

УДК 669:539.67

**М. Березницька**

Ст. наук. співроб., канд. техн. наук,  
Фізико-механічний інститут  
ім. Г. В. Карпенка НАН України,  
м. Львів

## ВПЛИВ ПЛАСТИЧНОГО ДЕФОРМУВАННЯ НА ВОДНЕВУ ПРОНИКЛИВІСТЬ СТАЛІ 20Х

*Äîñåæááíí ðòðòòòðíí-íàíðòæáíåå ðòáí ííááðòíááòò òáð³á í'åáñðåíí ç³ ðòáå³ 20Õ í³ñåý ðíåíáííáí íðíåáðòááííý çà íáåòò ááòíðíáð³å ðà åíáí áíååá íà áíáíááò íðííååååáñòó. Áñòáííáåáíí, Ñí íðíåáðòááííý ñòíòíí íííåæò° áíáíááò íðííååååáñòó ðòáå³ ó åíðíçåáííí ó ðáðááíáåç³ í³ááåçáííåò ðáí íáðáòò.*

**прокатування, залишкове напруження, електродний потенціал, воднева проникливість**

Поверхнєве пластичне деформування (ППД) підвищує працездатність деталей машин не тільки на повітрі, але й у водневомісних середовищах [1 — 8]. Однак вплив ППД на довговічність сталі у наводнених середовищах досліджений недостатньо. Одні вважають, що причиною підвищення довговічності є стискальні залишкові макронапруження [3 — 5], інші — гомогенність хімічних та механічних властивостей [7], а для аустенітних сталей — кількість деформаційного мартенситу [6 — 8], що утворився за пластичного деформування. Відомо, що наклеп активізує поверхню металу та інтенсифікує швидкість корозивних процесів, збільшуючи кількість водню, що виділяється на поверхні виробу. Проте наклепом можна досягнути стабільності структурно-напруженого стану поверхневих шарів деталей, який гальмуватиме проникнення у метал водню, тобто призупинить водневе окрихчення, що позитивно вплине на довговічність виробів у наводнених середовищах.

Ця стаття присвячена дослідженню впливу структурно-напруженого стану поверхневих шарів сталевих виробів після холодного пластичного деформування — прокатування на водневу проникливість.

**Методика досліджень.** Водневу проникливість після прокатування досліджували на маловуглецевій сталі 20Х (0,20% С; 0,46% Мп; 1,0% Сг; 0,35% Si; 0,09% Ni; 0,15% Cu; 0,007% Al; 0,027% S; 0,0015% P), яку широко

використовують у машинобудуванні. Пластини товщиною 3,05 мм, шириною 150 мм і довжиною 200 мм відпалювали при температурі 900...920 С впродовж 1 год (НВ 132). Потім частину пластин шліфували й прокатували при кімнатній температурі на прокатному стані зі швидкістю 5 м/хв від товщини 3,05 до 2,82 мм, що відповідало деформації 7,5 %. Твердість поверхні після прокатування сягала НВ 155. Інші відпалені пластини шліфували за м'яких режимів до тієї ж товщини, що й прокатані, тобто 2,82±0,01 мм. З пластин вздовж і поперек напрямку прокатування вирізали зразки розміром 10×150 мм, на яких досліджували осьові залишкові напруження першого роду, та розміром 10×20 мм — для дослідження водневої проникливості.

Водневу проникливість сталі досліджували електрохімічним методом, який побудований на реєстрації зміни електродного потенціалу ( $\Delta e$ ) під впливом водню, що проникає крізь зразок. Використовували установку [9], яка складалася з електрохімічної комірки з двома частинами — корозивної та пасиваційної. Дослідний зразок поміщали між двома частинами комірки, пасивуючи дифузійну сторону зразка водним розчином біхромату калію. Після стабілізації фіксували електродний потенціал. Наводненим середовищем (при корозії) слугував бн. розчин  $H_2SO_4$  (х. ч.). Ним заповнювали корозійну частину комірки і вже з цього моменту відлікували час проник-

нення водню крізь зразок до помітного зсуву електродного потенціалу на дифузійній стороні у результаті порушення воднем окисної плівки. Це характеризувало явище проникнення водню у метал з корозивного середовища, а також параметри дифузії водню у металі.

Водневу проникливість досліджували за температур 60 та 90 °С. Результати усереднювали за трьома ідентичними випробуваннями. Осьові залишкові напруження визначали за відомою методикою [10] на установці РОН [11], використовуючи тензOMETричні давачі опору.

**Результати досліджень.** Металографічні дослідження виявили у приповерхневих шарах витягнуті зерна (текстуру) у напрямі прокатування (рис. 1).

Підвищена мікротвердість спостерігалася на глибині до 25...30 мкм від поверхні. У серцевині мікротвердість катаних пластин така ж, як у вихідних. У поверхневих шарах пластин, катаних вздовж і впоперек, виникли залишкові напруження стиску (рис. 2).

