

## ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ВИТІКАННЯ ПРОМИВНОЇ РІДИНИ КРІЗЬ НАСАДОК СЕПАРАТОРА

*В.М.Вакалюк, М.М.Лях, Я.В.Солоничний,  
Р.П.Фурса, Є.В.Юр'єв, О.Г.Вільчик*

*ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 42353,  
e-mail: public@nuing.edu.ua*

*НВО "Вертекс", м. Краснодар, вул. Тургенєва, 131/1 тел./факс: +7 86 127 900 48*

*Для досягнення високого ефекта роботи сепараторов гідроциклонного типу во время дегазации промывочной жидкости необходимо правильно выбирать геометрические параметры питающего насадка. Поэтому в работе проведено теоретическое исследование процесса вытекания промывочной жидкости через насадок и показано, что он может эффективно выполнять функцию разрушения структуры и дегазацию промывочной жидкости.*

*For achievement of high effect of work of separators of hydrocycloning type, during degassing a washing liquid, it is necessary to choose correct geometrical parameters of nourishing attachment. Therefore in work theoretical research of process effluence of washing liquid is conducted through attachments and shown, that it can effectively execute a function of structure destruction and degassing a washing liquid.*

Насичення промивної рідини газом призводить до погіршення її технологічних властивостей внаслідок зниження густини, збільшення в'язкості і статичної напруги зсуву, що за певних умов може бути причиною виникнення ускладнень у процесі буріння свердловини.

Газ у свердловину може поступати разом з вибуреною породою у разі зниження тиску на пласт, внаслідок фільтрації і дифузії. Потрапивши із пласта в свердловину, газ може перебувати в промивній рідині в розчиненому або вільному стані, у вигляді конденсату вуглеводнів, в розчиненому стані в нафті і воді. В процесі циркуляції промивної рідини у міру її руху до устя свердловини через зниження тиску розчинений газ і конденсат переходять у газоподібний стан. Якщо конденсат може цілком перейти в газоподібний стан, то нафта – тільки частково, а кількість виділеного газу із нафти залежить від її газового фактора і складу вуглеводню.

Насичення промивної рідини газом (повітрям) може відбуватися також внаслідок захоплення повітря під час її руху циркуляційною системою, а також внаслідок потрапляння повітря в рідину під час її очищення від вибуреної породи (твердої фази) віброситами. Перехід розчиненого повітря в промивній рідині у вільний стан є також джерелом насичення розчину газом. При цьому бульбашки повітря виділяються внаслідок різкого зниження тиску на ділянках циркуляційної системи (в т.ч. в насосах).

Насичення газом промивної рідини обумовлює зменшення гідростатичного тиску стовпа розчину на пласт, а також призводить до порушень нормальної подачі промивної рідини у свердловину буровими насосами. В зв'язку з цим важливого значення набуває розроблення ефективних методів відновлення стану розчину шляхом його дегазації. Застосування сепарато-

рів для дегазації розчинів (дегазаторів) дає можливість оперативно відділити газ від промивної рідини, а також забезпечити відновлення структурних властивостей (її густини, в'язкості, статичної напруги), що уможлиблює ведення нормального режиму циркуляції промивної рідини і покращання умов буріння [2].

В промисловості застосовується фізико-хімічний, вакуумний і механічний способи дегазації. Кожний із них має свої переваги і недоліки. Перевагою механічних дегазаторів є те, що вони ефективно руйнують структуру промивної рідини. В даний час набуває особливої актуальності розробка і дослідження роботи дегазаторів гідроциклонного типу, які можуть стати дуже перспективними через їх високу ефективність.

Одним із основних елементів цих пристроїв є живильний насадок, яким подається промивна рідина в камеру дегазатора. В даній роботі проведено теоретичне дослідження процесу витікання промивної рідини через насадок з отвором круглої та прямокутної форм.

Оскільки в практиці буріння зустрічаються випадки, коли промивна рідина, насичуючись газом, містить до 30% вільної газової фази, то до неї необхідно застосувати модель двофазної рідини, густина якої змінюється після проходження через кожен з елементів дегазатора. В зв'язку з цим потрібно користуватися підрахунком масової витрати рідини, а також масовим процентним вмістом газу в рідині.

