

Технічні науки

УДК 669.2:621.771

Аніщенко Віра Петрівна

аспірантка

Інженерного навчально-наукового інституту

Запорізького національного університету

Анищенко Вера Петровна

аспирант

Инженерного учебно-научного института

Запорожского национального университета

Anishchenko Vira

Postgraduate Student of the

Engineering Educational and Scientific Institute of

Zaporizhia National University

ДОСЛІДЖЕННЯ МІКРОСТРУКТУРИ СОРТОВИХ МАРОК СТАЛІ

ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ СОРТОВЫХ МАРОК

СТАЛИ

RESEARCH OF MICROSTRUCTURE OF VARIETY STEEL BRANDS

Анотація. Досліджено особливості структуро- і фазоутворення мікроструктури сортових марок сталі. Досліджено кінетику розпаду аустеніту низьколегованої малокрем'янистої сталі типу 20Г2 промислового виробництва. Простежено вплив різних технологічних процесів на внутрішню будову металу. Використання отриманої інформації дозволить цілеспрямовано розробляти режими термічної обробки сортового прокату і катанки. У результаті проведених експериментів виявлено позитивний вплив ступеня чистоти шихти і

захищеності струменя металу при розливанні на структуру і властивості готового прокату.

Ключові слова: фазоутворення, двухстадійне охолодження, твердість зразків, проміжне перетворення, поріг холоднокрихкості.

Аннотація. Исследованы особенности структуро- и фазообразования микроструктуры сортовых марок стали. Исследована кинетика распада аустенита низколегированной малокремнистые стали типа 20Г2 промышленного производства. Прослежено влияние различных технологических процессов на внутреннее строение металла. Использование полученной информации позволит целенаправленно разрабатывать режимы термической обработки сортового проката и катанки. В результате проведенных экспериментов выявлено положительное влияние степени чистоты шихты и защищенности струи металла при разливке на структуру и свойства готового проката.

Ключевые слова: фазообразование, двухстадийное охлаждения, твердость образцов, промежуточное преобразование, порог холодноломкости.

Summary. Peculiarities of structure and phase formation of microstructure of steel grades are investigated. The kinetics of austenite decay of low-alloy low-silica steel type 20G2 of industrial production has been studied. The influence of various technological processes on the internal structure of metal is traced. The use of the received information will allow to purposefully develop modes of heat treatment of high-quality hire and wire rod. As a result of the conducted experiments the positive influence of the degree of purity of the charge and the protection of the metal jet during casting on the structure and properties of the finished product was revealed.

Key words: phase formation, two - stage cooling, hardness of samples, intermediate transformation, cold brittleness threshold.

Перш, ніж сталь відправляється на виробництво деталей, особливо тих, які піддаються високим механічним впливам, вона ретельно досліджується з метою забезпечення в процесі виготовлення фізико-хімічних властивостей і мікроструктури заданого рівня. У даній статті простежимо вплив різних технологічних процесів на внутрішню будову металу. Для цього досліджуємо різні марки сталі.

Кінетика фазових і структурних перетворень сталі типу 20Г2, стосовно конкретних виробничих умов. Дослідження особливостей структуро- і фазоутворення виконані в лабораторних умовах на зразках, виготовлених зі сталі типу 20Г2 промислової плавки ВАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» [1, с. 147] (хімічний склад див. Табл. 1).

Таблиця 1

Хімічний склад розглянутих сталей

Марка сталі	Номер плавки	Вміст елементів, % за масою					C _{екв} , % ¹⁾
		C	Mn	Si	S	P	
20ГС ²⁾		0,17-0,22	1-1,5	1,0-1,5	≤0,040	≤0,040	0,44-0,62
25Г2С ³⁾		0,2-0,29	1,2-1,6	0,6-0,9	≤0,045	≤0,040	0,46-0,66
35ГС ³⁾		0,3-0,37	0,8-1,2	0,6-0,9	≤0,045	≤0,040	0,49-0,67
19Mn ⁴⁾		0,23	0,53	0,40	0,010	0,019	0,53
20ГТЮР ⁵⁾		0,20	1,20	0,26	0,011	0,026	0,43
20Г2		0,21	1,41	0,21	0,015	0,010	0,47

