

2. Гурьев А.М. Исследование процессов диффузии в стали при циклическом тепловом воздействии / А.М. Гурьев [и др.] // Барнаул: Ползуновский вестник, 2003.– № 1.– С. 45 – 49.
3. О влиянии ТЦО на эффект вторичного твердения в штамповых сталях / В.Ю. Иващенко // Захист металургійних машин від поломок: зб. наук. праць - 2008. - Вип. № 10. - С. 274 - 278.

Рецензент: Л.С. Малинов,
д-р тех. наук, проф., ГВУЗ «ПГТУ»

Статья поступила 09.03.2011

УДК 669.14:669.788.001.5

Візенков Д.В.¹, Ткаченко І.Ф.²

КІЛЬКІСНА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕРМОМЕХАНІЧНОЇ ПРОКАТКИ В ЗАБЕЗПЕЧЕННІ КОМПЛЕКСУ МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ШТРИПСОВИХ СТАЛЕЙ

Виконано кількісне оцінювання ефективності термомеханічної прокатки (ТМП) в забезпеченні комплексу механічних властивостей штрипсової сталі Х70. На підставі результатів статистичного аналізу якості прокату, розраховано раніше запропоновані критерії якості, значення яких засвідчили невідповідність вимогам діючого стандарту комплексу механічних властивостей більше 5 % виробленої продукції. Наголошено на необхідності вдосконалення існуючих технологій ТМП та хімічного складу штрипсових сталей з метою забезпечення їх стабільно високої якості.

Ключові слова: штрипсові сталі, термомеханічна прокатка, комплекс механічних властивостей, статистична стабільність.

Визенков Д.В., Ткаченко И.Ф. Количественная оценка эффективности термомеханической прокатки в обеспечении комплекса механических свойств штрипсовых сталей. Выполнена количественная оценка эффективности термомеханической прокатки (ТМП) в обеспечении комплекса механических свойств штрипсовой стали Х70. На основании результатов статистического анализа качества проката рассчитаны ранее предложенные критерии качества, значения которых показали несоответствие требованиям действующего стандарта комплекса механических свойств более 5 % выпускаемой продукции. Подчеркнута необходимость совершенствования существующих технологии ТМП и химсоставов штрипсовых сталей с целью обеспечения их стабильно высокого качества.

Ключевые слова: штрипсовые стали, термомеханическая прокатка, комплекс механических свойств, статистическая стабильность.

D.V. Visenkov, I.F. Tkachenko. A quantitative effectiveness evaluation for the thermomechanical rolling in producing the high quality tube steels. A quantitative estimation of effectiveness of the thermomechanical rolling (TMR) in providing the high combination of the mechanical properties for tube steels was made. Based on the rolled product standard quality control results, the early proposed specific quality criteria were calculated. Inconsistence with the standard's quality requirements was shown for more than 5 % of rolled product manufactured. It is emphasized on necessity to improve the existing TMR-technology and tube steels chemical compositions to obtain their high stable quality.

Keywords: tube steels, thermomechanical rolling, combination of the mechanical properties, statistical stability.

¹ аспірант, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Маріуполь

² д-р техн. наук, професор, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Маріуполь

Постановка проблеми. Контрольована прокатка є головним способом зміцнення сучасних штрипсових сталей. Зростаючі вимоги споживачів, вимагають, проте, все ширшого застосування нових технологій ТМО, з метою подальшого одночасного підвищення показників міцності та спротиву крихкому руйнуванню. Найбільш перспективною в цьому відношенні є технологія термомеханічної прокатки (ТМП), застосування якої дає можливість отримання прокату категорії міцності Х70 та вище. Дотепер, однак, не проводилась оцінка ефективності діючої технології ТМП з точки зору досягнення потрібного рівня та стабільності якості прокату, що стримує подальше вдосконалення існуючої технології.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблемам вдосконалення технологій ТМО та хімічного складу штрипсових сталей присвячена велика кількість публікацій [1-5]. Головними напрямками досліджень є визначення параметрів ТМО та хімічного складу штрипсових сталей, що забезпечують формування ферито-бейнітової та бейнітової мікроструктур прокату. Проте, практично не проводились ретельні дослідження можливості та результатів взаємодії значної кількості факторів виробництва прокату, що визначають його експлуатаційні властивості. Внаслідок вказаної взаємодії, особливо в умовах неповної контрольованості сучасних виробничих процесів, високою є ймовірність виникнення значних непередбачуваних відхилень показників якості прокату від очікуваних номінальних значень. Крайнім випадком таких відхилень, як відомо, є окрихчування сталей різного походження: водневе, зворотнє, незворотнє та ін., яке різко знижує якість сталей і може призвести до руйнування металовиробів та конструкцій в цілому.

