

УДК 621.771

Фролов Я. В.  
Бергеман Г. В.  
Самсоненко А. А.  
Андреев В. В.  
Кузьміна О. М.

## ПІДВИЩЕННЯ МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПРОКАТУ ШЛЯХОМ ЗМІНИ ТЕМПЕРАТУРНО-ДЕФОРМАЦІЙНИХ ПАРАМЕТРІВ ОБРОБКИ

Підвищення механічних властивостей сортового прокату є однією з основних вимог сучасного ринку металопродукції. Воно дозволяє знизити масу металоконструкцій [1] і підвищити конкурентоспроможність підприємства-виробника за рахунок поліпшення якості прокату [2]. Довгий час основним способом регулювання і підвищення механічних властивостей прокатної продукції було поліпшення хімічного складу сталі, що виплавляється, шляхом легування. Однак даний напрямок має ряд обмежень, пов'язаних з освоєнням технологій виплавки та дорожнечою легуючих елементів. Другим напрямом, значний розвиток якого спостерігається останнім часом, є підвищення властивостей металопрокату за рахунок удосконалення процесів термопластичної обробки в лінії стану шляхом регламентування температурно-деформаційно-часових режимів прокатки [3, 4]. Дослідження в цьому напрямку в основному присвячені процесам контрольованої прокатки листа та простого сортового прокату з легуваних сталей [3; 5–7]. При цьому малодослідженим напрямком залишається підвищення механічних властивостей фасонних профілів зі сталей звичайної якості [8]. Тому актуальними є дослідження, спрямовані на визначення впливу температурно-деформаційних режимів обробки, характерних для умов сортової прокатки, на механічні властивості готових профілів.

Метою даної роботи є експериментальне дослідження комплексного впливу температури початку прокатки і деформаційних режимів на механічні властивості прокату.

При розробці плану експерименту були розглянуті наступні варіанти зміни ступеню деформації по проходах (рис. 1): прокатка заготовок з однаковим ступенем деформації в кожному проході (рис. 1, а), зі зменшенням (рис. 1, б) й зі збільшенням (рис. 1, в) ступеня деформації і змішаний режим (рис. 1, г). У даній роботі розглянуті перші три режими.

Дослідження впливу температурного режиму прокатки на механічні властивості заготовок виконувалось шляхом зміни (зниження) температури нагріву заготовок перед прокаткою. Іншим варіантом зміни температурного режиму прокатки є зниження температури прокату в міждеформаційних паузах [5].

Дослідження проводилися в умовах лабораторії кафедри обробки металів тиском ім. акад. О. П. Чекмарьова НМетАУ (м. Дніпро) і центральної заводської лабораторії ПрАТ «Дніпровський металургійний завод» (м. Дніпро). Нагрівання зразків перед прокаткою

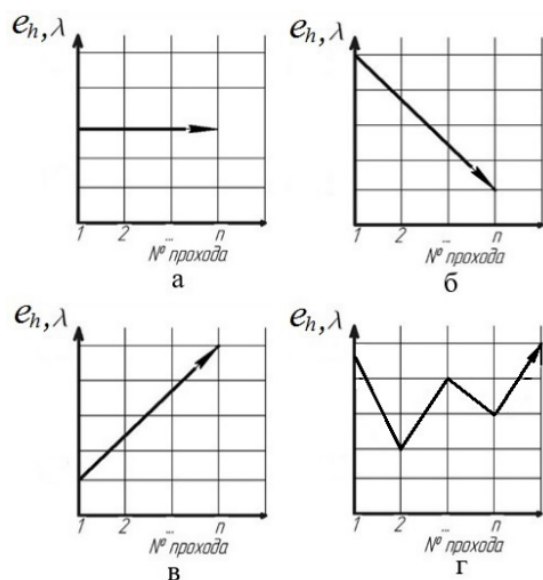


Рис. 1. Можливі схеми зміни деформації за проходами:

- а – з однаковим ступенем деформації;
- б – зі зменшенням ступеня деформації;
- в – зі збільшенням ступеня деформації;
- г – змішана схема

здійснювалося в лабораторній камерній електропечі СНОЛ-2,5.4.1,4 / 11-И1. Після нагріву прокатка велась на реверсивному одноклітьовому стані 200 (потужність двигуна 30 кВт). Наявність коробки передач в лінії привода стану дозволяє регулювати число обертів в межах від 2,8 до 52 об / хв. Виправлення зразків здійснювалось на гідравлічному пресі 2ПГ-125. Після виправлення та обміру зразки передавалися на ПрАТ «Дніпровський металургійний завод» для проведення механічних випробувань.

