

колеблющогося дискового ножа не виходить із контакту з бумагою; режим прерывистого різання, коли швидкість різання ножа перевищує швидкість подачі блоку, лезвіє ножа виходить із контакту і різання (в частині циклу коливання) відсутнє. Прерывисте вібраційне різання паперу дозволяє значно скоротити час контакту ріжучої кромки ножа з бумагою, що передбачає зменшення температури в зоні обробки, зниження сил різання і підвищення якості обробленої поверхні.

З допомогою аналізу кінематических параметрів процесу різання книжкових блоків вібрируючими дисковими ножами можна визначити оптимальні режими різання, забезпечуючі обробку при мінімальних дійсних кутах різання.

1. Германиес Э. Справочная книга технолога-полиграфиста. М., 1982. 2. Грушевский В. С. Технологические параметры резания брошюр дисковыми ножами // Труды НИИПМ. Т. 23. М., 1963. С. 37 – 48. 3. Іванко А. І. Кінематика процесу обрізування книжкового блоку дисковими ножами з планетарним приводом // Технологія і техніка друкарства: Зб. наук. пр. К., 2003. Вип. 2. С. 78 – 81. 4. Полюдов О. М., Іванко А. І. Аналіз геометричних параметрів обрізування книжкових блоків дисковим ножом з планетарним приводом // Наукові записки. Львів: УАД, 2003. Вип. 6. С. 15 – 18. 5. Угрин Я. М. Аналітичне дослідження процесу різання картону круговим ножом / Наукові записки. Львів: УАД, 1999. Вип. 1. С. 20 – 23. 6. Petriaszwilli G. Investigations of book block fold cutting equipment exploiting vibration cutting technique // Proceedings of the 6th International Conference Vibroengineering'2006, 12 – 14 October 2006, Kaunas, Lithuania, p. 84 – 86.

УДК 669.018.24: 669.017.16

М. О. Кузін, О. А. Кузін, Т. М. Мецєрякова

ВПЛИВ МІКРОСТРУКТУРИ НА СТІЙКІСТЬ ПРОТИ СПРАЦЮВАННЯ НЕРОЗ'ЄМНИХ З'ЄДНАНЬ РЕЙОК ПІСЛЯ ТЕРМІТНОГО ЗВАРЮВАННЯ

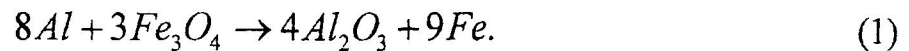
Досліджено особливості формування неметалічних включень і структури після термітного зварювання рейок Р65. Розвиток структурної неоднорідності суттєво впливає на твердість і зносостійкість термітної сталі. Зростання її зносостійкості у 2 – 3 рази відбувається при наявності 58 – 62% перліту, ділянки якого мають розмір, співмірний із розміром плям контакту. Визначено шляхи керування структурою для підвищення стійкості проти спрацювання нероз'ємних з'єднань.

The features of formation nonmetallic inclusions and structure after the thermit welding of racks R65 are investigated. The development of structural nonuniformity essentially influences the hardness and wear resistance by 2-3 times takes place in the presence of 58-62 per cent of perlite which sections have dimensions proportionate to the dimension of contact spots. The ways of structure control which allow to increase wear resistance of permanent connections are determined.

Алюмотермітне зварювання широко використовується для отримання нероз'ємних з'єднань рейкових плітей високошвидкісних залізничних магістралей. Цей метод є також ефективним при проведенні зварювальних робіт у зонах стрілочних переводів.

При отриманні нероз'ємних з'єднань проводять підготовку рейок до зварювання і вирівнювання рейкового стику. Для процесу зварювання використовують відповідне обладнання, що включає: ливарні форми для термітного зварювання рейок, тиглі для проведення алюмотермітної реакції, стояки, що утримують форми і тиглі, а також обмазки для запобігання протіканню металу між ливарною формою і рейкою (рис. 1).

