

7. Абразивная стойкость наплавленного металла, содержащего карбиды титана / [А. И. Любич, Т. П. Говорун, А. С. Галагуз, В. В. Дудченко] // Вісник СумДУ. 2011, № 1. – С. 124–128.
8. Stachowiak G. W. Engineering tribology (2<sup>nd</sup> ed.) / G. W. Stachowiak, A. W. Batchelor, 2000. – 769 p.
9. Graff L. Discrete element method simulation of wear due to soil-tool interaction: a thesis... master science: Agricultural and Bioresource Engineering / Lyndon Graff. – Saskatoon, Canada, 2010. – 120 p.
10. Беркович И. И. Трибология. Физические основы, механика и технические приложения: Учебник для вузов / И. И. Беркович, Д. Г. Громаковский. – Самара, 2000. – 268 с.
11. Горные машины и оборудование подземных горных работ. Режущий инструмент горных машин: учеб. пособие / [А. А. Хорешок, Л. Е. Маметьев, А. М. Цехин, А. Ю. Борисов]. – Кемерово, 2012. – 288 с.
12. Попов С. Н. Исследование влияния внешних условий изнашивания на износостойкость резцов дорожной фрезы / С. Н. Попов, Д. А. Антонюк // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні. – 2008. – № 1. – С. 25–29.
13. Ипполитова Г. К. Ошибки измерений физических величин. Методические указания к лабораторному практикуму по физике / Г. К. Ипполитова, И. Л. Скворцова. – М. : МАДИ, 2010. – 9 с.
14. Топчиев А.В. Горные машины и комплексы / [А. В. Топчиев, В. И. Ведерников, М. Т. Коленцев и др.]. – М. : Недра, 1971. – 560 с.
15. Мультианов А. С. Разработка твердосплавного режущего инструмента для разрушения прочных и абразивных горных пород: дис. ... канд. техн. наук: спец. 25.00.20 «Геомеханика, разрушение пород взрывом, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика» / А. С. Мультианов. – Москва. – 2004. – 122 с.
16. Вартанов С. Х. Зарубежные траншейные экскаваторы / С. Х. Вартанов // Строительные и дорожные машины. – № 8. – 1988. – С. 11–13.
17. Закономірності взаємодії різальних елементів робочих органів ґрунтообробних машин з ґрунтом / [М. І. Черновол, В. В. Аулін, В. М. Бобрицький, А. А. Тихий] // Вісник інженерної академії України, 2008. – № 3–4. – 196 с.

Одержано 09.01.2013

**Попов С.М., Андрієнко С.В. Дослідження характеру зношування та аналіз механізму абразивного зношування робочих органів барових машин**

*Досліджено механізм руйнування поверхні тертя робочого інструменту барової машини. Удосконалена та апробована методика промислових випробувань натурних зразків. Проведено трибоматеріалознавчий аналіз характеру зношеної поверхні деталі. Представлено опис впливу зовнішніх параметрів трибосистеми на інтенсивність зношування та працездатність різців.*

**Ключові слова:** абразивне зношування, поверхня тертя, різець, механізм руйнування, лінійний знос, асфальтобетонне покриття, абразивна частка.

**Popov S., Andrienko S. Investigation of wear behavior and analysis of abrasive failure mechanism of the operating tools of bar machine**

*The fracture mechanism of friction surface of the operating tool of the bar machine is investigated. The technique of industrial tests of full-scale specimens are improved and approved. Triboscience of materials analysis of the nature of the worn surface of component is carried out. The description of the influence of external parameters of tribosystem on the wear rate and performance of the cutter picks.*

**Key words:** abrasive wear, friction surface, cutter pick, failure mechanism, linear wear, asphaltic concrete, abrasive particle.