В роботі проведені експерименти з прокатки заготовки квадратного перерізу на гладких валках без кантування. Матеріал заготовки Ст3пс. Розміри заготовки 25 × 25 × 200 мм. Діаметр валків 205 мм. Довжина бочки валка 400 мм. Частота обертання валків 12,5 об / хв.

Деформація зразків здійснювалася в 4 проходах по режимам, наведеними в табл. 1. Реалізація того чи іншого режиму деформацій здійснювалася в 2 і 3 проході. Перший прохід призначався для вирівнювання висоти прокату і імітував обтискний калібр (в режимах зі зменшенням і зростанням обтисків). Четвертий прохід був чистовим. У всіх проходах мали місце високі й середні осередки деформації ( $l_d/h_{cep} = 0,7 \dots 1,8$ ), характерні для сортової прокатки.

Таблиця 1

Розподіл деформації по проходах

| Режим деформації       | Ступінь деформації, % |       |       |       | Зазор між валками, мм |       |       |       |
|------------------------|-----------------------|-------|-------|-------|-----------------------|-------|-------|-------|
|                        | 1 пр.                 | 2 пр. | 3 пр. | 4 пр. | 1 пр.                 | 2 пр. | 3 пр. | 4 пр. |
| Зі зменшенням обтисків | 30                    | 30    | 10    | 10    | 17                    | 12    | 10    | 9     |
| Зі зростанням обтисків | 30                    | 10    | 30    | 10    | 17                    | 15    | 10    | 9     |
| З рівними обтисками    | 10                    | 30    | 30    | 10    | 22                    | 15    | 10    | 9     |

Прокатка проводилася при трьох температурах початку процесу: 1200 °С, 1100 °С і 1000 °С. За кожним режимом деформувались 3 зразки. Для всіх зразків були проведені випробування на розтягнення і ударний вигин. На рис. 2 приведені гістограми порівняння показників міцності і пластичності матеріалу зразків, прокатаних за розглянутими вище режимами деформацій.

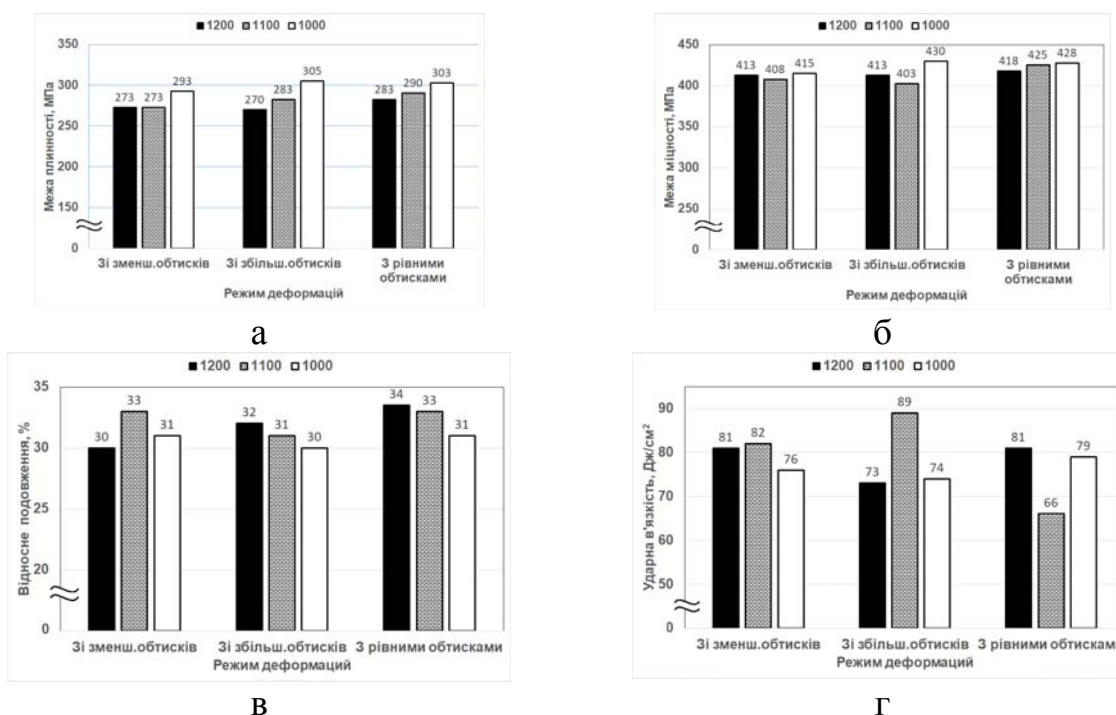


Рис. 2. Порівняння механічних властивостей зразків, прокатаних за різними режимами деформацій:

а – межа плинності; б – межа міцності; в – відносне подовження; г – ударна в'язкість

З наведених даних можна бачити, що при температурі початку прокатки (ТПП) 1200 °С застосування різних режимів деформації не має істотного впливу на величини межі плинності, міцності і ударної в'язкості, але дозволяє підвищити показник відносного подовження. При температурах початку прокатки 1100 °С і 1000 °С зміна режиму призводить до збільшення значень показників міцності і пластичності. Найбільші значення межі плинності і міцності отримані при ТПП = 1000 °С і зростаючому режимі деформацій. Максимальні значення ударної в'язкості отримані при ТПП = 1100 °С і зростаючому режимі деформацій.

У табл. 2 наведено порівняння середніх значень показників механічних властивостей прокату при деформації за досліджуваними режимами з відповідними показниками для прокату, деформованому за базовим режимом. В якості базового був прийнятий найбільш поширений в даний час на вітчизняних підприємствах режим прокатки: зі зменшенням деформацій і температурою початку прокатки 1200 °С. Як можна побачити з наведених даних, досліджувані режими дають можливість підвищити показники міцності для сталі 3пс на 4 ... 13 %, а показники пластичності на 10 ... 13 %.

Таблиця 2

Порівняння показників механічних властивостей для зразків зі сталі 3пс, прокатаних за різними режимами деформацій

|  | Межа текучості, МПа | Межа міцності, МПа | Відносне подовження, % | Ударна в'язкість, Дж/см <sup>2</sup> |
|--|---------------------|--------------------|------------------------|--------------------------------------|
| Базовий режим                                    | 273                 | 413                | 30                     | 81                                   |
| Експериментальні режими                          | 305                 | 430                | 34                     | 89                                   |
| Різниця між експериментальним і базовим режимами | + 32                | + 17               | + 4                    | + 8                                  |

Отримані результати можуть бути реалізовані в умовах існуючих виробництв без істотної зміни технологій і обладнання шляхом впровадження технології прокатки заготовок зі зниженою температурою нагріву.

## ВИСНОВКИ

Проведено експериментальні дослідження впливу температурно-деформаційних режимів прокатки заготовок зі сталі Ст3пс на механічні властивості прокату.

Дослідження показали переважний вплив температурного фактора на механічні властивості прокату відносно деформаційного режиму.

Показники міцності (межа плинності та межа міцності) в цілому збільшуються при всіх трьох досліджуваних режимах деформації – із збільшенням ступеня деформації, із зменшенням його і при рівних ступенях деформації за проходами. Найбільший приріст спостерігався для межі плинності матеріалу зразків, прокатаних при температурі 1000 °С за зростаючим режимом деформацій.

Максимальні значення межі міцності дає режим деформацій зі збільшенням обтисків при найнижчій (у дослідженому діапазоні) температурі. Однак цей режим водночас зменшує показники пластичних характеристик металу: відносного подовження та ударної в'язкості. Це може бути обумовлено залишками деформаційного зміцнення металу у напрямку прокатки, та неповним відновленням властивостей внаслідок рекристалізації. Для досягнення кращих показників пластичності можна рекомендувати прокатку при температурі 1100 °С зі зменшенням або рівними обтисками за проходами.

