експлуатаційної пошкодженості є важливим науковим та інженерним завданням, а її опис потребує подальших досліджень.

Метою даного дослідження є аналіз стану металу магістрального газопроводу «Союз» після тривалого напрацювання та виявлення впливу накопичених структурних дефектів на його тримку здатність та тріщиностійкість.

Досліджували деградацію тривалоексплуатованої трубної сталі тріщини з фрагменту газопроводу «Союз» діаметром 1420 мм. Товщина стінки становила 16 мм, вирізку виконано поблизу станції КС-20 «Гусятин» (с. Суходіл) Тернопільської області. Виконано комплексні дослідження фрагменту магістрального газопроводу.

Кінетику деформування та руйнування зразків досліджували за методом повних діаграм деформації акад. А.О. Лебедева та проф. М.Г. Чаусова. Це дозволило забезпечити такі умови випробувань, за яких можна оцінити стадійність деформаційного процесу та руйнування, зокрема й при макроруйнуванні. Використовували циліндричні зразки діаметром 5,0 мм, з робочою ділянкою 25 мм. Їх випробовували на модернізованій гідравлічній установці для статичних випробувань ZD-100Pu. Модифікована версія установки складається з двох контурів – зовнішнього (навантажувальної рами випробувальної машини) і внутрішнього, що дозволило будувати повні діаграми руйнування.

Статичну тріщиностійкість сталі оцінювали за параметром  $K_I$ , який ґрунтується на концепції повних діаграм деформування пластичних матеріалів і запропонований проф. М.Г. Чаусовим в якості експрес-метода оцінювання в'язкості руйнування. Проведені розрахунки тріщиностійкості, табл. 1, враховують формування та накопичення структурних дефектів і є підставою уточнення оцінювання запасу міцності та тріщиностійкості стінки труби та прогнозування можливого руйнування.

Табл. 1. Значення параметрів тріщиностійкості  $K_{Ic}$  та  $K_{IIc}$  для сталі Х65 після тривалого напрацювання

Сталь	Експериментальні дані			Результати обчислень	
	$\overline{\Delta L_p}$ , мм	$F_k$ , кН	Е, ГПа	$K_{IIc}$ , МПа $\sqrt{м}$	$K_{Ic}$ , МПа $\sqrt{м}$
Х65	0,364	6,975	1,7	483.9	111.3

Одержані феноменологічні моделі деформування та руйнування доповнено даними металографічних досліджень, які дозволили систематизувати фізичні закономірності деградації ферито-перлітної мікроструктури сталі, рис. 1 а та її вплив на деформаційні та міцнісні властивості. Помітно, рис. 1 б, що загалом руйнування є в'язким та супроводжувалось значною пластичною деформацією. Як у вихідному, так і у експлуатованому станах сталь руйнувалась за типовим в'язким механізмом шляхом зародження і росту мікропор, внаслідок потоншення перетинок між ними аж до розриву. Разом з тим у експлуатованій сталі на фоні ямкового рельєфу виявлено текстурованість зламу, зумовлену напрямом прокатування металу труби. На зламах виявлено дефекти у вигляді розшарувань, орієнтованих вздовж цього ж напрямку. Подібні розшарування, на нашу думку, були наслідком формування в ній розпорошеної пошкодженості під дією силового навантаження та водневої деградації матеріалу. Вони утворились внаслідок ослаблення зв'язків між структурними складовими сталі.

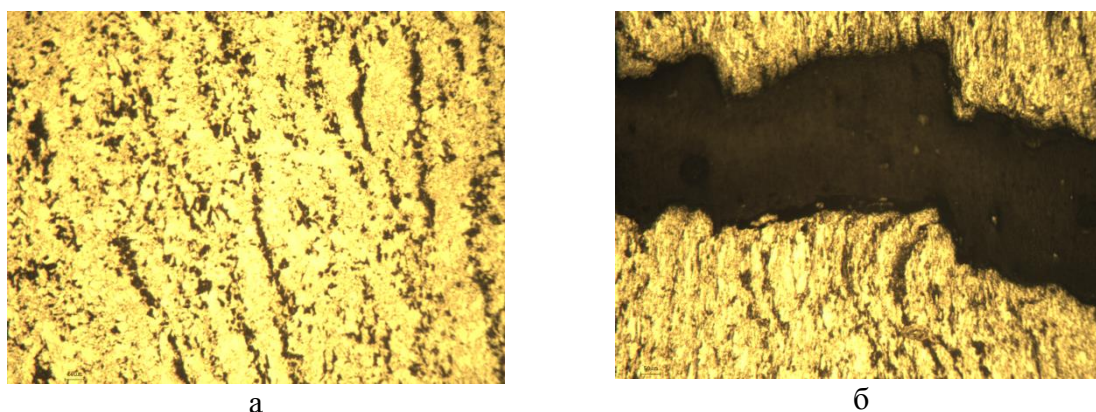


Рис. 1. Структура сталі Х65, магістрального газопроводу «Союз» - а в недеформованому стані - а та за деформації руйнування - б

Встановлено основні закономірності деформування та руйнування трубної сталі Х65, на основі випробувань зразків виготовлених з фрагменту труби, вирізаних з ремонтної ділянки магістрального газопроводу «Союз» після 30 років експлуатації. Показано, метал труб магістральних газопроводів протягом експлуатації під впливом робочих напружень та факторів впливу середовища незначно змінює свої властивості. Відбуваються певна структурна деградація та накопичення мікрodefektів в стінці труби. Проте вони є розпорошеними, тобто матеріал зберігає достатню пластичність, що дозволяє йому опиратись процесам руйнування та зародження макротріщин.

1. Корозійно-воднева деградація нафтових і газових трубопроводів та її запобігання: науково-технічний посібник: у 3-х томах / Є. І. Крижанівський, Г. М. Никифорчин; за ред. В. В. Панасюка. – Т. 2: Деградація нафтопроводів і резервуарів та її запобігання. – Івано-Франківськ: Вид-во Івано-Франківського нац. техн. ун-ту нафти і газу, 2011. – 447 с.