Функціональний зв'язок між густиною промивної рідини і масовим та об'ємним вмістом газу в рідині встановлюється так. Нехай  $m$  – маса газованої промивної рідини;  $m_2$  – маса газу, який рівномірно насичує цю рідину. Тоді  $k = m/m_2$  – масовий коефіцієнт вмісту газу в промивній рідині, виражений в частках одиниці. Густина газованої рідини виражається формулою:

$$\rho = \frac{m}{V_p + V_z}, \quad (1)$$

де:  $V_p$  – власний об’єм рідини (без газу);  $V_z$  – об’єм газової фази, який визначається через масу газу і його густину:

$$V_z = \frac{m_z}{\rho_z}, \quad (2)$$

Густина газу, в свою чергу, залежить від параметрів його стану. Вважаючи газ ідеальним і скориставшись рівнянням Клапейрона – Менделєєва, вираз густини газу через тиск  $p$  і температуру  $T$  запишемо як:

$$\rho_z = \frac{\mu \cdot p}{RT}, \quad (3)$$

де:  $R=8.31$  Дж/моль·К;  $\mu$  – молярна маса газу або газової суміші. Підставивши (2) в (1), отримаємо вираз:

$$\rho = \frac{m}{V_p + \frac{m_z}{\rho_z}} = \frac{1}{\frac{V_p}{m} + \frac{m_z}{m} \cdot \frac{1}{\rho_z}} = \frac{1}{\frac{1-k}{\rho_p} - \frac{k}{\rho_z}}, \quad (4)$$

де  $\rho_p = \frac{m_p}{V_p}$  – густина рідини без газу.

Тоді масовий коефіцієнт вмісту газу в рідині визначається за формулою

$$k = \frac{\frac{1}{\rho} - \frac{1}{\rho_p}}{\frac{1}{\rho_z} - \frac{1}{\rho_p}}. \quad (5)$$

Зв’язок між масовим і об’ємним коефіцієнтами вмісту газу в рідині:

$$k = \frac{m_z}{m} = \frac{\rho_z V_z}{\rho V} = \frac{\rho_z}{\rho} k_V. \quad (6)$$

Враховуючи (6), можна легко отримати формули, які б давали змогу визначати густину промивної рідини за відомим об’ємним вмістом газу в ній і навпаки:

$$k_V = \frac{1 - \frac{\rho}{\rho_p}}{1 - \frac{\rho}{\rho_z}};$$

$$\rho = \rho_p - (\rho_p - \rho_z) k_V. \quad (7)$$

Від вмісту газу в промивній рідині залежить не тільки її густина, а й коефіцієнт динамічної в’язкості  $\eta$  і статична напруга зсуву  $\theta$ . На практиці відомо, що після проходження розчину промивної рідини через насадок з вузькою щілиною (штуцер) руйнується її структура і різко зменшується вміст газу і структура та динамічна в’язкість.

Більшість промивних рідин належать до глинистих розчинів, які відносять до класу в’язкопластичних рідин, для яких залежність

між напругою зсуву і градієнтом швидкості течії має вигляд:

$$\tau = \eta \frac{dv}{dx} + \theta, \quad (8)$$

де:  $\eta$  – коефіцієнт динамічної в’язкості;  $\theta$  – статична напруга зсуву, тобто така дотична напруга, за якої тіло або частина тіла виводиться зі стану рівноваги і починає рухатися.

Для аналітичного дослідження процесу витікання промивної рідини через насадок наведемо основні формули, які дають змогу визначити об’ємну витрату, середню швидкість та густину структурованої рідини за відомим перепадом тиску  $\Delta p$  в циліндричній трубці довжиною  $l$  і радіусом  $R$ . Відомо, що коли труба заповнена неньютонівською рідиною, її рух починається тільки після того, як дотичні напруги в пристінних шарах рідини досягнуть граничної напруги зсуву. При цьому вся маса рідини почне рухатись, ковзаючи вздовж пристінних шарів як тверде тіло. Такий вид течії назвали структурним, а центральну частину потоку, яка рухається із збереженням структури – ядром потоку.

Із збільшенням прикладеного тиску (збільшення швидкості течії) товщина пристінних шарів, в яких відбуваються взаємні зсуви шарів потоку, буде збільшуватись, діаметр ядра, відповідно, зменшуватись. При цьому швидкість в шарах між стінкою і ядром неперервно змінюється від нуля до швидкості ядра. За деякого значення швидкості градієнтні шари займуть весь переріз, і структурний режим перейде в ламінарний, що призведе до руйнування структури рідини. Надалі у випадку збільшення швидкості течії структурних рідин в трубах виникає турбулентність, яка характеризується, як і в звичайних рідинах, перемішуванням струмин потоку і неперервною зміною величини і напрямку їх швидкостей.

