

УДК 621.771.23.016.2.

Р.Великоцький

ВАТ “Алчевський металургійний комбінат”

ВПЛИВ ХІМІЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ НА ГРАНИЦЮ ТЕКУЧОСТІ ГАРЯЧЕКАТАНОЇ ТОВСТОЛИСТОВОЇ СТАЛІ 10ХСНД У ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД ТОВЩИНИ ЛИСТА

У статті методом множинної кореляції отримано рівняння регресії, що описують залежність між хімічним складом і границею текучості гарячекатаної товстолистової сталі 10ХСНД. Методами математичної статистики обчислено коефіцієнти рівнянь регресії й отримано залежності впливу легуючих елементів на границі текучості сталі при різній товщині листа. Дано пропозиції з легування даної сталі з метою підвищення механічних властивостей.

Початково сталь марки 10ХСНД була розроблена спеціально для суднобудування як корпусну сталь. Надалі сталь 10ХСНД набула широкого застосування в ряді інших галузей промисловості, зокрема у важкому машинобудуванні, завдяки добрій зварюваності як високоміцна сталь з гарантованою границею текучості $\sigma_T = 400$ МПа. За хімічним складом сталь 10ХСНД відрізняється від сталі 15ХСНД більш низьким вмістом вуглецю при більш високому вмісті кремнію, нікелю і міді. Сталь 10ХСНД (стара назва даної сталі СХЛ-4) в листах товщиною $h = 4...5$ мм поставляється у гарячекатаному стані, а в листах більшої товщини (16...32 мм) піддається термічній обробці (гартуванню з наступним високим відпуском). Згідно стандарту [1] готовий прокат повинен витримати випробування холодним загином широкої смуги на циліндричній оправці діаметром $d = 2h$ при температурі до $t = 120$ °С без утворення надривів і тріщин і до температури $+180$ °С без руйнування. Кількість волокна в зламі великих зразків з надрізом випробуваних при кімнатній температурі повинно бути не менше 30%.

Хімічний склад сталі 10ХСНД (%): C≤0,12; 0,8-1,1 Si; 0,5-0,8 Mn; 0,6-0,9 Cr; 0,5-0,8 Ni; 0,4-0,6 Cu; P≤0,035; S≤0,040; N≤0,008; As≤0,080.

Відомо [2], що більшість характеристик механічних властивостей сталей погіршуються із збільшенням товщини листа. Особливо це стосується характеристик міцності.

Дослідженню впливу хімічних елементів на механічні властивості сталей присвячено багато праць, зокрема [3, 4]. Однак у літературі бракує інформації щодо впливу легуючих елементів на властивості сталей в залежності від товщини листа. У працях [5, 6] розглянуто проблеми групування вітчизняних і закордонних низьколегованих марок сталей, зокрема і сталі 10ХСНД, в інтервалах типорозмірів за рівнем фактичного зміцнення. Запропоновано методи оцінювання резерву міцності і рівня фактичного зміцнення і дано критерій визначення двійників і заміників серед вітчизняних і закордонних сталей.

Запропоновано вираз для упорядкування, структуризації й групування сталей за фактичними механічними властивостями [6]:

$$\Delta\sigma_{mpt}^j = \frac{\Delta h^j (\sigma_{mpt}^{min})^2}{[\sigma_{mpt}^h h_{min}^i (1-C)]},$$

де h_{min}^i - товщина листа, мм; σ_{mpt}^{min} - мінімальне значення властивостей металу на кожному з відрізків міцних властивостей; Δh^j - припустимий інтервал товщин; σ_{mpt}^h - значення властивостей металу при визначеній товщині листа; C - додатковий коефіцієнт.

Для розрахунку характеристик механічних властивостей низьколегованих сталей у гарячекатаному стані запропоновано наступні емпіричні формули [3-5]:
 границя текучості:

$$\sigma_T = 12,4 + 28C + 8,3Mn + 5,6Si + 5,5Cr + 4,5Ni + 8Cu + 36V + 77Ti + 55P + [3,0 - 0,2 \times (h-5)];$$

границя міцності:

$$\sigma_B = 23,0 + 70,0C + 8,0Mn + 9,2Si + 7,4Cr + 3,4Ni + 5,7Cu + 32V + 54Ti + 46P + [2,1 - 0,14 \times (h-5)];$$

температура крихкості:

$$T_k = 28 + 176C - 62Mn + 255P - 133Si - 5 \times B,$$

де B – бал зерна. Вміст хімічних елементів визначається у %.