Мета роботи. На підставі аналізу виробничих даних щодо показників якості прокату штрипсової сталі типу Х70 після ТМП, з застосування раніше розроблених методик надати кількісну оцінку відповідності досягнутого рівня якості штрипса вимогам діючого стандарту, в тому числі з урахуванням ступенів статистичного розкиду контрольних показників.

Викладення основного матеріалу. В роботі, з використанням результатів здавальних випробувань механічних властивостей, виконано кількісну оцінку ефективності ТМП в забезпеченні середнього рівня та статистичної стабільності головних показників якості прокату валового виробництва зі сталі Х70, завтовшки 9 – 30 мм. Враховуючи те, що вимоги стандартів практично не відрізняються між собою для різного завтовшки прокату, аналіз виконувався для об'єднаного масиву листів. Дослідження проводили з застосуванням методів ГРАД [6], у відповідності до методики [7]. Згідно з цією методикою, на підставі частотних розподілень кожного показника властивостей q_i розраховували окремі критерії якості Q_{q_i} за формулою:

$$Q_{q_i} = \frac{\bar{q}_i - q_i^{st}}{3 \cdot S_{q_i}} \quad (1)$$

де: \bar{q}_i - середній рівень контрольного показника;

q_i^{st} - відповідні вимоги стандарту;

S_{q_i} - стандартне середньоквадратичне відхилення.

Згідно з загальноновизнаним підходом, відомим як правило “3-х сигм”, якість будь-якого різновиду металопродукції вважається гарантованою з довірчою ймовірністю не менше 95 %, якщо її контрольні показники відповідають умовам: $\bar{q}_i - 3 S_{q_i} \geq q_i^{st}$. З наведеного виразу випливає, що за цих обставин, повинно бути: $Q_{q_i} \geq 1$, в той час як при $0 < Q_{q_i} < 1$, якість металопродукції слід вважати задовільною, а при $Q_{q_i} < 0$ - незадовільною.

Отримані результати досліджень щодо міцностних показників наведені на рис.1. Як впливає з рис.1,а зміна значень σ_{02} відбувається в межах: 490-600 МПа; $\sigma_{02}^- = 552,7$ МПа; $\sigma_{02}^{st} = 500$ МПа. Ці дані свідчать, що середній рівень σ_{02} перевищує вимоги стандарту, однак при візуальному огляді наведених даних неможливо оцінити ступінь статистичної стабільності σ_{02} . Проведені розрахунки показника $Q_{\sigma_{02}}$, дали значення: $Q_{\sigma_{02}} = 0,87$, яке засвідчує, що більш ніж 5 % прокату валового виробництва не відповідає вимогам діючого стандарту. На рис.1,б показано частотне розподілення σ_B . Зміна значень межі міцності прокату сталі Х70 відбувається в діапазоні: 570–685 МПа; $\sigma_B^- = 636,88$ МПа; $\sigma_B^{st} = 590$ МПа. Отримані дані відповідають ситуації,