Примітки: 1) значення вуглецевого еквівалента по формулі (2) ДСТУ 3760: 2006; 2), 3), 4) згідно з ГОСТ 10884-94, ГОСТ 5781-82, DIN 17175 відповідно; 5) зміст Al - 0,07%; Ti - 0,04%; B - 0,003%

Заготовки зазначеної сталі були перероблені в умовах ВАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» на прокат діаметром 12,0 мм по ТУ В 27.1-24432974-007: 2005 на безперервному дротовому стані МПС 250/150 з використанням двухстадійного охолодження. Для реєстрації процесів перетворень в металі і встановлення відповідних температур (або інтервалів температур) фазових перетворень застосовували диференційно-термічний метод аналізу (ДТА) [1, с. 148].

Як еталон використовували зразки з нержавіючої сталі 08X18H10T, яка не відчуває перетворень в робочому інтервалі температур. Реєстрація абсолютної температури здійснювалася за допомогою вторинного приладу КСП-4, а різниці температури зразка і еталона - приладом ПДП-4-002. При побудові термокінетичної діаграми відлік часу охолодження проводився від моменту досягнення зразком температури критичної точки A_{c3} , що відповідає загальноприйнятій методиці побудови термокінетичних діаграм [2, с. 124]. Температура аустенізації зразків становила $A_{c3} + 50^\circ \text{C}$, час витримки 10 хв; діапазон швидкостей охолодження зразків $V_{\text{ох}} = 0,08^\circ \text{C/c} \dots 406^\circ \text{C/c}$.

Результати досліджень. За результатами експериментальних досліджень побудована термокінетична діаграма розпаду аустеніту сталі 20Г2 (рис. 1). Мікроструктура зразків наведена на рисунках 2, 3. На діаграму нанесені дані про співвідношення структурних складових [3, с. 167]. Цифри у кривих, що позначають межі температурних інтервалів перетворень, вказують процентний вміст складових мікроструктури сталей, що утворилися на даній стадії розпаду аустеніту. Цифри під кривими охолодження відповідають твердості зразків (HV), охолоджених з даною швидкістю.