Метою даної праці є дослідження впливу вмісту хімічних елементів, що входять до складу сталі 10ХСНД, на її границю текучості.

Статистичні дослідження проводилися на підставі 311 плавок сталі. Виплавку сталі, прокат, метрологічне забезпечення і контроль параметрів технологічного процесу здійснювали відповідно до технологічної інструкції «Виробництво низьколегованої сталі марки 10ХСНД» (ТІ 229-МЦ-399-90). Сталь 10ХСНД виплавляли в 300-тонних мартенівських печах ВАТ «Алчевський металургійний комбінат» відповідно до технологічної інструкції «Виплавка спокійної, напівспокійної і киплячої сталі в основних мартенівських печах» (ТІ 229-СТМ-032-20-92). Зливки розміщували і нагрівали у нагрівальних печах колодязного типу за режимами для низьколегованого металу III групи відповідно до технологічної інструкції «Нагрівання зливок у нагрівальних колодязях» (ТІ 229-ПОЗ-033-104-98). Сляби нагрівали відповідно до технологічної інструкції «Виробництво товстолистої сталі на стані 2250» (ТІ 229-ПГЛ-034-109-98) за режимами для сталі 2-ї групи. Характеристики механічних властивостей листів визначали відповідно до вимог ДСТ 5521-93 і технологічних

інструкцій «Загальний порядок добору і комплектування проб від товстолистової сталі» (ТІ 229-067-35-96) та «Добір проб у прокатних цехах» (ТІ 229-067-85-98).

Методом множинної кореляції були побудовані рівняння регресії, які описують залежності між границею текучості і хімічним складом плавки для різної товщини листа (4...14 мм).

Рівняння регресії мають наступний вигляд:

$$\sigma_m = 395,1 + 664,0C - 52,6Mn + 52,7Si + 191,1S + 190,3P - 9,1Cr - 32,9Ni + 53,4Cu + 463,9Al + 1141,7Ti - 16,0h \text{ (для товщини 4...6 мм);} \quad (1)$$

$$\sigma_m = 284,6 + 602,0C + 18,03Mn + 132,0Si - 619,4S + 174,2P + 2,5Cr + 11,8Ni - 9,7Cu + 104,6Al + 1235,1Ti - 9,6h \text{ (для товщини 7...9 мм);} \quad (2)$$

$$\sigma_m = 211,5 + 551,8C - 25,0Mn + 113,4Si + 76,3S + 1979,4P + 9,3Cr + 4,9Ni + 15,6Cu + 42,3Al + 364,2Ti - 0,73h \text{ (для товщини 10...14 мм).} \quad (3)$$

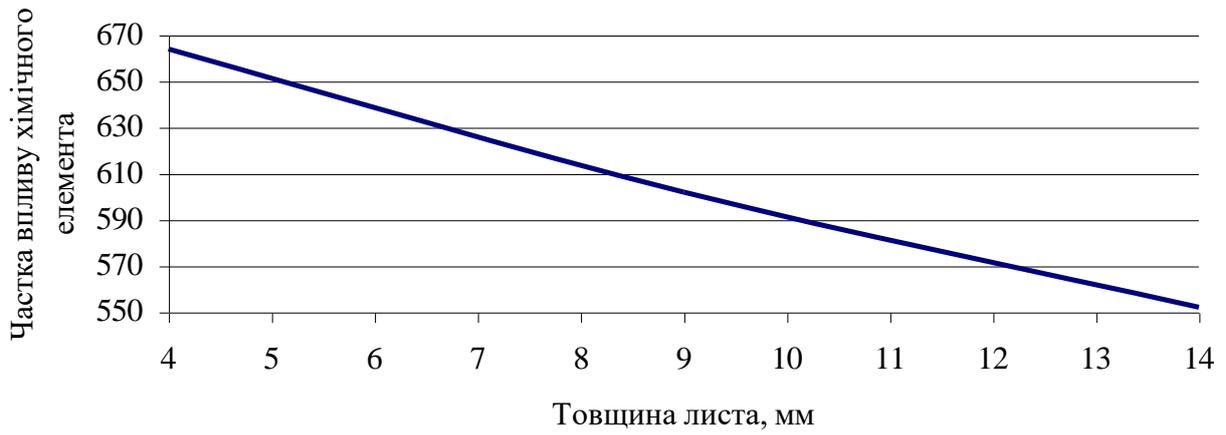
Необхідність об'єктивної оцінки впливу кожного хімічного елемента на механічні властивості обумовлена неоднозначним впливом хімічних елементів у залежності від товщини.