Біля поверхні — спад напружень, а під поверхнею, на глибині ~30 мкм, — їх максимум. У зразках поздовжнього прокатування залишкові напруження дещо вищі: біля поверхні — 300 МПа, а під поверхнею — 400 МПа. Стискальні залишкові напруження розподіляються на

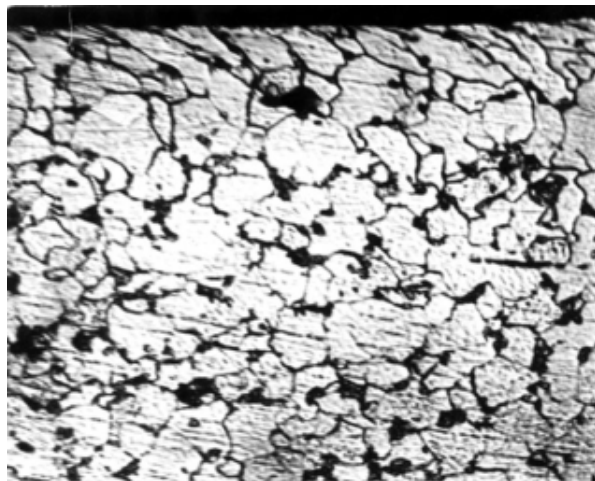


Рис. 1. Структура сталі 20X після прокатування (зріз вздовж прокати),  $\times 500$

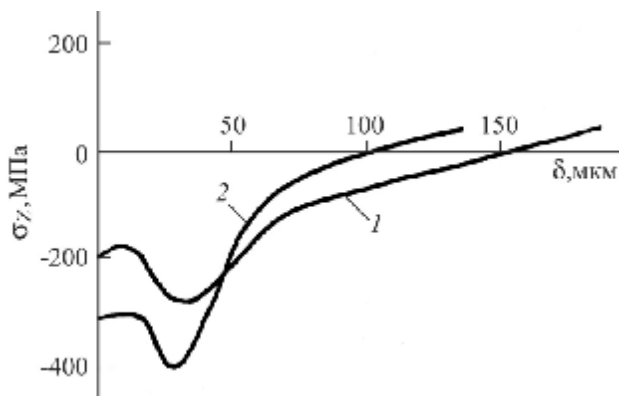


Рис. 2. Розподіл осьових залишкових макронапружень у поверхневих шарах зразків після прокатування у поперечному (1) та повздовжньому (2) напрямках

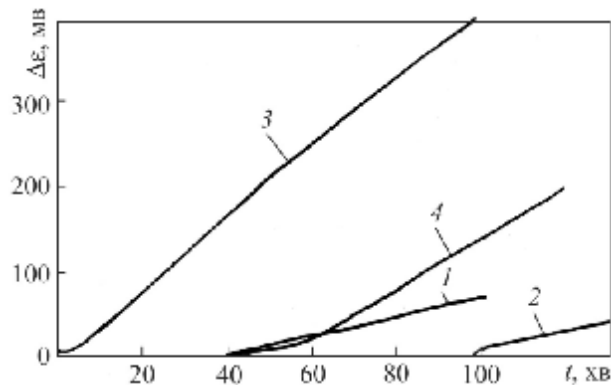


Рис. 3. Кінетика проникнення водню при температурі 60°C (1, 2) та 90°C (3, 4) крізь сталь після відпалу (1, 3) і відпалу з наступним прокатуванням (2, 4)

глибину 100...150 мкм і стабільні при підвищених температурах. Витримка катаних пластин при температурі 100 °С впродовж 2 год неістотно змінила епюру залишкових напружень (~7 %).

Електрохімічні дослідження показали, що швидкість дифузії та проникнення водню крізь зразок з поверхневим зміцненим шаром істотно змінились (рис. 3). Прокатування сталі збільшило час проникнення водню у чотири рази при 90 °С та втричі при 60 °С. Про пониження водневої проникливості катаної сталі можна судити також і за зміною потенціалу дифузійної сторони зразка (мембрани) проникним воднем. Тут слід зауважити, якщо зміна пасиваційного потенціалу проникним воднем залежить від інтенсивності корозії та водневого виділення на корозійній стороні мембрани, то час проникнення водню через мембрану у таких умовах не залежить від цих чинників. Не дивлячись на те, що деформація активізує поверхню металу, пришвидшуючи корозивні процеси, що збільшує виділення водню на поверхні зразка, однак, створені залишкові стискальні напруження та текстура у поверхневих шарах зразків гальмують проникнення водню, а, отже, призупиняють водневу деградацію сталі.

**Висновок.** Пластичне деформування — холодне прокатування за малих деформацій (7,5 %) викликає текстурування у приповерхневих шарах виробів (витягування зерен у напрямі прокатування), підвищуючи їхню твердість, та спричиняє виникнення стабільних стискальних залишкових напружень, що істотно понижує водневу проникливість сталі 20X у корозивних середовищах за підвищених температур.