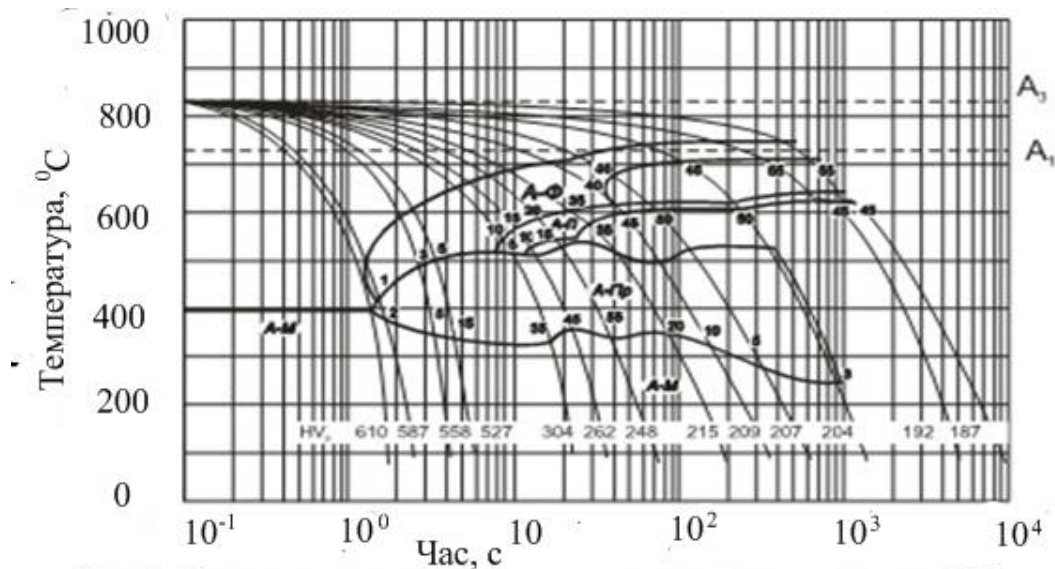


Рис. 1. Термокінетична діаграма розпаду аустеніту сталі 20Г2

Аналіз кінетики розпаду аустеніту сталі 20Г2 показав, що мінімальна стійкість аустеніту становить 1,5 с при швидкості охолодження 405 °C/с. Утворення 3-5% структур проміжного перетворення (бейніту) починається при швидкостях охолодження 0,6-1,2 °C/с [4, с. 65; 5, с. 118].

Максимальна кількість структур проміжного перетворення в структурі зразків (40-55%) спостерігали в інтервалі швидкостей охолодження 11 ... 33 °C/с. Крім цього в структурі міститься 30 ... 10% надлишкового б1 фериту, 15 ... 5% перліту і 10-20% мартенситу. При більш високих швидкостях охолодження в структурі збільшується вміст мартенситу.