УДК 621.771

Канд. техн. наук С. П. Шейко, В. І. Третяк  
Національний технічний університет, м. Запоріжжя

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ РЕЖИМІВ КОНТРОЛЬОВАНОЇ ПРОКАТКИ ТА ПРИСКОРЕНОГО ОХОЛОДЖЕННЯ НА МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ І МІКРОСТРУКТУРУ НИЗЬКОЛЕГОВАНИХ СТАЛЕЙ

*Проведено порівняльне дослідження впливу технології контрольованої прокатки і контрольованої прокатки з прискореним охолодженням на механічні властивості і мікроструктуру низьколегованої сталі. Показано, що сталь після контрольованої прокатки з прискореним охолодженням має вищий комплекс механічних властивостей.*

**Ключові слова:** контрольована прокатка, прискорене охолодження, низьколегована сталь.

## Вступ

Контрольована прокатка (КП) є найбільш ефективним способом підвищення якості і надійності листового прокату, а також пониження його собівартості. Як вид термомеханічної обробки сталі, сучасна технологія КП з наступним прискореним охолодженням (УО) дозволяє формувати оптимальний структурний стан сталі і тим самим підвищувати рівень механічних властивостей низьковуглецевої сталі [1, 2]. Саме тому шлях до отримання високоякісного прокату лежить через цілеспрямоване управління технологічними параметрами на всіх етапах КП. Проте в літературі недостатньо даних про механізми формування мікроструктури і властивостей низьковуглецевих мікрولهгованих сталей на окремих етапах КП. Зокрема, не визначений взаємозв'язок між окремими технологічними діями і станом гарячедеформованого аустеніту; не вивчений вплив низки технологічних параметрів КП на подрібнення зерна і різнозернистість кінцевої мікроструктури.

Завдання технологічних етапів КП полягає в отриманні структури, що забезпечує високу міцність сталі при достатньому рівні пластичності і в'язкості. Досягти високих показників механічних характеристик можливо подрібненням структури, регулюванням виділення карбонітридів, управлінням процесами рекристалізації й кінетикою перетворення аустеніту, підданого гарячій пластичній деформації [3], і так далі. Основні етапи КП включають аустенізацію або нагрів слябів перед прокаткою, попередню деформацію (чорнову стадію процесу) при температурі, вищій за температуру рекристалізації аустеніту, підстуджування підкату, остаточну деформацію (чистову стадію процесу) в області гальмування рекристалізації аустеніту або в  $\gamma + \alpha$ - області і прискорене охолодження прокату.

Температурний інтервал закінчення чистової стадії контрольованої прокатки має визначальне значення, що істотно впливає на кінцеву мікроструктуру й механічні властивості готових листів. При виробництві низьколегованого прокату широко застосовуються дві схеми КП:

- високотемпературна КП, що характеризується підвищеною температурою кінця прокатки і закінченням деформації в аустенітній області ( $T_{кл} > A_{r3}$ ). Як пра-

вило, застосовується в сукупності з інтенсивним спреї-ерним і ламінарним прискореним охолодженням;

- низькотемпературна КП, яка характеризується зниженою температурою кінця прокатки і закінченням деформації в аустеніт-феритній області ( $T_{кл} < A_{r3}$ ). Частенько реалізується у поєднанні з менш інтенсивним ламінарним прискореним охолодженням і регламентованим відносним обтисканням в останньому чистовому проході (5).

Спроби виконати важливу кількісну оцінку температури аустеніт-феритного перетворення  $A_{r3}$ , що характеризує проєктовані режими КП, супроводжуються значними труднощами, обумовленими складним зв'язком між параметрами процесу, температурними змінами при прокатці і недостатньо вивченими процесами формування і перетворення мікроструктури сучасних низьколегованих сталей [4].

Принципові схеми різних схем КП+УО низьколегованих сталей представлені на рисунках 1 і 2.

**Мета роботи** – провести порівняльне дослідження впливу технології контрольованої прокатки і контрольованої прокатки з прискореним охолодженням (КП+УО) на механічні властивості і мікроструктуру низьколегованої сталі.

## Матеріали та методика досліджень

Для вирішення поставлених у роботі завдань за об'єкти дослідження були взяті дослідно-промислові плавки сучасних низьколегованих сталей, виготовлені відповідно до поставленого в роботі завдання і підходу, а також експериментальні сталі лабораторної виплавки, використовувані для вивчення впливу композицій хімічного складу і параметрів структури (розміру зерна, об'ємної долі структурних складових). Для досягнення необхідного рівня властивостей у сталь були введені елементи, що впливають на кінетику перетворення аустеніту, що зміцнюють сталь по твердорозчинному і дисперсійному механізмах.

