

М. Корчинський

## РОЛЬ МІКРОЛЕГУВАННЯ У ДОСЯГНЕННІ ЖИТТЄЗДАТНОЇ НОРМИ РОСТУ СПОЖИВАННЯ СТАЛІ



### ВСТУП

Безперервне зростання виробництва створює серйозні деформації в питаннях постачання сталі. Для покращення ситуації, а також для стримування зростання цін пропонуються різні шляхи. Перспективними і привабливими є методи створення сталі високої міцності. У Китаї ця концепція увійшла у стратегічну "політику розвитку сталеливарної промисловості". Щоб зменшити витрати сталі, її виробники стимулюються до розробки економічних ресурсозберігаючих технологій виробництва високоміцної сталі на заміну вуглецевої сталі низької якості. Вищевказані передумови забезпечуються мікролегуванням сталі. Висока міцність мікролегованих сталей зумовлена змінами мікроструктури, що відбуваються при гарячій прокатці й наступному охолодженні. Серед різноманітних мікролегованих систем азотно-ванадієві (N–V) сталі мають економічні і технологічні переваги. Економічний аналіз свідчить, що ця заміна може бути корисною як для виробників, так і для споживачів сталі. Крім того, зменшення забруднень внаслідок скорочення виробництва покращує навколишнє середовище. Для реалізації концепції заміни необхідна тривала стратегічна схема, котру би підтримали всі зацікавлені учасники.

### ЗРОСТАЮЧА РОЛЬ МІКРОЛЕГОВАНИХ СТАЛЕЙ

Розвиток і вдосконалення мікролегованих сталей (MLST) розцінюється як чи не найбільше

ше досягнення у металургії ХХ ст. Короткий огляд науково-дослідних і дослідно-конструкторських робіт по розробці нового класу будівельних матеріалів перших трьох десятиліть було представлено на конференції "Мікролегування-75" у м. Вашингтоні (США). Навіть на сьогодні матеріали цієї конференції є цінним внеском у тематику мікролегованих сталей. Роботи Пікерінга, Козазу, Гладмана, Фукуда та інших сприяли розумінню різних механізмів зміцнення, впливу параметрів вальцювання на мікроструктуру, засад оптимізації хімічного складу і гарячої прокатки як термомеханічного процесу. На ранніх стадіях стимулом цієї розробки була потреба в економічних високотривких товстих листових сталях для виробництва труб магістральних трубопроводів. Щоб одержати максимальне феритне подрібнення (refinement), необхідною вважалася деформація нижче температури зупинки рекристалізації ( $T_{rs}$ ). Оскільки ніобієві сталі показали найвищу  $T_{rs}$ , то цей елемент було обрано визначаючим у розвитку ССР-технологій ("звичайне кероване вальцювання"). Технологія ССР стала загальноживаною термомеханічною обробкою, незважаючи на високі тиски при прокатці та низьку продуктивність. Як результат цієї конференції можна вважати, що накопичені знання є тільки верхівка айсберга і може бути ще багато нових досягнень [1].

Конференція "Мікролегування-95", проведена в Пітсбургу (США), підтвердила ці твердження [2]. Протягом конференції було пояснено складний механізм безперервного розливання мікролегованих сталей, а також розроблено

високотемпературний режим вальцювання, здібний дати дрібне зерно фериту (4 мкм), як і ССР. Нова технологія вальцювання — "керована рекристалізація" (RCR) — не лише була позбавлена багатьох недоліків ССР, але стала також енергозберігаючою.

Широке використання електродугового плавлення (>50 % у США, ~40 % у світі) сфокусувало увагу на негативних ефектах впливу азоту. Ванадій був застосований не лише для нейтралізації азоту та забезпечення "нестаріння" сталі, але і для трансформації шкідливої домішки у компонент рентабельного сплаву.

Впровадження практики лиття й прокатки тонкого слябу (TSCR) стало революцією у виробництві сталі. Стало можливим перетворення рідкої сталі у ринковий виріб (металеві стрічки) на лінії неперервного розливу сталі. Водночас із суттєвою економічною перевагою використання вилитого слябу створювало також проблеми щодо подріблення грубих (декілька мм в діаметрі) зерен аустеніту. Завдяки низькій  $T_s$  мікролеговані ванадієві сталі є ідеальними для виробництва високоміцних сталей за допомогою TSCR-технології.

