

УДК 621.771:006.83(075.8)

DOI 10.36910/775.24153966.2022.74.6

О.Г. Курпе¹, В.В. Кухар^{2,4}, К. Ву³, В.Г. Єфременко⁴, В.І. Зурнаджи⁴¹ТОВ «Метінвест Інжинірінг»²ТОВ «Технічний університет «Метінвест Політехніка»³Wuhan University of Science and Technology, International Research Institute for Steel Technology
(Китай)⁴ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет»

РОЗВИТОК СИСТЕМНИХ ПІДХОДІВ ДО ПРЕВЕНТИВНОГО КЕРУВАННЯ ЯКІСТЮ ТЕРМОМЕХАНІЧНО ОБРОБЛЕНОГО ТОВСТОЛИСТОВОГО ПРОКАТУ КАТЕГОРІЇ К60

Показано, що з метою функціонування та досягнення розвитку підприємства, система менеджменту якості актуальна до впровадження на всіх процесних ділянках, починаючи від постачання сировини і закінчуючи процесами роботи зі споживачами продукції. На підставі аналізу встановлено, що додаткові вимоги до показників якості прокатної продукції перевищують встановлені нормативними документами значення, що необхідно враховувати при розробці технологій. Визначено, що на підставі встановлених зв'язків між технологічними параметрами прокатки та механічними властивостями готового термомеханічно обробленого товстолистого прокату, які закладено в удосконалену методологію превентивного керування якістю, можливо підвищити стабільність процесів прокатки. Перевірка запропонованої методології показала зменшення стандартного відхилення для границі плинності, тимчасового опору та відносного подовження на 44%, 31% та 46% відповідно від первинних даних, отриманих при прокатці сталі категорії міцності К60 на товстолистому стані 3600.

Ключові слова: превентивне керування якістю, товстолистий прокат, термомеханічний контрольований процес, показники якості, механічні властивості, статистична обробка даних.

O.G. Kurpe, V.V. Kukhar, K. Wu, V.G. Efremenko, V.I. Zurnadzhy

DEVELOPMENT OF SYSTEM APPROACHES TO PREVENTIVE QUALITY MANAGEMENT OF THERMO-MECHANICALLY PROCESSED K60 STEEL HEAVY PLATES

It is shown that the quality management system is relevant to be implemented in all process areas, from the supply of raw materials to the processes of working with consumers of products, in order to operate and achieve the development of the enterprise. On the basis of the analysis, it has been established those additional requirements for quality indexes of rolled products exceed the values established by normative documents, which should be taken into account when developing technologies. It has been determined, that on the basis of the established relationships between processing parameters of rolling and mechanical properties of finished thermomechanically processed heavy plates, which are incorporated in the advanced methodology of preventive quality management, is possible to increase the stability of the rolling processes. The testing of the proposed methodology showed decreases in the standard deviation of yield strength, tensile strength and percent elongation by 44%, 31% and 46% respectively, regard to the primary data obtained when rolling K60 steel at Heavy Plate Mill 3600.

Keywords: preventive quality management, heavy plate rolled products, thermo-mechanical control process, quality indices, mechanical properties, statistical treatment of data.

Постановка проблеми. Якість металопродукції, виробленої гарячою прокаткою, формується технологічними засобами як комплекс механічних, екологічних, поверхневих та інших експлуатаційних властивостей прокату, що обумовлюють його придатність задовольнити певні потреби замовників [1, 2]. Для отримання підвищеного рівня механічних властивостей товстолистого прокату використовують низку ефективних але енергоємних технологічних схем термічної обробки із попередньою модифікацією складу легуючих елементів та забезпеченням формування багатофазних структур [3]: ART-обробка сталей із середнім вмістом марганцю, ізотермічне гартування наноструктурованих сталей з безкарбідним бейнітом, Q&P-обробка і D&P-обробка [4]. У більшості цехів гарячої товстолистої прокатки придатні до реалізації більш енергоефективні технології контрольованого термомеханічного процесу, але для отримання прокату із підвищеними показниками якості система контролю якості повинна безперервно удосконалюватись [1]. Для цього, з метою повноцінного функціонування та досягнення розвитку підприємства або компанії, система якості, відповідно до вимог стандартів ISO 9000 [5] та ISO 9001 [6], актуальна до впровадження на всіх процесних ділянках, починаючи від постачання сировини, в тому числі включаючи роботу з постачальниками, обслуговування устаткування, і закінчуючи процесами роботи з замовниками – споживачами продукції.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Історично склалося, що система якості на вітчизняних підприємствах працює тільки у сфері технології. Задіяння системи якості в інших сферах, що контактують з технологією є формальним. Слід зазначити, що система якості на підприємстві це не тільки підтвердуючі документи по всіх процесах, це комплексна система, яка

повинна працювати на досягнення загальної мети підприємства. Поєднання системи якості ISO 9001 з інструментами системи ощадливого виробництва Lean дозволить отримати найкращий сукупний результат [7, 8]. Lean — це система ощадливого виробництва спрямована на проривний підхід до менеджменту і керування якістю, який забезпечує довготривалу конкурентоздатність без істотних капіталовкладень, організації і управління розробленням продукції, виробництвом, взаємовідносинами з постачальниками і споживачами, коли продукція виготовляється у точній відповідності із запитами споживачів і з меншими втратами. Система превентивного керування якістю повинна бути формалізованою згідно з принципами SMART (Specific, Measurable, Attainable, Relevant, Time-bound – конкретна, вимірювана, досяжна, доцільна, обмежена в часі) [9]. Для моніторингу стану та безперервного поліпшування системи якості, серед інших можуть бути використані такі інструменти аналізу, які поширено використовуються в Lean системі та в методах статистичної обробки:

- бенчмаркінг – система порівняння показників, результатів, параметрів якості тощо з аналогічними виробництвами, виробниками з метою пошуку найкращого досвіду;
- діаграма Ішикави («риб'яча кістка») – графічний спосіб дослідження та визначення найбільш суттєвих причинно-наслідкових взаємозв'язків між чинниками (факторами) та наслідками у досліджуваній ситуації чи проблемі;
- принцип Парето – емпіричне правило, яке стверджує, що для багатьох явищ 80% наслідків спричинені 20% причин.