### Література

1. *Попшев Д. Д.* Отделочно-упрочняющая обработка поверхностным пластическим деформированием. — М.: Машиностроение, 1978. — 152 с.
2. *Гусякова Г. П.* Пластическая обработка металлов и сварных соединений с целью повышения долговечности изделий. — Горький: Изд-во НТО машиностроительной промышленности, 1987. — 51 с.
3. *Пистун И. П., Старчак В. Г., Кослицкий А. Б.* Влияние вибрационной обработки на повышение сопро-

тивлення високопрочної сталі воздействию водорода // Защита металлов. — 1976. — №5. — С. 619—620.

4. *Бережницькая М. Ф., Козырев В. И., Коваль В. П.* Влияние механической обработки на стойкость стали к сульфидному растрескиванию // РИТС «Коррозия и защита в нефтегазовой промышленности». — М.: ВНИИОЭНГ, 1979. — Вып. 4. — С. 25—27.

5. *Способ* повышения долговечности насосных штанг / С. И. Тараевский, Б. В. Копей, А. Б. Куслицкий, М. Ф. Бережницкая // Реф. научно-техн. сборник: Нефтяная промышленность, серия «Машины и нефтяное оборудование». — М.: ВНИИОЭНГ, 1983. — Вып. 9. — С. 1—2.

6. *Ткачов В. И., Іваськевич Л. М.* Механічні властивості хромомарганцевих аустенітних сталей у середовищі водню // Фіз.-хім. механіка матеріалів. — 1999. — №5. — С. 75—78.

7. *Ткачев В. И., Холодный В. И., Левина И. Н.* Работоспособность сталей и сплавов в среде водорода. — Львов: Вертикаль, 1999. — 256 с.

8. *Патент* України № 27690. Спосіб покращення механічних властивостей аустенітних сталей у середовищі водню високого тиску / В. І. Ткачов, В. І. Витвицький, М. П. Бережницька, С. О. Гребенюк. — Опубл. 12.11.2007, Бюл. № 18.

9. *Свист Е. И., Миндюк О. К.* Установка для электрохимического исследования процессов проникания водорода через металлы в условиях агрессивных сред, напряжений и повышенных температур // Физ.-хим. механика материалов. — 1973. — №2. — С. 94—95.

10. *Бережницька М. П.* Визначення залишкових напружень у призматичних та циліндричних стрижнях // Праці наук. тов. ім. Шевченка. — Львів, 2003. — С. 10—15.

11. *Бабей Ю. И., Бережницкая М. Ф.* Метод определения остаточных напряжений первого рода. — Львов: Изд-во ФМИ им. Г. В. Карпенко АН УССР. — 1980. — 65 с. — (Препринт № 30).

Отримана 30.04.09

*M. Berezhnitska*

**The influence of plastic deformation of 20X steel on its hydrogen permeability**

*Karpenko Physico-Mechanical Institute of National Academy of Sciences of Ukraine, Lviv*

*The structural and stress state of the surface layers of 20X steel plates after cold rolling under small deformation and its influence on hydrogen permeability have been investigated. It has been found that rolling significantly decreases hydrogen permeability of steel in high-temperature corrosion environment.*

21 01 01 0030

ТРЕТЯ МІЖНАРОДНА КОНФЕРЕНЦІЯ

## ДЕФОРМАЦІЯ І РУЙНУВАННЯ МАТЕРІАЛІВ І НАНОМАТЕРІАЛІВ DFMN 2009

12 — 15 жовтня 2009 р.

Інституті металургії і матеріалознавства ім. А. А. Байкова РАН,  
м. Москва, Росія

### Тематика конференції:

— Загальні закономірності процесів деформації і руйнування конденсуючих середовищ на нано- мікро- і макрорівнях.

— Взаємозв'язок фізичних, термофізичних і електрофізичних властивостей матеріалів з процесами деформації і руйнування.

— Розроблення й оптимізація технологій оброблення і виробництва матеріалів, заснованих на процесах пластичної деформації і руйнування.

— Нові конструкційні сталі і сплави.

— Міцність і пластичність перспективних матеріалів (композиційних і градієнтних матеріалів, покриттів, гетероструктур, фуллеренів, високотемпературних надпровідників, аморфних і наноматеріалів, високоміцних керамік, інтерметалідів, піноматеріалів і стільникових структур).

— Процеси деформації і руйнування в трибосистемах.

— Деформування і руйнування будівельних, природних і біомедичних матеріалів.

— Оцінювання ресурсу деталей машин, механізмів, конструкцій приладів, технології, що дозволяють попередити процеси руйнування, способи боротьби з катастрофічним руйнуванням.

— Нові ефективні методи дослідження пластичної деформації і руйнування.

— Комп'ютерне моделювання і математичні методи опису структури та механічної поведінки матеріалів.

### Контакти:

119991, Росія, Москва, Ленінський просп., 49,  
ІМЕТ РАН.

Лабораторія міцності і пластичності металевих і композиційних матеріалів і наноматеріалів.

Тел.: 8 (499) 135-44-91; +7 (495) 788-55-23

<http://dfmn-imetran.narod.ru>