У тигель висипають порцію терміту, після чого вводять високотемпературний запал. Підпалення запалу викликає термітну реакцію



У міру проходження реакції відновлення і легування залізовуглецевого сплаву запірний пристрій тигля автоматично відкривається і рідкий метал заливається у форму до перерізу рейки. Під час процесу твердіння металу зварного шва проводять витримку до зняття форми протягом 3 – 4 хвилин. Далі стик звільняється від тигля і напівформ. Стик обробляють по поверхні кочення і бічних гранях головки рейки шляхом різання ґрату і ливників у гарячому стані. Підшву зварних стиків рейкових елементів нагрівають газополум'яними пальниками для нормалізації металу. Після цього поверхню кочення і бічних граней обробляють абразивним інструментом.

Структура нероз'ємних з'єднань рейок залежить від умов проведення зварювання у колії і може суттєво різнитись, що впливає на їх роботоздатність. У зв'язку з тим у роботі вивчали вплив мікроструктури на зносостійкість термітної сталі [1, 3].

Із зони термітного зварювання за допомогою абразивних кругів були вирізані зразки (рис. 2).

Дослідження хімічного складу зони з'єднання показало, що термітна сталь містить 0,30% С (табл. 1).

Т а б л и ц я 1

Хімічний склад зони термітного з'єднання

Вміст елементів, %			
С	Mn	Si	Cr
0.30	0.22	0.89	0.90

Вивчення мікроструктури проводили на металографічному мікроскопі ММР-2Р при збільшенні від 100 до 500 раз.

Аналіз результатів досліджень неметалічних включень показав, що ступінь забрудненості включеннями є різною як за висотою, так і за довжиною зварного шва.

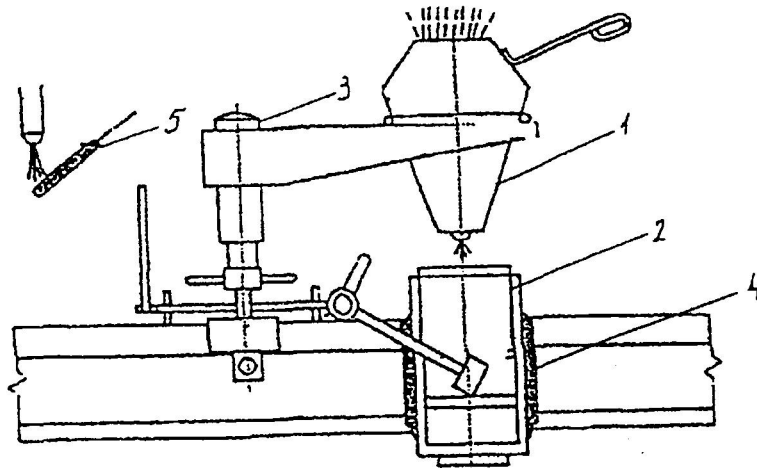


Рис. 1. Обладнання для отримання нероз'ємних з'єднань рейок методом алюмотермітного зварювання: 1 – тигель для алюмотермітної реакції; 2 – ливарна форма для термітного зварювання рейок; 3 – стояк; 4 – ущільнювальна обмазка ливарної форми; 5 – запал для підпалювання термітної суміші

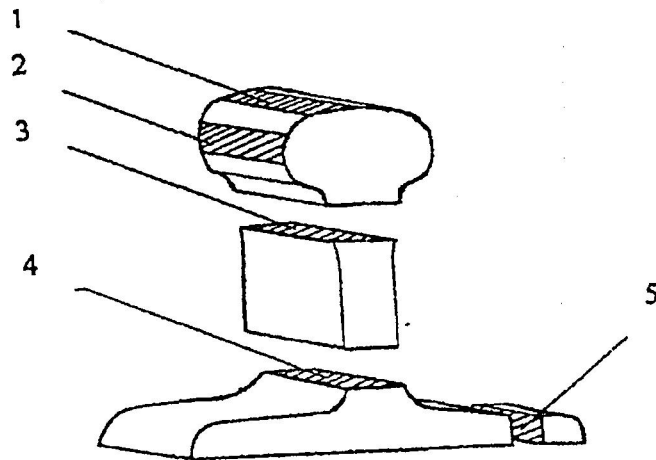


Рис. 2. Зразки для дослідження мікроструктури зони термітного зварювання: 1 – поверхня кочення рейки; 2 – бокова поверхня головки рейки; 3 – шийка рейки, що розміщена біля головки; 4 – шийка рейки, що розміщена біля підшви; 5 – підшва рейки

У головці рейки найбільша забрудненість включеннями спостерігається в центральній частині зони зварювання, а при переході до зони сплавлення з основним металом вона стає меншою (рис. 3).