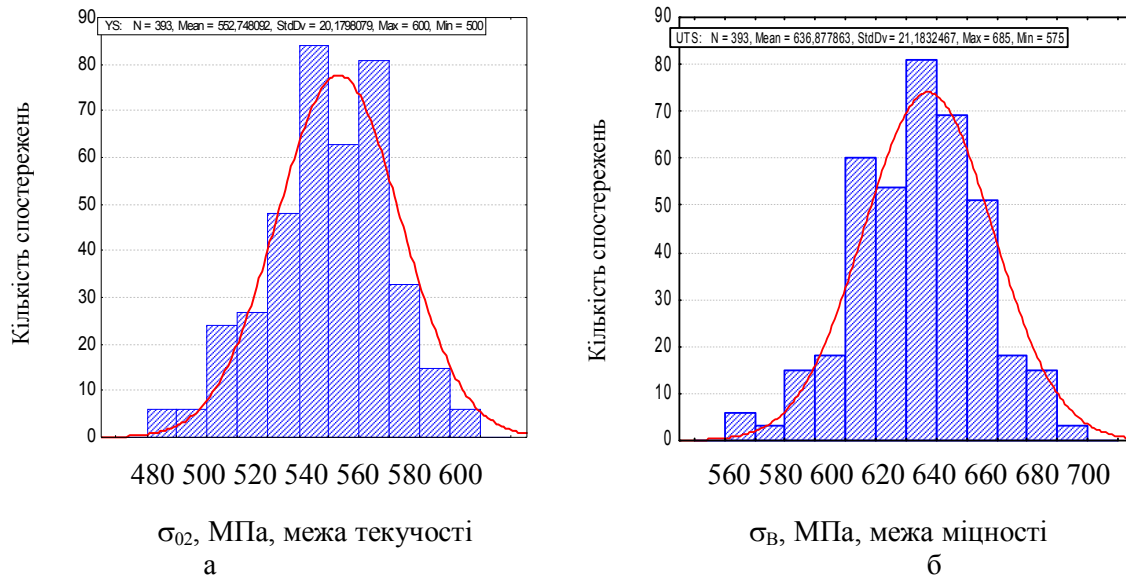


Рис. 1 - Частотні розподілення міцностних показників прокату сталі Х70

яка є аналогічною до попередньо розглянутої, в тому числі й щодо неможливості оцінити на цьому етапі ступінь статистичної стабільності σ_B . В результаті розрахунків Q_{σ_B} було отримано: $Q_{\sigma_B} = 0,77$, що, також як й стосовно σ_{02} , свідчить про нестабільний рівень межі міцності прокату валового виробництва зі сталі Х70, а саме - невідповідність вимогам діючого стандарту більш ніж 5 % виробленого прокату.

На рис.2 наведені частотні розподілення δ та KCV^{40} . Діапазон змін показника δ становить: 22-49 %; $\bar{\delta} = 35,28$ %; $\delta^{st} = 22$ % (Рис.2,а). Ці дані свідчать про перевищення вимог стандарту не тільки середнім рівнем δ , але, практично, і мінімальним значенням відносного подовження (22 %), яке спостерігається в межах дослідженого масиву результатів випробувань. На цих підставах можна було б зробити висновок про цілком задовільний рівень якості прокату з точки зору його пластичності. Проте, такий висновок є некоректним з точки зору математичної статистики, оскільки не враховує існуючу ступінь статистичного розкиду δ . Необхідне врахування забезпечує використання окремого критерію якості (1), розрахунки якого дають: $Q_{\delta} = 0,52$. Отримане значення є суттєво нижчим, в порівнянні з рівнями попередніх показників: $Q_{\sigma_{02}}$ та Q_{σ_B} , що є наслідком відносно ширшого інтервалу статистичного розкиду δ , який характеризується значенням S_{δ} .

На рис.2,б показане частотне розподілення ударної в'язкості прокату при -40 °С, KCV^{40} . Зміна значень відбувається в діапазоні 85-269 КДж/см²; $\overline{KCV}^{-40} = 153,62$ КДж/см², $KCV_{st}^{-40} = 127$ КДж/см². Як можна бачити, середнє значення KCV^{40} перевищує вимоги стандарту, проте безпосередньо з рисунку неможливо оцінити ступінь статистичної стабільності KCV^{40} . Шляхом розрахунків Q_{KCV} було отримано: $Q_{KCV} = 0,23$, що є найнижчим показником серед розглянутих механічних характеристик та свідчить про суттєво нестабільний рівень показника спротиву ударному навантаженню сталі Х70, наслідком чого є невідповідність вимогам діючого стандарту більше 5 % прокату що випускається.

Отримані результати показують, що з точки зору традиційного підходу до оцінювання якості металопродукції, існуюча технологія ТМП є достатньо ефективною, оскільки дозволяє отримувати середні значення всіх показників механічних властивостей прокату, які перевищують вимоги діючого стандарту. Проте, такий висновок є науково необґрунтованим, оскільки не базується на принципах математичної статистики, щодо необхідності врахування статистичного розкиду показників, що вимірюються. З цих позицій, наведені результати вказують на статистично нестабільний рівень якості штрипса за всіма контрольними показниками. Одним з наслідків вказаної нестабільності є підвищена частка продукції, яка потребує відсортування, що призводить до підвищення собівартості металопродукату та зниження економічної ефективності виробництва. З другого боку, підвищена нестабільність, особливо, характеристик пластичності та спротиву ударному руйнуванню прокату, вказує на збільшену ймовірність скрихчування ме-

талу, з можливим подальшим руйнуванням металоконструкцій в процесі експлуатації.