Як уже було зазначено вище, в’язкопластичні рідини володіють статичною напругою зсуву  $\theta$ , і тільки після її подолання може розпочатися рух. Отже, в круглій трубці при значеннях  $r$  (відстань від осі труби), для яких  $\tau < \theta$ , течія рідини не виникає. Як показано в роботі [1], для стаціонарної течії рідини радіус ядра потоку  $r_0$ , тобто радіус циліндра, на зовнішній поверхні якого виконується умова  $\tau = \theta$ , визначається за формулою:

$$r_0 = \frac{2l\theta}{\Delta p}, \quad (9)$$

де  $\Delta p$  – перепад тиску в трубці на довжині  $l$ .

Отже, після початку руху в’язкопластичної рідини всередині труби утворюється циліндр з незруйнованою структурою радіусом  $r_0$  (ядро потоку), який має швидкість  $v_0$ . Між ядром потоку і стінками труби утворюється градієнтний шар, напруги в якому більші, а швидкості менші, ніж в ядрі. Це означає, що швидкість ядра є одночасно і максимальною швидкістю потоку, тобто у разі в’язкопластичної течії в’язкопластичної рідини  $v_{\max} = v_0$ .

Згідно з [1], швидкість руху ядра визначається за формулою:

$$v_0 = v_{\max} = \frac{\Delta p}{4\eta l} (R^2 - r_0^2) - \frac{\theta}{\eta} (R - r_0), \quad (10)$$

а швидкість руху в'язкопластичної рідини в градієнтному шарі при  $r_0 < r < R$  рівна

$$v = \frac{\Delta p}{4\eta l} (R^2 - r^2) - \frac{\theta}{\eta} (R - r). \quad (11)$$

За структурного режиму об'ємна витрата рідини в круглій трубці дорівнює сумі двох витрат:  $Q_0$  - в ядрі потоку і  $Q_1$  - в градієнтному шарі навколо ядра, тобто:

$$Q = Q_0 + Q_1 = \int_0^{r_0} 2\pi r v_0 dr + \int_{r_0}^R 2\pi r v dr. \quad (12)$$

Підставляючи замість  $v_0$  і  $v$  їх значення та інтегруючи вираз, після нескладних перетворень отримуємо:

$$Q = \frac{\pi R^4}{8\eta l} \left[ \Delta p - \frac{4}{3} \left( \frac{2\theta l}{R} \right) + \frac{r_0^4}{R^4} \left( \frac{4}{3} \frac{2\theta l}{R} \frac{R}{r_0} - \Delta p \right) \right]. \quad (13)$$

Позначивши

$$\frac{2\theta l}{R} = p_0 \quad (14)$$

і враховуючи співвідношення (9), рівняння (13) набуває вигляду:

$$Q = \frac{\pi R^4 \Delta p}{8\eta l} f(\beta), \quad (15)$$

де  $f(\beta) = 1 - \frac{4}{3}\beta + \frac{1}{3}\beta^4$ ,  $\beta = \frac{p_0}{\Delta p}$ .

Необхідно зазначити, що  $p_0$  - це той тиск, по досягненні якого починається рух розчину.

Знаючи витрату рідини, можна визначити її середню швидкість

$$v = \frac{Q}{\pi R^2} = \frac{\Delta p R^2}{8\eta l} f(\beta). \quad (16)$$

Структура в'язкопластичної рідини буде повністю руйнуватися за умови, що радіус ядра рівний нулю ( $r_0 = 0$ ). При цьому, як випливає із рівнянь (13) і (15), за заданого перепаду тиску витрата рідини буде мінімальною і рівною

$$Q_{\min} = \frac{\pi R^4 \Delta p}{8\eta l} f_{\min}(\beta), \quad (17)$$

де  $f_{\min}(\beta) = 1 - \frac{4}{3}\beta$ .

Очевидно, що наведені вище формули для обчислення витрати можна застосувати і у випадку трубки з отвором не круглї форми, а, наприклад, прямокутної. У цьому випадку використовується у формулах гідравлічний радіус  $R_r$ , який для отвору прямокутної форми рівний

$$R_r = \frac{ab}{2(a+b)}, \quad (18)$$

де  $a$  і  $b$  - відповідно довжина і ширина отвору.

На основні наведених формул можна розробити методику експериментального визначення коефіцієнта опору насадку, кількісно оцінити зміну вмісту газу в промивній рідині в процесі її витікання із насадка, підібрати оптимальні розміри підвідного патрубку з насадком і оптимальні режими подачі промивної рідини в дегазатор.

