

## МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

УДК 669:539.43:539.56

І. О. ВАКУЛЕНКО<sup>1</sup>, С. В. ПРОЙДАК<sup>2</sup>, М. М. ГРИЩЕНКО<sup>3</sup>, М. А. ГРИЩЕНКО<sup>4</sup>,  
Ю. Л. НАДЄЖДІН<sup>5</sup>, С. О. ПЛІТЧЕНКО<sup>6\*</sup>

<sup>1</sup> Каф. «Технологія матеріалів», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 56, ел. пошта dnyzt\_texmat@ukr.net

<sup>2</sup> Каф. «Технологія матеріалів», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 56, ел. пошта dnyzt\_texmat@ukr.net

<sup>3</sup> Каф. «Технологія матеріалів», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 56, ел. пошта dnyzt\_texmat@ukr.net

<sup>4</sup> Каф. «Технологія матеріалів», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 56, ел. пошта dnyzt\_texmat@ukr.net

<sup>5</sup> Каф. «Технологія матеріалів», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 56, ел. пошта dnyzt\_texmat@ukr.net

<sup>6\*</sup> Каф. «Технологія матеріалів», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 56, ел. пошта dnyzt\_texmat@ukr.net

### ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ АРМАТУРИ З ВИСОКИМ РІВНЕМ МІЦНОСТІ

**Мета.** Оцінка впливу технологічних складових на комплекс властивостей при виготовленні арматури з високим рівнем міцності. **Методика.** Матеріалом для дослідження була обрана низьколегована сталь 20ХГС2. Термічне зміцнення стрижнів діаметром 6,5 мм здійснювали прискореним охолодженням від температур нагріву 1080...1100 °С. Відпуск проводили в камерних печах. Холодну пластичну деформацію здійснювали волочінням. Механічні властивості визначали з аналізу кривої розтягання. Мікроструктуру вивчали з використанням світлового мікроскопу і методик кількісної металографії. В якості параметра стану тонкої кристалічної будови металу була використана ширина лінії ( $\beta_{220}$ ) рентгенівської інтерференції (220).

**Результати.** Послідовно показана зміна комплексу властивостей в залежності від температури кінця прискореного охолодження катанки зі сталі, яка досліджується. Наведений аналіз структурного стану термозміцненого прокату і після різних ступенів пластичної деформації волочінням. В роботі показано, що після деформації 20...30 % прискорено охолодженої сталі 20ХГС2 до температури 580...600 °С, відносно видовження сталей зберігалось на рівні 6 %, а міцність досягає значень 2000...2100 МПа. Використання операції відпуску в середньому інтервалі температур дозволяє підвищити пластичні властивості попередньо термічнозміцненого, холоднодеформованого прокату. **Наукова новизна.** Деформування термічно зміцненої низьколегованої сталі 20ХГС2 супроводжується монотонним зменшенням ширини лінії рентгенівської інтерференції (220). Темп підвищення міцності при холодному деформуванні сталі з мартенсито-бейнітними структурами обумовлений одночасним розвитком процесів пом'якшення від розпаду мартенситних структур і деформаційного зміцнення. **Практична значимість.** Результати досліджень можуть бути використані для розробки технології виготовлення високоміцного арматурного прокату в промислових умовах металургійного виробництва.

**Ключові слова:** мікроструктура; мартенсит; холодна деформація; міцність; пластичність; арматура

#### Вступ

Значну частину арматурного прокату різних рівнів міцності виготовляють з низьколегованих сталей після термічної обробки. Використання такої арматури для армування залізобетонних конструкцій дозволяє без зниження їх

конструктивної міцності істотно зменшити витрати металу.

В порівнянні з технологією виготовлення високоміцної арматури за рахунок легування сталей, термічне зміцнення і подальша холодна пластична деформація дозволяють в широкому діапазоні змінювати співвідношення характеристик міцності і пластичності металу [1, 2].

## МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

**Стан питання**

Ступінь зміцнення металу визначається його структурним станом. При термічному зміцненні по перетину прокату формується достатньо значна структурна неоднорідність. Структура може змінюватися від мартенсито-бейнітної на поверхні прокату до перліто-ферритної в осьових об'ємах [3, 9, 10].