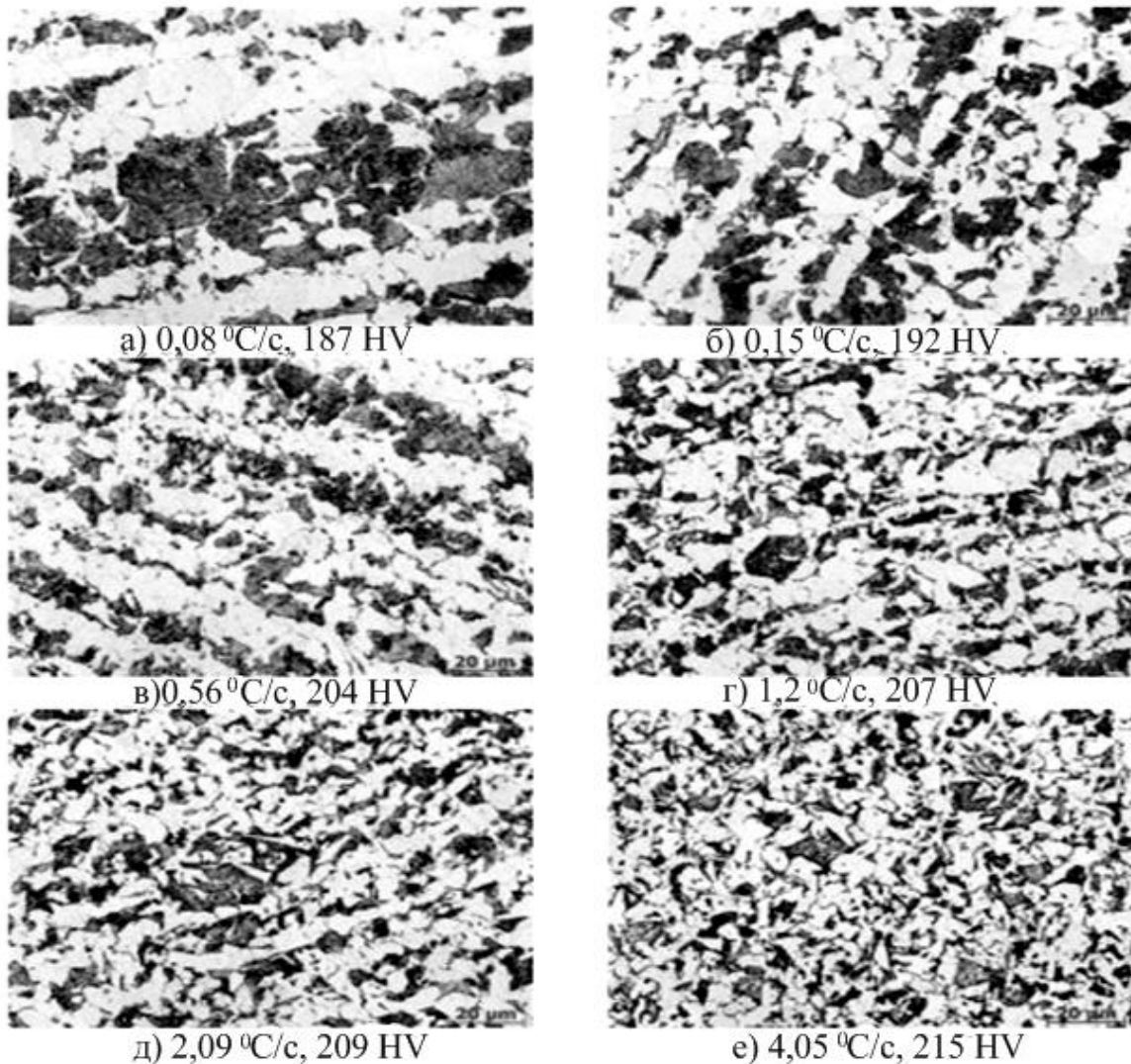


Рис. 2. Мікроструктура сталі 20Г2, швидкості охолодження 0,08 ... 4,05 °C/с (× 500, × 1,5)

Максимальному вмісту продуктів проміжного перетворення відповідає твердість зразків 230-305 HV5 [6, с. 72; 7, с. 20]. В інтервалі швидкостей охолодження 1 ... 25 °C/с утворення структур проміжного перетворення починається при температурах 530 ... 500 °C. Температури початку мартенситного перетворення в зазначеному інтервалі швидкостей охолодження складають 350 ... 250 °C.