Одним з формалізованих процесних підходів у стандарті ISO 9001:2015 є ризик-орієнтоване мислення, яке дає змогу організації визначати чинники, які можуть спричинити відхилення її процесів та показників якості від запланованих результатів, щоб установлювати запобіжні заходи контролю для зменшення негативних впливів по мірі їх виникнення. Згідно зі стандартом системи, необхідно розробляти дії стосовно ризиків для запобігання небажаним ефектам. Безумовно, базою для обробки та створення критеріїв контролю є інформація по вже виробленій продукції та результатах контролю її якості, як безпосередньо на підприємстві, так і в умовах використання у замовників. Організація повинна планувати у який спосіб інтегрувати та запровадити дії до процесів її системи управління якістю, та оцінювати їх результативність. Тобто повинен працювати цикл Демінга, або цикл PDCA — плануй (Plan), роби (Do), перевіряй (Check), впливай (Act). Такий цикл працює у всій загальній системі якості, в тому числі стосовно виробництва товстостісового металопрокату [1]. Дискретні процеси системи повинні працювати таким самим чином, що і загальна система. Потрібно, щоб дії, які виконуються стосовно ризиків і можливостей, були пропорційні їх потенційному впливу на відповідність продукції [6]. При цьому треба розуміти, що дією не може бути розірвання подальшої взаємодії з клієнтом якому поставлена продукція невідповідної якості, так як ця дія не змінить якості самої продукції.

Кожне підприємство будує свою систему якості, яка враховує особливості його устрою та виробництва [10-13]. На сучасних підприємствах поширено застосовуються різноманітні системи превентивного керування якістю, та методи контролю [1, 2, 14], які спрямовані на попередження появи продукції невідповідної якості. Умовами здійснення термомеханічного процесу прокатки, серед інших, є підвищений контроль технологічних параметрів. Для превентивного керування показниками якості термомеханічного прокату, які є більш чутливими до стабільності технологічного процесу, перспективним є впровадження підходу ризик-орієнтованого мислення в технологічному процесі виробництва – методологію керування якістю. Таким чином, для здійснення контролю процесу виробництва та забезпечення якості прокатної продукції необхідно встановлення та керування відповідними технологічними показниками.

Метою статті є удосконалення методології менеджменту якості товстостісового прокату марки К60, що отримують термомеханічною прокаткою.

Виклад основного матеріалу

Встановлення показників. Технологічні показники, що впливають на параметри якості (також можуть встановлюватись і інші показники, при необхідності), які необхідно контролювати, можна встановити наступними способами:

- встановлення вже відомих показників, які вказані в технологічній документації тощо;
- встановлення показників за допомогою діаграми Ішикави (рис. 1).

Встановлення показників може бути загалом для комплексу параметрів якості, або для окремих параметрів/груп параметрів якості. Також для первинного встановлення показників може бути використано результати бенчмаркінгу по аналогічних виробництвах, якщо такі дані є відкритими. Перелік показників може бути нескінченно великим. Тому у деяких випадках

можливо та необхідно контролювати тільки показники, які є дійсно значущими. Визначення переліку значущих показників, які впливають на якість продукції, можливо за допомогою методу Парето (рис. 2). Безумовно, для встановлення значущості необхідно мати масив з факторів.