За сучасних умов виробництва стрижневу арматуру часто виготовляють за технологією двохстадійного прискореного охолодження, [2, 3] спочатку до 800...900 °С, а потім після витримки 1...2 с зі швидкістю вище за критичне значення, до температури 300...350 °С. Далі може бути використане холодне волочіння і відпуск при 350...420 °С, терміном до 60 хв. В результаті вказаної обробки можна отримати стрижньову арматуру з рівнем міцності до 1600 МПа.

В порівнянні зі стрижневою арматурою, широке застосування в будівництві має бунтовий прокат.

При виробництві арматури з міцністю порядку 1000 МПа, використання сталі 20ГС з підвищеним вмістом вуглецю дозволяє замінити сталі типу 20Г2С з економією до 17 % марганцю. Досягнення необхідного співвідношення між міцністю і пластичними характеристиками металу можливо за рахунок зміни температури кінця прискореного охолодження [1-3]. Розробка і впровадження сталей з низькою чутливістю до тривалості прискореного охолодження сприяє підвищенню рівномірності комплексу властивостей уздовж арматурного прокату.

**Мета роботи**

Оцінка впливу технологічних складових на комплекс властивостей при виготовленні арматури з високим рівнем міцності.

**Матеріал і методика досліджень**

Матеріалом для дослідження була обрана низьколегована сталь 20ХГС2. Термічне зміцнення стрижнів діаметром 6,5 мм здійснювали прискореним охолодженням від температур нагріву 1080...1100 °С. Відпуск проводили в камерних печах. Холодну пластичну деформа-

цію волочінням проводили на спеціально пристосованому лабораторному устаткуванні. Механічні властивості визначали з аналізу кривої розтягу при швидкості деформації  $10^{-3} \text{ с}^{-1}$ . Мікроструктуру вивчали з використанням світлового мікроскопу і методик кількісної металографії [4]. В якості параметру стану тонкої кристалічної будови металу була використана ширина лінії ( $\beta_{220}$ ) рентгенівської інтерференції (220), яка дозволяє оцінити сумарний ефект від кількості дефектів і викривлень другого роду [7].

**Результати**

В порівнянні з гарячекатаним станом, після термічного зміцнення (прискорене охолодження прокату зі швидкістю, вищою за критичне значення) формується складна структура з визначеним градієнтом від поверхні до внутрішніх об'ємів металу (рис. 1). При більш великих збільшеннях можна визначити, що мікроструктура поверхневого шару металу відповідає мартенсито-бейнітній суміші після низькотемпературного відпуску (рис. 2). Внутрішні об'єми прокату мають аналогічну структуру, але після значно вищих температур відпуску (рис. 3).

Результати випробування досліджуваних сталей показали, що після охолодження до температур 610...620 °С необхідного рівня міцності в стрижнях досягти дуже складно. Дійсно, після холодної деформації волочінням з діаметру 6,5 мм на діаметри 6,0 і 5,5 мм рівень міцності був підвищеним недостатньо.