Одна з проблем промисловості того періоду полягала в необхідності зниження ваги автомобілів з метою зменшення споживання бензину. Було розпочато розробку надлегкого сталевого кузова для автомобілів (ULSAB). Проект спонсорувався інтернаціонально. Мета його полягала в створенні більш легкого і одночасно більш міцного кузова. Цього було досягнуто заміною холоднокатаної вуглецевої сталі високоміцними сортами сталі. Ще більш важливим було те, що заміна зменшила витрати. Тому високоміцні сорти холодного прокату стали основним матеріалом автомобільної промисловості.

Конференція "Мікролегування-07" в Калькутті (Індія) проходила в час безпрецедентного збільшення споживання сталі. Ця ситуація вимагала нових підходів, щоб запобігти негативному впливові на глобальну економіку. Я проаналізую нову роль мікролегованих ста-

лей для пом'якшення негативних наслідків росту "сталевих хвиль" та їх потенціалу, котрий сприятиме нормалізації цього сплеску. Використання мікролегованих сталей покращить стан екології. Зменшення питомої ваги завдяки використанню мікролегованих сталей і таким чином усунення зайвих витрат цінних ресурсів виробництва сталі низької якості сприятиме розвитку народного господарства.

### СПЛЕСК СПОЖИВАННЯ СТАЛІ ТА ЙОГО ПРИЧИНИ

Початок ХХІ ст. співпав з безпрецедентним збільшенням виробництва та споживання сталі. У кінці минулого століття світове виробництво сталі складало біля 850 млн. т на рік. Навіть ця кількість, як вважали, була надмірною, що сприяло заниженню цін на сталь. Починаючи з 2001-го року виробництво сталі росте драматично. Рівня 1 млрд. т на рік було досягнуто в 2004 р., і зростання виробництва триває щорічно на 7–8 % (рис. 1). Всесвітнє виробництво сталі у 2006 р. було на 50 % вище, ніж у 2001 р. [2]. В результаті, до кінця 2006 р. світове виробництво сталі становило 1,24 млрд. тон у рік, що складає 50%-е збільшення за 5 років [3].

Китай є головним вкладником у "сталевих хвиль" по використанню сталі, водночас виробництво сталі в розвинених країнах залишається застійним. Зростає роль нових економік [3]. Вибухове зростання попиту на сталь

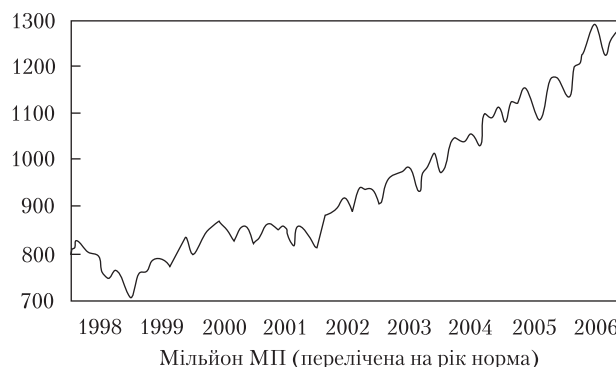
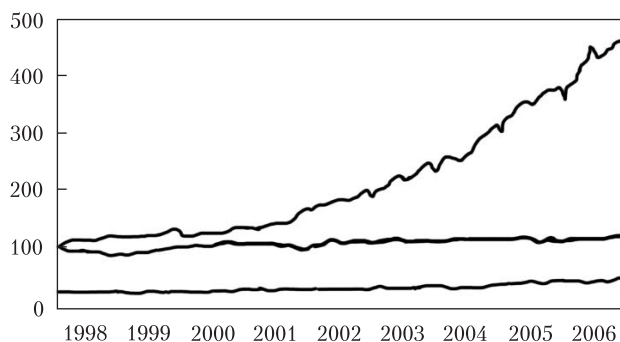


Рис. 1. Світове виробництво сталі, млн. т. (перелічена на рік норма)



**Рис. 2.** Китайське, японське, індійське та американське виробництво первинної сталі (перерахунок на рік)



**Рис. 3.** Індійське виробництво первинної сталі (перерахунок на рік)

є відображенням зростаючої ролі нових економік. Сьогодні провідну роль у виробництві первинної сталі відіграє Китай (рис. 2).