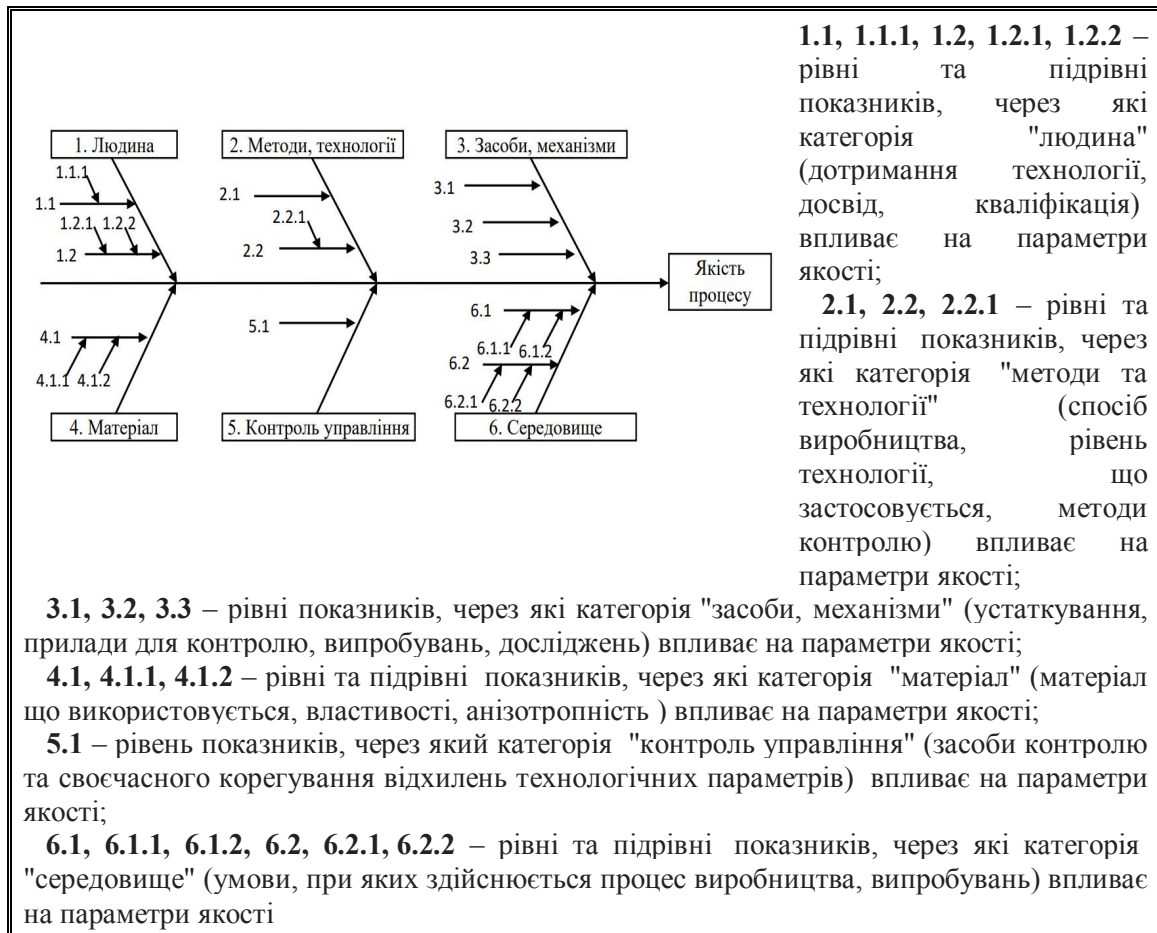


Рис. 1. Діаграма Ішикави в загальному вигляді

Визначення значень показників. Значення технологічних показників можуть встановлюватись безпосередньо на підставі аналізу виробництва аналогічної продукції, на підставі статистичної обробки наявної інформації, наукових досліджень, по літературних джерелах та іншими технологічними або статистичними способами.

Накопичення статистичної інформації. При виробництві прокатної продукції необхідно контролювати значення всіх встановлених показників, зберігати інформацію, яка надалі буде базою для обробки та вдосконалення якості продукції. Встановлені технологічні або інші показники повинні бути об'єднані з параметрами якості продукції за допомогою системи простежування. Система простежування є обов'язковою вимогою для сучасного виробництва без якої неможливе відстежування та покращення якості.

Обробка накопиченої інформації. Обробка здійснюється як багатофакторний аналіз. Кожен з параметрів якості повинен аналізуватися окремо, або в групі з параметрами аналогічного рівня. Наприклад, в групу можуть бути об'єднані всі або окремі параметри механічних властивостей, деякі параметри геометрії прокату та інші. Першим кроком аналізу є побудова діаграм розподілу по кожному з параметрів якості з встановленням обмеження згідно з правилами 3σ або 6σ , в залежності від процесу (рис. 3).

Слід враховувати, що встановлені обмеження повинні відповідати або бути більш жорсткими ніж обумовлені відповідними стандартами на виробництво продукції, або іншими нормативними документами. Тобто, якщо, наприклад, згідно з розподілом, границя плинності прокату становить 235 МПа зі стандартним відхиленням ± 10 МПа, а обмеження згідно з нормативним документом становить 210-255 МПа, то згідно з Правилами 3σ розподіл границі плинності становить 205-265 МПа. В даному випадку встановлене обмеження не повинно перевищувати меж згідно з нормативним документом 210-255 МПа.

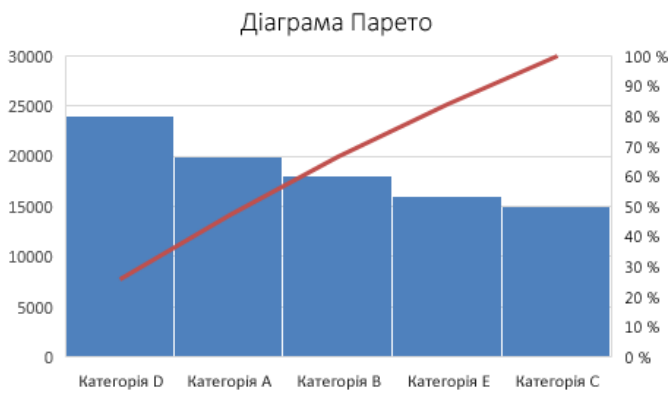


Рис. 2. Діаграма Парето в загальному вигляді

Якщо процес недостатньо стабільний, обмеження можуть бути встановлені на рівні вимог нормативних документів. Поступове звуження обмежень надалі буде забезпечувати підвищення стабільності процесу виробництва. Для подальшої обробки масиву використовується тільки ті дані параметру якості, які відповідають встановленому обмеженню. Далі, для кожного з технологічних показників які впливають на параметр якості, що безпосередньо розглядається, необхідно побудувати діаграми розподілу та встановити обмеження, які забезпечують отримання бажаного результату з якості. Слід уникати окремого встановлення меж для взаємозалежних технологічних параметрів, а також встановлення різних меж для одного і того ж параметру, який впливає на різні показники якості. Для встановлення обмежень, у тому числі для параметрів, що мають взаємозалежність, рекомендовано використовувати комплексні статистичні моделі, які побудовані на підставі отриманих масивів даних. Такі моделі зручно будувати в програмних додатках типу Statistica, або в пакеті аналізу Microsoft Excel [15].

Встановлення маркерів та меж. Останнім часом поширено використовуються кольорові маркери, які допомагають візуально оцінити стан процесу. При встановленні меж технологічних показників/параметрів, кольорові маркери можна застосувати наступним чином (рис. 4):

- червоний маркер встановлюють, коли технологічний показник/параметр відхиляється від меж, які забезпечують отримання параметру якості у відповідності зі стандартом;
- жовтий маркер встановлюють, коли технологічний показник/параметр відхиляється від меж, які забезпечують підвищені вимоги, встановлені в межах керування системою якості, при цьому параметр ще знаходиться у межах відповідності стандарту;
- зелений маркер встановлюють, коли технологічний параметр відповідає межах встановлених (підвищених) вимог.