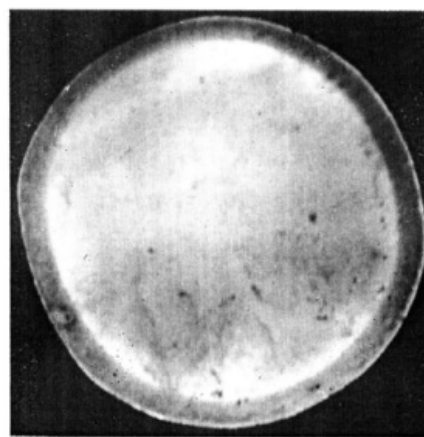


Рис. 1. Макроструктура перетину стрижневої арматури після термічного зміцнення

## МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

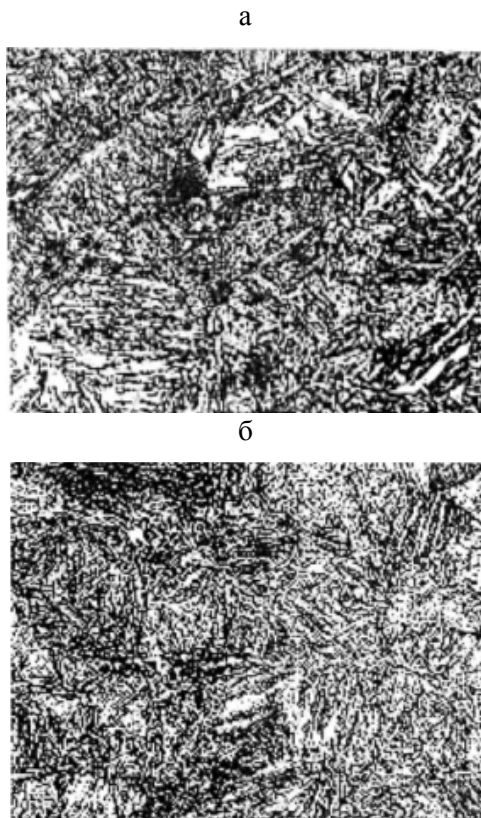


Рис. 2. Мікроструктура поверхневих об'ємів катанки зі сталі 20ХГС2 після прискореного охолодження до температури 610...620 °С (а) і до 580...600 °С (б) збільшення 800

Зниження температури кінця примусового охолодження до значень 580...600 °С призвело до підвищення об'ємної частки мартенситобейнітних структур (рис. 2, б і рис. 3, б). В результаті була отримана катанка з мартенситною структурою на поверхні стрижнів, а в центральних об'ємах за перетворенням по проміжному механізму. При певному співвідношенні зон зміцнення, агрегатної міцності, як показали дослідження металу, вже було достатньо для отримання високоміцної холоднотягнутої арматури.

Враховуючи, що коефіцієнт деформаційного зміцнення ( $n$ ) і максимальне витягування металу при волочінні ( $\mu$ ) для низковуглецевих сталей зв'язані прямо пропорційною залежністю [5], визначення значень  $n$  дозволило оцінити здатність сталі до холодного волочіння. Після аналізу дійсних діаграм розтягу сталі, яка досліджується після термічного зміцнення було виявлено, що рівень значень показника дефор-

маційного зміцнення вказує на можливість витримки металом пластичної деформації до 40...50 % без формування ушкоджень.

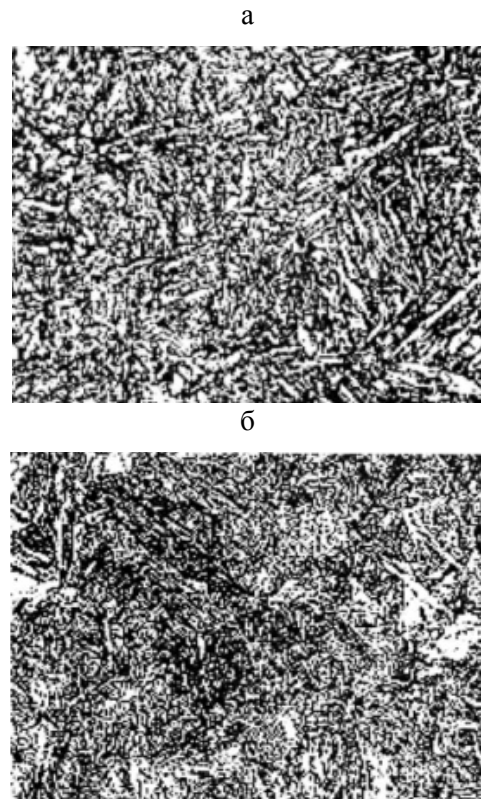
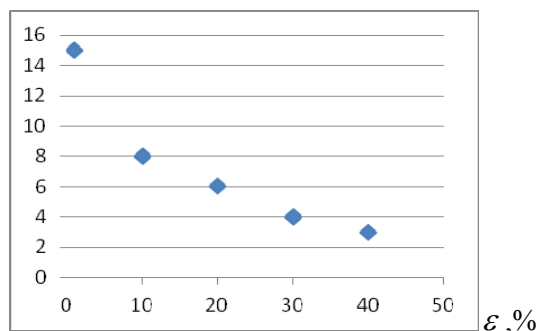
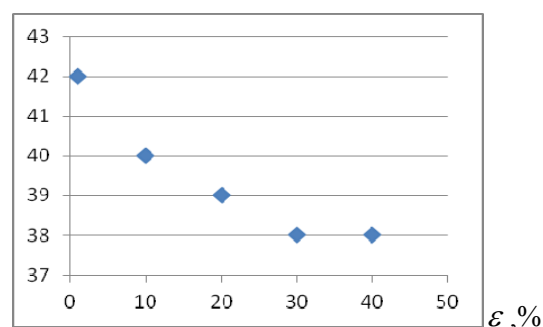