Апроксимуючи дані коефіцієнтів рівнянь регресії методом математичної статистики отримано залежності частки впливу хімічного елемента від товщини листа, графіки яких подані на рис. 1-4.

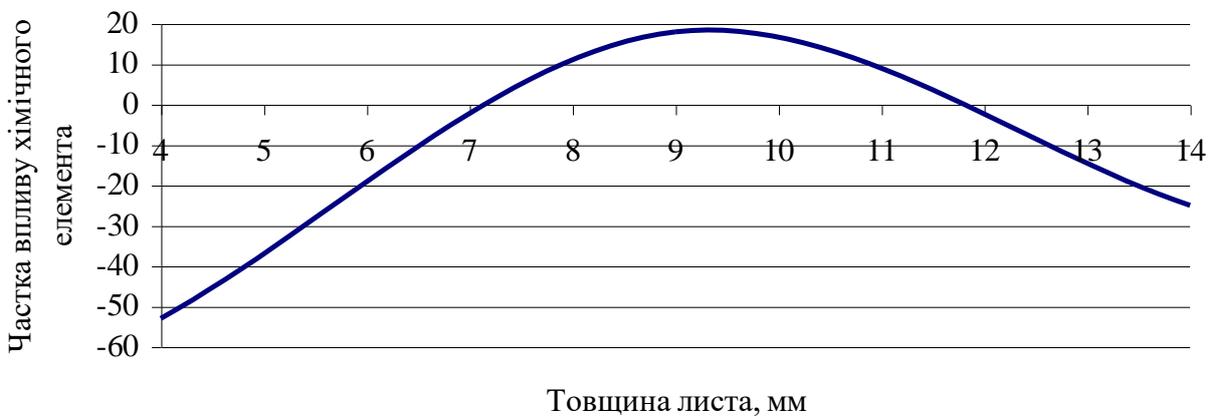
Такі хімічні елементи, як вуглець, кремній, титан і алюміній, у дослідженому інтервалі товщин збільшують границю текучості сталі 10ХСНД. Хоча із збільшенням товщини листа зменшується вплив вуглецю і алюмінію на границю текучості сталі. Кремній і титан складним чином впливають на границю текучості в залежності від товщини листа. Із збільшенням товщини листа до 10 і 8 мм відповідно кремній і титан істотно підвищують границю текучості. Надалі спостерігається зменшення впливу цих елементів на границю текучості. Подальше збільшення товщини листа до 14 мм ослаблює вплив кремнію у 1,2 рази, титану – у 3,6 рази. Інші хімічні елементи неоднозначно впливають на границю текучості сталі 10ХСНД у залежності від товщини листа.

Для практичного використання виявлених закономірностей необхідно визначити інтервал товщин, для яких спостерігається позитивний чи негативний вплив на характеристики механічних властивостей, зокрема на границю текучості. Так, марганець позитивно впливає на границю текучості в інтервалі товщин 7...12 мм (рис.1,б). Сірка ж негативно впливає на границю текучості практично у всьому інтервалі товщин (рис.2,а). Хром збільшує границю текучості сталі для товщини листа більше 8 мм (рис.2, в). Позитивний вплив нікелю спостерігається для товщини листа більше 7 мм (рис.3, а). Вплив міді негативний в інтервалі товщин 8...12 мм (рис.3, б).