В залежності від поточного стану системи якості та технології, а також на початкових стадіях формування технології, можуть встановлюватись тільки червоний та зелений маркери. Слід зазначити, що такий підхід допомагає не тільки стабілізувати технологічний процес та підвищити якість продукції, а ще дає можливість знизити витрати на виробництво, в межах поєднання систем ISO та Lean, через застосування обмежень отримання надвисоких рівнів параметрів якості. Наприклад стабільне утримання механічних властивостей прокату на середньому рівні вимог дозволяє економити мікролегуючі елементи.

Відстежування результату, карти Шухарта. Відстежування результату та контроль за дотриманням встановлених обмежень по технологічних параметрах необхідно здійснювати за допомогою будь яких зручних способів, існуючих на підприємстві. Це може бути безпосередній контроль співробітником відділу контролю якості на місці фіксації параметру, за допомогою системи візуалізації (контролю) технологічних параметрів, або за допомогою автоматичної системи контролю технологічного процесу. Одним з найвідоміших способів аналізу результатів відстежування стабільності процесу є контрольні карти Шухарта [14], які являють собою графік зміни параметрів вибірки, зазвичай середнього значення і стандартного відхилення, який розраховується в процесі накопичування даних (рис. 5).

При перевищенні допустимого рівня відхилення, або при попаданні показника в жовте чи червоне поле, технологічним персоналом виконуються дії по забезпеченню входження показника в необхідні межі/зелене поле. Одиницю продукції, партію або інше, що вироблено за межами зеленого поля повинно бути відстежено окремо.

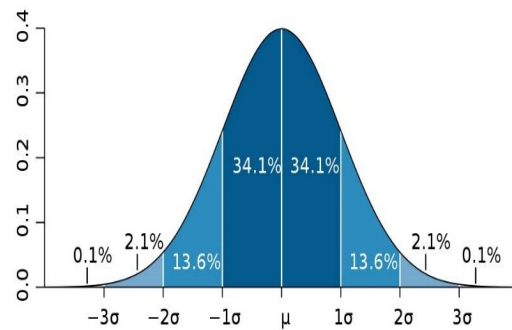


Рис. 3. Діаграма нормального розподілу в загальному вигляді

Параметр якості / технологічний показник	Рівні процесу				
	порушення процесу	потребує уваги	стабільний	потребує уваги	порушення процесу
Границя плинності, МПа	<210	210-214	215-250	251-255	>250
Температура закінчення прокатки, °С	<800	800-809	810-830	831-840	>840

Рис. 4. Приклад використання кольорових маркерів для оцінки стану процесу

Прийняття рішення по продукції, що вироблена з відхиленнями. Отримання інформації по відхиленням дозволяє керувати подальшою долею такої продукції відповідно до вимог п. 8.6 та 8.7 ISO 9001 [6]. Продукція, що виробляється партією, при виробництві кожної одиниці якої, всі показники знаходяться в межах зеленого маркеру вважається відповідною. Продукція, що виробляється партією, при виробництві якої, по окремих одиницях продукції є показники, які знаходяться в межах жовтого маркеру призначається на додатковий контроль якості. Додатковому контролю/випробуванням піддаються одиниці продукції з показниками в межах жовтого маркеру. Продукція з жовтими маркерами вважається відповідною тільки після підтвердження по результатах додаткового контролю. Цей метод може застосовуватись аж до поштучного контролю продукції, якщо це не заперечує замовник.

Продукція, що виробляється партією, при виробництві якої, по окремих одиницях є показники, які знаходяться в межах червоного маркеру, якщо це не узгоджено з замовником, вважається невідповідною та переводиться в нижчу якість або брак. Партія прокату може містити набір одиниць продукції з комбінацією будь яких маркерів, якщо це узгоджено із замовником, або відокремлюватися в різні партії відповідно до маркерів.

При виробництві нової продукції, базовими межами технологічних параметрів можуть бути параметри аналогів цієї продукції, якщо така є. Загалом, запропонована методика застосовується для продукції, яка пройшла стадію засвоєння та виробляється в промислових об'ємах. Запропонований принцип може бути застосовано для компаній-партнерів, які займаються наданням продукції підприємства-виробника додаткової доданої вартості (наприклад додаткова обробка поверхні прокату), у разі якщо кінцевий продукт реалізує підприємство-виробник або афілійовані з ним компанії, для обробки інформації про якість продукції по даних наданих замовниками.

Удосконалення методології. Таким чином, методологія керування якістю, яка передбачає встановлення, визначення значень технологічних показників, які впливають на якість продукції, їх контроль, накопичення, обробка та механізми покращення, як окремий елемент системи якості, підпорядкована циклу PDCA, та є підтвердженням невід'ємності системи якості загалом та окремих її елементів. Відображення запропонованої методології у формі циклу PDCA наведена в роботі [1].

Період оновлення циклу PDCA може відрізнятися для різних продуктів. Встановлення періоду оновлення даних може бути стаціонарним або динамічним. Стаціонарним або періодом за планом є встановлення періодичності оновлення для конкретного виду продукції в залежності від об'єму виробництва, наприклад кожні 50 тис. т, або в залежності від часу виробництва, наприклад кожного місяці або кожного кварталу.

Динамічний або оперативний період оновлення застосовується для конкретного виду продукції або сортаменту та може бути розділений по наступних принципах:

- оновлення циклу при перевищенні встановленої межі по невідповідній продукції, наприклад 3%;
- оновлення циклу при перевищенні встановленої межі по кількості показників, що попали в межу жовтого та/або червоного маркерів;
- оновлення циклу при перевищенні встановленої межі по кількості продукції, що потребує додаткового контролю, наприклад більш ніж 10 %.