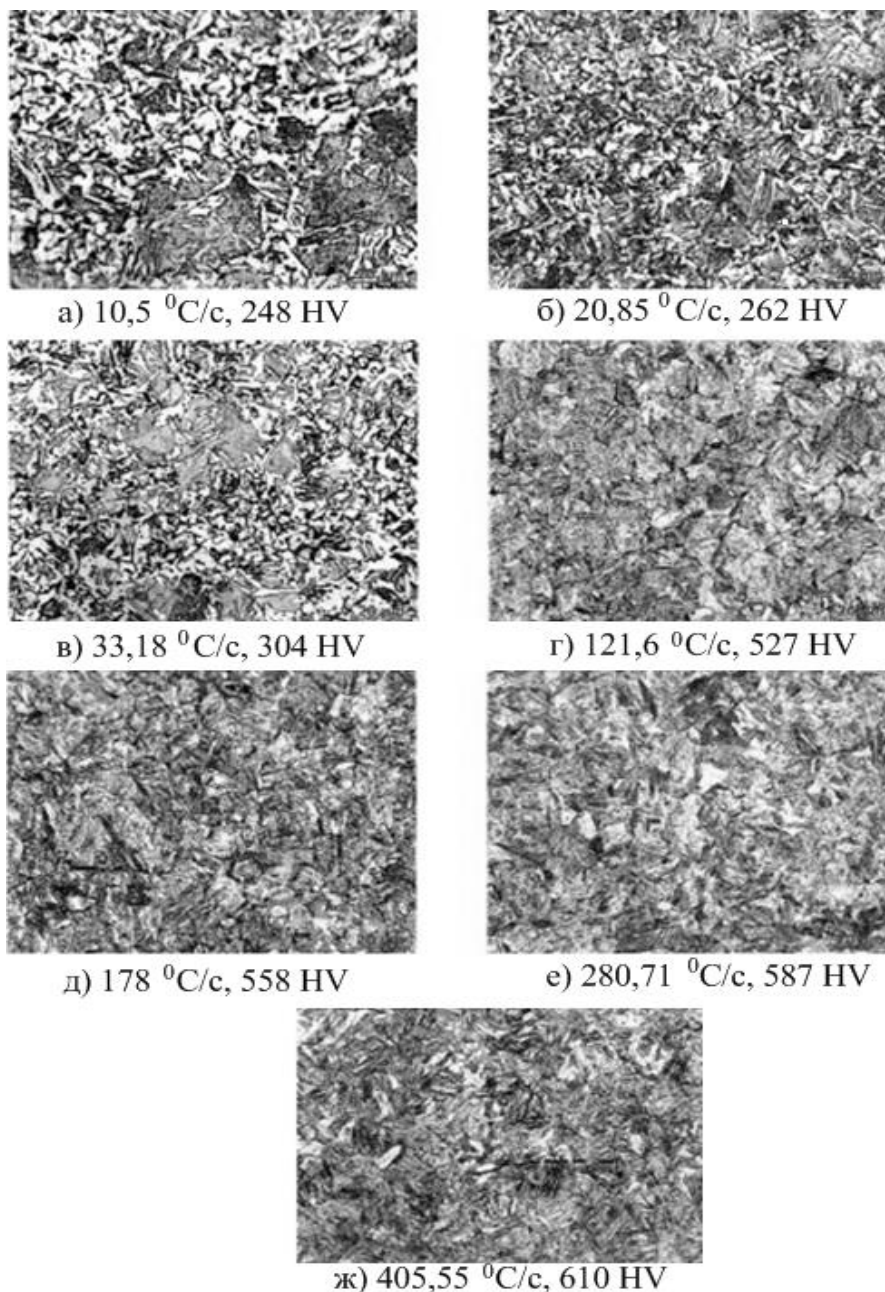


Рис. 3. Мікроструктура сталі 20Г2, швидкості охолодження 11 ... 406 °C/с (× 500, × 1,5) Температура початку мартенситного перетворення сталі 20Г2 дослідженого хімічного складу 395 °C, твердість мартенситу 610 HV5

Вплив способу безперервного розливання сталі на якість сортового прокату. В роботі проводили оцінку якості сортового прокату зі сталі 35ХГСА, виплавленої з брухту різного вихідного якості і відливою на МБЛЗ з різним ступенем захищеності металу від вторинного окислення [8]. Розглянуто схему захисту струменя рідкого металу від вторинного окислення та схему без захисту рідкого струменя металу [9, с. 4]. Інформація про досліджених зразках приведена в таблиці 2.

Таблиця 2

Характеристика досліджених зразків

№ плавки	Марка сталі	Профіль, мм	Спосіб виплавки і розливки
818375	35ХГСА	Ø32	чистий лом + захист потоку
817967	35ХГСА	Ø52	брудний лом + захист потоку
817968	35ХГСА	Ø60	брудний лом + захист потоку
817970	35ХГСА	Ø60	брудний лом + захист потоку

Вивчення неметалічних включень було виконано відповідно до вимог ГОСТ 1778-70 "Сталь. Металографічні методи визначення неметалічних включень". Аналіз наведених даних (див. Таблицю 3) показує, що захист металу від вторинного окислення, сприятливо впливає на загальну забрудненість сталі за двома параметрами, а саме: по силікатам крихким (СХ) і силікати, що не деформується (СН) [10-13].

Таблиця 3

Результати дослідження неметалічних включень

№ плавки	Профіль мм	Оцінка неметалічних включень по видам, бал									
		ОС	ОТ	СХ	СП	СН	Макс. бал строч. включень (ОС, СХ, СП)	С	НС	НТ	НА
818375	Ø32	2,0	2,0	3,0	1,0	2,0	3,0	1,0	0,0	0,0	0,0
817967	Ø52	2,0	2,0	1,0	0,0	4,0	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0
817968	Ø60	2,0	2,0	1,0	0,0	3,0	2,0	2,0	0,0	0,0	0,0
817970	Ø60	1,0	2,0	3,0	0,0	4,0	3,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Мікроструктуру оцінювали на поперечних зразках готового прокату зі сталі 35ХГСА, отриманої різними способами розливання (рис. 4).

