ІНСТИТУТ ЧОРНОЇ МЕТАЛУРГІЇ ІМ. З. І. НЕКРАСОВА
НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ

Концептуальні основи вибору хімічного складу сталі для залізничних коліс з підвищеною стійкістю до утворення дефектів на поверхні кочення

КОНОНЕНКО Ганна Андріївна – доктор технічних наук, старший дослідник, вчений секретар Інституту чорної металургії ім. З.І. Некрасова Національної академії наук України.

СНІГУРА Ірина Романівна–кандидат технічних наук, науковий співробітник Інституту чорної металургії ім. З.І. Некрасова Національної академії наук України.

ПОДОЛЬСЬКИЙ Ростислав Вячеславович – молодший науковий співробітник Інституту чорної металургії ім. З.І. Некрасова Національної академії наук України.

Дніпро 2022

Мета роботи полягає у вирішенні науково-практичної проблеми забезпечення високого комплексу механічних властивостей і однорідної ферито-перлітної структури шляхом науково обґрунтованого вибору хімічного складу сталі та режимів термічної обробки залізничних коліс для підвищення їх експлуатаційної надійності та довговічності в залежності від умов експлуатації з використанням сучасних методів математичного моделювання, лабораторних досліджень та промислового випробування.

Завдання досліджень

- розвинути уявлення про закономірності утворення дефектів на поверхні кочення залізничних коліс різних марок у процесі експлуатації.
- дослідити за допомогою фізичного моделювання вплив процесу гальмування колеса на структурний стан сталі для залізничних коліс в діапазоні 0,46-0,66% С, що визначає чутливість поверхні катання до дефектів термічного походження;
- створити інтегровану базу даних для виконання розрахунково-аналітичної оцінки критичних температур фазових перетворень для залізничних коліс;
- визначити діапазони зміни елементів матричної системи, що забезпечують необхідні службові та експлуатаційні властивості залізничних коліс. Обґрунтовати ефективність мікролегування сталі для залізничних коліс ванадієм з метою підвищення їх міцнісних властивостей.
- встановити закономірності фазових перетворень при безперервному охолодженні сталі для залізничних коліс із підвищеним вмістом кремнію та марганцю.
- дослідити кінетику розпаду аустеніту при безперервному охолодженні сталі хімічного складу (% мас.): 0,68 С, 0,49 Si; 0,7 Mn; 0,77 Cr; 0,22 Ni; 0,069 Mo; 0,087 V для залізничних коліс класу D відповідно до вимог стандарту AAR M-107/M-208;
- розробити математичну модель, яка дозволить прогнозувати зміну температури, швидкостей охолодження по перерізу обода залізничного колеса в процесі її термічної обробки на вертикальній загартованій машині;
- розробити хімічний склад сталі та температурно-часові параметри термічної обробки коліс, з метою отримання високого комплексу механічних властивостей дослідних коліс марки К та класу D з підвищеною стійкістю до зношування.
- розробити Технічні умови для виробництва суцільнокатаних коліс діаметром 957мм з підвищеною довговічністю. Впровадити результати досліджень в виробничий процес підприємства ПАТ «Інтерпайп НТЗ».

Аналітичні дослідження механізмів зміцнення металів та їх впливу на структуру та властивості сталі

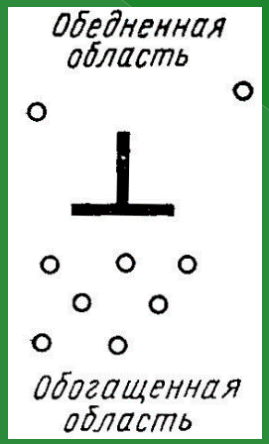


Рисунок 1 – Схема атмосфери Коттрелла навкруги крайової дислокації

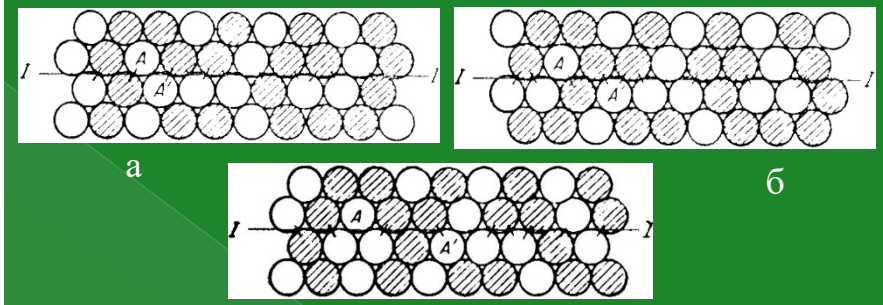


Рисунок 2 – Зменшення ближнього порядку при ковзанні по площині I - I: а - початкове положення, площина ковзання перетинається 11 зв'язками між сторонніми сусідами; б - ковзання на один вектор Бюргерса, площина ковзання перетинається 9 зв'язками між сторонніми сусідами; в - ковзання на два вектора Бюргерса, площина ковзання перетинається 9 зв'язками між сторонніми сусідами

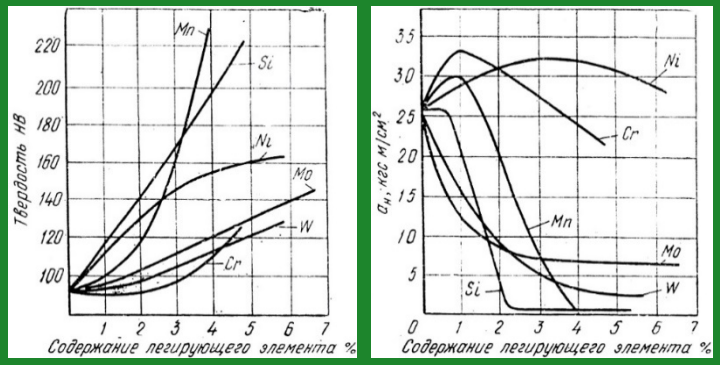


Рисунок 3 – Вплив легуючих елементів на властивості фериту: а -твердість; б - ударна в'язкість

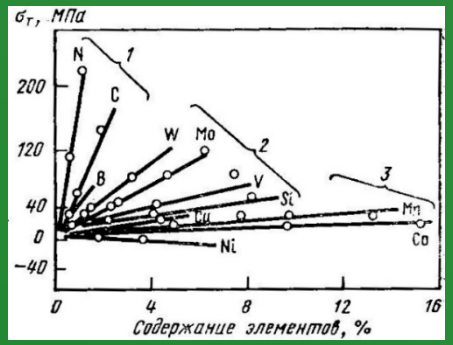
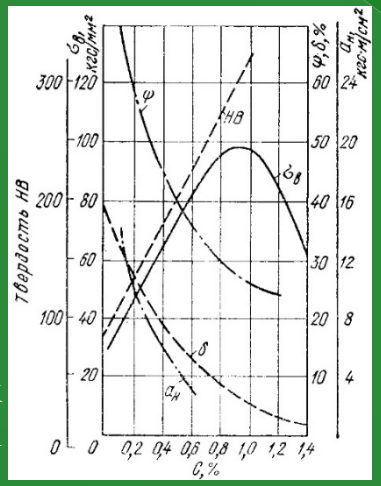


Рисунок 4 – Вплив вмісту легуючих елементів на границю плинності Cr-Ni аустеніту: 1 - елементи впровадження; 2 – феритоутворюючі елементи заміщення; 3 – аустенітоутворюючі елементи заміщення



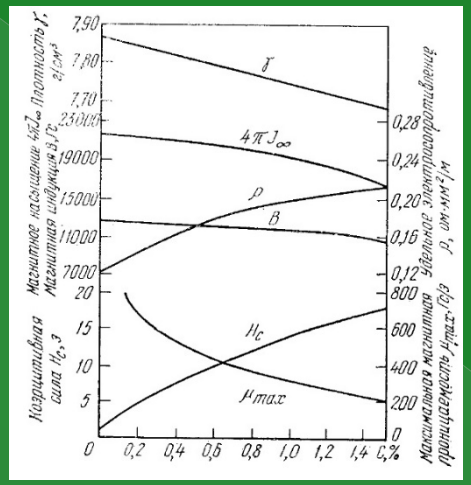


Рисунок 5 – Вплив вуглецю на механічні (а) і фізичні (б) властивості сталі

Джерела:Гольдштейн М.И., Литвинов В.С., Бронфин Б.М. Металлофизика высокопрочных сплавов. – М.: Металлургия, 1986. – 312 с. Финкель В.М. Физика разрушения. – М.: Металлургия, 1970. – 376с. Флин П.А. Упрочнение при образовании твердых растворов // В кн. "Механизмы упрочнения твердых тел" / Под ред. М.Л. Бернштейна. – М.: Металлургия, 1965. – С. 25 – 56.