Виконання циклу тісно пов'язане з технологією, так як для покращення якості безперервно виконується моніторинг і аналіз показників та корегується технологія. Технологічна інформація, що використовується та результати її обробки є частиною загальної «Бази знань» підприємства.

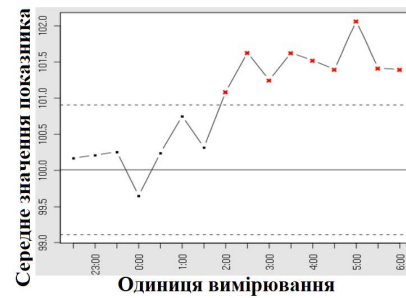


Рис. 5. Контрольна карта Шухарта в загальному вигляді

Приклад застосування. Розглянемо застосування розробленої методології для встановлення поточного рівня якості та напрямків для підвищення таких показників, як границя плинності (σ_T), тимчасовий опір (σ_B) та відносне видовження (δ) при виробництві товстолистового прокату зі сталі марки К60 товщиною 14 мм, що виробляється по режимах термомеханічної прокатки з прискореним охолодженням на стані 3600 «МК «АЗОВСТАЛЬ». Перелік показників, які впливають на рівень параметрів якості (σ_T , σ_B , δ), брали з технологічної документації комбінату. Серед показників - хімічний склад сталі з такими елементами, які впливають на механічні характеристики (C, Mn, Nb, V, Mo, Cr, Ni, Cu), технологічні параметри: температура початку прокатки в чорновій кліті (ТППч), температура початку другої стадії прокатки в чорновій кліті, яка обумовлена початком гальмування рекристалізації (ТГР), температура початку та закінчення прокатки в чистовій кліті (ТПП, ТЗП), температура металу на початку та на закінченні прискореного охолодження (ТПО, ТЗО). Для визначення показників, які впливають на параметри якості, побудували діаграми Парето по кожному з параметрів (рис. 6–8).

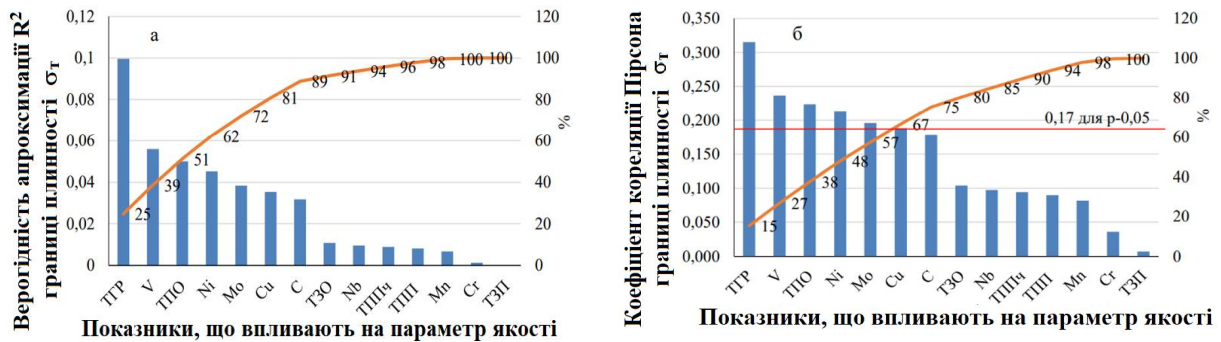


Рис. 6. Діаграма розподілу вірогідності апроксимації (а) та коефіцієнту кореляції Пірсона (б) по показниках, які впливають на границю плинності прокату зі сталі марки К60

Підставою для побудови діаграм Парето є величина вірогідності апроксимації R^2 та величина коефіцієнту кореляції Пірсона (по модулю), які отримані при визначенні залежності між кожним показником та показником якості. Для масиву, що використовувався в розрахунках, критичне значення кореляції Пірсона становить 0,17 (рівень значимості 0,05). Показники, коефіцієнт кореляції Пірсона яких до відповідного параметру якості є меншим за 0,17, не є значимими. Показники, які по результатах статистичної обробки даних є значимі, наведені в табл. 1. Дії щодо процесів покращення якості розробляються тільки для значимих показників.

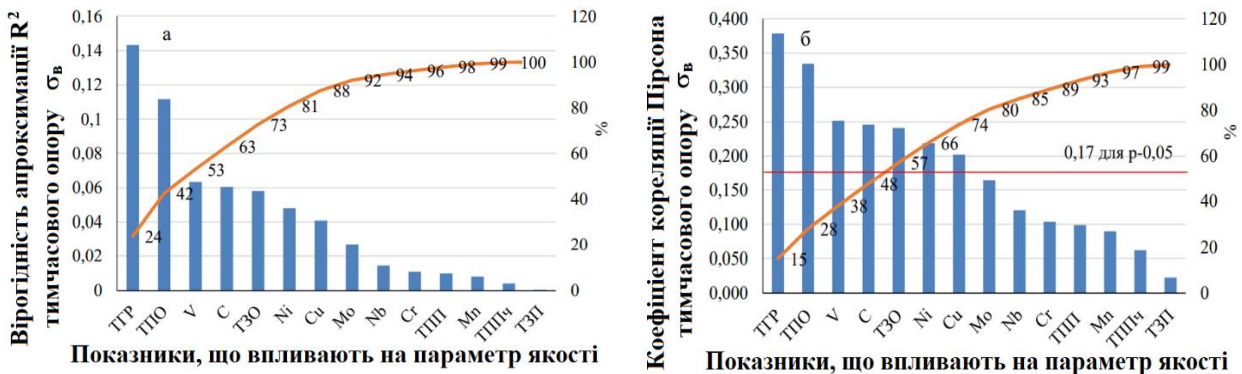


Рис. 7. Діаграма розподілу вірогідності апроксимації (а) та коефіцієнту кореляції Пірсона (б) по показниках, які впливають на тимчасовий опір прокату зі сталі марки К60

Незначимі показники залишаються на рівні, який встановлено технологією. Будуємо діаграми розподілу по параметрах якості для встановлення поточного стану технології виробництва прокату товщиною 14 мм зі сталі К60 на стані 3600 «МК «АЗОВСТАЛЬ» (рис. 9-11).

