

УДК 669.774.35:669-418

©Ткаченко І.Ф.¹, Візенков Д.В.²**ВПЛИВ УМОВ ЧОРНОВОЇ ДЕФОРМАЦІЇ НА МІЦНІСТЬ ТА ХАРАКТЕР
РУЙНУВАННЯ ПРОКАТУ СТАЛІ Х70**

З застосуванням методів кількісної метало– та фрактографії, а також випробувань на одновісне розтягнення вивчено вплив температури чорнової деформації при термомеханічній прокатці на структуру, характер руйнування та межу течії штрипсу зі сталі Х70. Встановлено зростання міцності прокату зі зменшенням температури чорнової прокатки, яке супроводжується подрібненням феритового зерна та переходом до переважно міжзереного в'язкого руйнування. Отримані результати пояснено інтенсивним розвитком рекристалізації аустеніту на початкових стадіях чорнової прокатки.

Ключові слова: штрипсові сталі, термомеханічна прокатка, межа течії, міжзеренне в'язке руйнування.

Ткаченко И.Ф., Визенков Д.В. Влияние условий черновой деформации на прочность и характер разрушения проката стали Х70. С применением методов количественной металло– и фрактографии, а также испытаний на одноосное растяжение изучено влияние температуры черновой деформации при термомеханической прокатке на структуру, характер разрушения и предел текучести штрипса из стали Х70. Установлен рост прочности проката при снижении температуры черновой прокатки, который сопровождается измельчением феритного зерна и переходом к преимущественно межзеренному вязкому разрушению. Полученные результаты объяснены интенсивным развитием рекристаллизации аустенита на начальных стадиях черновой прокатки.

Ключевые слова: штрипсовые стали, термомеханическая прокатка, предел текучести, межзеренное вязкое разрушение.

I.F. Tkachenko, D.V. Vizenkov. Influence of the preliminary rolling conditions on strength and fracture mechanism of X70 steel. Influence of the preliminary rolling temperature during thermo-mechanical processing of the X70 steel was investigated on its yield stress, ferrite grain size and fracture mechanism. It is shown a decrease of the yield stress with the temperature rise which is accompanied by decreasing the grain size and changing the fracture mechanism from transgranular to intergranular ductile fracture. The results obtained are explained by rapid austenite recrystallization development at the beginning stages of the preliminary rolling.

Keywords: tube steels, thermo-mechanical rolling, yield stress, intergranular ductile fracture.

Постановка проблеми. Металургійні підприємства в Україні та закордоном в значних обсягах продукують штрипсовий прокат категорії міцності Х70 з використанням сучасної технології термомеханічної прокатки. Проте, якість такого прокату не є достатньо високою та стабільною, що призводить до відсортування значної частини металопродукції. Одним з головних показників якості штрипсового прокату є межа течії, підвищення та стабілізація значень якої є вкрай актуальними.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідженням впливу контрольованої прокатки, у тому числі термомеханічної прокатки (ТМП), на структуру та властивості штрипсових сталей присвячена велика кількість робіт [1-3]. Було достеменно встановлено визначальний вплив режиму чорнової деформації на експлуатаційні властивості штрипсових сталей. Проте, вичерпна інформація щодо впливу умов чорнової прокатки на механічні властивості та харак-

¹ д-р техн. наук, професор, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Маріуполь

² м.н.с., ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Маріуполь

тер руйнування прокату категорії міцності X70 є відсутньою.