Аналітичні дослідження про вплив легуючих елементів на кінетику розпаду аустеніту, структуру і властивості сталі

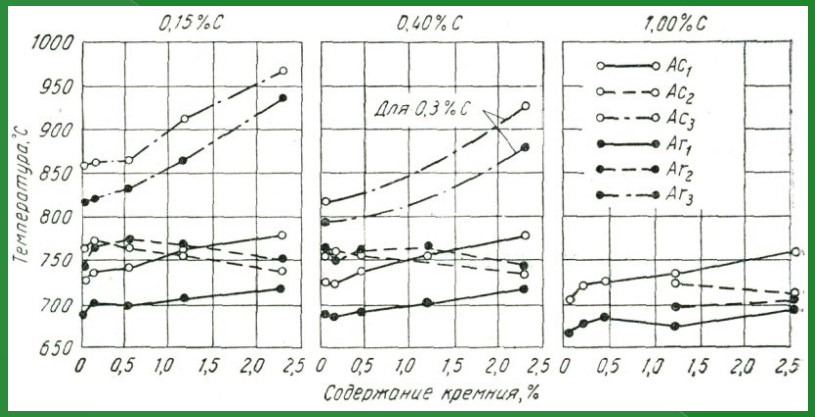


Рисунок 6- Вплив кремнію на положення критичних точок сталі

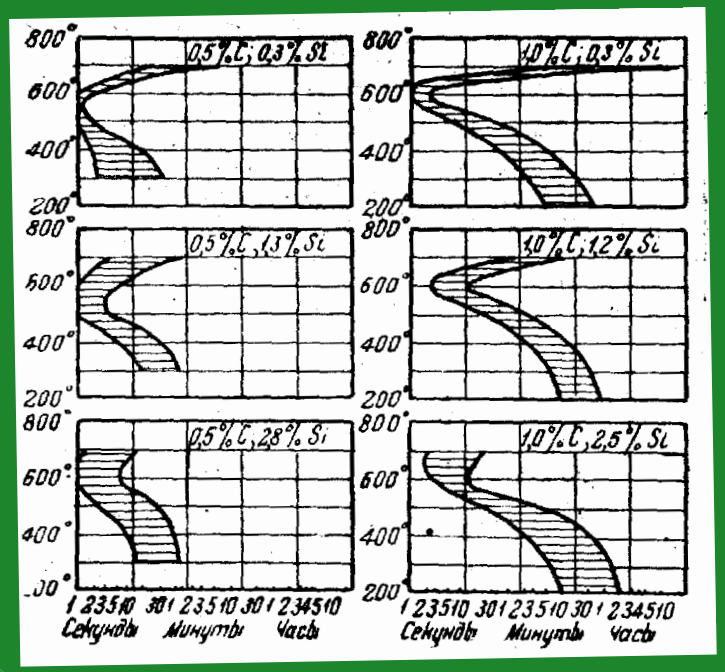


Рисунок 7 - Ізотермічні діаграми перетворення аустеніту в кременистих сталях

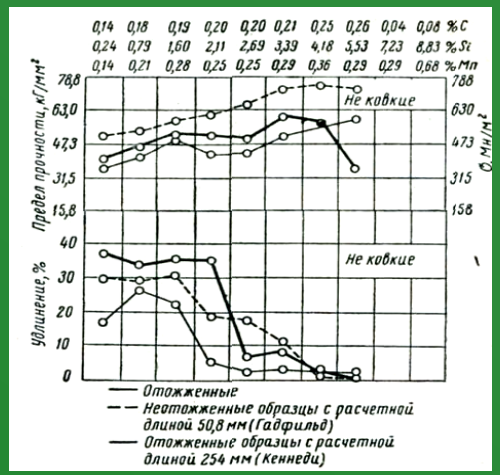


Рисунок 8 - Вплив кремнію на границю міцності і подовження кременістих сталей - відпаленого і невідпаленого зразків з розрахунковою довжиною 50,8 мм, відпалених зразків з розрахунковою довжиною 254 мм

Рисунок 9 - Зміна мікротвердості по глибині "білого" шару в залежності від вмісту вуглецю (%, мас.): 1 - 0,71; 2 - 0,53; 3 - 0,29

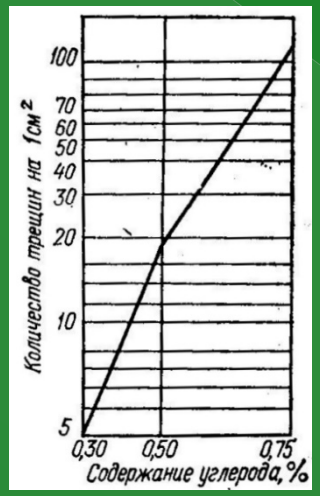
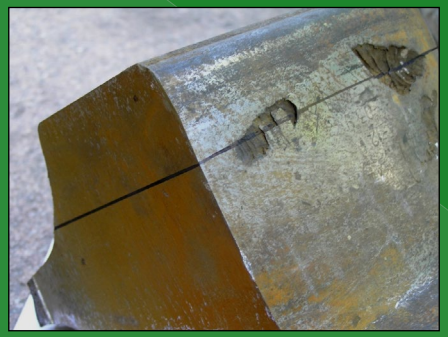


Рисунок 10 - Залежність утворення тріщин термічної втоми від вмісту вуглецю

Джерела: Колесная сталь / Узлов И.Г., Гасик М.И., Есаулов А.Т. и др. – К.: Техник, 1985. – 168 с. Гудрмон Э. Специальные стали: в 2 т. / Э. Гудрмон. – Москва: Металлургия, 1966 – Т.2: Специальные стали. Штейнберг С.С. Термическая обработка стали / С.С. Штейнберг – Москва: Государственное научно-техническое издательство литературы по черной и цветной металлургии,1945. – 153 с.

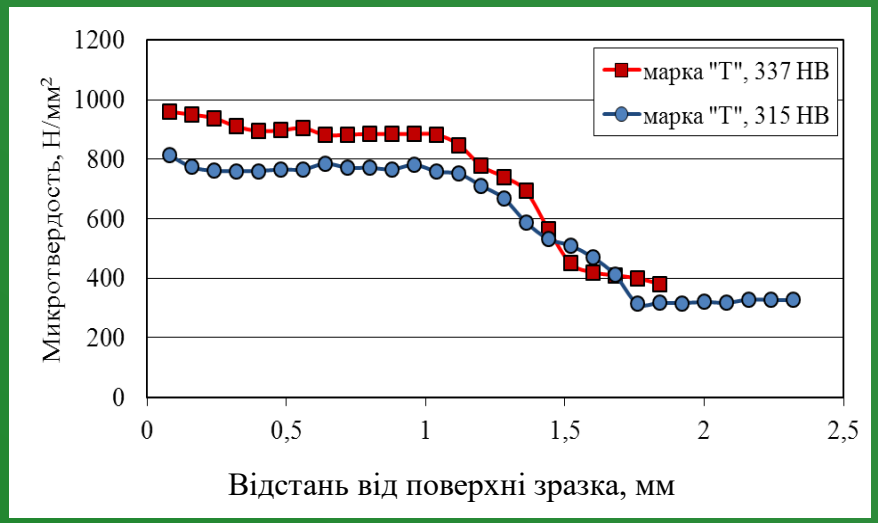
Дослідження закономірностей утворення дефектів на поверхні кочення, що виникають при експлуатації залізничних коліс різного хімічного складу



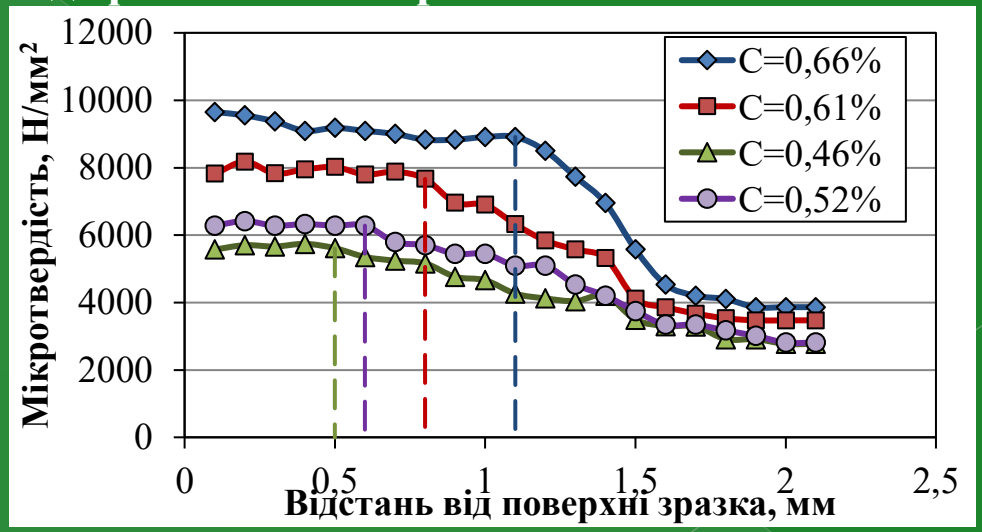
Вигляд досліджуваних фрагментів ободів коліс з вищербинами на повзунові