Рис. 3. Мікроструктура внутрішніх об'ємів катанки зі сталі 20ХГС2 після прискореного охолодження до температури 610...620 °С (а) і до 580...600 °С (б) збільшення 800

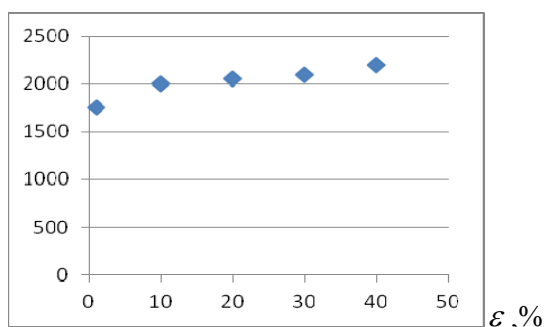
На рис. 4, 5 і 6 надана залежність зміни властивостей термічно зміцненої катанки зі сталі 20ХГС2 після різних ступенів холодної пластичної деформації. Холодна пластична деформація волочінням супроводжувалася зростанням міцності і цілком очікуваним зниженням пластичних властивостей (див. рис. 4). Після деформації 20 % відносно видовження сталей зберігалася на рівні 6 %, а міцність складала значення порядку 2000...2100 МПа (див. рис. 5).

Отриманий результат можна розглядати як свідчення про можливість досягнення рівнів міцності більше 2000 МПа. Подальше збільшення пластичної деформації супроводжувалося прогресуючим підвищенням міцності і зниженням пластичних характеристик металу. При дослідженнях стану тонкої кристалічної будови металу був отриманий результат: зменшення  $\beta_{220}$  при зростанні  $\varepsilon$  (див. рис. 6).

## МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

 $\delta, \%$ Рис. 4. Вплив ступеню пластичної деформації волочінням ( $\varepsilon$ ) на відносне видовження ( $\delta$ ) сталі після термічного зміцнення $\beta_{220}, \text{мрад}$ Рис. 6. Вплив ступеню пластичної деформації волочінням ( $\varepsilon$ ) на ширину дифракційної лінії (220) сталі після термічного зміцнення

МПа

Рис. 5. Вплив ступеню пластичної деформації волочінням ( $\varepsilon$ ) на межу міцності сталі після термічного зміцнення

Хоча відомо, що для вуглецевих сталей з ферито-перлітними структурами, незалежно від дисперсності і морфології карбідної фази, збільшення  $\varepsilon$  супроводжується лише зростанням величини  $\beta_{220}$  [1, 7, 8].

Визначений характер зміни  $\beta_{220}$  вказує на одночасний розвиток декількох процесів внутрішньої перебудови металу при деформації. По-перше, при пластичній деформації мартенситних кристалів відбувається зниження ступеню тетрагональності їх кристалічної решітки, що за характером впливу є аналогічним пом'якшенню [5]. Обумовлений наведений стан переходом атомів вуглецю з твердого розчину на дислокації, які введені в метал при волочінні [7, 11, 12].

Другим чинником, що сприяє зниженню темпу приросту міцності сталі при деформації, слід вважати розвиток процесів анігіляції дислокацій [6].

Річ у тому, що при гартуванні формуються дислокації лише одного знаку і розвиток анігіляційних процесів, наприклад, при нагріві, значно ускладнений. При деформації ж волочінням додатково вводяться дислокації різних знаків, що може сприяти (на початкових етапах деформування) зниженню рівня накопиченої кількості дефектів і, в першу чергу, дислокацій [1, 5].

На підставі отриманих результатів можна вважати, що після холодної пластичної деформації волочінням 20 % термічно зміцненої сталі, можна досягти межі міцності 2000...2100 МПа (див. рис. 5). Подальше підвищення ступеню деформації супроводжується прогресуючим зниженням пластичних властивостей металу.

