

УДК 539.43+620.17

Д. Петрина

Доцент, канд. техн. наук,
Івано-Франківський національний
технічний університет нафти і газу,
м. Івано-Франківськ

ВПЛИВ НАКЛЕПУ РОЗТЯГОМ НА МЕХАНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТРУБНИХ СТАЛЕЙ 17Г1С ТА 20

Дітяєуї оої і дїаєаї є, і іа'уцаї³ ç³ çі³ і ір і аоаї³-і єо оадаєоадепоеє оооаї єо поаєає 17Г1С оа 20. І іеацаїї, ці і еаное-іа ааої дї ао'у аїпє'аааї єо поаєає і дєцаї аєоу аї 'поіої іаї аеєдеааї іу і і-аоєї аї; а'єуї єе а'аааї є дї çоуао, а оаєїæ çі аї çаї іу і іабеу і дбæї іп³ оа і аæ³ і дї і дбæї іп³.

сталь 17Г1С, сталь 20, наклеп, межа пропорційності, межа плинності, модуль пружності

Сучасна методика розрахунку на міцність трубопроводів базується на механічних характеристиках, які отримують експериментальним шляхом [1]. Основним видом випробувань є статичний розтяг зразків. Інші види випробувань уточнюють особливості поведінки матеріалів за різних умов експлуатації.

Механічні характеристики, отримані за однократного розтягу, вважають сталими для випробуваного матеріалу. В дійсності серед фундаментальних чинників, які сильно впливають на ці характеристики, є попередня пластична деформація [2], яка може бути пов'язана з технологічними процесами на стадії виготовлення труб, перевантаженнями при транспортуванні, укладальних роботах, зсувах ґрунтів тощо [3].

Вперше вплив пластичних деформацій на модуль пружності трубної сталі 17Г1С був встановлений у праці [4]. Мета статті доповнити ці дослідження визначенням впливу пластичної деформації на межу пропорційності та межу плинності, а також експериментальним матеріалом, що пояснює закономірності зміни механічних характеристик наклепаних трубних сталей 17Г1С і 20.

Випробування проводились на стандартних циліндричних зразках діаметром 5 мм, вирізаних з нових труб. За основний матеріал була прийнята сталь 17Г1С, з якої

виготовляють більшість трубопроводів великого діаметра. Використовувалась також сталь 20, яку застосовують у трубах малих діаметрів, морських трубопроводах. Механічні характеристики вихідних матеріалів наведені в табл. 1.

Статичний розтяг зразків проводили на машині УМ-5А за швидкості деформації 0,06 мм/с. Для вимірювання деформацій застосовували дзеркальний тензометр зі збільшенням $k=500$.

Нижченаведені результати отримані за середньоарифметичними значеннями експериментальних випробувань п'яти зразків.

Звичайно модуль пружності — це величина, що характеризує кут нахилу α_0 лінійної ділянки діаграми

Таблиця 1

Механічні характеристики досліджених сталей

| Марка сталі | E , МПа | σ_B , МПа | $\sigma_T = \sigma_{0.2}$, МПа | $\sigma_{ли} = \sigma_{0.002}$, МПа |
|-------------|-------------------|------------------|---------------------------------|--------------------------------------|
| 17Г1С | $2,08 \cdot 10^5$ | 600 | 425 | 320 |
| 20 | $2,08 \cdot 10^5$ | 430 | 250 | 170 |

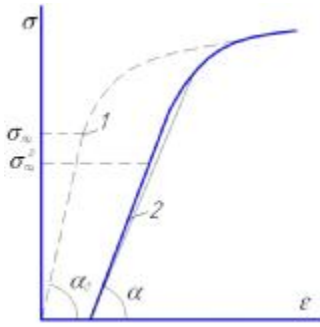


Рис. 1. Початкові ділянки діаграм розтягу матеріалів до (1) і після (2) наклепу

розтягу (рис. 1). Початкова ділянка діаграми матеріалу до наклепу показана суцільною товстою лінією 1.

Оскільки початкова ділянка діаграми наклепаного матеріалу має істотне викривлення (крива 2 на рис. 1), то переходять до обчислення значення січного модуля E за різних величин відносного видовження ϵ .

Січний модуль визначають як відношення напруження σ до відповідного відносного видовження ϵ , виміряного експериментально:

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \quad (1)$$

Січний модуль $E = tg \alpha$ має найбільше значення за напруження, близького до нуля, де закон Гука можна вважати справедливим. Це найбільше значення січного модуля і є модулем пружності наклепаного матеріалу. Величину модуля пружності позначатимемо E_0 і обчислювати як граничне значення січного модуля за $\sigma \rightarrow 0$:

$$E_0 = \lim_{\sigma \rightarrow 0} \frac{\sigma}{\epsilon} \quad (2)$$

Одночасно із січним модулем визначилась умовна межа пропорційності $\sigma_{0,002}$ і умовна межа плинності $\sigma_{0,2}$.