Розвиваючи виробничу технологію і експортуючи споживчі товари, Китай був змушений залучити іноземні інвестиції. На сьогодні Китай став світовим виробничим центром і, експортуючи низько- та високотехнічні товари, досягнув щорічного зростання валового національного продукту (ВВП) на 8–10%. Це сприяло процесу модернізації завдяки потужним інвестиціям в інфраструктуру, різноманітну індустріалізацію та урбанізацію. Ці напрями вимагають великої кількості конструкційних матеріалів, перш за все — низькоякісної вуглецевої сталі гарячої прокатки. Ця продукція становить >80 % поточного попиту. З огляду на те, що доступність конструкцій-

них матеріалів значною мірою визначає ступінь досяжності поставлених економічних цілей, гарантія своєчасної поставки сталі є обов'язковою.

Такий шлях модернізації з метою підвищення життєвого рівня населення проходять усі країни, що розвиваються, проте лише після досягнення певного рівня добробуту, котрий визначається ВВП (рис. 3). Зростаючий попит на сировину і конкуренцію серед споживачів створює ринкове середовище виробників. Експорт сировини забезпечує високий рівень росту ВВП (порядку 5–8 % щорічно) країнам, що розвиваються. Він значно вищий, ніж у розвинених країнах (<3–5 %) [4]. Наприклад, починаючи від 2001 р. рівень зростання сталевих виробництва в Індії подібний до Китаю (рис. 3). Ці спостереження показують, що попит на сталь ростиме і надалі [3].

"Сплеск" — це не перехідний цикл, це явище тривале. Попит на сталь формується країнами, що розвиваються, бо вони прагнуть поліпшити свої економічні стандарти. Ці події не можуть бути призупинені — вони стануть одним з визначальних факторів глобальної економіки [5].

#### НЕГАТИВНІ НАСЛІДКИ СПЛЕСКУ В СТАЛЕВОМУ ПОПИТІ

Раптове збільшення виробництва сталі порушує баланс між попитом та пропозицією. Результуючий дефіцит спричинив істотне збільшення цін. За три роки витрата залізної руди збільшилась на 120 %. Відповідно змінювалась ціна на сталеві відходи та добавки, кокс, енергію та транспортування. Високі ціни на сталь були перекладені на споживача, а в результаті привели до збільшення вартості життя (прожиткового мінімуму).

Друга сфера, що викликає занепокоєння, — екологічна деградація навколишнього середовища забрудненням. Відсутність ефективних заходів, щоб управляти емісією (особливо так званими "зеленими (парниковими) газами"), спричинила шкідливий вплив і у місцевому масштабі й на глобальному потеплінні.

### ЗАХОДИ ПО ДОСЯГНЕННЮ "ЖИТТЄЗДАТНОЇ" НОРМИ РОСТУ ВИРОБНИЦТВА СТАЛІ

Для зменшення негативних впливів сплеску застосовували різні засоби, щоб досягти "життєздатного" рівня росту. Розглянуті фактори включають збереження, рециркуляцію, використання процесів, що заощаджують енергію, активне дослідження нових мінеральних ресурсів і т.д. З метою запобігання екологічної деградації було запропоновано, щоб однакові пріоритети були призначені для досягнення економічних цілей і уникнення шкідливої емісії.

Невідворотність зростання сталевих попиту пов'язана з вимогами часу, проєктованими для того, щоб досягти певних економічних цілей. У формулюванні умов, необхідних для "життєздатного" рівня росту сталеливарної промисловості, обов'язково слід знайти баланс, щоб не гальмувати економічний розвиток.