Одним із ефективних способів підвищення пластичності холоднодеформованого металу є нагрів до визначених температур [2, 3].

Мікроструктурними дослідженнями визначено, що пластична деформація не вносить помітних змін до структури сталі після термічного зміцнення. Типова мартенсито-бейнітна структура зберігається без якісних змін.

Відпуск при температурі 400 °С, незалежно від ступеню попередньої деформації, практично не змінює характерну голчасту будову металу, хоча властивості міцності і пластичності суттєво змінюються [1]. Нагрів до 450 °С супроводжується появою в структурі карбідних частинок високої дисперсності з рівномірним розташуванням в матриці металу. Присутність часток другої фази в структурі сталі приводить до змін в характері деформаційного зміцнення (дисперсійне зміцнення) [8, 13]. Подальше зро-

## МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

стання температури нагріву до 550 °С супроводжується прискоренням процесів коалесценції карбідних частинок, зменшенням густини дефектів кристалічної будови [1, 5].

Таким чином, одночасний розвиток вказаних процесів структурних перетворень є основною причиною різкого зниження властивостей міцності після відпуску 550 °С.

На основі проведених досліджень можна вважати перспективною технологію комбінованої обробки сталі 20ХГС2 для виготовлення арматури високої міцності. Обробка полягає в термомеханічному зміцненні, холодному деформуванні на 20...40 % і відпуску при температурах 400...500 °С. В результаті можна отримати арматуру діаметром 6,0...5,0 мм з міцністю до 1900...2000 МПа з різним рівнем пластичних властивостей.

Використання низьколегованих сталей з підвищенням вмістом вуглецю (30ХГС2 і 33ХГС) після вказаної комбінованої обробки, дозволить отримати арматуру ще більш високих рівнів міцності і діаметрів.

**Наукова новизна**

1. Деформування термічнозміцненої низьколегованої сталі 20ХГС2 супроводжується монотонним зменшенням ширини лінії рентгенівської інтерференції (220).

2. Темп підвищення міцності при холодному деформуванні сталі з мартенсито-бейнітними структурами обумовлений одночасним розвитком процесів пом'якшення від розпаду мартенситних структур і деформаційного зміцнення.

**Практична значимість**

Результати досліджень можуть бути використані для розробки технології виготовлення високоміцного арматурного прокату в промислових умовах металургійного виробництва.

**Висновки**

1. Після деформації 20...30 % прискорено охолодженої сталі 20ХГС2 до температури 580...600 °С, відносно видовження сталей зберігалось на рівні 6 %, а міцність досягає значень 2000...2100 МПа.

2. Використання операції відпуску в середньому інтервалі температур дозволяє підвищити пластичні властивості попередньо термічнозміцненого, холоднодеформованого прокату.

**СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

1. Бабич, В. К. Деформационное старение стали [Текст] / В. К. Бабич, Ю. П. Гуль, И. Е. Долженков – Москва : Металлургия, 1972. – 320 с.
2. Бернштейн, М. Л. Термомеханическая обработка металлов и сплавов [Текст] / М. Л. Бернштейн – Москва : Металлургия, 1968. – 1172 с.
3. Большаков, В. И. Упрочнение строительных сталей повышенной и высокой прочности после контролируемой прокатки [Текст] / В. И. Большаков. – Торонто, Канада : Базилиан Пресс, 1998. – 312 с.
4. Вакуленко, І. О. Структурний аналіз в матеріалознавстві [Текст] / І. О. Вакуленко. – Дніпропетровськ : Маковецкий, 2010. – 124 с.
5. Вакуленко, І. А. Морфология структуры и деформационное упрочнение стали / И. А. Вакуленко, В. И. Большаков. – Днепропетровск : Маковецкий, 2008. – 196 с.
6. Коттрелл, А. Х. Дислокации и пластическое течение в кристаллах [Текст] / А. Х. Коттрелл. – Москва : Металлургиздат, 1958. – 255 с.
7. Курдюмов, Г. В. Превращения в железе и стали [Текст] / Г. В. Курдюмов, Л. М. Утевский, Р. И. Энтин – Москва : Наука, 1977. – 236 с.
8. Atkinson, J. D. The Work – hardening of Copper – Silica: IV. The Bauschinger Effect and Plastic Relaxation [Text] / J. D. Atkinson, L.M. Brown, W.B. Stobs // Philosophical Magazine. – 1974. – Vol. 30, № 6. – P. 1247–1280.
9. Bhadeshia, H. K. D. H. Bainite in Steels [Text] / H. K. D. H. Bhadeshia – Cambridge : The University Press, 2001. – 237 p.
10. Davenport, A. T. The Hot Deformation of Austenite [Text] / A. T. Davenport – New York, USA, 1977. – pp. 517 – 536.
11. Li, J.C.M. Consequence of asymmetric energy barriers to dislocation motion [Text] / J.C.M. Li // Acta Met. 1970, vol. 18. – № 10. – pp. 1099–1105.
12. Pickard, S. M. Strain – ageing behavior of fatigued Fe-N-C alloys [Text] / S. M. Pickard // Acta Met, 1990, vol. 38. – № 3. – pp. 397–401.
13. Vakulenko, I. A. Effect of the morphology and size of iron carbide on the fatigue strength of carbon steels [Text] / I. A. Vakulenko, O. N. Perkov // Russian Metallurgy. – vol. 2008, № 3. – pp. 225–228.

## МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

И. А. ВАКУЛЕНКО<sup>1</sup>, С. В. ПРОЙДАК<sup>2</sup>, Н. Н. ГРИЩЕНКО<sup>3</sup>, Н. А. ГРИЩЕНКО<sup>4</sup>,  
Ю. Л. НАДЕЖДИН<sup>5</sup>, С. А. ПЛИТЧЕНКО<sup>6\*</sup>

<sup>1</sup> Каф. «Технология материалов», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 56,

эл. почта dnyzt\_texmat@ukr.net

<sup>2</sup> Каф. «Технология материалов», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 56,

эл. почта dnyzt\_texmat@ukr.net

<sup>3</sup> Каф. «Технология материалов», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 56,

эл. почта dnyzt\_texmat@ukr.net

<sup>4</sup> Каф. «Технология материалов», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 56,

эл. почта dnyzt\_texmat@ukr.net

<sup>5</sup> Каф. «Технология материалов», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 56,

эл. почта dnyzt\_texmat@ukr.net

<sup>6\*</sup> Каф. «Технология материалов», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 56,

эл. почта dnyzt\_texmat@ukr.net

## ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ АРМАТУРЫ С ВЫСОКИМ УРОВНЕМ ПРОЧНОСТИ

**Цель.** Оценка влияния технологических параметров на комплекс свойств при изготовлении арматуры с высоким уровнем прочности. **Методика.** Материалом для исследования была выбрана низколегированная сталь 20ХГС2. Термическое упрочнение стержней диаметром 6,5 мм осуществляли ускоренным охлаждением от температур нагрева 1080...1100 °С. Отпуск проводили в камерных печах. Холодную пластическую деформацию осуществляли волочением. Механические свойства определяли из анализа кривой растяжения. Микроструктуру изучали с использованием светового микроскопа и методик количественной металлографии. В качестве параметра оценивающего тонкое кристаллическое строение металла была использована ширина линии ( $\beta_{220}$ ) рентгеновской интерференции (220). **Результаты.** Показано изменение комплекса свойств в зависимости от температуры конца ускоренного охлаждения катанки из стали, которая исследуется. Приведен анализ структурного состояния проката после термоупрочнения и после разных степеней пластической деформации волочением. Показано, что после деформации 20...30 % ускоренно охлажденной стали 20ХГС2 до температуры 580...600 °С, относительное удлинение сохраняется на уровне 6 %, а прочность достигает значений 2000...2100 МПа. Использование операции отпуска в среднем интервале температур позволяет повысить пластические свойства предварительно термоупрочненного, холоднодеформированного проката. **Научная новизна.** Деформация термически упрочненной низколегированной стали 20ХГС2 сопровождается монотонным уменьшением ширины линии рентгеновской интерференции (220). Темп повышения прочности при холодном деформировании стали с мартенсито-бейнитными структурами обусловлен одновременным развитием процессов разупрочнения от распада мартенситных структур и деформационного упрочнения. **Практическая значимость.** Результаты исследований могут быть использованы для разработки технологии изготовления высокопрочного арматурного проката в промышленных условиях металлургического производства.