Мета роботи. Визначення впливу температури чорнової деформації $T_{\text{чор}}$ на межу течії та характер руйнування прокату сталі X70

Викладення основного матеріалу. Дослідження виконували в промислових умовах з використання металу 2-х конвертерних плавок з концентраціями хімічних елементів на середніх рівнях згідно вимог діючих технічних умов. З метою визначення потрібних закономірностей використовували прокат, виготовлений при різних значеннях $T_{\text{чор}}$ за інших однакових умов, тобто при постійних рівнях решти технологічних параметрів. Встановлення параметрів ТМП, які здійснюють статистично значущий вплив на σ_{02} проводили методами глибокого розвідувального аналізу даних (ГРАД) [4], а саме шляхом побудови «дерев» класифікації та регресії [5]. Випробування механічних властивостей виконували за стандартними методиками згідно діючих технічних умов. Металографічні та фрактографічні дослідження виконували на залишках зразків для ударних випробувань з застосуванням мікроскопу Neophot 2 та скануючого електронного мікроскопу ULTRA 55, відповідно. Дендрограма, що визначає параметри технології ТМП, які мають суттєвий вплив на σ_{02} наведена на рис. 1.

Як можна бачити, до вказаних параметрів належать: швидкість чистової деформації (V_d); температура нагрівання для прокатки ($T_{\text{наг}}$), температура чорнової деформації ($T_{\text{чор}}$) та завершення чистової прокатки ($T_{\text{з.п.}}$). використання отриманої дендрограми дає можливість дослідити вплив на σ_{02} кожного з вказаних параметрів за умови постійних значень решти технологічних показників. Стосовно залежності $\sigma_{02} = \sigma_{02}(T_{\text{чор}})$, за результатами вказаних досліджень було отримано графік (рис. 2), який було побудовано при постійних значеннях решти технологічних параметрів в діапазонах $V_d \geq 3$ м/с; $T_{\text{наг}} \leq 1190$ °С після протифлокеневої обробки (ПФО). Як випливає з рис. 2, має місце достатньо тісна пряма кореляційна залежність $\sigma_{02} = \sigma_{02}(T_{\text{чор}})$ ($R^2 \geq 0,6$) яка знижується із зростанням $T_{\text{чор}}$ в інтервалі (960-1010) °С, що узгоджується з результатами лабораторних досліджень [6].

Металографічні дослідження показали дещо збільшений середній розмір зерна фериту ($D_{\text{ф}} = 7$ мкм) за підвищених значень $T_{\text{чор}} \geq 990$ °С. При цьому спостерігається $\sigma_{02} = 480 - 500$ МПа, а також в'язкий внутрішньо-зеренний характер руйнування (рис. 3а). Звертає на себе увагу малий та достатньо однорідний за розподілом розмір, $d_{\text{ч1}}$, «чашок» на поверхні зламу такого прокату, який є значно меншим за розмір зерна фериту ($d_{\text{ч1}} \ll D_{\text{ф}}$), та відповідно, і аустеніту ($D_{\text{А}}$).

При $T_{\text{чор}} \leq 975$ °С досягаються значення $\sigma_{02} = 500 - 540$ МПа, яким відповідає $D_{\text{ф}} = 5$ мкм. Типовий вигляд поверхні зламу такого прокату показано на рис.3.б. Характерною особливістю є наявність ділянок в'язкого руйнування розмірами $d_{\text{д}} \geq 20$ мкм, або без внутрішнього рельєфу, або таких, що, в свою чергу, складаються з декількох «чашок» дещо менших розмірів: $d_{\text{ч2}} = 5 - 10$ мкм. Порівняння рис. 3а та 3б засвідчує, що $d_{\text{ч1}} \ll d_{\text{ч2}} = D_{\text{ф}}$, а також $d_{\text{д}} = D_{\text{А}}$, звідки слід зробити висновок про в'язкий, переважно внутрішньозеренний характер руйнування прокату сталі X70 в умовах підвищених температур чорнової прокатки, та здебільшого в'язке міжзеренне руйнування такого прокату після чорнової деформації при знижених температурах.