Вигляд досліджуваних фрагментів ободів коліс з вищербинами контактно-втомного походження і сіткою втомних тріщин

Лабораторні дослідження впливу твердості і хімічного складу залізничних коліс на стійкість до утворення дефектів на поверхні кочення

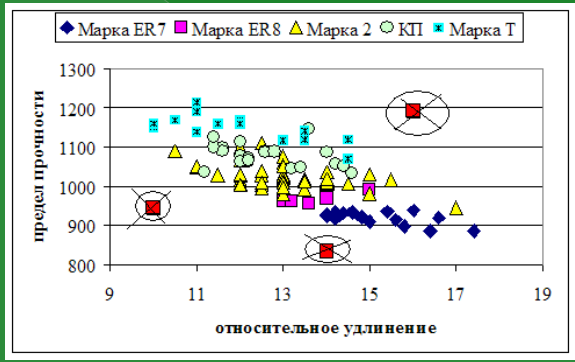


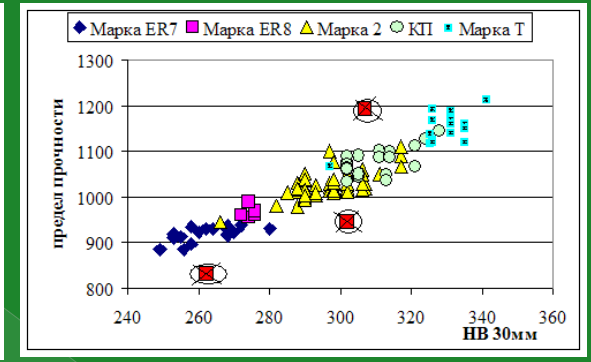
Зміна мікротвердості по перетину зразків, вирізаних з коліс марки Т з різним рівнем твердості, після гальмування на стенді



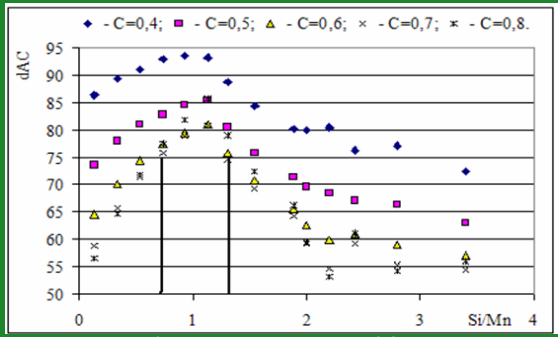
Зміна мікротвердості по перетину зразків, вирізаних з ободів залізничних коліс з різним вмістом вуглецю, після гальмування на стенді

Концептуальні основи вибору хімічного складу сталі для залізничних коліс на основі моделювання міжатомної взаємодії у металевому розплаві

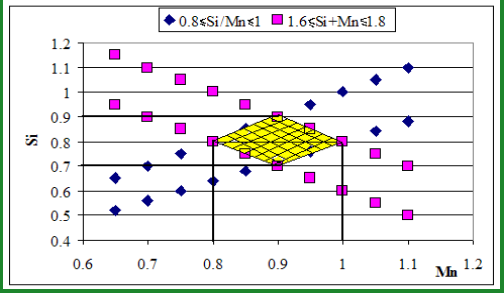




Фрагмент аудиту достовірності промислових даних вуглецевих сталей для залізничних коліс виробництва ПАТ ІНТЕРПАЙП НТЗ

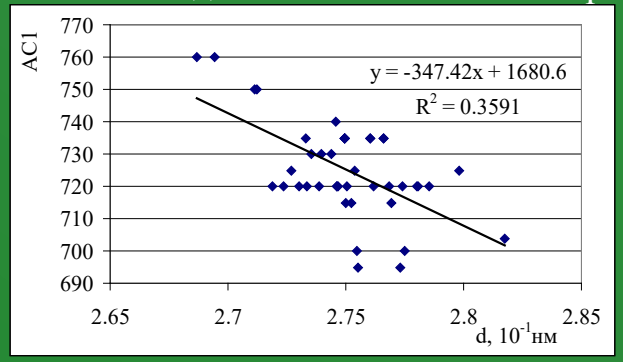


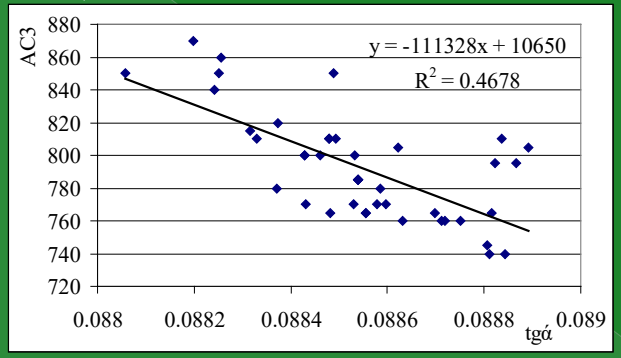
Вплив відношенння Si/Mn на величину ΔAc

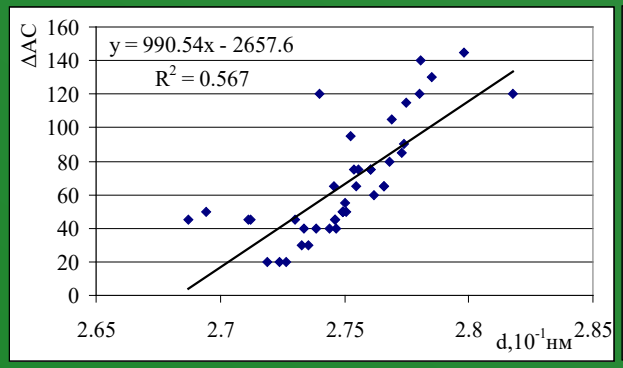


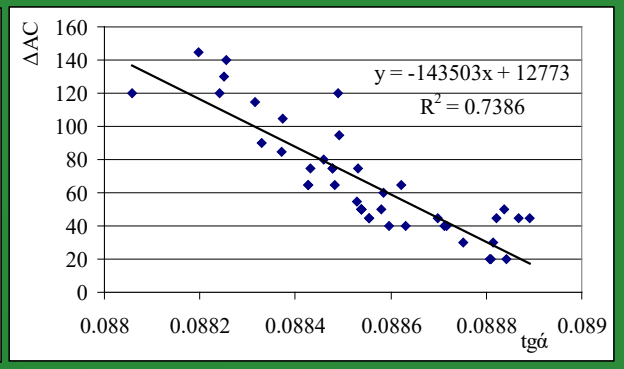
Графічна інтерпретація рішення співвідношень