В контексті цих проблем концепція задоволення технічних потреб (що пов'язано з економічними цілями) меншою кількістю сталі, але кращого рівня якості — приваблива і можлива [6]. Для сприйняття нової концепції необхідно, однак, перебороти сильний скептицизм як виробників сталі, так і споживачів. Для сталевих виробників продаж меншої кількості сталі еквівалентний меншій кількості прибутку. Для сталевих споживачів використання більш якісної сталі означає більш високу матеріальну витрату. Щоб перебороти це негативне сприйняття, необхідно запевнити, що висока міцність як засіб для скорочення кількості може бути отримана за мінімальну плату. Для заміни сортаменту (щоб бути життєздатною і технічно й економічно) цінність скорочення кількості повинна компенсувати вищу вартість більш міцного матеріалу.

### МІКРОЛЕГОВАНІ СТАЛІ — ЗАМІНА НИЗЬКОЯКІСНИХ СТАЛЕЙ

Мікролегована (ML) сталь — унікальна заміна низькоміцних гарячекатаних вуглецевих сталей — на сьогодні складає основний обсяг сталевих тоннажів. ML-сталі рентабель-

ні, тому що їхня висока міцність не залежить від високої ціни одержання сплаву та термічної обробки. Висока міцність (гранича текучості 350–700 МПа) — результат двох механізмів (роздрібнення зерна й дисперсне зміцнення), що взаємно підсилюються і діють у процесі гарячої прокатки й наступного охолодження. Це результат взаємозв'язку між мікролегуванням і деформацією гарячої прокатки та реакцією ML-елементів (N або C) у процесі охолодження [7].

Щоб отримати вартість зміцнення ML-сталі настільки низькою, наскільки це можливо, повинні бути виконані кілька умов:

- ✦ матриця й ML-сталі, й C—Mn-сталей повинна бути подібна до додаткового мікролегування;
- ✦ повинен бути застосований енергозберігаючий процес гарячої прокатки, що характеризується низькими температурами початку й високими завершення. Для досягнення цієї мети ML-сталь повинна мати низьку температуру зупинки рекристалізації ( $T_{rz}$ );
- ✦ для забезпечення формоутворення дрібнозернистого фериту (4–6 мкм) аустеніт повинен бути підготовлений повторною перекристалізацією в кожному проході вальцювання до заключного діаметра 20 мкм. Температура  $T_{rz}$  повинна бути нижчою від температури завершення процесу (твердження, висловлене Козасу (Kozasu), що найменше феритне зерно є отримане від деформованого (нерекристалізованого) аустеніту, дійсне тільки для грубого аустеніту);
- ✦ для максимального дисперсного зміцнення фериту вуглецеві або азотні компоненти ML-сталі повинні бути високорозчинні в аустеніті;
- ✦ ефект дисперсійного зміцнення залежить від об'ємної частки ( $f_v$ ) і розміру частки ( $d_p$ ). Для даної кількості елемента ML-сталі  $f_v$  залежить від C і N, наявних у фериті.

Через високу розчинність концентрація азоту у фериті така ж, як у сталі [8]. Всі елементи MA мають більшу спорідненість з N, ніж

Таблиця 1

## Параметри відмінностей між ніобієм і ванадієм

| Фактори, що впливають на сплав         | Ніобій      | Ванадій    |
|--|-------------|------------|
| Розчинність MC та MN в аустеніті       | Низька      | Висока     |
| Температура закінчення рекристалізації | Висока      | Низька     |
| Легкість рекристалізації               | Низька      | Висока     |
| Краща технологія вальцювання           | CCR         | RCR        |
| Сумісність із азотом                   | Негативна   | Позитивна  |
| Вплив на здрібнювання зерна            | Сильний     | Сильний    |
| Вплив на дисперсійне твердіння         | Слабкий     | Сильний    |
| Вплив N на виділення в аустеніті       | Інтенсивний | Обмежений  |
| Вплив N на виділення у фериті          | Незначний   | Позитивний |
| Зв'язок N у фериті                     | Слабкий     | Сильний    |

Таблиця 2

## Витрати в умовних одиницях

|                   | Сталь C—Mn      | ML-сталь        |
|-------------------|-----------------|-----------------|
| Основа            | 100             | 100             |
| Присадка MA       | 0               | 15              |
| Прибуток          | 20              | 35              |
| Сума              | 120             | 150             |
| Прибуток          | 4 т × 20 = 80   | 3 т × 35 = 105  |
| Витрата матеріалу | 4 т × 120 = 480 | 3 т × 150 = 450 |

з С. Збільшення в супернасиченості N й C стимулює рушійну силу і кількість утворень зародків, роблячи більш дрібні частки. Зменшений міжчастинний інтервал збільшує ефект дисперсійного зміцнення. Цей механізм ефективний в V—Nb—ML-сталях; фактично у присутності більшої кількості азоту. Щоб досягти бажаної границі плинності, кількість V мусть бути зменшена до 40 %.