Нехай насичена газом промивна рідина підвідним патрубком циліндричної форми радіусом  $R_1$  поступає в камеру дегазатора через насадок, гідравлічний радіус якого  $R_r$ , а довжина  $l$ .

На рис. 1 зображено принципову схему підвідного патрубку з насадком, на якій зображено ті перерізи, в яких необхідно визначати статичний тиск.

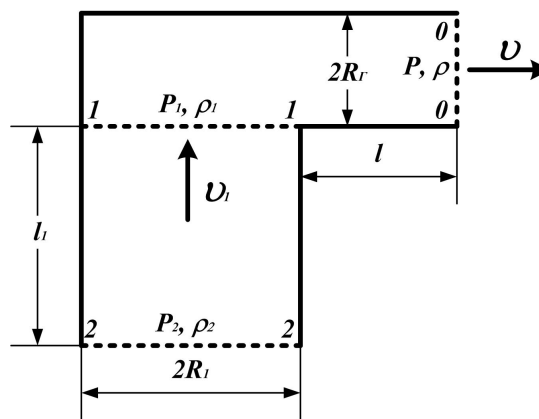


Рисунок 1 - Принципова схема підвідного патрубку з насадком

Через наявність газу густина промивної рідини, що тече в підвідному патрубку, буде в різних перерізах різна, але оскільки перепад тиску по довжині патрубку за помірних витрат незначний, то можна вважати, що густина промивної рідини у всіх точках підвідного патрубку приблизно однакова ( $\rho_2 \approx \rho_1$ ).

Об'ємний розхід промивної рідини в патрубку визначається за формулою:

$$Q = \frac{\pi R_1^4 \Delta p_1}{8\eta l_1} f(\beta_1), \quad (19)$$

де  $\Delta p_1 = p_2 - p_1$ ;  $\beta_1 = \frac{p_{01}}{\Delta p_1}$ ;  $p_{01} = \frac{2\theta l_1}{R}$ .

В даному випадку режим руху розчину необхідно підбирати таким чином, щоб, з одного боку, структура промивної рідини повністю руйнувалась, а з другого, - щоб втрати напору були незначними.

Об'ємний розхід промивної рідини через насадок для таких перепадів тиску  $\Delta p$ , коли структура повністю руйнується ( $r_0 \ll R_r$ ), будемо обчислювати за формулою

$$Q = Q_{\min} = \frac{\pi R_r^4 \Delta p}{8 \eta l} f_{\min}(\beta), \quad (20)$$

де  $\Delta p = p_1 - p$ ;  $\beta = \frac{p_0}{\Delta p}$ ;  $p_0 = \frac{2\theta l}{R_r}$ .

Масова витрата промивної рідини у всіх перерізах патрубків і насадка однакова, тобто:

$$Q_m = \rho Q = \rho_1 Q_1. \quad (21)$$

Тоді із (21) можна визначити густину промивної рідини, що поступає із насадка в дегазатор:

$$\rho = \frac{Q_1 \rho_1}{Q}. \quad (22)$$

Для того, щоб визначити коефіцієнт опору насадка, використовується рівняння Бернуллі:

$$\frac{p_1}{\rho_1} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2} + k U_1 = \frac{p}{\rho} + \frac{\alpha v^2}{2} + k U + \Delta e, \quad (23)$$

де:  $v_1 = \frac{Q}{\pi R_1^2}$  і  $v = \frac{Q}{\pi R_r^2}$  – середні швидкості

потoku рідини в перерізах 1-1 і 0-0;  $p_1, p$  – тиски і  $\rho_1, \rho$  – густини промивної рідини в перерізах 1-1 і 0-0;  $U_1$  і  $U$  – питомі внутрішні енергії газу, що міститься в потоці промивної

рідини до і після насадка;  $\Delta e = \frac{\Delta N}{Q_m}$  – загальна

втрата питомої енергії потоку на насадку;  $\alpha_1$  і  $\alpha$  – коефіцієнти кінетичних енергій відповідно для перерізів 1-1 і 0-0, вони характеризують ступінь нерівномірності розподілу кінетичних енергій, а отже, і швидкостей у вказаних перерізах;  $k$  – масовий коефіцієнт вмісту газу в рідині. Зміна внутрішньої енергії газу  $U - U_1$  залежить від того термодинамічного процесу, який відбувається з газом на шляху від перерізу 1-1 до перерізу 0-0. Оскільки протікання рідини, а з нею і газу, через насадок за достатньо значних перепадів тиску відбувається швидко, то можна наближено його вважати адиабатним, тобто таким, що відбувається без обміну теплою. Для адиабатного процесу виконується співвідношення:

$$\frac{p_1}{\rho_1^\gamma} = \frac{p}{\rho^\gamma} = \frac{p'}{(\rho')^\gamma}, \quad (24)$$

де показник адиабати  $\gamma = \frac{C_p}{C_v} = \frac{i+2}{i}$ ,  $i$  – кількість ступенів вільності газу.