Отримані результати можна пояснити наступним чином. В умовах дрібного початкового аустенітового зерна, завдяки зниженій температурі нагрівання для прокатки ($T_{\text{нагр}} \leq 1190$ °С), проведення чорнової деформації без обмеження температури на початковому етапі, викликає інтенсивний розвиток процесів рекристалізації. Як наслідок, перед здійсненням останніх 2-4 циклів деформації може бути досягнутий великий розмір аустенітового зерна, особливо при знижених температурах такої деформації внаслідок повільного охолодження розкатів на повітрі. Крім того, у вказаному температурному інтервалі відбуваються також процеси виділення частинок карбонітридів Nb та V, які розташовуються головним чином на межах рекристалізованих аустенітових зерен. Подальше подрібнення зерна Аустеніту під час останніх 2-4 циклів чорнової деформації не може вплинути на міжзеренний характер розподілення частинок зміцнюючих фаз, що утворився на той час. Таким чином, може сформуватись аустенітова структура, яка поєднує в собі дрібне аустенітове зерно з частинками карбонітридів Nb та V, розташованими на межах раніше утворених крупніших аустенітових зерен. Подальшому формуванню дрібного феритового зерна та послабленню зв'язків між зернами сприяють, відповідно, підвищена швидкість чистової деформації ($V_d > 2,75$ м/с) та проведення ПФО [7].