$$1{,}6 \le Si + Mn \le 1{,}8 \qquad 0{,}8 \le \frac{Si}{Mn} \le 1{,}0$$

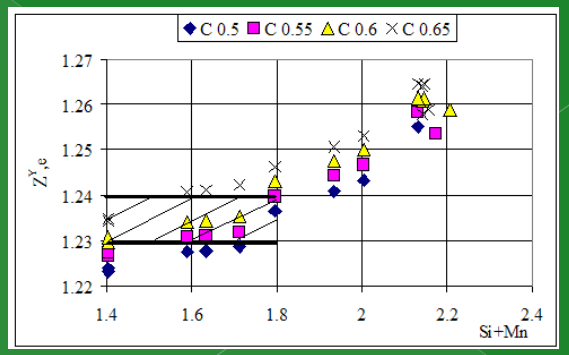






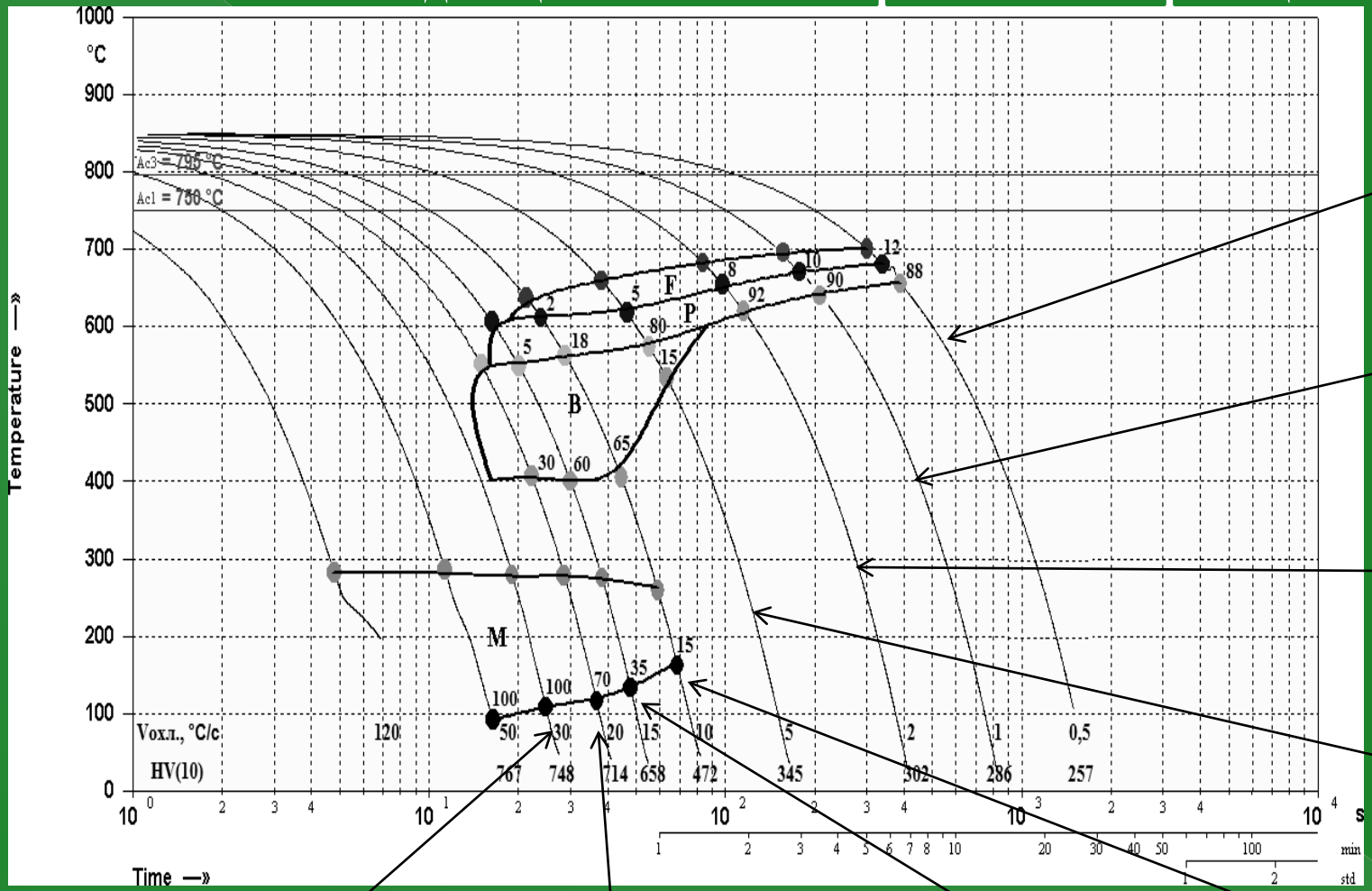


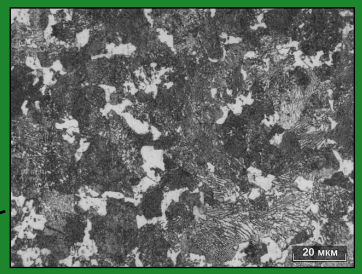
Залежності критичних температур від параметрів міжатомної взаємодії d і tg α

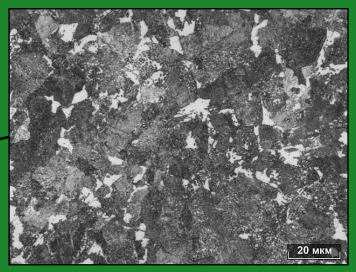


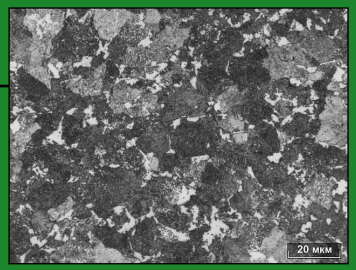
Обґрунтування концентрації вуглецю при заданих обмеженнях від змісту кремнію і марганцю

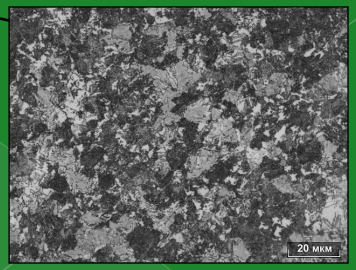
Дослідження кінетики розпаду аустеніту при безперервному охолодженні сталі К76Ф з 0.58% C, 0.97% Si, 0.85% Mn, 0.083% V з підвищеним вмістом кремнію та марганцю