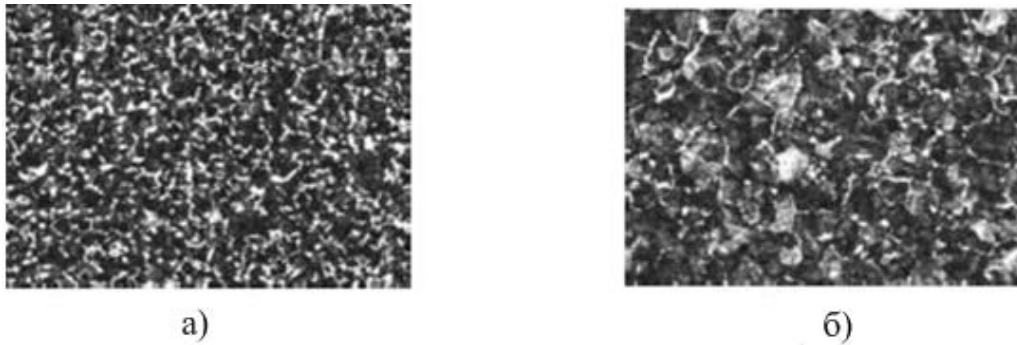


Рис. 4. Мікроструктура готового прокату зі сталі 35ХГСА, x100: а) розливання закритим струменем, б) розливання відкритим струменем

Мікроструктура зразків, незалежно від способу розливки, складається з фериту і перліту [14, с. 11-14]. При цьому ферит виділяється у вигляді сітки по межах перлітових ділянок, яка більш чітко проявляється в структурі сталі, розлитої з захистом струменя (див. рис. 4, а). Зі зменшенням ступеня деформації і зниженням ступеня чистоти металу сітка фериту стає більш несучільною, середній діаметр ділянок перліту збільшується, причому змінюється їх протравлюваність (більше зон зі світлим відтінком) [12, с. 86].

Спостережувані зміни в структурі є небажаними, оскільки в крупнозернистій сталі поріг холоднокрихкості вище, ніж в дрібнозернистій. При подальшій переробці такого прокату виявилася підвищена схильність металу до крихкого руйнування [16].

Висновки і перспективи подальших досліджень.

1. Досліджено кінетику розпаду аустеніту низьколегованої малоокрем'янистої сталі типу 20Г2 промислового виробництва. Відмінність від існуючої термодіаграми близького марочного складу викликана меншою концентрацією легуючих елементів: марганцю і кремнію. Зазначений факт викликає зменшення стійкості переохолодженого аустеніту і знижує прогартуваність сталі. Використання отриманої інформації дозволить цілеспрямовано розробляти режими термічної обробки сортового прокату і катанки. Перспективні

подальші дослідження впливу добавок Ti, V, Al на кінетику розпаду аустеніту низьколегованої малокрем'янисті сталі типу 20Г2 промислового виробництва.

2. Проведені дослідження мікроструктури сталі, розливої різними способами безперервного розливання, підтверджують позитивний вплив ступеня чистоти шихти і захищеності струменя металу при розливанні на структуру і властивості готового прокату.

Література

1. Віхлевщук В. А., Омесь Н. М., Нечепоренко В. А., Макаров Г. О., Любимов І. М. малокрем'янисті арматурні сталі підвищеної міцності / НАН України; Інститут чорної металургії ім. З. І. Некрасова. К.: Наук. думка, 1999. 151 с. Бібліогр .: С. 146-150. - ISBN 966-00-0505-9.
2. Попова Л. Є. Діаграми перетворення аустеніту в сталях і бета-розчину в сплавах титану. Довідник терміста / Л. Є. Попова, А. А. Попов. 3-е изд. М.: Металургія, 1991. 503 с.
3. Віхлевщук В. А., Дубина О. В., Сокурєнко А. В., Омесь Н. М., Любимов І. М. Низько- і малокрем'янисті спокійні сталі // НАН України. Інститут чорної металургії ім. З. І. Некрасова; Криворізький держ. гірничо-металургійний комбінат "Криворіжсталь"; Інститут електрозварювання ім. Е. О. Патона; ВАТ "Холдинг-компанія" Інтермет". К.: Наукова думка, 2001. 175 с .: рис., Табл. Бібліогр .: С. 164-175. ISBN 966-00-0706-X.
4. Віхлевщук В. А., Дубина О. В., Ноговіцин А. В., Сацький В. А., Сокурєнко А. В. Теорія і практика прокатки малокрем'янисті арматурних сталей // НАН України; Інститут чорної металургії; Криворізький держ. гірничо-металургійний комбінат "Криворіжсталь"; ВАТ "Холдинг-компанія" Інтермет "; Державний науково-дослідний ін-