Для експериментальних плавок був запропонований базовий склад сталі: 0,07–0,14 % С; 0,25–0,50 % Мп;  $\leq 0,07$  % Si; 0,1 5% Cr, додатково легований молібденом, у різних поєднаннях. Виплавку лабораторних плавок проводили у вакуумній індукційній печі. Маса плавок – 10 кг, розмір заготовок під прокатку – 50 × 40 × 70 мм.

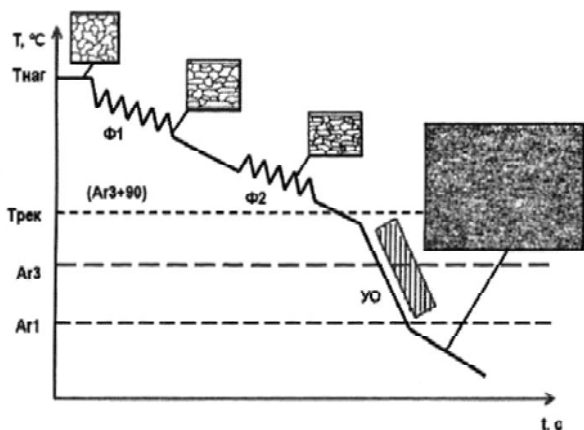


Рис. 1. Технологічна схема високотемпературної КП + УО

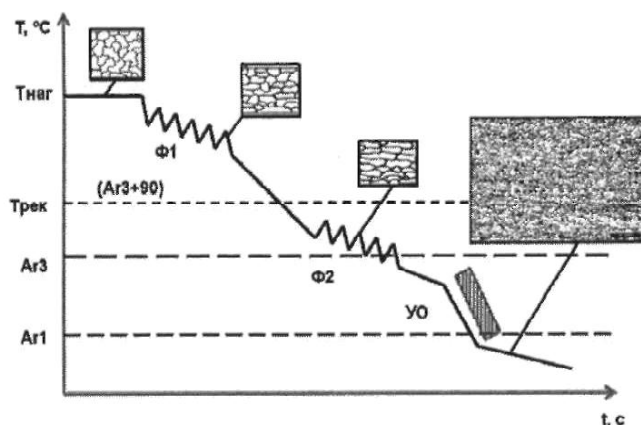


Рис. 2. Технологічна схема низькотемпературної КП + УО

Прокатку дослідних злиwkів на штабу завтовшки 10 мм здійснювали на лабораторному прокатному стані. Нагрів металу під прокатку проводили в камерній печі; загальний час нагріву і витримки становив 1,5 години; температура металу перед прокаткою складала 1160–1180 °С. Чорнову стадію прокатки здійснювали за один прохід з деформацією 40 %, потім слідувала пауза для підстуджування металу, після чого проводили чистову прокатку за три проходи до остаточної товщини з сумарним ступенем деформації понад 70 %. Прокатку і прискорене охолодження здійснювали за наступними схемами: *a* – контрольована прокатка із завершенням у  $\gamma + \alpha$ - області; *b* – контрольована прокатка із завершенням у  $\gamma$ - області з наступним прискореним охолодженням (20 °С/с); *c* – контрольована прокатка із завершенням у  $\gamma + \alpha$ - області з наступним прискореним охолодженням (20 °С/с).

#### Аналіз отриманих результатів

У результаті проведення експериментальних досліджень встановлено, що застосування технології КП+УО дозволяє набути підвищеного значення  $\sigma_B$  (на 35–53 Н/мм<sup>2</sup>), нижче відношення  $\sigma_T/\sigma_B$  і KCV вище на 50–70 Дж/см<sup>2</sup> при температурі –40 °С і Т80 нижче –100 °С. Мікроструктура зразків, оброблених за режимом КП, складається з фериту (деформований  $\approx 50\%$ ) і бейніту; за режимом КП+УО – з полігонального фериту (5–10 %), голчастого фериту і мартенситу. Оскільки сталь після контрольованої прокатки з прискореним охолодженням має вищий комплекс механічних властивостей, було докладніше вивчено вплив температурних режимів термомеханічної прокатки з прискореним охолодженням на механічні властивості. Випробувано чотири режими контрольованої прокатки:

- 1 і 2 із завершенням у  $\gamma$ - області і наступним прискореним охолодженням до 450 °С (1), до 550 °С (2);
- 3 і 4 із завершенням у  $\gamma + \alpha$ - області і наступним прискореним охолодженням до 450 °С (3), до 350 °С (4, 5).