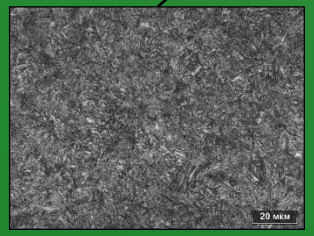


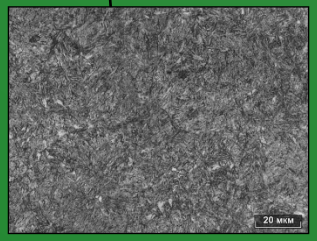


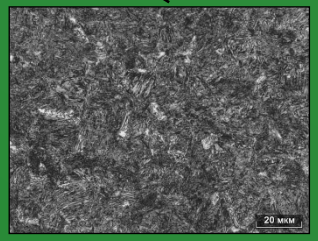


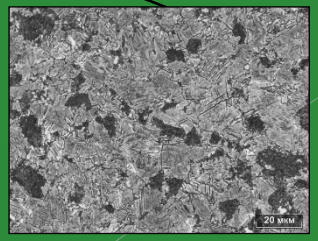




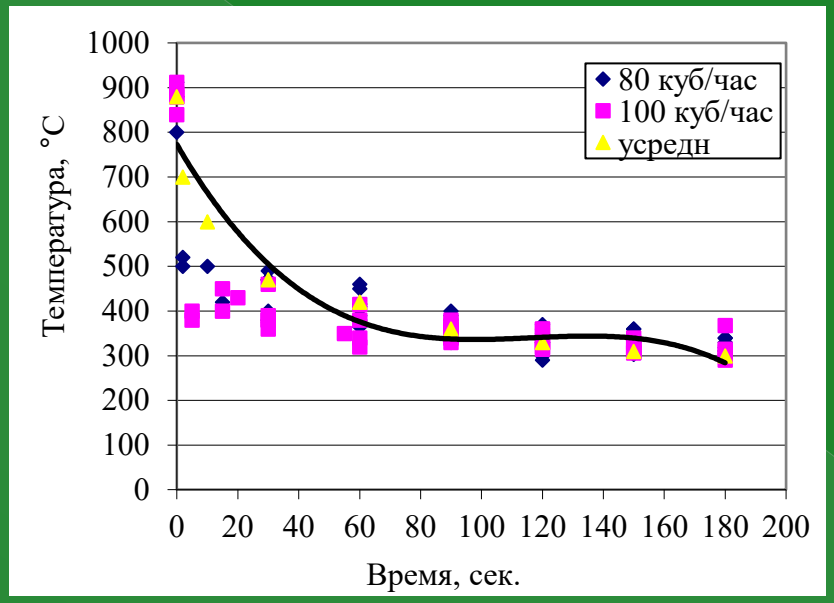




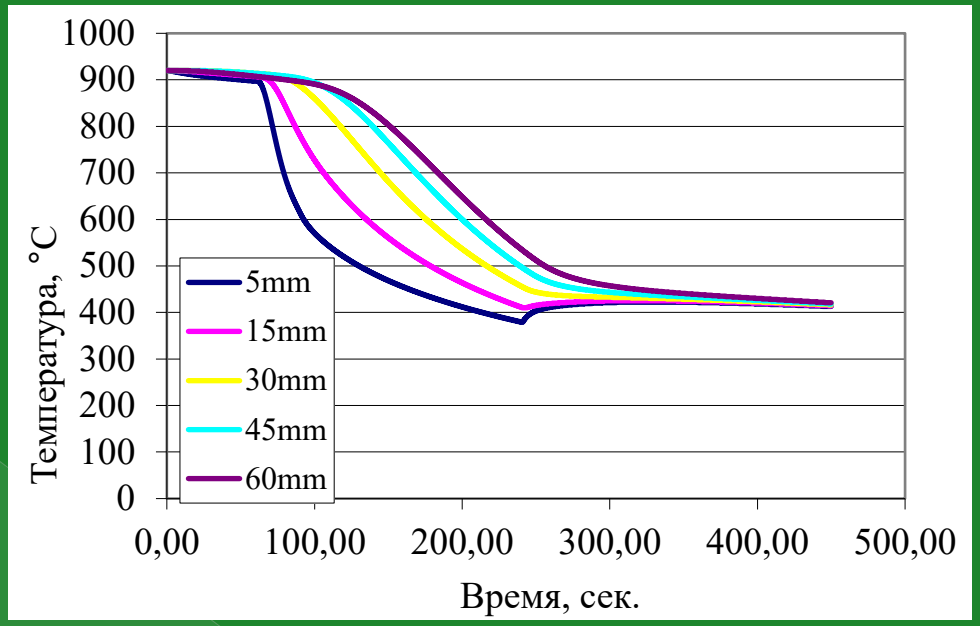




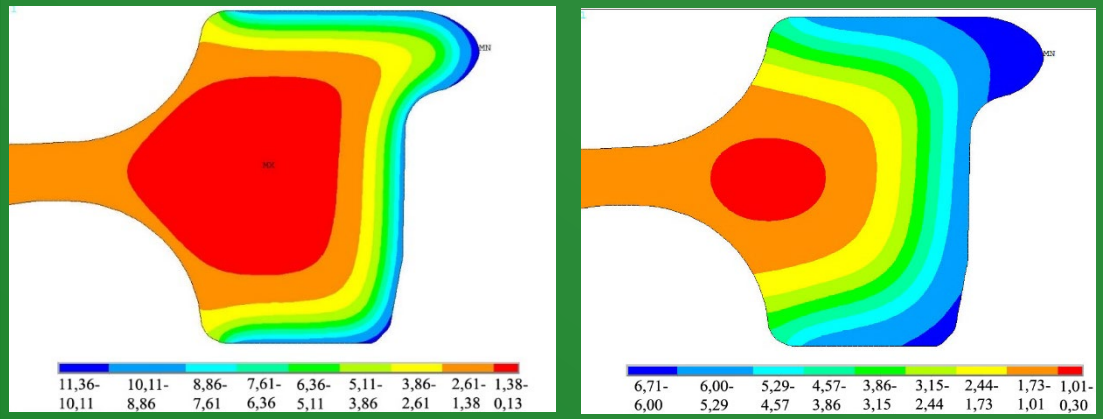
Розробка математичної моделі розрахунку швидкостей охолодження по перерізу обода колеса при охолодженні на вертикальній загартованій машині в промислових умовах



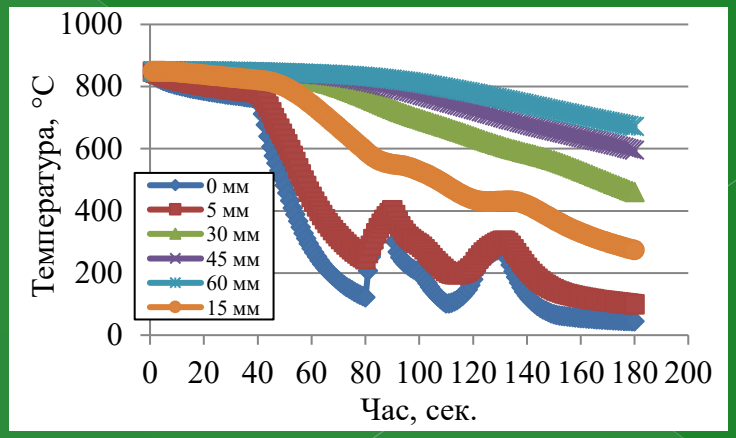
Зміна температури обода колеса при охолодженні в промислових умовах за різної витрати охолоджувача



Зміна температури перерізу обода в процесі охолодження спрейером в лабораторних умовах



Модель розподілу швидкостей охолодження та температури по перерізу обода колеса зі сталі марки «2»



Зміна температури по перерізу обода колеса із сталі марки «2» при охолодженні на вертикальній загартованій машині

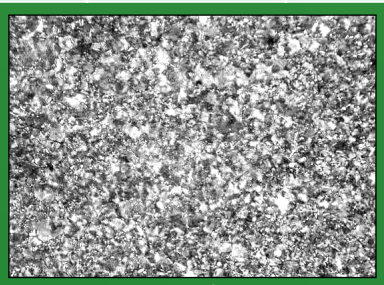
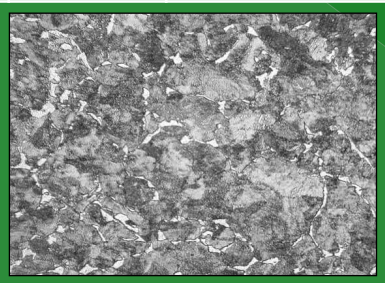
Відпрацювання режимів термічної обробки залізничних коліс із дослідної сталі

Режим термічної обробки дослідних коліс

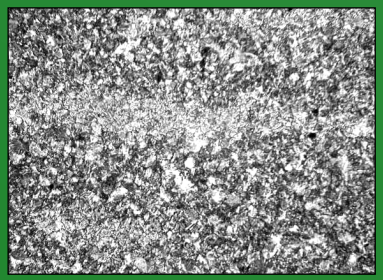
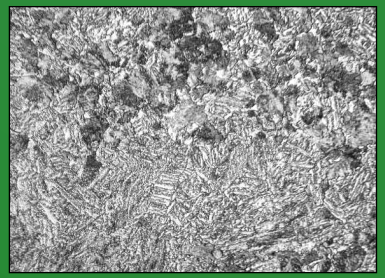
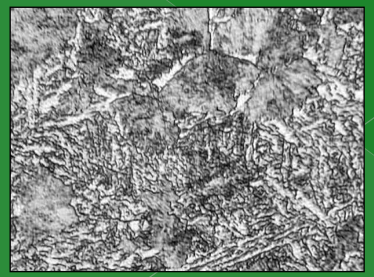
Режим т/о	Параметри термічної обробки				
	Температура нагріву, °С	Витрата води, $м^3$/год	Час охолодження,с	Температура відпуску, °С	Тривалість відпуску, год
1	860	80	200	500	2.5
2	880	80	200	500	2.5

Механічні властивості дослідних коліс

Режим т\о	Номер колеса	Механічні властивості обода					Механічні властивості диска
		$\sigma_в$, Н/$мм^2$	δ_5, %	Ψ, %	KCU_{+20}, Дж/$см^2$	НВ на глибині 30мм	KCU_{+20}, Дж/$см^2$
1	329225	1160	12,5	31	27	326	28
1	329221	1160	12,5	33	26	326	38
1	329222	1146	15,0	30	25	337	29
1	329226	1162	13,5	27	22	331	29
2	329227	1170	11,5	25	17	326	25
2	329228	1160	9,8	29	11	326	25

Мікроструктура металу обід коліс, термічно зміцнених за режимом №1

Мікроструктура металу обід коліс, термічно зміцнених за режимом №2

Розробка хімічного складу та режимів термічної обробки залізничних коліс, які працюють в легких умовах гальмування при високих навантаженнях з підвищеною стійкістю до зносу

Класи залізничних коліс за AAR M-107/M-208:
клас A - високі швидкості, важкі умови гальмування, незначні навантаження (C=0,47-0,57%; твердість ≥255HB);
клас B - високі швидкості, важкі умови гальмування і великі навантаження (C=0,57-0,67%, твердість ≥257HB);
клас C - легкі умови гальмування і високі навантаження (C=0,67-0,77%; твердість ≥321HB);
клас D - легкі умови гальмування і високі навантаження з підвищеною стійкістю до зносу (C=0,67-0,77%; твердість 341-415 HB .

Вимоги стандарту AAR M-107/M-208 до властивостей залізничних коліс класу D*

Механічні властивості	**При 65-80 °F (18,3-26,6°C)**	**При 1000°F (538°C)**
Твердість по Бринеллю (на поверхні)	341-415 HB	-
Твердість по Бринеллю (градієнт по перерізу)	321-415 HB	-
В'язкість руйнування K_{1c}	√35 ksi, дюйм (38,5 МПа*м1/2)	
Границя міцності	>157 psi (1082 МПа)	> 70 psi (482 МПа)
Границя плинності	> 110 psi (758 МПа)	> 50 psi (345 МПа)
Відносне подовження	>14 %	> 20%
Відносне звуження	> 15%	> 40%

*Примітка: додаткові вимоги:

- Відсутність кільцевих напружень розтягу (збіжність після радіального розрізу).
- **Мікроструктура без мартенситу (зразки включають поверхню кочення).**
- **У порівнянні з колесами класу C повинні бути вище стійкість до зношування поверхні катання і відшаровування.**
- Контроль в експлуатації 5 000 коліс (50000-мильний пробіг за рік).