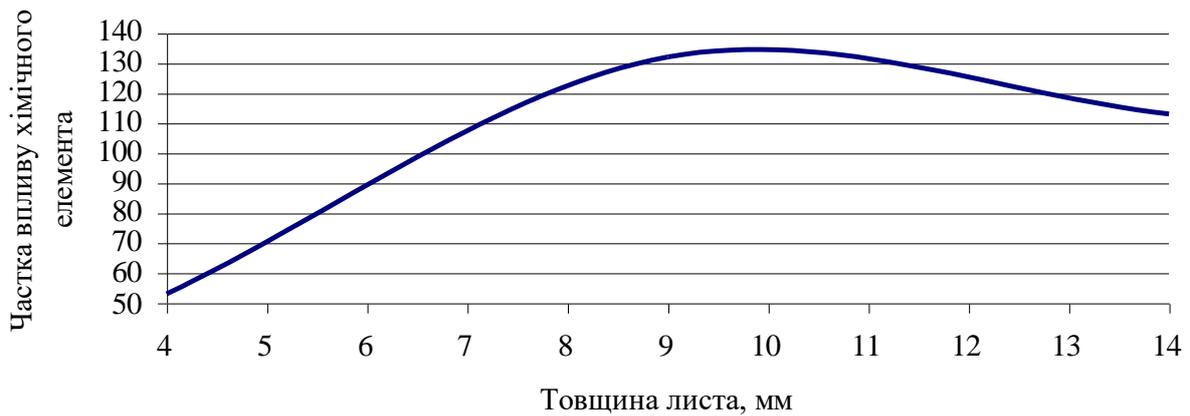
Для одержання максимальних значень границі текучості, при заданій товщині листа, необхідно установити найбільш оптимальний вміст кожного хімічного елемента, що входить до складу сталі 10ХСНД. Систематизовані дані про оптимальний вміст хімічних елементів у плавці сталі 10ХСНД в залежності від товщини листа подані у таблиці.



а)

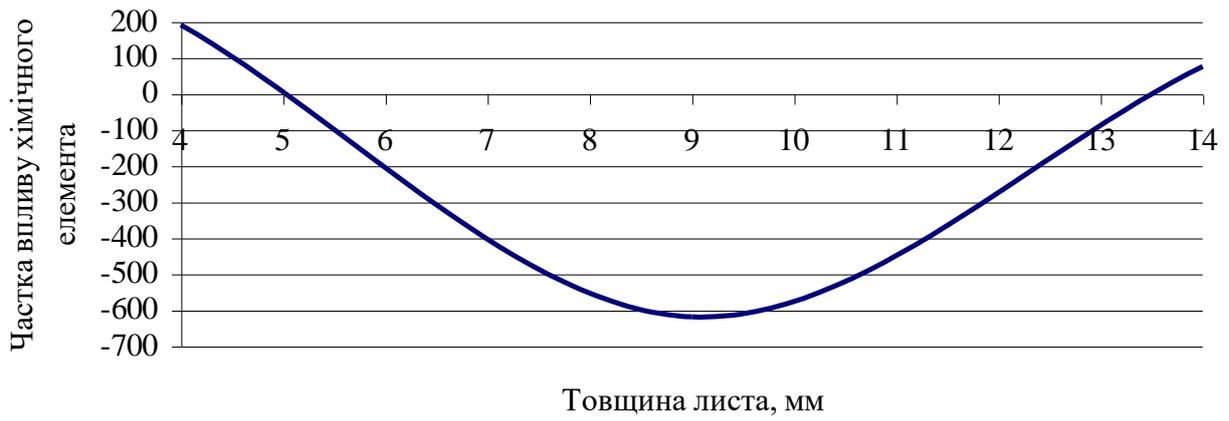


б)



в)

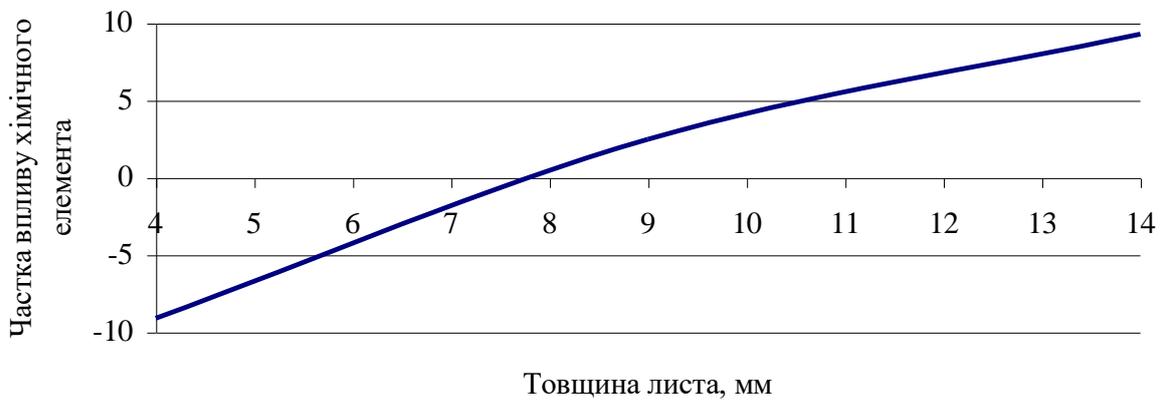
Рис.1. Залежність коефіцієнтів рівняння регресії, які описують вплив хімічних елементів на границю текучості сталі 10ХСНД від товщини листа:
а – вуглець; б – марганець; в – кремній