Спочатку зразок отримує залишкову деформацію розтягу наперед заданої величини e_{np1} [2]. Одночасно аналізується початкова ділянка діаграми розтягу вихідного матеріалу. Потім навантаження зменшується до нуля, після чого зразок знову навантажується розтягом до нової, наперед зазначеної величини залишкової деформації $e_{np2} > e_{np1}$. Таким чином забезпечується поступове зростання наклепу. Знову аналізується початкова ділянка діаграми розтягу вже наклепаного матеріалу та обчислюється значення січного модуля E_p при розтягу для різних величин відносного видовження ϵ . Цей цикл вимірювань повторюється до тих пір, поки e_{np} не досягне граничної для заданого матеріалу величини, тобто появи „шийки“. Після кожного навантаження на розтяг залишкова деформація e_{np} зростала приблизно на 0,5 %.

Результати механічних випробувань подані на рис. 2. Верхні чотири криві, що відповідають значенням $\epsilon_p = 0 \dots 0,15 \%$, свідчать, що наклеп розтягом до $e_{np} \approx 5 \%$

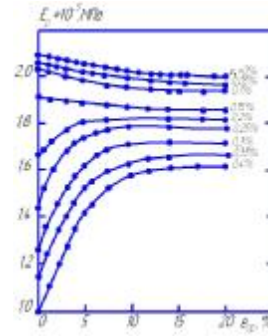


Рис. 2. Залежність січного модуля сталі 17Г1С від величини попередньої пластичної деформації e_{np} за різних значень відносного видовження ϵ_p

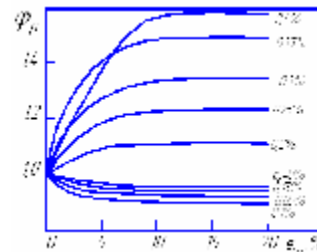


Рис. 3. Залежність відносної зміни модуля сталі 17Г1С від величини попередньої пластичної деформації e_{np} за різних значень відносного видовження ϵ_p

приводить до зменшення модуля пружності на 5...7 % порівняно з вихідною величиною. Подальший ріст e_{np} практично не впливає на величину модуля.

Форма п'яти нижніх кривих для напружень, що перевищують межу плинності вихідного матеріалу, підтверджує відомий ефект зростання жорсткості матеріалу при наклепі [5]. Низькі значення січного модуля ненаклепаного матеріалу різко зростають. Таке значення найпомітніше до $e_{np} = 5 \%$. Хоча воно істотне і при $e_{np} = 10 \%$ за значень $\epsilon_p = 0,3 \%$ і $\epsilon_p = 0,35 \%$, а коли $\epsilon_p = 0,4 \%$, то навіть при $e_{np} = 13 \%$. При вищих за наведені значення e_{np} величина січного модуля практично не змінюється.

Ступінь зміни січного модуля зі збільшенням наклепу e_{np} зручно подавати безрозмірними величинами. Приймемо такий параметр ϕ_p , що є відношенням січного модуля E_p за заданої величини наклепу e_{np} до відповідної (при тому ж ϵ_p) величини січного модуля вихідного матеріалу:

$$\phi_p = \frac{E_p}{E_{e_{np}=0}} \quad (3)$$

Значення E_p і $E_{e_{np}=0}$ для кожного ϵ_p беруться з рис. 2. $E_{e_{np}=0}$ — це величини, що дають крайні ліві точки кривих при $e_{np} = 0$.

Як видно з графіків, наведених на рис. 3, до значень $\epsilon_p = 0,1 \%$ відносно зниження модуля, викликане наклепом, спочатку зростає, а потім починає зменшуватись.

Можна, очевидно, припустити, що існує таке значення ϵ_p^o , для якого величина модуля залишається сталою, не залежною від ступеня пластичної деформації матеріалу. За $\epsilon_p > \epsilon_p^o$ відбувається не зменшення, а різке збільшення січного модуля. Це пояснюється тим, що наклеп має двояку дію на матеріал залежно від того, яким навантаженням у подальшому піддається наклепаний матеріал. Пластична деформація понижуює жорсткість сталі на початковій ділянці (тобто „знеміцнює” матеріал) та істотно підвищує її жорсткість („зміцнює” матеріал) на ділянці, що відповідає більшим напруженням.