Вимоги стандарту AAR M-107/M-208 до хімічного складу сталі, % мас.

Клас коліс	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	Ti	V	Mo	Al
Клас C	0,67-0,77	0,60-0,90	0,15-1,00	<0,03	0,005-0,04	<0,25*	<0,25*	<0,35	<0,03	<0,04*	<0,10*	<0,06

$$930-[570\times\%C]-[80\times\%Mn]-[20\times\%Si]-[50\times\%Cr]-[30\times\%Ni]-[20\times\%Mo+\%V]>390$$

Дослідні лабораторні плавки

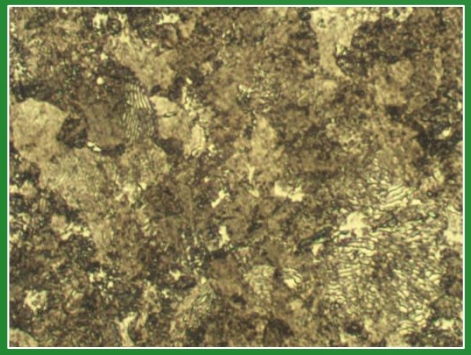
Фактичний хімічний склад дослідних плавок, % мас.

Злиток №	C	Si	Mn	Cr	Ni	V	Mo
1	0,69	0,36	0,82	0,28	0,21	0,055	0,14
2	0,70	0,57	0,80	0,90	0,41	0,110	0,15
3	0.68	0,52	0,72	0,21	0,70	0,110	0,10
4	0,71	0,55	0,83	0,89	0,11	0,100	0,09

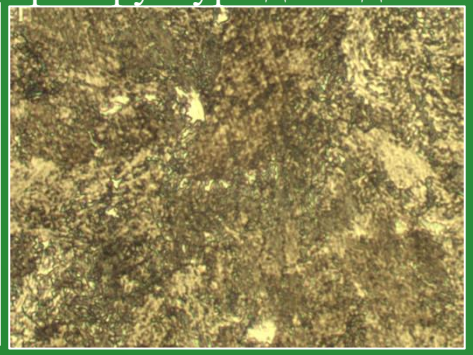
Механічні властивості дослідних сталей після ГПД і ТО (Тн=850°С, Vохол~5 °С/с, Твід =500 °С, τ=2 год)

Злиток №	$\sigma_в$, МПа	δ, %	Ψ, %
1	1094,4	14,2	40,51
2	1114,4	14,6	40,36
3	1145,5	14,6	37,62
4	1086,6	14,8	44,19
Вимоги AAR M107-M 208	>157 psi (1082 МПа)	>14 %	> 15%

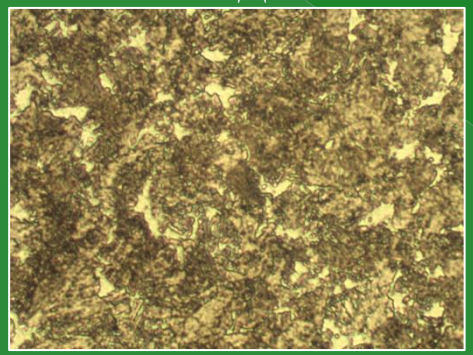
Мікроструктура дослідної сталі після ГПД і ТО ×1000



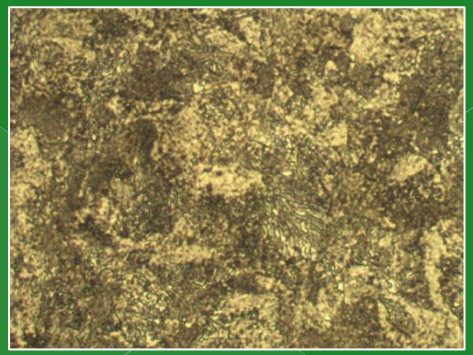
Сталь№1



Сталь№2



Сталь№3

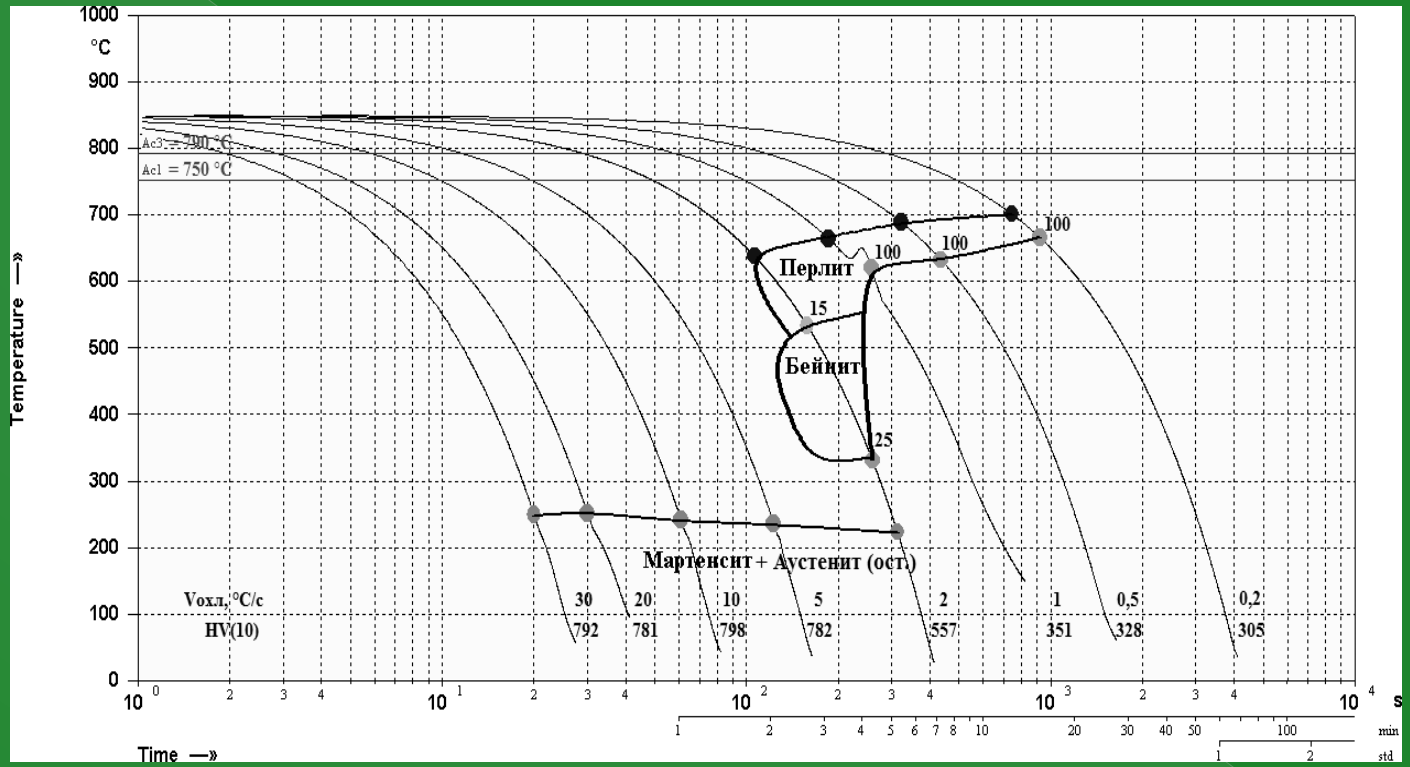


Сталь№4

Дослідна промислова плавка

Рекомендований хімічний склад дослідної промислової плавки,% мас.

C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	V
0,67-0,70	0,45-0,55	0,65-0,75	0,75-0,80	0,06-0,10	0,20-0,25	0,08-0,12



Хімічний склад плавки № 12865 для виробництва коліс класу D за стандартом AAR M-107 / M-208, % мас.

C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	V
0,68	0,49	0,70	0,77	0,069	0,22	0,087

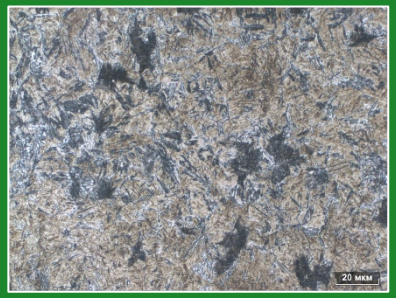
Дослідження кінетики розпаду аустеніту дослідної сталі

Мікроструктура сталі для залізничних коліс класу D за стандартом AAR M-107/M-208 з 0,68 %C; 0,49% Si; 0,70% Mn; 0,77% Cr; 0,07% Mo; 0,22% Ni; 0,09% V після безперервного охолодження з різними швидкостями

0,2 °C/c

0,5°C/c

1°C/c



2°C/c

5°C/c

10°C/c

20°C/c

30°C/c

Визначені інтервали швидкостей охолодження, в межах яких спостерігається зміна закономірностей структуроутворення при розпаді аустеніту. Встановлено, що при швидкостях охолодження до 1 °C/c формується повністю перлітна структура, при швидкості охолодження 2 °C/c кінцева структура складається з 15% перліту, 25% бейніту, решта – мартенсит та аустеніт залишковий. При швидкостях охолодження 5 °C/c та більше розпад аустеніту проходить з утворенням мартенситу.