Виходячи з першого закону термодинаміки для адиабатного процесу, маємо:

$$U - U_1 = -A = \int_p^{p_1} p' dv = \frac{p_1}{\rho_1} - \frac{p}{\rho} - \int_p^{p_1} \frac{dp'}{\rho_1'} \quad (25)$$

де  $v = \frac{1}{\rho_1'}$  – питомий об'єм газу.

На основі формул (23)-(25) отримаємо:

$$\Delta e = \frac{\alpha_1 v_1^2}{2} - \frac{\alpha v^2}{2} + \frac{p_1}{\rho_1} - \frac{p}{\rho} + \frac{k\gamma}{\gamma-1} \frac{p_1}{\rho_1} \left[ 1 - \left( \frac{p}{p_1} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \right] \quad (26)$$

Тоді коефіцієнт опору насадка визначається за формулою

$$\xi = \frac{2\Delta e}{v^2}. \quad (27)$$

В ході проведення розрахунків у формулі (26) показник адиабати можна брати  $\gamma \approx 1,3 - 1,4$ ; коефіцієнти кінетичних енергій можна брати  $\alpha_1 \approx 1$  (бо при структурному режимі за незначних витрат, ядро, в межах якого швидкість частинок рідини однакова, займає значну частину перерізу патрубка),  $\alpha = 2$  (бо в насадку реалізується ламінарний режим течії).

Наведені вище формули дають змогу за визначеними тисками в перерізах 2-2, 1-1, 0-0 (див. рис. 1) і відомими характеристиками промивної рідини, що підвідними патрубками поступає в дегазатор (за напругою зсуву, динамічною в'язкістю, густиною рідини, об'ємним вмістом газу в рідині) визначати середню швидкість і радіус ядра в підвідній трубці; середню швидкість, радіус ядра, густину суміші і об'ємний коефіцієнт вмісту газу в рідині на виході із насадка (в перерізі 0-0), а також коефіцієнт опору насадка. Окрім цього, можна підібрати для заданих розмірів патрубка і насадка оптимальний режим робочого тиску, за яким втрати напору будуть мінімальними, а також теоретично встановити залежності між геометричними розмірами патрубка і насадка та параметрами руху промивної рідини.

Як приклад, припустимо, що підвідним патрубком в дегазатор поступає емульсійний глинистий розчин (0,5% каустичної соди + 10% нафти) із такими характеристиками [1]: напруга зсуву –  $\theta = 21$  Па; коефіцієнт в'язкості –  $\eta = 0,022$  Па·с; густина рідкої фази –  $\rho_p = 1280$  кг/м<sup>3</sup>. Нехай цей розчин насичений повітрям ( $\mu = 0,029$  кг/моль), об'ємний вміст якого за  $T = 300$  К і  $p = 10^5$  Па становить 30% ( $k_{v1} = 0,3$ ), а геометричні параметри підвідного патрубка і насадка (див. рис. 1) такі: радіус підвідного патрубка  $R = 0,1$  м; відстань між перерізами 1-1 і 2-2  $l_1 = 1$  м; гідравлічний радіус насадка  $R_r = 0,01$  м; довжина насадка  $l = 0,1$  м.

Якщо тиск в камері дегазатора прийняти рівним  $p = 10^5$  Па, то обчислення дають такі результати: рух рідини починається при перепаді тиску на насадку  $\Delta p = p_0 = 420$  Па; за тисків  $p_2 = 101917$  Па в перерізі 2-2 і  $p_1 = 101480$  Па в перерізі 1-1 коефіцієнт опору насадка мінімальний і рівний  $\xi = 0,5$ . При цьому радіус ядра потоку в підвідному патрубку рівний  $R_{10} = 0,096$  м, а середня швидкість розчину  $v_1 = 0,073$  м/с. В насадку гідравлічний радіус

ядра потоку  $R_{Г0} = 2,8 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ , середня швидкість витікання розчину із насадка  $v = 5,23 \text{ м/с}$ , а об'ємний вміст повітря в ньому становить приблизно 2% ( $k_{V2} = 0,019$ ).