Згідно з діаграмами розподілу (див. рис. 9-11), маємо наступний стан якості прокату, що досліджується:

- розподіл границі плинності має випадки отримання нижчого за нормативний рівень та граничних з мінімальними нормативними рівнями вимог. Загальний розподіл зміщений до нижнього рівня вимог;

- розподіл тимчасового опору також має випадки отримання нижчого за нормативний рівень вимог;
- розподіл відносного видовження має суттєву кількість випадків отримання нижчого за нормативний рівень вимог. Розподіл відносного видовження свідчить про нестабільність технологічного процесу щодо отримання даного параметру якості.

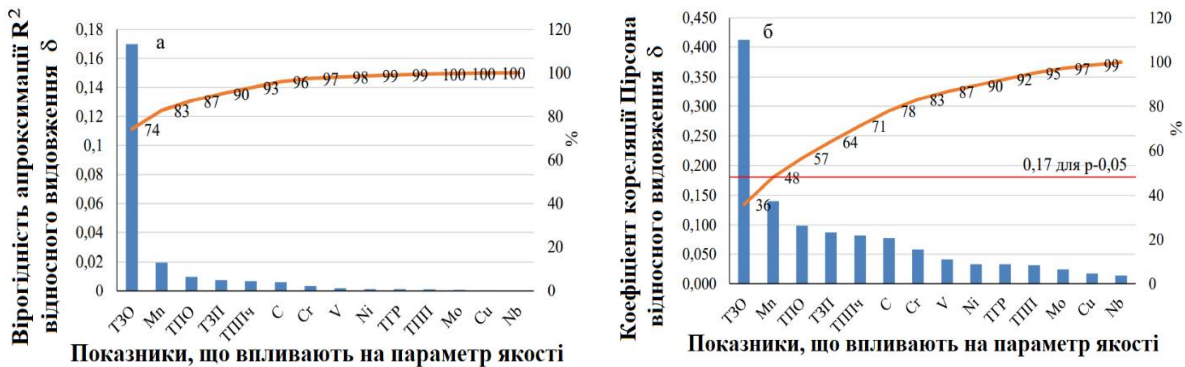


Рис. 8. Діаграма розподілу вірогідності апроксимації (а) та коефіцієнту кореляції Пірсона (б) по показниках, які впливають на відносне видовження прокату зі сталі марки К60

Табл. 1
Показники, які є значимі при визначенні відповідного параметру якості

Показник	Значення кореляції Пірсона по параметрах якості		
	σ_T	σ_B	δ
ТГР	0,316	0,379	-
V	0,236	0,252	-
ТПО	-0,224	-0,334	-
Ni	-0,213	-0,219	-
Mo	-0,196	-	-
Cu	-0,188	-0,202	-
C	0,178	0,246	-
ТЗО	-	-0,241	0,412