- т будівельних конструкцій. К.: Наукова думка, 2001. 139 с. : рис., Табл. Бібліогр. : С. 130-137. ISBN 966-00 -0705-1.
5. Бернштейн М. Л., Рахштадт А. Г. Металознавство і термічна обробка сталі: Справ. изд. 3-е изд., Перераб. і доп. в 3 т., Т.1. Методи випробувань і дослідження. М.: Металургія, 1983. С. 280.
 6. Віхлевщук В. А., Дубина О. В., Поляков В. А., Сокурєнко А. В., Самохвалов С. Є. Наукові і технологічні основи виробництва арматурних сталей нового покоління // НАН України; Інститут чорної металургії ім. З. І. Некрасова; Криворізький держ. гірничо-металургійний комбінат "Криворіжсталь"; ВАТ "Холдинг-компанія" Інтермет "; Дніпродзержинський держ. Технічний ун-т. К.: Наукова думка, 2001. 158 с. Бібліогр. : С. 143-152. - ISBN 966-00-0704-3.
 7. Технологія виплавки мікролегованих малокрем'янисті арматурних сталей підвищеної та високої міцності / В. А. Віхлевщук, Ю. Н. Омєсь, А. В. Кекух [и др.] // Сталь, 1999. № 6. С. 18-21.
 8. Зубарєв А.Г. Металургія, 1986 р. Теорія і технологія виробництва сталі для МНЛЗ. Розділ ДРНТІ: Виробництво чорних металів і сплавів. URL: <https://markmet.ru/kniga-po-metallurgii/teoriya-i-tekhnologiya-proizvodstva-stali-dlya-mnlz>
 9. Гриньов А. Ф. Зварюють арматурний прокат нового покоління [На здобуття Державної премії України в галузі науки і техніки 2001 р.] // Металургійна та гірничорудна промисловість, 2001. № 4. С. 4.
 10. Wever F., Rose A. Atlas zur Wärmebehandlung der Stähle. Bd. 1. Dusseldorf: Verein Deutscher Eisenhüttenleute, Verlag Stahleisen M. B. H, 1961 – 257 Blatt.
 11. Садовський В. Д. Структурна спадковість в сталі. М.: Металургія, 1973. 205 с.
 12. Дослідження формування структури і властивостей сталі Зпс з різним вмістом бору при прискореному охолодженні з побудовою ТКД, що

- враховують деформаційне вплив [Текст]: звіт про НДР (заключ.) // Національна металургійна академія України; рук. 66 67 Дейнеко Л. Н., Дніпропетровськ, 2002. 51 с. Викон. Карнаух А. І. Бібліогр .: С. 41-44. № ГР 0102U005067.
13. Клименко А. П., Карнаух А. І., Буря О. І., Ситар В. І. Диференційно-термічний аналіз і технології термічної обробки: монографія. Д.: Пороги, 2008. 323 с. : Рис., Табл. ISBN 978-966-525-942-8.
14. Гуляев А. П. Теорія граничного легування // Металознавство та термічна обробка металів. 1965. № 8. С. 11-14.
15. Комплексна оцінка експлуатаційних якостей зварних з'єднань арматурного прокату, що випускається комбінатом "Криворіжсталь" [Текст]: звіт про НДР (заключ.) // Державний комітет України з будівництва та архітектури, ТК "Арматура для залізобетонних конструкцій". Київ, 2002. 140 с.
16. Основні заходи та технічні рішення, що перешкоджають вторинному окислення сталі в ході технологічних переливів. URL: <https://steeltimes.ru/books/casting/sortccm/41/41.php>