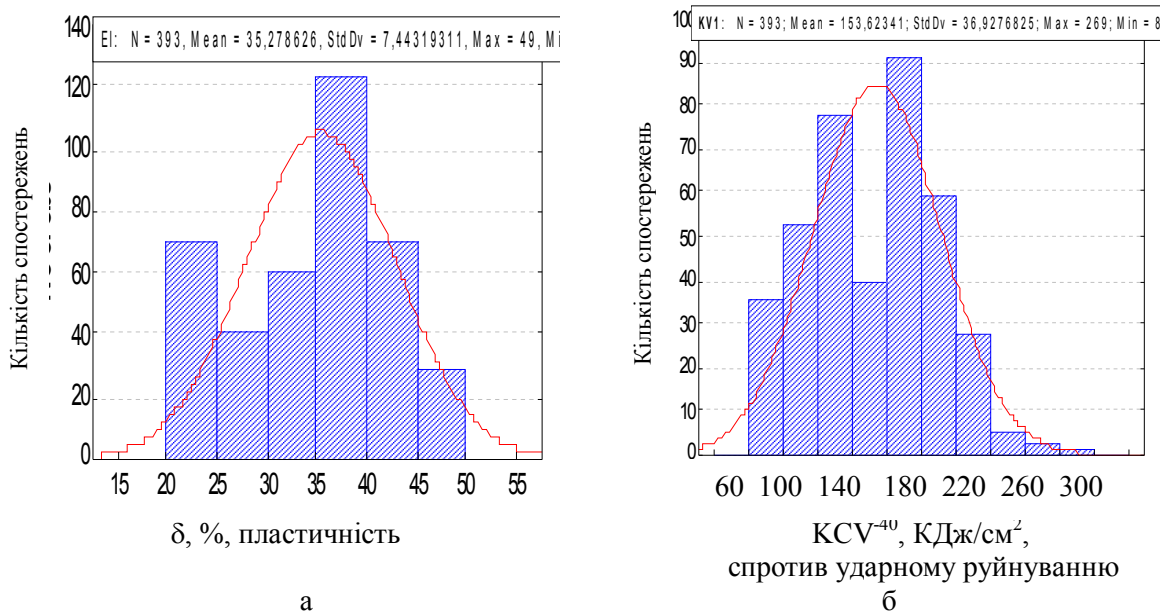


Рис. 2 – Частотні розподілення показників пластичності та спротиву ударному руйнуванню прокату сталі X70

Таким чином, результати проведених досліджень свідчать про нагальну необхідність суттєвого вдосконалення існуючої технології ТМП, а також хімічного складу штрипсових сталей з метою забезпечення їх стабільно високого комплексу механічних властивостей та запобігання скричуванню, ймовірність якого зростатиме з підвищенням експлуатаційних навантажень з огляду на подальше ускладнення умов експлуатації нафто- та газогонів.

Висновки

1. Діюча технологія термомеханічної прокатки забезпечує перевищення вимог стандарту щодо середніх рівнів показників механічних властивостей штрипса зі сталі X70.
2. Традиційні методи статистичного аналізу не дозволяють провести кількісне оцінювання статистичної стабільності показників якості металопродукату.
3. Застосування раніше розроблених критеріїв якості засвідчило невідповідність вимогам діючого стандарту комплексу механічних властивостей більше 5 % виробленої металопродукції.
4. Із зростанням ступеня статистичної нестабільності показники механічних властивостей прокату сталі X70 розташовуються в наступній послідовності: σ_{02} , σ_B , δ , KCV^{40} .
5. Існуючі технологія ТМП та хімічний склад штрипсової сталі X70 потребують вдосконалення з метою забезпечення стабільно високої якості прокату та запобігання можливого скричуванню.