Ефекти виділення карбідів менш явні й більш важкі в керуванні. Вміст вуглецю у фериті не сталий, а залежить від кінетики перетворення  $\gamma$ — $\alpha$ . У низьковуглецевих сталях

(~0,05 % C) перетворення швидке і вміст вуглецю визначається рівновагою між феритом і цементитом. При  $T = 600$  °C ферит містить тільки  $50 \cdot 10^{-6}$  вуглецю. Для більш високовуглецевих сталей час, необхідний для завершення перетворення, довший. Протягом цього періоду метастабільна рівновага між феритом й аустенітом переважає, і вміст вуглецю у фериті може бути на високому рівні:  $250 \cdot 10^{-6}$  при  $T = 600$  °C. Крім того, рушійна сила для зародження карбиду набагато нижча, ніж для нітриду. Реакція сповільнювалася і не завершувалася, якщо безперервне охолодження було занадто швидким. Для сприяння формуванню дрібнодисперсного нітриду в низьковуглецевих сталях доцільним є приріст вмісту азоту.

Вищезгадані міркування можуть слугувати рекомендаціями щодо вибору найбільш рентабельного компонента ML-сталі. При виборі Nb або V ці елементи часто розцінюються як взаємозамінні. У ML-сталі вони виконують подібні функції. Вони обидва роздрібнюють феритне зерно і стимулюють дисперсійне твердіння. Перевага часто надається менш дорогому елементу, зазвичай — ніобію.

Цей підхід спрощує проблему та може призвести до неправильних висновків. Як показано в табл. 1, фактори, що впливають на структуру сплаву, значно відрізняються для Nb й V. Для оптимального зміцнення параметри в хімії сталі й у гарячій прокатці є відмінним для Nb й V.

Крім того, загальна вартість сталі містить такі додаткові фактори, як витрата енергії для гарячої прокатки, продуктивність, взаємодія з N, складність обробки і т. ін. Гаряча прокатка V-сталей подібна до сталі C—Mn, що робить їх ефективними за ціною.

Технічні переваги сталей V—Nb можуть бути сформульовані так [9]:

- ✦ обидва механізми зміцнення (подрібнення зерна й виділення фаз) активізовані;
- ✦ ванадій перетворює азот з шкідливої домішки в ефективний компонент сплаву;
- ✦ мікролегування ефективно у широкому діапазоні вмісту вуглецю;

- † вальцювання з керованою рекристалізацією енергетично найвигідніше;
- † здібність до рекристалізації робить їх ідеальними для прокатки тонкого слябу.

### ЕКОНОМІКА ЗАМІНИ

Економіка МЛ-сталей після заміни С—Мп-сталей може бути проілюстрована таким прикладом. Для МЛ-сталі, що є вдвічі міцнішою за сталь С—Мп, досягне зменшення ваги — не менше 25 % [10]. Це означає, що 4 т С—Мп-сталі можуть бути замінені на 3 т МЛ-сталі.

Використовуючи умовні одиниці, витрата базової сталі прийнята за 100 для обох сталей. Витрата додатка МЛ-сталі приблизно оцінена в 15 %; прибуток — 20 % для С—Мп-сталі і 35 % для МЛ-сталі (див. табл. 2).

З таблиці видно, що виробник, продаючи менше МЛ-сталі (3т), має більш високий прибуток (105), ніж від продажу більшої кількості (4т) сталі С—Мп (80). Для споживача витрата матеріалу зменшена на 30 одиниць. Крім того, знижена вартість перевезення і виробничі витрати (зварювання більш тонких секцій / профілів прокату) вигідні для споживача. Ситуація переваги така, при якій всі сторони виграють.