Розробка режимів термічної обробки дослідних коліс класу D

Рекомендований режим термічної обробки

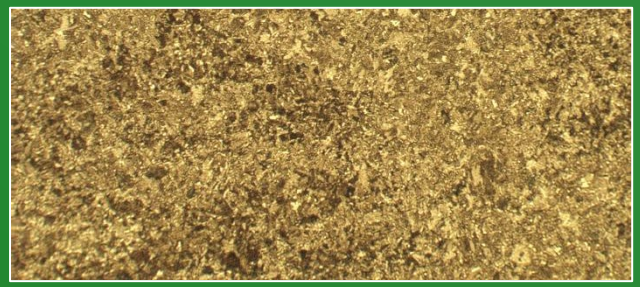
1) Нагрівання в кільцевій печі під зміцнюючу термічну обробку до (840 ± 10)°С;
2) Тривалість охолодження – (170 ± 5) с.
   2.1) Налаштування спрейера - ½ висоти обода.
   2.2) Температура води – (25 ± 2) °С.
   2.3) Витрати охолоджуючої рідини від нуля до (60…65) $м^3$ / год
3) Тривалість подстужування коліс – (35 ± 5) хв;
4) Температура відпуску – (600 +10) ° С;
5) Тривалість відпуску - 3 год. +15 хв.

Механічні властивості коліс класу D дослідної партії

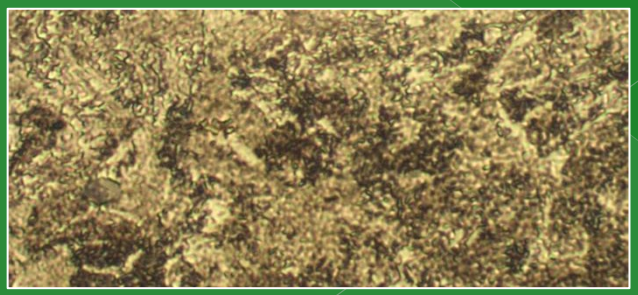
№ коліс	$\sigma_т$, МПа	$\sigma_в$, МПа	δ_5, %	ψ, %	Твердість, НВ
014	894,07	1140	14,24	38,99	386
005	917,28	1147	14,28	36,26	341
006	951,66	1167	14,57	39,06	377
011	934,21	1176	17,14	42,64	347
022	849,12	1095	14,4	40,44	374
Вимоги AAR M-107/M-208 клас D	min 758,4	min 1082,5	min 14,0	min 15,0	341-415

Мікроструктура ободу колеса поблизу поверхні кочення після ТО за рекомендованим режимом

×100



×1000



Порівняльні дослідження зносостійкості та контактно-втомної міцності металу коліс класу С і D, виготовлених по М 107/М208

Вид поверхні кочення зразків до і після випробувань:

на зносостійкість

До випробувань

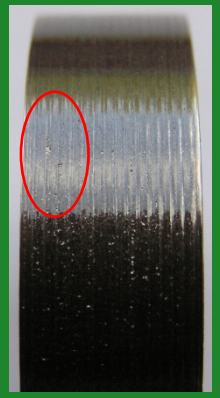
Після випробувань, зразок «С 1»

Після випробувань, зразок «D 1»

на контактну втомлювність

До випробувань

Після випробувань, зразок «С 2»



Після випробувань, зразок «D 2»

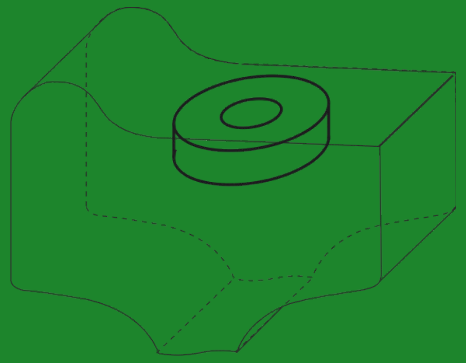


Схема відбору проб з ободу залізничного колеса

Результати порівняльних випробувань

Маркування	Твердість, HRC				Втрата маси зразку, гр/ 500 000 циклів	Кількість циклів навантаження до появи перших слідів викришування
	1	2	3	Сер.		
С-1	32,5	31	30,5	31,3	4,10	
С-2	30,5	32,5	30	31		1 700 000
D 29-1	36	37	38	37	3,7421	
D 29-2	37	35	36	36		2 550 000
D 32-1	37	35	36	36	3,8187	
D 32-2	36	36	34	35,3		2 650 000
D 41-1	35	33,5	34	34,2	3,9324	
D 41-2	36	35	34	35		3 000 000

Методику випробувань було узгоджено через Rusin Consulting Ltd. з Association of American Railroads (AAR).

Висновки:

1. Набули розвитку уявлення про закономірності утворення дефектів на поверхні катання залізничних коліс різних марок у процесі експлуатації. Їхнє утворення пов'язане з формуванням в результаті термічного впливу в поверхневих шарах обода колеса тендітної структурної складової - мартенситу, та його подальшого руйнування в процесі експлуатації.
2. На основі результатів фізичного моделювання процесу гальмування колеса встановлено залежність глибини мартенситного шару в обід колеса від вмісту вуглецю в межах 0,46-0,66%, що описується рівнянням другого ступеня та визначає чутливість залізничних коліс до утворення на поверхні катання дефектів термічного походження.
3. Встановлено, що підвищення вихідної твердості (міцності) залізничних коліс за рахунок термічної обробки (без збільшення вмісту вуглецю в сталі) не впливає на їхню чутливість до утворення дефектів теплового походження..
4. Створено інтегровану базу даних та виконано розрахунково-аналітичну оцінку критичних температур фазових перетворень сталей для залізничних коліс поточного виробництва на основі прогнозних моделей, що враховують міжатомну взаємодію у розплавах.
5. Встановлено закономірності впливу хімічного складу сталей для залізничних коліс на їх механічні властивості на основі комплексних критеріїв складу.
6. На основі обчислювального експерименту визначено діапазони зміни елементів матричної системи, що забезпечують необхідні службові та експлуатаційні властивості залізничних коліс: вуглець (0,55-0,60%); марганець (0,8-1,0%); кремній (0,7-0,9%), обґрунтовано ефективність мікролегування сталі для залізничних коліс ванадієм з метою підвищення їх міцнісних властивостей.
7. Вперше встановлено закономірності фазових перетворень при безперервному охолодженні сталі для залізничних коліс із підвищеним вмістом кремнію та марганцю. Визначено інтервали швидкостей охолодження, в межах яких спостерігається зміна механізму структуроутворення при розпаді аустеніту.
8. Розроблено математичні моделі розрахунку швидкостей охолодження по перерізу обода колеса при охолодженні на вертикальній загартованій машині. Моделювання гарту колеса проводилося за допомогою методу кінцевих елементів (МКЕ) серед програмного комплексу ANSYS. Оцінка адекватності моделі шляхом порівняння даних, отриманих експериментально та в результаті моделювання показала її високу точність.
9. В результаті лабораторних досліджень встановлено, що стійкість до термічного впливу сталі з підвищеним вмістом кремнію та марганцю (марка «К») відрізняється незначно (приблизно на 12%) від марки «2». У той самий час стійкість до термічного впливу стали марки «К» проти зі сталлю марки «Т» вище приблизно 44%. Позитивною особливістю марки «К» у порівнянні з маркою «Т» є нижчий рівень мікротвердості, щільності дислокацій та спотворень другого роду мартенситного шару.
10. Встановлено закономірності впливу температури випробувань на показники міцності, пластичності та на ударну в'язкість сталі. Показано, що сталь марки «К» з підвищеним вмістом кремнію та марганцю, має високу пластичність і міцність при підвищених температурах (20-800°С), а при негативних температурах (до -60) має більш високі значення ударної в'язкістю порівняно зі сталями , що застосовуються для залізничних коліс в Україні, що свідчить про високий рівень експлуатаційної надійності коліс із сталі марки «К».