а)

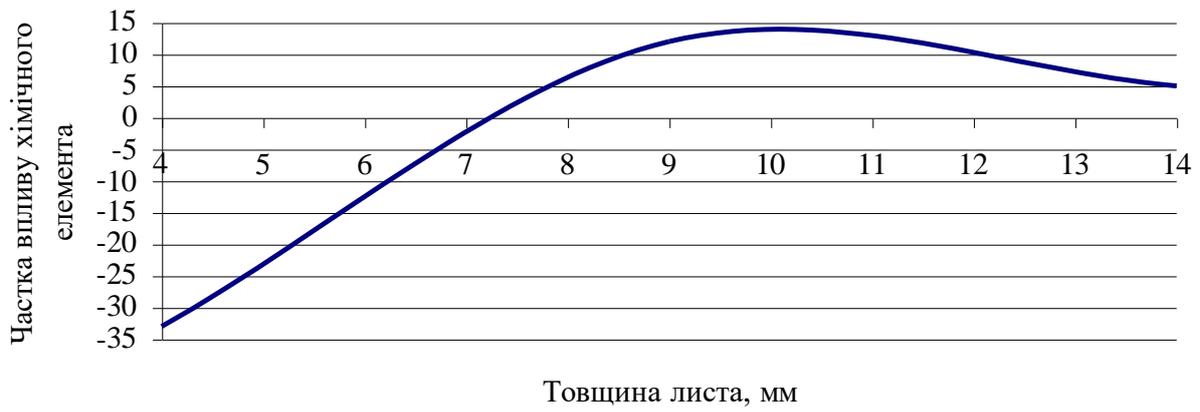


б)



в)

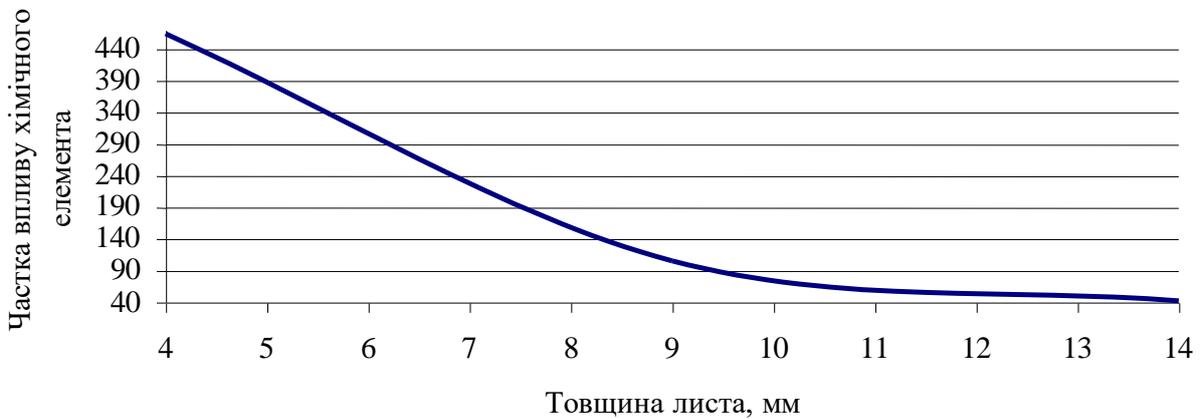
Рис.2. Залежність коефіцієнтів рівняння регресії, які описують вплив хімічних елементів на границю текучості сталі 10ХСНД від товщини листа:
а – сірка; б – фосфор; у – хром



а)



б)



в)

Рис.3. Залежність коефіцієнтів рівняння регресії, які описують вплив хімічних елементів на границю текучості сталі 10ХСНД від товщини листа:
а – нікель; б – мідь; в – алюміній