Цей приклад показує що, виготовляючи МЛ-сталь з високими робочими характеристиками, ми заощаджуємо одну тону сталі С—Мп, тобто економимо капітал, робочу силу, сировину і енергію, не витрачену на те, щоб зробити низькоякісну сталь. Цей показник доданої вартості (еквівалент формування додатку) є важливим компонентом національної економіки.

Зростання споживання сталі, ймовірно, продовжуватиметься, оскільки нові економіки, що розвиваються, вимагають свою частку. Екстраполяція тенденції показує, що 2 млрд. т сталі могли б вимагатися через 7—8 років. Змагання за гарантування необхідних кількостей сировини й енергії стане жорстким, і ціни на ринку, як очікується, злетять. Це — дійсно не-

життєздатний сценарій, що вимагає запобіжних заходів.

### СТРАТЕГІЯ КИТАЮ В РОЗВИТКУ СТАЛЕЛИВАРНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

Протягом минулих кількох років сталеливарна промисловість у Китаї зростала за рівнем 20 % на рік, становлячи приблизно 70—80 % всесвітнього росту виробництва. До кінця 2007 р. виробництво сталі в Китаї може досягнути безпрецедентного рівня — 500 млн. т щорічно. Фактично вся сталь, вироблювана в Китаї, використовується усередині країни для: 1) розвитку інфраструктури; 2) індустріалізації; 3) урбанізації. Економічне зростання підтримується експортом виготовлених товарів, зовнішніми прямими інвестиціями і ростом внутрішнього використання товарів споживання. Економічні досягнення 20-ти останніх років поліпшили життєвий рівень однієї третини населення. Тобто в Китаї ще довгий шлях до задоволення очікувань ще двох третин населення, тобто 800-и млн. людей.

Незважаючи на видимі успіхи, промисловість обтяжена багатьма недоліками, серед яких — ірраціональна локалізація сталеливарних підприємств, повільне сприйняття сучасних технологій, присутність багатьох малих неефективних виробництв і приголомшливий рівень забруднення й руйнування середовища.

Щоб поліпшувати ситуацію й втримати регулювання майбутнього розширення виробництва, урядом Китаю в 2005 році була затверджена "Стратегія розвитку сталеливарної промисловості" [11]. Ця стратегія передбачає поступове видалення малих неефективних заводів і зменшення кількості сталевих підприємств внаслідок злиття компаній і приватизації. До 2010 року очікується, що кращі 10 внутрішніх виробників сталі акумулюють до 50 % повної національної потужності. Цей відсоток, як очікується, збільшиться до < 70 % до 2020 року. Особливо цікавим є розділ VIII Стратегії "Економічне використання стале-

вих виробів". Для єдиної мети зменшення споживання сталей виробники заохочені розробити економічні і ресурсозберігаючі високоміцні матеріали як засіб зниження ваги. Одночасно специфікації проектів і стандартів будуть переглянуті й модифіковані, щоб не затримувати комерційне впровадження нових високоміцних виробів (статті 32 й 34).

Концепція заміни сталей високої міцності замість низького класу сталей С—Мп в офіційній "Стратегії" є визначаючою. Якщо ця концепція буде прийнята й практично реалізована в країні, що представляє 1/3 всесвітнього сталевих виробництва, нова стратегія буде мати глобальне значення.

Потенціал використання МЛ-сталі продемонстровано в Китаї. Сталі, використовувані в будівельних конструкціях, більшою мірою вироблені в Китаї. Досвід з арматурними прутками є повчальним. У Китаї 90 млн. т арматурної С—Мп-сталі використовуються щорічно. Границя текучості (YS) арматурної сталі 2-го класу — тільки 270 МПа. Замінюючи арматуру 2-го класу мікролегованою арматурною сталлю класу 3 (400 МПа, YS), загальну вагу арматури можна зменшити на 15 %. Якщо всю арматуру замінити на мікролеговану сталь класу 3, то приблизно 15 млн. т можна зекономити. Це число можна подвоїти б, використовуючи арматурну сталь 4-го класу (500, МПа YS). Ця більш міцна арматура обмежено виробляється в Китаї, але тільки на експорт. Імовірно, що заміну на більш міцну арматуру буде прискорено, коли витрата сировини й енергії збільшиться, роблячи виробництво низькоякісної продукції економічно не вигідним.