Застосування різних сполучень температур початку прокатки і режимів деформації в лабораторних умовах дозволяє підвищити значення показників міцності і пластичності на 4 ... 13 %.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Большаков В. И. Термическая и термомеханическая обработка строительных сталей / В. И. Большаков, В. Н. Рычагов, В. К. Флоров. – Днепропетровск : Січ, 1994. – 232 с. – ISBN 5-7775-0484-1.
2. Бергеман Г. В. Способы повышения механических свойств фасонных профилей из углеродистых сталей обыкновенного качества / Г. В. Бергеман // Пластическая деформация металлов : коллективная монография. – Днепропетровск : Акцент ПП, 2014. – С. 56–65. – ISBN 978-617-7109-18-0.
3. Тарасевич Ю. Ф. Формирование структуры и свойств заготовок и проката черных металлов / Ю. Ф. Тарасевич // Итоги науки и техники. Серия : Прокатное и волочильное производство. Том 13. – М. : ВИНТИ, 1985. – С. 69–135. – ISSN 0202–7771.
4. Рудской А. И. Термомеханическая обработка сортового проката в потоке прокатных станов / А. И. Рудской, Г. Е. Коджаспиров // Пластическая деформация металлов : коллективная монография. – Днепропетровск : Акцент ПП, 2014. – С. 56–65. – ISBN 978-617-7109-18-0.
5. Влияние режимов контролируемой прокатки на структуру и механические свойства стали / В. П. Полухин, М. Л. Бернштейн, В. А. Пешков и др. // Сталь. – 1983. – № 9. – С. 68–71.
6. Погоржельский В. И. Контролируемая прокатка непрерывнолитого металла / В. И. Погоржельский, Д. А. Литвиненко, Ю. И. Матросов, А. В. Иваницкий. – М. : Металлургия, 1979. – 184 с.
7. Минаев А. А. Контролируемая прокатка сортовой стали / А. А. Минаев, С. В. Устименко. – М. : Металлургия, 1990. – 176 с. – ISBN 5-229-00296-4.
8. Применение планируемого эксперимента при исследовании контролируемой прокатки угловой стали / В. А. Боровских, Г. Н. Мулько, Н. Г. Савиных и др. // Сталь. – 1981. – № 9. – С. 54–55.

## REFERENCES

1. Bol'shakov V. I. Termicheskaja i termomehanicheskaja obrabotka stroitel'nyh stalej / V. I. Bol'shakov, V. N. Rychagov, V. K. Florov. – Dnepropetrovsk : Sich, 1994. – 232 s. – ISBN 5-7775-0484-1.
2. Bergeman G. V. Sposoby povyshenija mehanicheskix svojstv fasonnyh profilej iz uglerodistykh stalej obyknovennogo kachestva / G. V. Bergeman // Plasticheskaja deformacija metallov : kollektivnaja monografija. – Dnepropetrovsk : Akcent PP, 2014. – S. 56–65. – ISBN 978-617-7109-18-0.
3. Tarasevich Ju. F. Formirovanie struktury i svojstv zagotovok i prokata chernyh metallov / Ju. F. Tarasevich // Itogi nauki i tehniki. Serija : Prokatnoe i volochil'noe proizvodstvo. Tom 13. – M. : VINITI, 1985. – S. 69–135. – ISSN 0202–7771.
4. Rudskoj A. I. Termomehanicheskaja obrabotka sortovogo prokata v potoke prokatnyh stanov / A. I. Rudskoj, G. E. Kodzhaspirov // Plasticheskaja deformacija metallov : kollektivnaja monografija. – Dnepropetrovsk : Akcent PP, 2014. – S. 56–65. – ISBN 978-617-7109-18-0.
5. Vlijanie rezhimov kontrolirujemoj prokatki na strukturu i mehanicheskie svojstva stali / V. P. Poluhin, M. L. Bernshtejn, V. A. Peshkov i dr. // Stal'. – 1983. – № 9. – S. 68–71.
6. Pogorzhel'skij V. I. Kontroliruemaja prokatka nepreryvnolitogo metalla / V. I. Pogorzhel'skij, D. A. Litvinenko, Ju. I. Matrosov, A. V. Ivanickij. – M. : Metallurgija, 1979. – 184 s.
7. Minaev A. A. Kontroliruemaja prokatka sortovoj stali / A. A. Minaev, S. V. Ustimenko. – M. : Metallurgija, 1990. – 176 s. – ISBN 5-229-00296-4.
8. Primenenie planiruемого jeksperimenta pri issledovanii kontrolirujemoj prokatki uglovoj stali / V. A. Borovskih, G. N. Mul'ko, N. G. Savinyh i dr. // Stal'. – 1981. – № 9. – S. 54–55.

- Фролов Я. В. – д-р техн. наук, зав. каф. ОМТ НМетАУ;  
Бергеман Г. В. – канд. техн. наук, ген. дир. ПрАТ «ДМЗ» ;  
Самсоненко А. А. – канд. техн. наук, доц. каф. ОМТ НМетАУ;  
Андреев В. В. – канд. техн. наук, доц. каф. ОМТ НМетАУ;  
Кузьміна О. М. – канд. техн. наук, доц. каф. ОМТ НМетАУ.

НМетАУ – Національна металургійна академія України, м. Дніпро.

ПрАТ «ДМЗ» – Приватне акціонерне товариство «Дніпровський металургійний завод», м. Дніпро.

E-mail: [kuzmina@metal-forming.org](mailto:kuzmina@metal-forming.org)

Статья поступила в редакцию 11.11.2018 г.