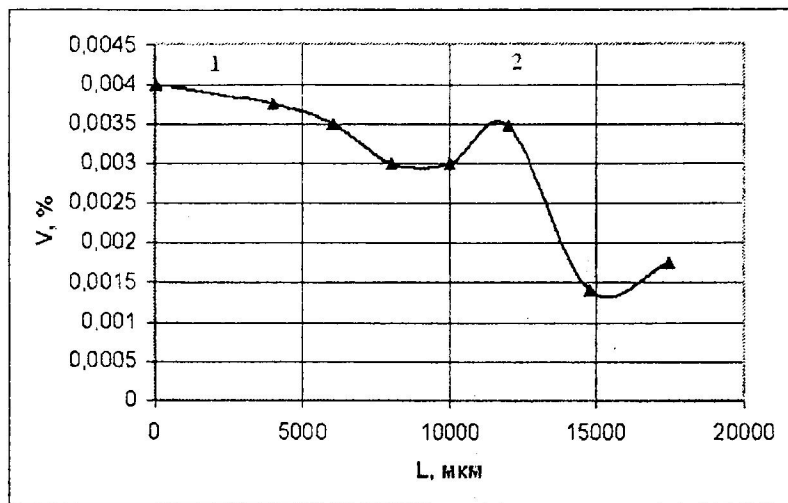


Рис. 3. Вміст неметалічних включень (V, %) на бічній поверхні головки рейки в зоні термітного зварювання:
1 – центральна частина нероз'ємного з'єднання;
2 – зона сплавлення з основним металом

Слід зазначити, що в зоні сплавлення основного і наплавленого металу зростає кількість включень більшого розміру (рис. 4).

У шийці рейки вміст неметалічних включень більший, ніж у головці. Причому кількість включень зростає в зоні, що розташована біля підшви рейки (рис. 5).

У зоні сплавлення з основним металом спостерігаються включення більшого розміру (рис. 6). Найбільша ступінь забрудненості помічена в підшві рейки. Забрудненість у підшві майже в два рази вища, ніж у головці рейки (рис. 7).

У підшві нероз'ємного з'єднання зростає кількість включень розміром понад 20 мкм (рис. 8).

Більшість включень відноситься до глобулярних оксидів, в окремих ділянках зустрічаються і складні оксісульфіди. У підшві нероз'ємного з'єднання їх частка значніша.

Температурно-часові умови кристалізації при термітному зварюванні мають суттєвий вплив на формування структури. Термітна сталь, з якої отримували з'єднання, відноситься до доєвтектоїдних (табл. 1).

Температурний інтервал переходу від рідкого стану до температури евтектоїдних перетворень сплав проходить протягом трьох хвилин, тобто процес кристалізації відбувається в нерівних умовах.