У плануванні майбутнього розвитку економіки заслуговує на увагу той факт, що згадана заміна в Китаї може бути не варіантом, а економічною необхідністю. Ця заміна (коли вона буде прийнята) створить умови для виробництва великої кількості МЛ-сталей. Успішне використання мікролегованої сталі для зниження ваги — заслужений дивіденд вели-

чезних наукових і технологічних зусиль, витрачених у минулому сторіччі на вдосконалювання МЛ-сталей.

Введення концепції заміни сталей в дію у Китаї може бути прискорене адміністративними важелями. В інших країнах, щоб одержати бізнес-згоду, могла б вимагатися стратегічна схема далекого порядку, містячи в собі всіх учасників підстановки. Союз учасників повинен би включити і виробників сталі, і користувачів, відповідальних за збереження мінеральних ресурсів й енергії, а також організацій, що мають справу з екологічними завданнями локального забруднення води й повітря, а також виділення "парникових газів".

#### ВИСНОВКИ

На початку ХХІ ст. ми стикнулися з новою, досі небаченою "сталеву хвилею". Через сплеск всесвітнього попиту на сталь глобальне споживання сталі збільшилося на 50 % за 5 років. Це безперервне збільшення підживлюється економіками, що перебувають на стадії становлення, та бажанням модернізації. Зростання споживання має тенденцію до збереження на багато десятиліть.

Результуючі недоліки і високі ціни ресурсів можуть бути зменшені, якщо використовувати більш міцні сталі. Така заміна може бути вигідною і для виробників сталей, і для споживачів, диспонуєючи більш міцними матеріалами (додатково зі зниження ваги), отриманими за більш помірну (низьку) ціну. Ця умова повністю може бути задоволена шляхом використання МЛ-сталей.

Задоволення технічних потреб меншою кількістю сталі має два важливі наслідки:

- ✦ грошово-кредитна вартість сталі, зекономлена шляхом зниження ваги, представляє капітал, робочу силу, сировину, і енергію, не витрачені на виробництво низькоякісної сталі, що еквівалентно кроку до формування достатку й вигідно для економіки в цілому;
- ✦ зниження сталевих виробництв зменшує шкоду навколишньому середовищу, що важ-

ливо і з огляду на локальне екологічне благополуччя, і у плані занепокоєння щодо глобального потепління, викликаного некерованим виділенням "парникових газів".

Унікальність "сталевих хвиль" в ХХІ ст. повинна бути ретельно проаналізована в усіх країнах, що виготовляють сталь. Цей аналіз повинен сформулювати істотні моменти щодо запланованого розширення виробництва сталі. У плануванні вигідно врахувати ці фактори, щоб оминати в майбутньому похибки, викликані неправильними припущеннями. "Випадковий бізнес" більше не буде затребуваний, і ера дешевої сировини може піти назажди.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Корчинський М. Мікросплави-75, Union Carbide Corp., Нью-Йорк, 1977. — Р. 746.
2. Корчинський М. Мікросплави-95, ISS, 1995. — Р. 3.

3. R.M. Bunting, Strategic Minerals Corp., Приватна комунікація.
4. Rotenberg J. Bridgewater Associates, N.Y. Times, Jan. 2007.
5. Нові Титани, Огляд Світової Економіки, Економіст, 16 вересня 2006.
6. M. Korchynsky. Material Science Forum, т. 500, листопад 2005. — С. 471–480.
7. M. Korchynsky. Proceedings HSLA Steels 2005, Iron & Steel supplement 2005, vol. 40. — Р. 3–8.
8. S. Zajac et al. Int. Symposium " Microalloying in Steels: New Trends for the 21st Century", Sept. 1998, SanSebastian, Spain. — Р. 295–302.
9. R. Lagneborg, et al. Scandinavian Journal of Metallurgy, vol. 28 (1999). — Р. 1.
10. Sheet Steel Handbook, Design and Application of High Strength Sheet Steel, SSAB, Turnplat AB, Sweden, 1996.
11. China Metallurgical Newsletter, vol. 7, No14, July 28, 2005.

Надійшла до редакції 16.10.07.