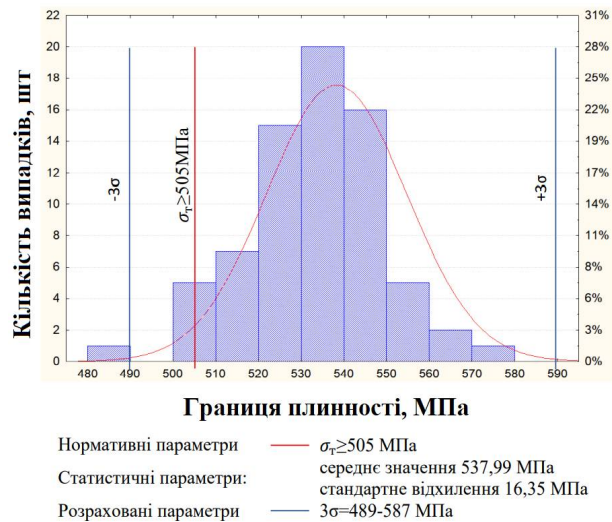


Рис. 9. Розподіл границі плинності прокату товщиною 14 мм зі сталі марки К60

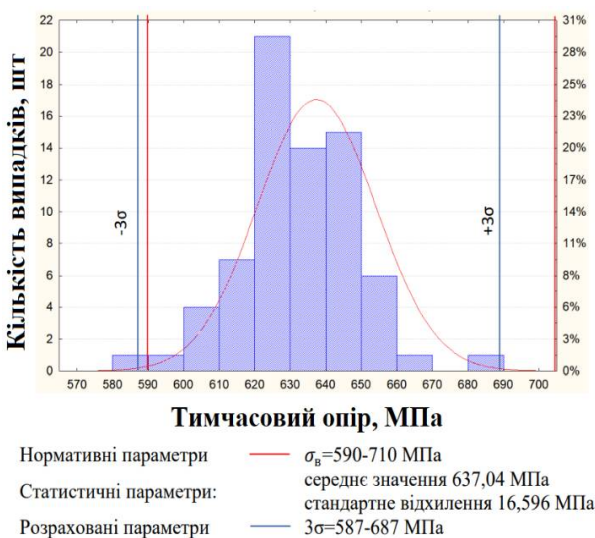


Рис. 10. Розподіл тимчасового опору прокату товщиною 14 мм зі сталі марки К60

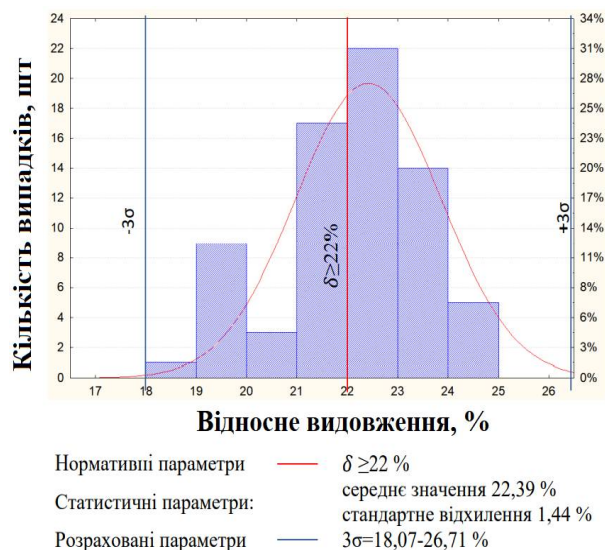


Рис. 11. Розподіл відносного видовження прокату товщиною 14 мм зі сталі марки К60

Для стабілізації технологічного процесу та підвищення якості продукту по параметрам, що досліджуються, встановимо наступні обмеження (табл. 2). Для отримання необхідного рівня показників технології по встановлених обмеженнях параметрів якості, в масиві даних, що досліджується, за допомогою фільтрів залишимо тільки ті дані, які відповідають стабільному або зеленому рівню процесу та встановимо їх межі (табл. 3). Фільтрацію слід починати з найбільш нестабільного параметру, в нашому випадку це відносне видовження. Через те, що перелік значимих показників перетинається між параметрами якості, для всіх трьох параметрів вони будуть однакові. При встановленні жовтого та червоного рівнів необхідно враховувати негативне або позитивне значення кореляції Пірсона (див. табл. 1). Межами жовтого рівня для показників вибрані дані, які відповідають межах нормативних вимог параметрів якості.

Табл. 2.

Встановлені обмеження показників якості

Параметр якості / технологічний показник	Рівні процесу				
	порушення процесу	потребує уваги	стабільний	потребує уваги	порушення процесу
Границя плинності, МПа	<505	505-510	511-570	571-580	-
Тимчасовий опір, МПа	<590	590-600	600-660	661-710	>710
Відносне видовження, %	<22	22-22,5	22,5-25	25-26	-

Табл. 3.

Встановлені обмеження показників та параметрів якості до них

Параметр якості / технологічний показник	Рівні процесу				
	порушення процесу	потребує уваги	стабільний	потребує уваги	порушення процесу
Границя плинності, МПа	<505	505-510	511-570	571-580	-
Тимчасовий опір, МПа	<590	590-600	600-660	661-710	>710
Відносне видовження, %	<22	22-22,4	22,5-25	25,1-26	-
ТГР, °С	<876	876-908	909-1008	-	>1008
V, %	<0,055	0,056-0,059	0,06-0,08	-	>0,08
ТПО, °С	<717	718-720	721-737	-	>737
Ni, %	-	-	0-0,29	-	>0,29
Mo, %	-	-	0-0,07	-	>0,07
Cu, %	-	-	0-0,28	-	>0,28
C, %	-	-	0,08-0,11	-	>0,11
ТЗО, °С	<541	542-595	596-640	-	>640

Також, важливу роль при використанні даного методу при встановленні рівнів процесу відіграє якість первинно розробленого технологічного процесу. В даному випадку комбінатом було розроблено неоптимальну технологію термомеханічної прокатки з прискореним охолодженням, яка не дозволяє отримувати необхідні механічні властивості за допомогою охолодження, що видно по негативних кореляціях параметрів охолодження. Необхідні властивості досягаються здебільшого за допомогою параметрів процесу прокатки. Перевагою запропонованого методу додатково є можливість виявлення помилок в розроблених технологіях. Після встановлення необхідних рівнів технологічних показників для отримання стабільних параметрів якості, маємо наступний їх розподіл (рис. 12-14).

Таким чином, зелений рівень процесу забезпечив отримання механічних властивостей в межах нормативних вимог, при цьому зменшилося стандартне відхилення границі плинності, тимчасовому опору та відносному подовженню на 44 %, 31 % та 46 % відповідно, що свідчить про підвищення стабільності технології та отриманих результатів.

Розподіл відносного видовження не є нормальним, та після впровадження відповідних змін в технологію, його результати мають стабілізуватися.

Таким чином, в межах превентивного керування якістю вперше запропоновано та формалізовано методологію з встановлення, визначення значень технологічних показників які впливають на якість продукції, їх контроль, накопичення, обробка та механізми покращення в якій використовуються принцип Парето, 3 σ , критерій Пірсона, та, яка спрямована на безперервне покращення якості технологічних процесів і продукції.

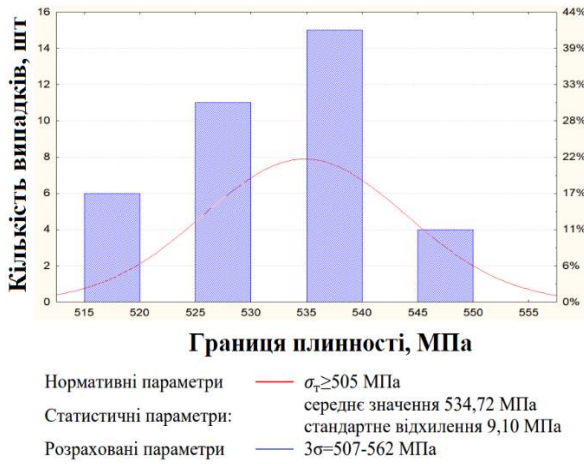


Рис. 12. Розподіл границі плинності прокату товщиною 14 мм зі сталі марки К60, зелений рівень процесу