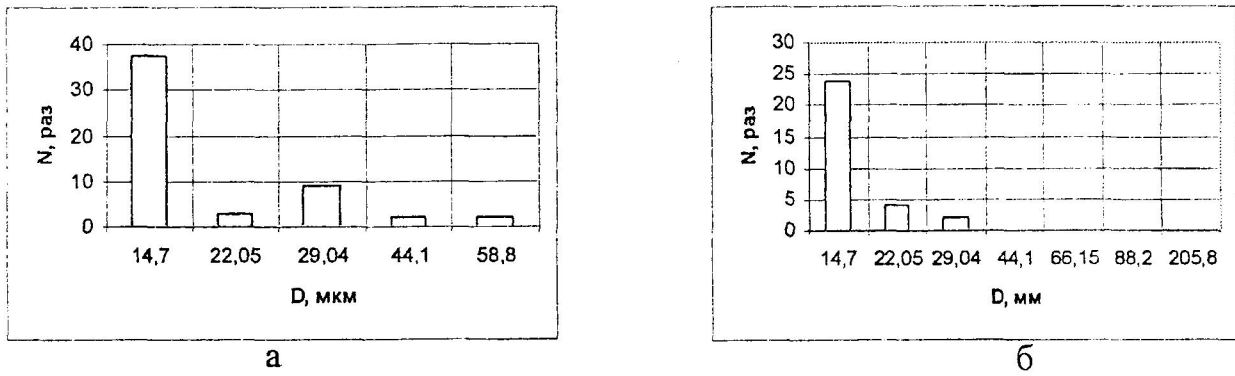


Рис. 4. Частота випадків появи включень певного діаметра (D) на бічній поверхні головки рейки в центральній частині з'єднання (а) і в зоні сплавлення з основним металом (б)

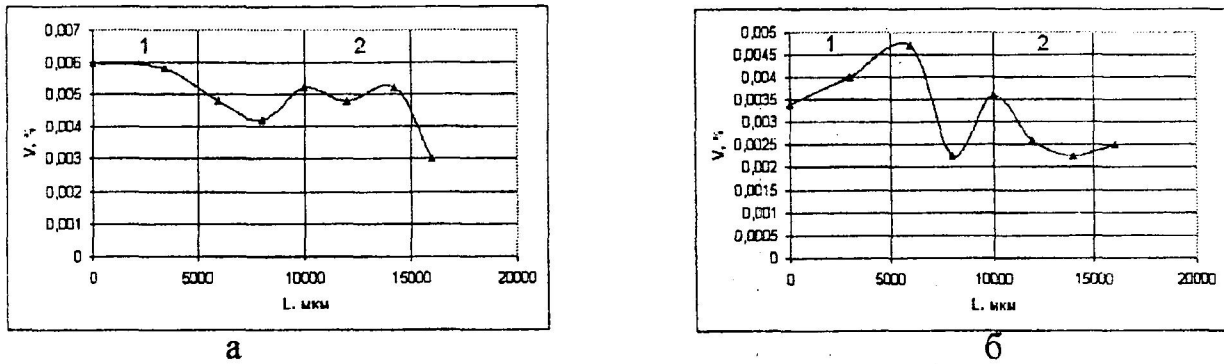


Рис. 5. Вміст неметалічних включень у шийці біля головки (а) і біля підшви рейки (б): 1 – центральна частина з'єднання; 2 – зона сплавлення з основним металом