Висновки:

11. Вперше встановлено закономірності фазових перетворень при безперервному охолодженні сталі хімічного складу (% мас.): 0,68 C, 0,49 Si; 0,7 Mn; 0,77 Cr; 0,22 Ni; 0,069 Mo; 0,087 V для залізничних коліс класу D відповідно до вимог стандарту AAR M-107/M-208. Визначено інтервали швидкостей охолодження, в межах яких спостерігається зміна закономірностей структуроутворення при розпаді аустеніту. Встановлено, що при швидкостях охолодження до 1 °C/c формується повністю перлітна структура, при швидкості охолодження 2 °C/c кінцева структура складається з 15% перліту, 25% бейніту, решта – мартенсит і залишковий аустеніт; при швидкостях охолодження 5 °C/c та більше розпад аустеніту проходить з утворенням мартенситу й залишкового аустеніту.

12. За результатами лабораторних досліджень розроблено хімічний склад сталі та температурно-часові параметри термічної обробки коліс, що в сукупності забезпечили отримання високого комплексу механічних властивостей дослідних коліс класу D з підвищеною стійкістю до зношування, які працюють в легких умовах гальмування при високих навантаженнях на вісь відповідно до вимог стандарту AAR M-107/M-208 та, як наслідок, підвищення надійності та довговічності цих виробів. Показана принципова можливість отримання високого комплексу характеристик міцності та пластичності залізничних коліс з формуванням мікроструктури без утворення мартенситу при термічній обробці за рекомендованими режимами в умовах виробництва ПАТ «ІНТЕРПАЙП НТЗ»:

- рекомендації щодо хімічного складу сталі для виробництва коліс класу D в промислових умовах (% мас.): C=0,67-0,70; Si=0,45-0,55; Mn=0,65-0,75; Cr= 0,75-0,80; Mo=0,06-0,10; Ni=0,20-0,25; V= 0,08-0,12;
- рекомендований режим обробки: нагрівання в кільцевій печі під зміцнюючу ТО до (840 ± 10)^{o}C, тривалість охолодження – (170 ± 5) с, налаштування спреєра - ½ висоти обода, температура води – (25 ± 2) ^{o}C, зміна витрати води від 0 до (60…65) м^{3}/год протягом першої хвилини, тривалість підстужування коліс – (35 ± 5) хв, відпуск при (600+10) ^{o} C, протягом 3 год. +15 хв.);
- результати порівняльних випробувань зразків з коліс класу D і C відповідно до вимог стандарту AAR M-107/M-208 показали, що зразки коліс класу D мають на ~ 10 % вищий рівень зносостійкості та на ~65% вищу стійкість до відшарування у порівнянні зі зразками, виготовленими із колеса класу C.

Підтвердження практичної значимості

УТВЕРЖДАЮ:
Директор по качеству и технологии
ПАО "ИНТЕРПАЙП НТЗ"
_____ Богдан Д.А.
"28" и _____ 2017 г.

АКТ ВНЕДРЕНИЯ
научно-исследовательской работы «Проведение сравнительных исследований износостойкости и на отслоение под нагрузкой металла колес класса С и D изготовленных по М107 / М208»
(договор №**550160526/КС 0423.16** от 01.04.2016 г.)

Мы, нижеподписавшиеся, представители Института черной металлургии им. З.И. Некрасова НАН Украины – директор ИЧМ НАНУ Бабаченко А.И., старший научный сотрудник ИЧМ НАНУ Кононенко А.А. и представители ПАО "ИНТЕРПАЙП НТЗ" - начальник Управления КБТ – Рослик А.В., начальник КПЦ – Новохатний В.А, составили настоящий акт о том, что за период с 01.04.2016 г. по 31.05.2016 г. были выполнены сравнительные исследования износостойкости и на отслоение под нагрузкой металла колес класса С и D изготовленных по М107 / М208.

ИЧМ предложен опытный химический состав стали для производства железнодорожных колес класса D по стандарту AAR M-107/M-208 в условиях ПАО «ИНТЕРПАЙП НТЗ».

C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	V
0,67-0,70	0,45-0,55	0,65-0,75	0,75-0,80	≤ 0,10	0,20-0,25	0,08-0,12

Разработаны параметры термического упрочнения железнодорожных колес класса D в условиях колесопрокатного цеха ПАО «ИНТЕРПАЙП НТЗ», которые обеспечат выполнение требований стандарта AAR M-107/M-208 по структурному состоянию и механическим свойствам. В условиях ПАО «ИНТЕРПАЙП НТЗ» изготовлена опытная партия железнодорожных колес класса D. В марочник сталей МС ДС 02-2016 внесена позиция № 365 с разработанным химическим составом.

В ходе выполнения работы:

1. Проведены сравнительные исследования на износостойкость образцов, изготовленных из колес класса С и D по методике, согласованой с Association of American Railroads, которые показали, что образцы, изготовленные из колес №№ 29, 32 и 41 класса D имеют большую износостойкость (до 10%) по сравнению с образцами, изготовленными из колеса класса С.
2. Металлографический ан
образцов, изготовленных из кол
сравнению с микроструктурой кол
класса С соответствует 6 номеру, а м
3. Полученные в резул
сравнительным исследованиям изно

2

металла колес класса С и D изготовленных по М107 / М208 были использованы для сертификации и освоения выпуска в условиях ПАО «ИНТЕРПАЙП НТЗ» нового вида продукции.

От ИЧМ НАНУ

Директор ИЧМ НАНУ
_____ А.И. Бабаченко

Старший научный сотрудник ИЧМ
_____ А.А. Кононенко

От ПАО "ИНТЕРПАЙП НТЗ"

Начальник Управления КБТ
_____ А.В. Рослик

Начальник КПЦ
_____ В.А. Новохатний

ЗАТВЕРДЖУЮ:
Директор технічний
дивізіону по виробництву
залізничної продукції
ПАТ «ІНТЕРПАЙП НТЗ»
_____ О.В. Рослик
"17" листопада 2020 р.

АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ
науково-дослідної роботи «Розробка хімічного складу сталі та режимів термічної обробки залізничних коліс вантажних вагонів для роботи при підвищених навантаженнях на вісь» (договір №530101432)

Ми, що нижче підписались, представники Інституту чорної металургії ім. З.І. Некрасова НАН України (ІЧМ НАНУ) – директор ІЧМ НАНУ Бабаченко О.І., та вчений секретар ІЧМ НАНУ Кононенко Г.А., та представник ПАТ «ІНТЕРПАЙП НТЗ» - директор технічний дивізіону по виробництву залізничної продукції ПАТ «ІНТЕРПАЙП НТЗ» Рослик О.В., склали цей акт про те, що в умовах ПАТ «ІНТЕРПАЙП НТЗ» була виготовлена дослідно-промислова партія коліс зі сталі з підвищеним вмістом кремнію та марганцю, мікролегована ванадієм (плавка №22505).

В процесі роботи виконане наступне:

- Порівняльні дослідження мікроструктури, комплексу механічних властивостей і напруженого стану дослідних коліс, виготовлених з дослідної сталі з підвищеним вмістом кремнію та марганцю, мікролегованої ванадієм в стані після термічного зміцнення за дослідними режимами.
- Порівняльні дослідження чутливості до утворення дефектів на поверхні катання залізничних коліс, виготовлених з дослідної сталі з підвищеним вмістом кремнію та марганцю, мікролегованої ванадієм, і сталей марок «2» і «Т».

В ході виконання роботи:

1. Показано, що застосування дослідних режимів термічної обробки для коліс зі сталі з підвищеним вмістом кремнію та марганцю. мікролегованої ванадієм, забезпечило ф
структурного стану, характерного для коліс д
2. Опробування нових режимів термічної обро
показало можливість досягнення в них рів
320 НВ при збереженні високих показни
в'язкості при зниженні чутливості до
Розроблені раціональні режими термічної
забезпечують отримання високого комплексу механічних властивостей.
3. Розроблені вимоги до хімічного складу і механічних властивостей для нової марки сталі для залізничних коліс зі сталі з підвищеним вмістом кремнію та марганцю, мікролегованої ванадієм.
4. Встановлено, що чутливість до термічного впливу сталі з підвищеним вмістом кремнію та марганцю, мікролегованої ванадієм нижча на 44%, ніж для сталі з аналогічним рівнем твердості марки «Т».

Від ІЧМ НАНУ

Директор ІЧМ НАНУ
_____ О.І. Бабаченко

Учений секретар ІЧМ НАНУ
_____ Г.А. Кононенко

Від ПАТ «ІНТЕРПАЙП НТЗ»
Начальник відділу
металознавства і запитів
споживачів
ПАТ «ІНТЕРПАЙП НТЗ»
_____ К.М. Майстренко

Дякую за увагу!