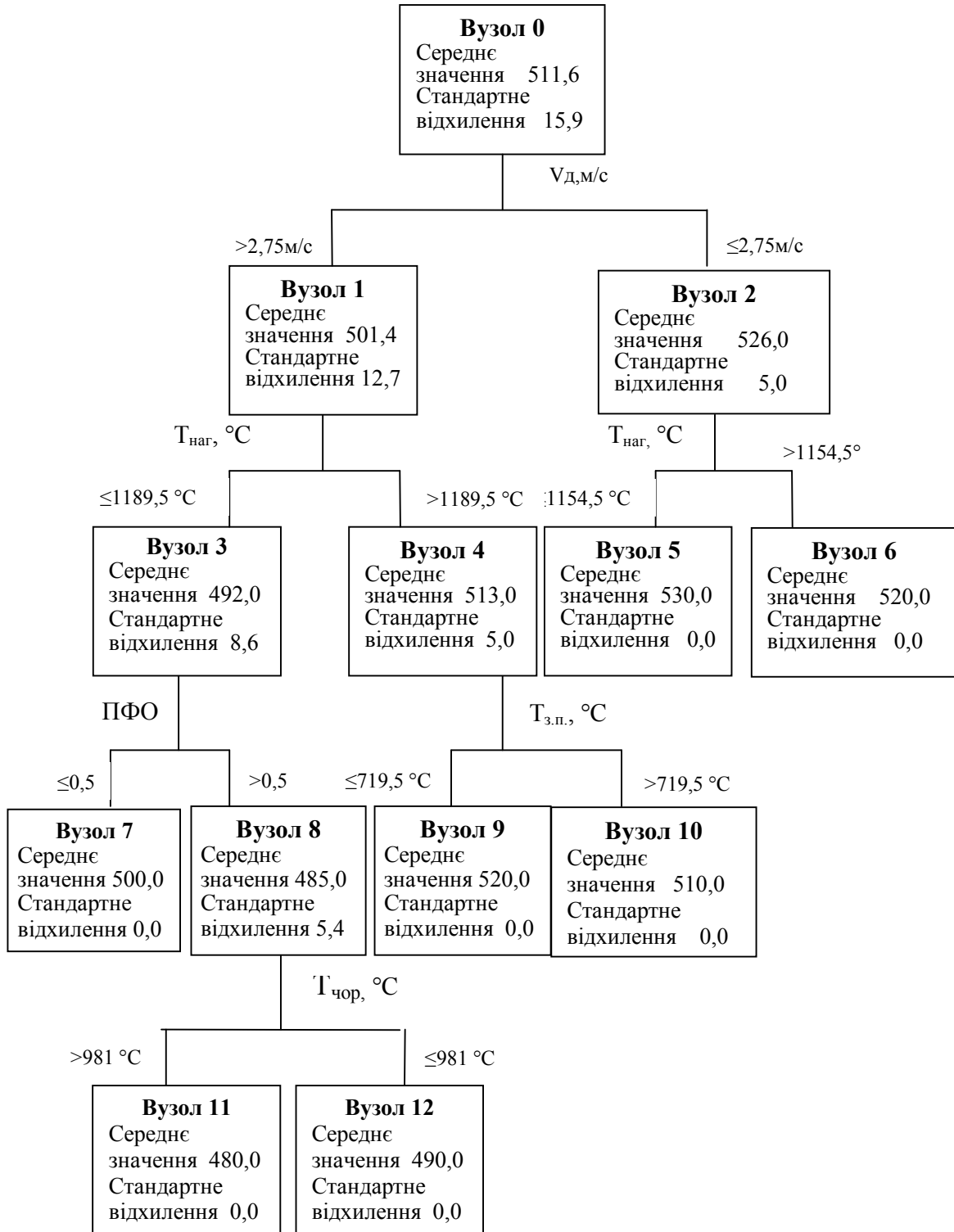


Рис. 1 – Дендрограма, що характеризує вплив параметрів ТМП на значення $\sigma_{0,2}$ сталі X70

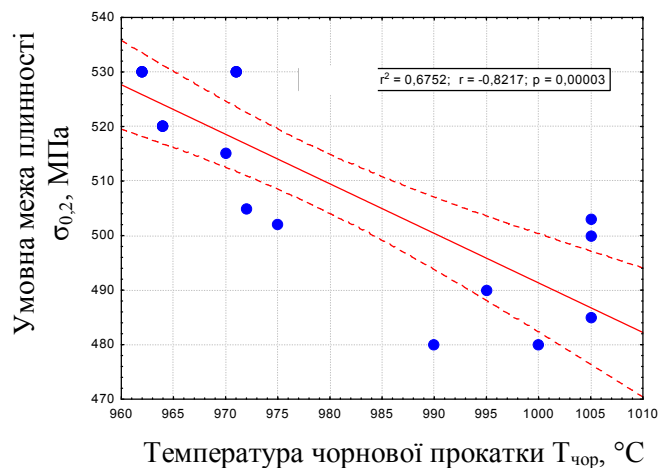


Рис. 2 – Залежність межі плинності сталі X70 від температури чорної прокатки



Рис. 3 – Типові фрактограми поверхонь руйнування прокату сталі X70 після різних температур чорної деформації

Висновки

1. За результатами промислових експериментів досліджено вплив температури чорної прокатки на міцність та характер руйнування прокату сталі X70.
2. Встановлено зростання σ_{02} та переважання міжзеренного в'язкого руйнування зі зниженням $T_{чор}$ в інтервалі (1010 – 960) °C, в умовах підвищеної швидкості чистої деформації та проведення ПФО штрипса зі сталі X70.
3. Отримані результати пояснено інтенсивним розвитком процесів рекристалізації аустеніту на початкових стадіях чорної прокатки з наступним виділенням частинок зміцнюючих фаз на межах аустенітових зерен під час повільного охолодження в процесі чорної деформації.

Список використаних джерел:

1. Марченко В.Н. Современные тенденции разработки и производства сталей и труб для магистральных газо- и нефтепроводов / В.Н. Марченко, Б.Ф. Зинько // Металлург. – 2008. – № 3. – С. 49-55.
2. Лаухин Д.В. Полигонизация аустенита при контролируемой прокатке: монография / В.И. Большаков, Д.В. Лаухин. – Днепропетровск : «Свидлер А.Л.», 2011. – 242 с.
3. Эфрон Л.И. Влияние режимов контролируемой прокатки на структуру и свойства микрелегированных сталей для труб большого диаметра / Л.И. Эфрон, Ю.Д. Морозов, Е.А. Голи-Оглу // Металлург. – 2011. – № 1. – С. 69-74.
4. Дюк В. Data Mining: учебный курс / В. Дюк, А. Самойленко. – СПб : Питер, 2001. – 368 с.
5. Ткаченко И. Ф. Многоцелевая оптимизация технологии термического упрочнения проката высокопрочных свариваемых сталей с использованием компьютерной технологии «Data Mining» / И.Ф. Ткаченко // Вісник Приазов. держ. техн. ун-ту : зб. наук. праць / ПДТУ. – Маріуполь, 2004. – Вип. 14. – С. 111-117.