Отримані дані знаходяться у повній відповідності з картиною поведінки матеріалу при випробуванні на втому. Якщо на конструкцію діють малі навантаження, то поступовий наклеп окремих перевантажених зерен зменшує їхню жорсткість і сприяє такому перерозподілу напружень між зернами, що веде до розвантаження небезпечних ділянок. Тому процес пластичної деформації перевантажених зерен призупиняється і руйнування не настає навіть після прикладання сотень мільйонів циклів навантаження.

При дії на конструкцію великих змінних навантажень, які викликають деформації більші за ϵ_p^o , жорсткість перевантажених зерен зростає, вони беруть на себе все більшу частку навантаження, що веде до поступового розвитку втомної тріщини та руйнування [2].

Властивість „знеміцнення” наклепаного матеріалу за дії невеликих напружень пояснює зниження величини ефективного коефіцієнта концентрації напружень порівняно з теоретичним. Більшість експериментів, в яких встановлено, що ефективний коефіцієнт концентрації менший за теоретичний, проводились при малих напруженнях, близьких до межі витривалості. В той же час багато досліджень, проведених при напруженнях понад межу плинності матеріалу, виявили сильний вплив концентраторів напружень на довговічність матеріалу. Це може бути пов'язано із сильним зміцненням за великих пластичних деформацій.

Встановлені закономірності відносної зміни січного модуля з ростом напружень (або деформацій e_{np}). Як видно з рис. 2, найбільшого значення січний модуль E_{max} досягає за $\epsilon_p = 0$. В подальшому задавались певним сталим значенням e_{np} і за кривими на рис. 2 обчислювали відносну зміну січного модуля для різних значень ϵ_p за формулою

$$\Psi_p = \frac{E_p}{E_{max}}. \quad (4)$$

Результати зображені на рис. 4. З нього чітко видно, що значення ϵ_p^o розділяє весь діапазон деформацій на дві частини: ліворуч від ϵ_p^o лежить зона „знеміцнення”, а праворуч — зона „зміцнення”. Починаючи з $\epsilon_{np} = 10\%$ і до $\epsilon_{np} = 20\%$ усі криві практично зливаються, а тому вплив наклепу на жорсткість матеріалу не змінюється.

Істотне викривлення початкової ділянки діаграми розтягу наклепаної сталі 17Г1С вказує на те, що це може призвести до зміни як межі пропорційності, так і межі плинності. Залежності σ_{nc}^p і σ_T^p від величини наклепу розтягом подані на рис. 5.

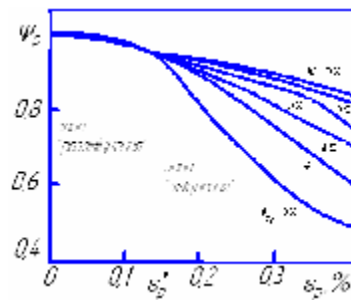


Рис. 4. Залежність відносної зміни січного модуля сталі 17Г1С від величини відносного видовження ϵ_p за різних значень попередньої пластичної деформації e_{np}

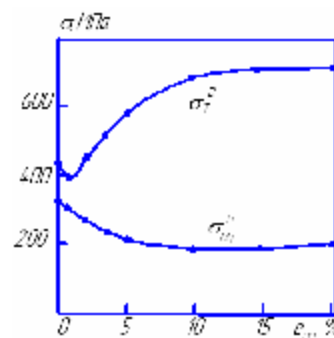


Рис. 5. Залежності σ_{nc}^p та σ_T^p сталі 17Г1С від величини наклепу розтягом

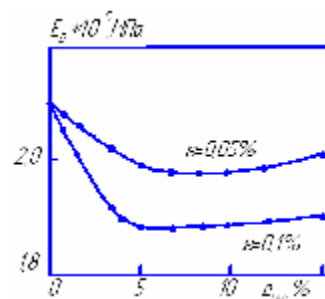


Рис. 6. Залежності січного модуля сталі 20 від величини попередньої пластичної деформації e_{np}

Наклеп розтягом істотно знижує σ_{nc}^p . Коли e_{np} досягає 10...15%, то зниження σ_{nc}^p найістотніше і становить 27...30% від вихідного значення. При більших величинах e_{np} спостерігається неістотний ріст σ_{nc}^p .

При значеннях e_{np} до 0,5% спостерігається незначний спад σ_T^p з подальшим різким зростанням за $e_{np} = 0,7...1\%$.