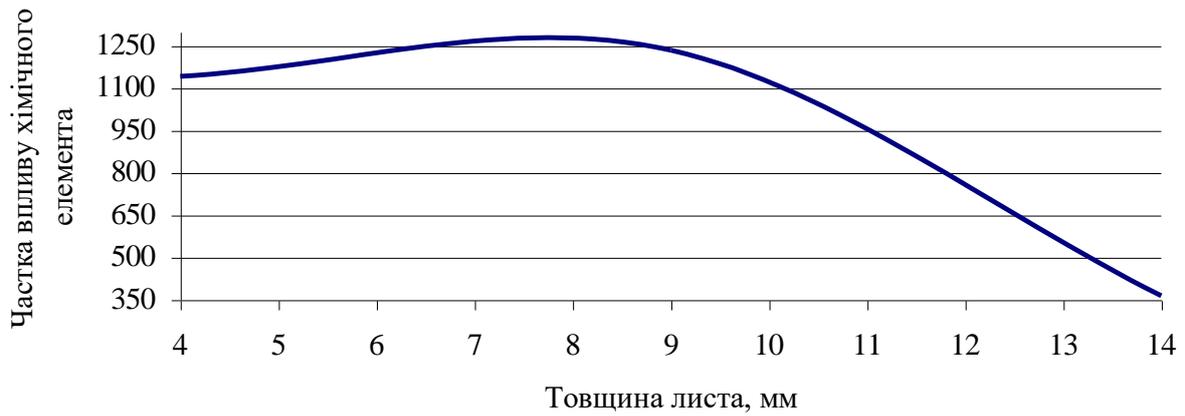


Рис.4. Залежність коефіцієнтів рівняння регресії, які описують вплив хімічних елементів на границю текучості сталі 10XCHD від товщини листа

Таблиця 1

Оптимальний вміст хімічних елементів у сталі 10XCHD за границею текучості в залежності від товщини листа

Товщина листа, мм	Вміст хімічних елементів у плавці									
	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Cu	Al	Ti
4	Максимальне	Мінімальне	Середнє	Мінімальне	Мінімальне	Мінімальне	Мінімальне	Максимальне	Максимальне	Максимальне
5										
6										
7		Сер.	Максимальне		Сер.	Сер.				
8										
9										
10		Максимальне	Середнє		Максимальне	Максимальне	Мінімальне			
12										
14										
14	Мін.	Сер.	Сер.	Сер.						

Мін. - мінімальне значення, Сер. - середнє значення

Таким чином, для одержання найбільших значень границі текучості i , відповідно, підвищення рівня виходу придатних партій гарячекатаної сталі 10ХСНД, необхідно приймати до уваги плановану наперед товщину листа.

Висновки

1. Виявлено основні закономірності впливу вмісту кожного хімічного елементу на границю текучості сталі 10ХСНД в залежності від товщини прокату.
2. Запропоновано метод оптимізації вмісту хімічних елементів в сталі 10ХСНД за границю текучості в залежності від товщини листа.

The method multiple correlation receives the equations regression, describing dependence between chemical structure and yield stress hot-rolled plate of 10ХСНД steel. The methods of mathematical statistics approximation coefficient of the equations regression is proposed. The dependences of influence alloying of elements on a yield stress at different thickness of a sheet are received. The offers on alloyage of the given steel, with the purpose of increase of mechanical properties are given.

Література

1. ГОСТ 19281-89 «Прокат из стали повышенной прочности».
2. Меськин В.С. Основы легирования стали. Изд-во «Металлургия», 1964.
3. Малышевский В.А., Селичева Т.Г., Хлусова Е.И. Влияние легирующих элементов и структуры на свойства низкоуглеродистой улучшаемой стали // МиТОМ, 2001. - № 9. – С.5-9.
4. Наугольникова Л.М. Исследование механических свойств и структуры низколегированных сталей, легированных марганцем, при упрочнении: Автореф. канд. техн. наук. – Днепропетровск, 1974. – 20 с.
5. Юшкевич О.П., Калиновский С.К. Учёт эффекта геометрического упрочнения при упорядочении марочного сортамента металлопроката из конструкционных сталей // Теория и практика металлургии, 2002. - № 4. – С.53-58.
6. Калиновский С.К., Юшкевич О.П. Упорядочение марочного сортамента конструкционных сталей методами классификации и унификации // Теория и практика металлургии, 2001. - № 1. – С.42-50.

Одержано 09.07.2003 р.