Встановлено, що оптимальна мікроструктура, яка забезпечує механічні властивості, відповідні класу міцності К65 є суміш полігонального ( $\approx 15\%$ ) і голчастого фериту (режими обробки 2 і 3). Оптимальним режимом для виробництва штрипса класу міцності К65 в промислових умовах є термомеханічна прокатка із завершенням у нижній частині  $\gamma$ - області і наступним прискореним охолодженням до температур 500–550 °С.

При такому режимі обробки сталь має високі механічні властивості і добру холодостійкість; мікроструктура складається з полігонального і голчастого фериту. Завершення чистової прокатки нижче від температур 730–740 °С (у двофазній  $\gamma + \alpha$ - області) призводить до різкого зниження ударної в'язкості. У структурі утворюється значна кількість м'якої фази (квазіполігонального фериту) і міцних фаз – голчастий ферит і мартенситу. Окрім зниження ударної в'язкості, зразки мають ферито-мартенситну структуру, мають низьке відношення межі плинності до тимчасового опору ( $\approx 0,74$ ). Доля в'язкої складової в зламі досягає 100 % (в усьому дослідженому інтервалі температур) при завершенні чистової прокатки в інтервалі температур 710–770 °С, ці температури знаходяться в інтервалі –20+40 °С від температури  $A_{c3}$ . При температурі завершення прискореного охолодження нижчій за 440 °С спостерігається різке зниження доли в'язкої складової в зламі. Це можна зв'язати з утворенням у структурі ділянок мартенситу, виділення якого спостерігається при завершенні прискореного охолодження нижчого за 370 °С.

#### Висновки

Запропонований режим забезпечує необхідний комплекс механічних властивостей сталі за рахунок досягнення встановленого кількісного співвідношення структурних складових. Оптимальна мікроструктура, що забезпечує необхідні механічні властивості, є суміш полігонального ( $\approx 15\%$ ) і голчастого фериту.

#### Список літератури

1. Минаев А. А. Совмещенные металлургические процессы: монография / А. А. Минаев. – Донецк : Технопарк ДонГТУ УНИТЕХ, 2008. – 552 с.
2. Бернштейн М. Л. Термомеханическая обработка стали / М. Л. Бернштейн, В. А. Займовский, Л. М. Капуткина. – М. : Металлургия, 1983. – 480 с.
3. Совершенствование технологии ускоренного охлаждения проката / [С. Л. Евсеев, П. В. Гулов, А. С. Попов, А. А. Паршин] // Сталь. – 2009. – № 12. – С. 39–41.
4. Матросов Ю. И. Контролируемая прокатка – многостадийный процесс ТМО низколегированных сталей / Матросов Ю. И. // Сталь. – 1987. – № 7. – С. 75–80.
5. Сборник докладов международной научно-технической конференции «Инновационные технологии ОМД» – М. : Изд. Дом МИСиС, 2011. – 586 с.

Одержано 07.03.2013

#### Шейко С.П., Третьяк В.И. Исследование влияния режимов контролируемой прокатки и ускоренного охлаждения на механические свойства и микроструктуру низколегированных сталей

*Проведено сравнительное исследование влияния технологии контролируемой прокатки и контролируемой прокатки с ускоренным охлаждением на механические свойства и микроструктуру низколегированной стали. Показано, что сталь после контролируемой прокатки с ускоренным охлаждением имеет более высокий комплекс механических свойств.*

**Ключевые слова:** контролируемая прокатка, ускоренное охлаждение, низколегированная сталь.

#### Sheyko S., Tretyak V. The research of influence of modes of the controlled rolling and speed-up cooling on mechanical properties and microstructure of low-alloy steel

*Comparative research of influence of technology of the controlled rolling and controlled rolling is in-process conducted with the speed-up cooling on mechanical properties and microstructure of low-alloy steel. It is shown that steel after the controlled rolling with the speed-up cooling has a higher complex of mechanical properties.*

**Key words:** the controlled rolling, speed-up cooling, low-alloy steel.