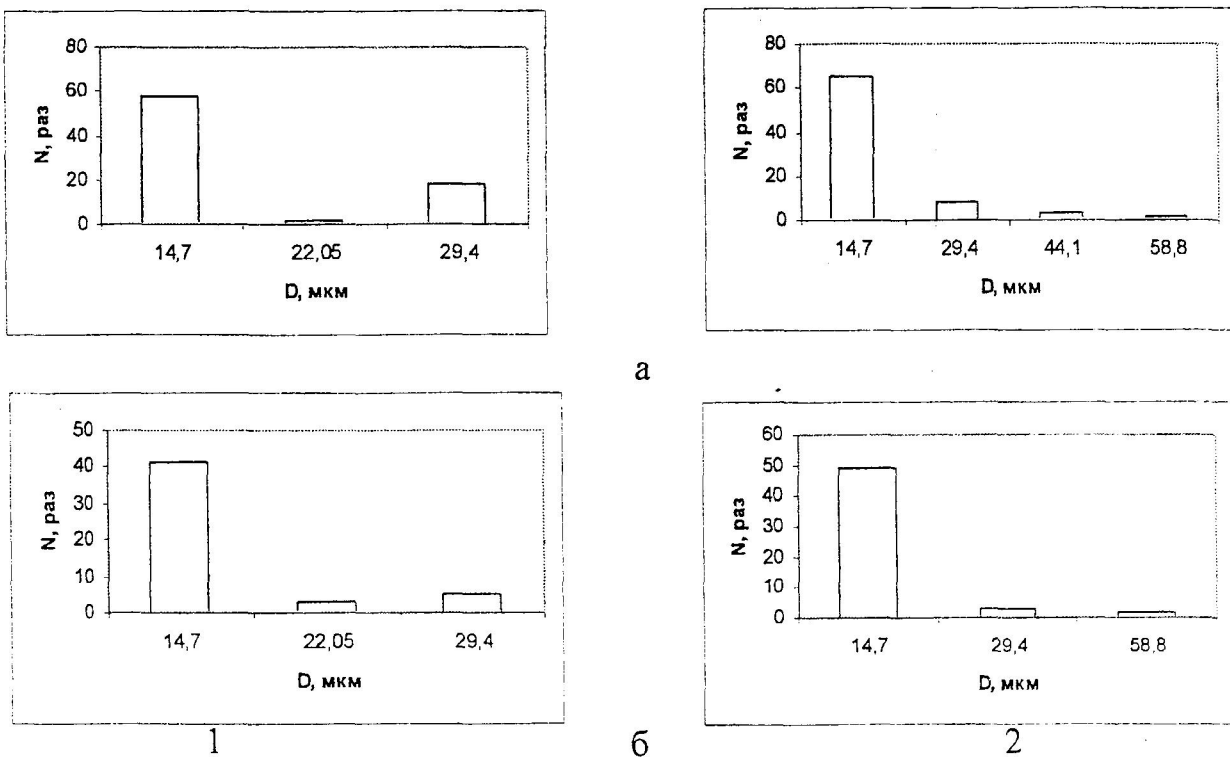


Рис. 6. Частота випадків (N) появи включень певного діаметра (D) у шийці рейки біля головки (а) і біля підшви (б): 1 – центральна частина з'єднання; 2 – зона сплавлення з основним металом

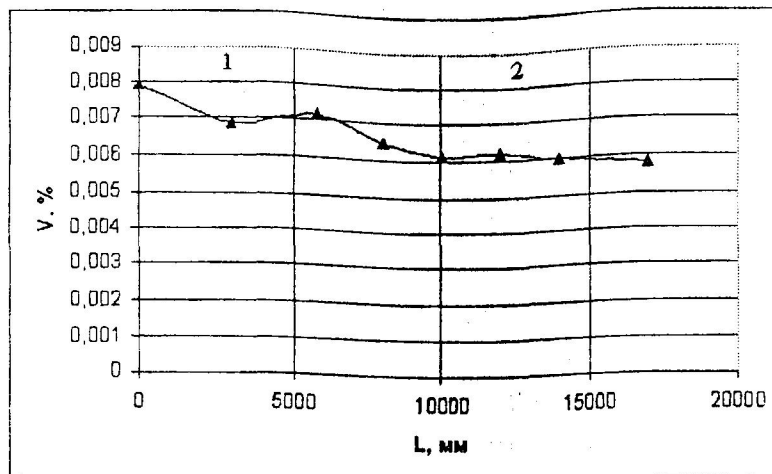


Рис. 7. Вміст неметалічних включень у підшві рейки:
1 – центральна частина з'єднання;
2 – зона сплавлення з основним металом

Згідно з діаграмою стану $Fe - Fe_3C$ нижче температури ліквідус у сплаві з 0.30% С утворюється δ -ферит і рідина насичується вуглецем внаслідок його витіснення кристалами δ -фериту, що зростають. Подальше зниження температури спричиняє твердіння об'ємів сплаву з більшим і меншим вмістом вуглецю за різними механізмами. Зони сплаву, збіднені вуглецем, кристалізуються з проходженням перитектичного перетворення, а мікрооб'єми, що містять більше вуглецю, – без перитектичного перетворення. Малий час перебування сплаву при температурі утворення аустеніту обмежує можливість вирівнювання його хімічного складу за вуглецем. У результаті після повного охолодження утворюється мікроструктура, характерною ознакою якої є ділянки з більшим і меншим вмістом вуглецю (рис. 9, 10).