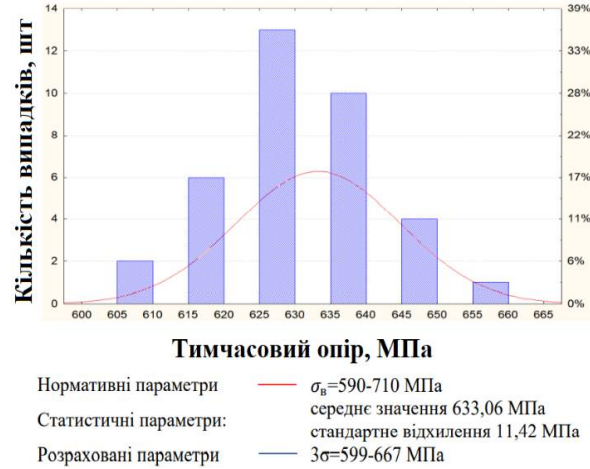


Рис. 13. Розподіл тимчасового опору прокату товщиною 14 мм зі сталі марки К60, зелений рівень процесу



Рис. 14. Розподіл тимчасового опору прокату товщиною 14 мм зі сталі марки К60, зелений рівень процесу

Висновки

На підставі аналізу встановлено, що додаткові вимоги до прокатної продукції перевищують встановлені нормативними документами значення та потребують врахування при розробці технологій. Визначено, що на підставі встановлених за допомогою комплексу методів статистичної обробки даних зв'язків між технологічними параметрами прокатки та механічними властивостями готового ТМСП прокату, які закладено в методологію керування якістю, можливо підвищити стабільність технологічних процесів прокатки. Перевірка запропонованої методології показала зменшення стандартного відхилення границі плинності, тимчасового опору та відносного подовження на 44 %, 31 % та 46 % відповідно, від первинних даних, отриманих при прокатці сталі категорії міцності К60 на товстолистовому стані 3600 металургійного комбінату «Азовсталь», що свідчить про можливість підвищення стабільності технологічного процесу термомеханічної прокатки.

Виконано за фінансування Міністерства освіти і науки України в рамках наукового проекту (державний реєстраційний номер 0120U102154) та українсько-китайського наукового проекту (державний реєстраційний номер 0122U200120).

Список використаних джерел:

1. Курпе О. Г., Кухар В. В., Присяжний А. Г. Удосконалення та апробація методології керування якістю листового металопрокату. *Обработка материалов давлением*: сб. науч. тр. ДГМА. – Краматорск : ДГМА, 2020. № 1 (50). С. 228–235.
2. Hu J., Du L.-X., Xie H., Gao X.-H., Misra R. D. K. Microstructure and mechanical properties of TMCP heavy plate microalloyed steel. *Materials Science and Engineering: A*. 2014. vol. 607. P. 122–131.
3. Кусса Р.О., Волошин В.С., Зурнаджи В.І., Єфременко В.Г., Зайчук Н.П., Ткачев Р.О., Гаврилова В.Г., Джеренова А.В. Технології термічної обробки високоміцних АНСС-сталей третього покоління. *Міжвузівський збірник «Наукові нотатки»*. Луцьк. 2021. № 71. С. 181-190.
4. Hesse O., Liefeyth J., Kunert M., Kapustyan A., Brykov M., Efremenko V. Bainite in Stählen mit hohem Widerstand gegen Abrasivverschleiß (Bainite in Steels with High Resistance to Abrasive Wear). *Tribologie und Schmierungstechnik*. 2016. vol. 63(2). P.5-13.
5. ДСТУ ISO 9000:2015 (ISO 9001:2015, IDT). (2016), *Системи управління якістю. Основні положення та словник термінів*, [Чинний від 2016-07-01], ДП «УкрНДНЦ», Київ, 45 с.
6. ДСТУ ISO 9001:2015 (ISO 9001:2015, IDT). (2016), *Системи управління якістю. Вимоги*, [Чинний від 2016-07-01], ДП «УкрНДНЦ», Київ, 22 с.
7. Синго С. Изучение производственной системы Тойоты с точки зрения организации производства / пер. с англ. Институт комплексных стратегических исследований, Москва, 2010. 312 с.
8. Оно Т. Производственная система Тойоты. Уходя от массового производства / пер. с англ. Институт комплексных стратегических исследований, Москва. 2013. 208 с.
9. Башинська І. О. SMART-підхід до визначення цілей смартизації промислового підприємства. *Вчені записки ТНУ імені В. І. Вернадського*. Серія: Економіка і управління. 2019. Том 30 (69). № 5. С. 41-46.
10. “Превентивное управление качеством. ДМКД”, available at: <http://www.dmkd.dp.ua/4316>
11. “Система управління якістю. Металургійний комбінат «АЗОВСТАЛЬ»”, available at: <https://azovstal.metinvestholding.com/ua/activity/quality/control>
12. “Якість. Маріупольський МК ІМ. ІЛІПЧА”, available at: <https://ilyichsteel.metinvestholding.com/ua/activity/quality>
13. “Запоріжсталь сьогодні. Запоріжсталь”, available at: <https://www.zaporizhstal.com/pidpriyemstvo/>
14. ДСТУ ISO 8258-2001 (ISO 8258:1991, IDT). (2003), *Статистичний контроль. Контрольні карти Шухарта*, [Чинний від 2003-07-01], Держспоживстандарт України, Київ, 32 с.
15. Chabak Y. G., Fedun V. I., Shimizu K., Efremenko V. G., Zurnadzhy V. I. Phase-structural composition of coating obtained by pulsed plasma treatment using eroded cathode of T1 high speed steel. *Problems of Atomic Science and Technology*. 2016. vol. 104(4). P. 100-106.