Таким чином, даний приклад демонструє, що насадок є важливим елементом дегазатора, який може виконувати ефективну функцію руйнування структури і дегазації промивної рідини.

1 Шищенко Р.И., Есьман Б.И., Кондратенко П.И. Гидравлика промывочных жидкостей. - М.: Недра, 1976. - 293 с.

2 Буріння свердловин: Довідник. У 5т. М.А. Мислюк, І.Й. Рибчич, Р.С. Яремійчук. - К.: Інтерпрес ЛТД, 2002. - Т.2.: Промивання свердловин. Відробка доліт. -303с.

УДК 669.018

## ТРІЩИНОСТІЙКІСТЬ ПЛАСТИЧНО ДЕФОРМОВАНОЇ ТРУБНОЇ СТАЛІ 17Г1С

Д.Ю.Петрина

ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 43024,  
e-mail: [public@nung.edu.ua](mailto:public@nung.edu.ua)

*Материалы трубопроводов часто подвергаются пластической деформации, которая определенным образом влияет на их надежность. Величина этого влияния зависит от степени предварительной пластической деформации.*

*Показано влияние предварительной пластической деформации на трещиностойкость трубной стали 17Г1С при однократной и циклической нагрузках.*

*The materials of pipeline are often subjected to plastic deformation, that affects on its reliability. The value of this effect depends on the degree of plastic predeformation.*

*The effects of plastic predeformation on crack grows resistance of pipe steel 17Г1С under static and cyclic loading are investigated in this research.*

Стабільність роботи трубопроводу залежить від його технічного стану. Вивчення технічного стану трубопроводів являє собою комплекс досліджень, одним із основних завдань яких є збір і аналіз даних з вивчення фактичного стану металу труби [1]. Випадки перенапружень труб внаслідок переміщень оточуючого ґрунту в зонах зсуву, надмірного згину труби в ході укладальних робіт, випинання недостатньо закріплених ділянок трубопроводів тощо є причинами утворення пластично деформованих зон в трубопроводі, які, як правило, переростають в тріщиновидні дефекти. Останні під дією експлуатаційних чинників можуть розвиватися і призводити до аварійних ситуацій. Це створює перешкоди під час транспортування газу та екологічну небезпеку на великих територіях. Тому дослідження тріщиностійкості пластично деформованої трубної сталі 17Г1С, яка широко використовується у вітчизняних трубопроводах, має як наукову актуальність, так і народногосподарське значення.

Під час експериментів використовували зразки, вирізані з труби діаметром 1020 мм і товщиною стінки 12 мм таким чином, щоби напрям поширення тріщини співпадав з напрямком прокатки. Після цього вони проходили нормалізацію за температури 1195К. Деформацію здійснювали в холодному стані на лабораторному прокатному стані ДУО-150 зі швидкістю прокатки  $V = 5 \text{ м/хв}$ .

Ступінь пластичної деформації визначали за формулою

$$\varepsilon = \frac{H - h}{H} \cdot 100\%,$$

де:  $H$  – висота заготовки;  $h$  – висота зразка після прокатки.

Випробовування на розтяг проводили на універсальній випробувальній машині УМ-5А зі швидкістю деформації 0,06 мм/с. Згідно [2] ударну в'язкість трубних сталей оцінювали за КСV, використовуючи результати ударних випробовувань зразків на маятниковому копрі МК-30.

Статичну тріщиностійкість оцінювали за результатами випробовувань балкових зразків прямокутного перерізу з односторонньою тріщиною, використовуючи схему чотириточково-го згину [3].

Випробовування на циклічну тріщиностійкість сталей проводили на установках із жорстким типом навантаження, використовуючи призматичні зразки у вигляді балки з одностороннім бічним надрізом. Навантаження здійснювалось за віднульовим циклом і частотою 10 Гц. Оцінювання циклічної тріщиностійкості проводили відповідно з РД 50-345-82 [4].

Механічні властивості сталі 17Г1С наведено в таблиці 1.

З представлених в таблиці даних видно, що зі зростанням попередньої пластичної деформації відбувається інтенсивне збільшення параметрів міцності  $\sigma_{0,2}$  і  $\sigma_B$  і спад параметрів пластичності  $\delta$  і  $\psi$ . За значень  $e_{nc} = 25\%$  величина