Список використаних джерел:

1. Марченко В. Н. Современные тенденции разработки и производства сталей и труб для магистральных газо- и нефтепроводов: отчет / В. Н. Марченко, Б. Ф. Зинько // *Металлург.* – 2008. – № 3. – С. 49–55.
2. Морозов Ю. Д. Перспективы развития трубных сталей в XXI веке / Ю. Д. Морозов, Л. И. Эфрон // *Труды 4 Конгресса прокатчиков, Магнитогорск, 16–19 окт., 2001 / ОАО “Черметинформация”.* – М., 2002. – Т. 1. – С. 14–21.
3. Морозов Ю. Д. Термомеханическая прокатка с последующим ускоренным охлаждением – способ получения листового проката электросварных труб большого диаметра с повышенными требованиями / Ю. Д. Морозов, Ю. П. Матросов, Л. И. Эфрон // *Теория и технология процессов пластической деформации* – 2004, Москва, 20–27 окт., 2004: тез. докл. Междунар. науч.-техн. конф.: к 85-летию науч. школы МИСиС по обработке металлов давлением / МИСиС. – М., 2004. – С. 221–222.
4. Разработка низкоуглеродистых Nb–Ti–В-сталей для высокопрочных труб большого диаметра // *Новости чер. металлургии за рубежом.* – 2006. – № 2. – С. 57–60.

5. Эфрон Л.И. Термомеханическая прокатка как способ получения высокоэффективных высокопрочных сталей для труб большого диаметра / Л.И. Эфрон // Сборник докладов Междунар. научно-технической конф. «Прогрессивные толстолистовые стали для газонефтепроводных труб большого диаметра и металлоконструкций ответственного назначения» / Азовсталь. – Мариуполь, 2002. С. 42-44.
6. Ткаченко И.Ф. Многоцелевая оптимизация технологии термического упрочнения проката высокопрочных свариваемых сталей с использованием компьютерной технологии “Data Mining” / И.Ф.Ткаченко // Вісник Приазовського державного технічного університету: Зб.наук.праць.-Маріуполь.-2004.- №14.-С.111-117.
7. Декларацийний патент на винахід №71819 А 7G01N3/00. Спосіб визначення схильності металевих матеріалів до окрихчування / І.Ф.Ткаченко, К.І.Ткаченко (Україна).-20031212811. Заявл. 29.12.2003. Надр.15.12.2004, Бюл.№12.-3 с.

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

Стаття надійшла 28.03.2011

УДК 691.87:691.714:539.434

Вакуленко И. А.¹

ОЦЕНКА ЗАВИСИМОСТИ УСТАЛОСТНОЙ ПРОЧНОСТИ ОТ РАЗМЕРА СТРУКТУРНОГО ЭЛЕМЕНТА СТАЛИ

Вакуленко И.А. Оценка зависимости усталостной прочности от размера структурного элемента стали. В статье показано, что рост усталостной прочности стали при уменьшении размера зерна и толщины ферритного промежутка в перлите объясняется сдвигом в область повышенных суммарных деформаций момента распада однородного распределения дислокаций в феррите на периодические структуры.

Ключевые слова: размер зерна феррита, толщина ферритного промежутка перлита, дислокационная ячеистая структура, усталостная прочность, плотность дислокаций.

Вакуленко И.О. Оцінка залежності міцності при втомі від розміру структурного елемента сталі. В статті показано, що підвищення межі міцності при втомі сталі за рахунок зменшення розміру зерна та товщини феритного проміжку в перліті пояснюється зсувом в область підвищених сумарних деформацій моменту розпаду однорідного розподілу дислокацій в фериті на структури з визначеною періодичністю.

Ключові слова: розмір зерна фериту, товщина феритного проміжку перліту, дислокаційна чарункова структура, міцність при втомі, густина дислокацій.

I.O. Vakulenko. The estimate strength of fatigue steel to be result variation of structure element. It is shown that increase of fatigue strength of middle carbon steel resulted by decreasing grain size and distance between carbides particles can be attributed to the nucleation of mobile dislocation and to forming of dislocation cell structure.

Key words: grain size of ferrite, distance between particles in pearlite, dislocation cell structure, strength of fatigue, density of dislocation.

Постановка проблемы и анализ известных публикаций. Известно, что с ростом содержания углерода в стали роль основного структурного элемента постепенно переходит от размера зерна феррита к расстоянию между пластинами цементита перлитной колонии [1].

¹ д-р. техн. наук, профессор, Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта им. академика В. Лазаряна, г. Днепропетровск