6. Эфрон Л.И. Влияние режимов контролируемой прокатки на измельчение структуры и комплекс механических свойств низкоуглеродистых микролегированных сталей / Л.И. Эфрон, Ю.Д. Морозов, Е.А. Голи-Оглу // Сталь. – 2011. – № 5. – С. 67-72.
7. Ткаченко І.Ф. Розвиток наукових і методологічних основ прогнозування і оптимізації складів і технологій термічного зміцнення комплексно-легованих сталей : автореф. дис. ... д.т.н. : 05.16.01 / І.Ф.Ткаченко; ПДТУ. – Маріуполь, 2007. – 40 с.

Bibliography:

1. Marchenko V. Modern trends in development and production of steel and pipes for gas and oil pipelines / V. Marchenko, B. Zinko // Metallurgist – 2008. – № 3. – p. 49-55. (Rus.)
2. Laukhin D. Polygonization of austenite during controlled rolling: monograph / V. Bolshakov, D. Laukhin. – Kiev : «Svidler, AL», 2011. – 242 p. (Rus.)
3. Efron L. Effect of controlled rolling on the structure and properties of microlite-doped steels for large diameter pipes / L. Efron, J. Morozov, E. Goli-Oglu // Metallurg. – 2011. – № 1. – P. 69-74. (Rus.)
4. Duke B. Data Mining: Training Course / B. Duke, A. Samoilenko. – St. Peter, 2001. – 368 p. (Rus.)
5. Tkachenko J. Multi-purpose optimization technology of thermal hardening of welded high strength steels rolled using computer technology «Data Mining» / J. Tkachenko // News Priazov. hold. Technical. University-To : ST. Sciences. Pratzen / PDTU. – Mariupol, 2004. – VIP. 14. – P. 111-117. (Rus.)
6. Efron L. Effect of controlled rolling on the structure refinement and complex mechanical properties of low carbon microalloyed steels / L. Efron, J. Morozov, E. Goli-Oglu // Steel. – 2011. – № 5. – P. 67-72. (Rus.)
7. Tkachenko J. Development of scientific and methodological basis of prediction and optimization of storage and thermal technologies strengthening complex-alloy steels: Abstract. degree. ... Dr. : 05.16.01 / J. Tkachenko; PSTU. – Mariupol, 2007. – 40 p. (Ukr.)

Рецензент: Л.С. Малінов
д-р техн. наук, проф. ДВНЗ «ПДТУ»

Стаття надійшла 01.04.2012

УДК 621.791.92:669.018.25

©Патюпкин А.В.¹, Грешта В.Л.², Солидор Н.А.³, Рудычев А.С.⁴

**МЕХАНИЗМЫ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО УПРОЧНЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ
КОРРОЗИОННОЙ СТОЙКОСТИ СТАЛИ 06X23H18M5,
МИКРОЛЕГИРОВАННОЙ ИТТРИЕМ**

В статье изучено влияние микролегирования иттрием на дисперсионное упрочнение и повышение коррозионной стойкости стали 06X23H18M5.

Ключевые слова: *наплавленная сталь, кавитационно-коррозионная стойкость, микролегирование, иттрий, σ -фаза, дисперсионное упрочнение, коррозионная стойкость.*

¹ канд. техн. наук, ст. преподаватель, ГВУЗ «Запорожский национальный технический университет», г. Запорожье
² канд. техн. наук, доцент, ГВУЗ «Запорожский национальный технический университет», г. Запорожье
³ канд. техн. наук, доцент, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь
⁴ инженер, директор ООО «Производственно-научное объединение «Трубопроводы гидротранспорта»