Результати випробувань на розтяг сталі 20 добре узгоджуються з викладеними вище дослідженнями. Січний модуль зменшується до мінімального значення при $e_{np} = 5...7\%$ (рис. 6). Спад величини січного модуля становить до 10% порівняно з його вихідним значенням. Подальше збільшення наклепу викликає поступове незначне зростання E_p .

Закономірності зміни межі пропорційності та межі плинності практично такі ж, як для сталі 17Г1С (рис. 7).

Тільки спад межі пропорційності для сталі 20 є істотнішим і відбувається значно швидше, ніж у сталі 17Г1С.

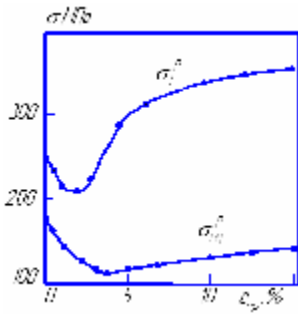


Рис. 7. Залежності $\sigma_{т}^p$ та $\sigma_{н}^p$ сталі 20 від величини наклепу розтягом

Висновки. Пластична деформація сталі 17Г1С і сталі 20 викликає істотне викривлення початкової ділянки діаграми розтягу. Це призводить до зменшення модуля пружності, сильного падіння межі пропорційності та істотного зростання межі плинності після початкового незначного її падіння при наклепі до 0,5...0,7 %.

Найбільший спад E і $\sigma_{н}^p$ відбувається при малих пластичних деформаціях. Пружні характеристики приймають мінімальні значення при пластичній деформації ~ 5 %. Подальше збільшення наклепу викликає слабкий ріст величин E і $\sigma_{н}^p$.

Для отримання повнішої картини поведінки трубних сталей 17Г1С і 20 після перевантажень слід у подальшому дослідити вплив пластичного деформування стиском, а також знакозмінними навантаженнями на механічні характеристики цих матеріалів.

Література

1. Трубопровідний транспорт газу/ М.П.Ковалко, В.Я.Грудз, В.Б.Михайлів та ін. — К.: Агентство з раціонального використання енергії та екології, 2002. — 600 с.
2. Ясній П.В. Пластично деформовані матеріали: втома і тріщиногнвквксть. — Л.: Світ, 1998. — 292 с.
3. Перун Й.В. Магистральные трубопроводы в горных условиях. — М.: Надра, 1982. — 175 с.
4. Вплив попереднього пластичного деформування на механічні характеристики сталі 17Г1С-У / Є.І. Крижанівський, В.П. Рудко, О.О. Онищук, Ю.Д. Петрина // Наукові нотатки ЛДТУ. — Луцьк. — 2003. — Вип. 13. — С. 150—159.
5. Фридман Я.Б. Механические свойства металлов: В 2-х. т. — Т. 1: Деформация и разрушение. — М.: Машиностроение, 1974. — 472 с.

Отримана 20.02.08

D. Petryna

Influence of the workhardening by extension on mechanical characteristic of the pipe steel 17Г1С and 20

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ivano-Frankivsk

The problems with mechanical characteristic of the pipe steel 17Г1С and 20 are observed. The plastic deformation of the investigated steel lead to substantial curvature of the initial part of the extension diagram and increasing of the modulus of elasticity and threshold of proportional are shown.

ЗІ ÔÏÏÏ àöÿ

Міжнародна наукова конференція

СУЧАСНІ ПРОБЛЕМИ МЕХАНІКИ ТА МАТЕМАТИКИ

присвячена 80-річчю від дня народження
академіка НАН України **Ярослава Степановича Підстригача**
та 30-річчю заснованого ним Інституту прикладних проблем механіки і математики
25 — 29 травня 2008 р.

Тематика конференції:

- Математичне моделювання в механіці деформівних твердих тіл.
- Математичні методи механіки і термомеханіки.
- Механіка неоднорідних твердих тіл та наномеханіка.
- Механіка контактної взаємодії, тіл з тріщинами та тонкими включеннями.
- Динамічні задачі механіки неоднорідних структур.
- Біомеханіка.
- Оптимізація і проектування тонкостінних конструкцій.
- Міцність та втома матеріалів.
- Числові методи.
- Теорія функцій і функціональний аналіз.
- Диференціальні рівняння і математична фізика.
- Алгебра і топологія.

Адреса оргкомітету:

ІППММ НАНУ, вул. Наукова, 3-б,
Львів, 79060, Україна,
тел.: (0322) 63-53-70, 239-99-12, 239-99-87, 63-90-33
E-mail: conference@iapmm.lviv.ua
confmath@iapmm.lviv.ua

Додаткова інформація в Інтернеті:

<http://www.iapmm.lviv.ua>