**Ключевые слова:** микроструктура; мартенсит; холодная деформация; прочность; пластичность; арматура

## МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

I. A. VAKULENKO<sup>1</sup>, S. V. PROYDAK<sup>2</sup>, N. N. GRISCHENKO<sup>3</sup>, N. A. GRISCHENKO<sup>4</sup>,  
YU. L. NADEZHDIR<sup>5</sup>, S. A. PLITCHENKO<sup>6\*</sup>

<sup>1</sup> Kaf. «Technology of materials», Dnepropetrovsk national university of railway transport named after academician V. Lazaryan, 2 Lazaryana Str., Dnepropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 56, e-mail dnyzt\_texmat@ukr.net

<sup>2</sup> Kaf. «Technology of materials», Dnepropetrovsk national university of railway transport named after academician V. Lazaryan, 2 Lazaryana Str., Dnepropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 56, e-mail dnyzt\_texmat@ukr.net

<sup>3</sup> Kaf. «Technology of materials», Dnepropetrovsk national university of railway transport named after academician V. Lazaryan, 2 Lazaryana Str., Dnepropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 56, e-mail dnyzt\_texmat@ukr.net

<sup>4</sup> Kaf. «Technology of materials», Dnepropetrovsk national university of railway transport named after academician V. Lazaryan, 2 Lazaryana Str., Dnepropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 56, e-mail dnyzt\_texmat@ukr.net

<sup>5</sup> Kaf. «Technology of materials», Dnepropetrovsk national university of railway transport named after academician V. Lazaryan, 2 Lazaryana Str., Dnepropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 56, e-mail dnyzt\_texmat@ukr.net

<sup>6\*</sup> Kaf. «Technology of materials», Dnepropetrovsk national university of railway transport named after academician V. Lazaryan, 2 Lazaryana Str., Dnepropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 56, e-mail dnyzt\_texmat@ukr.net

## TECHNOLOGY OF MAKING OF ARMATURE WITH HIGH LEVEL OF DURABILITY

**Purpose.** Assessing the impact of technological parameters on the properties of the complex in the manufacture of valves with a high level of safety. **Methodology.** Material for the study was selected alloy steel 20ХГС2. Curing rods with a diameter of 6,5 mm was performed rapid cooling from temperatures of 1080...1100 °C. The heating was carried out in Vacuum chamber furnaces. Cold plastic deformation was carried out by drawing. Mechanical properties were determined from the analysis of stress-strain curve. The microstructure was studied using light microscopy and methods of quantitative metallographic. The parameter evaluating thin crystalline structure of the metal line width has been used ( $\beta_{220}$ ) x-ray interference (220). **Findings.** Shows the change in the properties of the complex as a function of temperature end of accelerated cooling of steel wire rod, which is being investigated. The analysis of the structural state of rolled after heat strengthening and after various degrees of plastic deformation by drawing. Shown that 20...30 % after deformation rapidly cooled to a temperature of steel 20ХГС2 580...600 °C, elongation is maintained at the level of 6 %, while the strength reaches at values of 2000-2100 MPa. Using the tempering at an intermediate temperature can improve the plastic properties of the pre-heat-strengthened, cold-rolled steel. **Originality.** The deformation of the thermally bonded low-alloy steel 20ХГС2 accompanied by a monotonic decrease in the line width of x-ray interference (220). Rate of increase in strength during cold deformation of steel martensite-bainite structure is due to the simultaneous development processes from the decay of the softening of martensitic structures and deformation strengthening. **Practical value.** The research results can be used to develop high-technology manufacturing reinforcing bar in an industrial environment for steel making.

**Keywords:** microstructure; martensite; cold deformation; strength; ductility; fittings

*Стаття рекомендована до публікації д.ф.-м.н., проф. В. О. Заблудовським (Україна), д.т.н., проф. В. Д. Петренко (Україна), к.т.н., доц. О. О. Чайковським (Україна).*

Надійшла до редколегії 20.08.2014

Прийнята до друку 28.08.2014