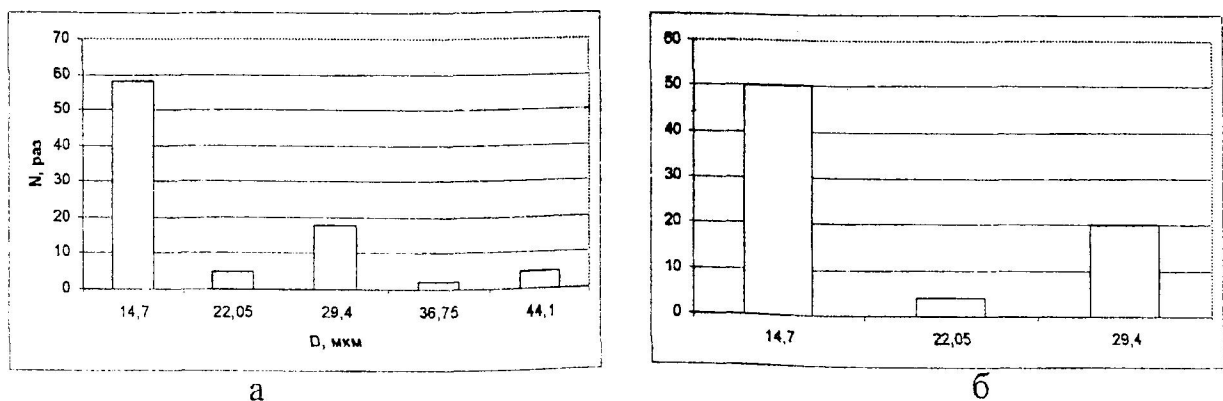


Рис. 8. Частота випадків (N) появи включень певного діаметра (D) у підшві рейки: а – центральна зона з'єднання;
б – зона сплавлення з основним металом

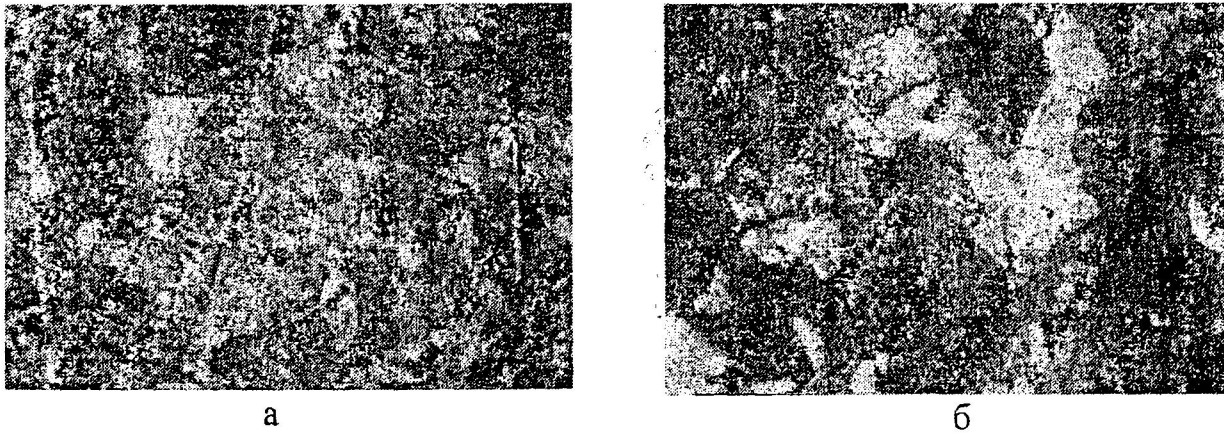


Рис. 9. Мікроструктура центральної частини зони термітного зварювання рейок: а – поверхня катання; б – бічна поверхня головки (x280)

У зоні кристалізації головки рейки розмір ділянок менший, ніж у зоні кристалізації шийки. При збільшеному тепловідведенні у зоні підшви розмір ділянок, збіднених вуглецем, ще значніший.

Зростання величини переохолодження біля основного металу викликає подрібнення розміру ділянок, збіднених вуглецем, але не змінює їх загальної кількості як у зоні головки, так і в зоні сплавлення в підшві (рис. 11).

Кількість фериту і перліту в нероз'ємному з'єднанні, яка визначена методом січних [2], залежить від умов кристалізації. Найбільше перліту знаходиться у верхній частині шийки рейки, а найменше – у нижній частині підшви рейки. Щодо фериту, то найбільше його маємо в нижній частині підшви рейки, а найменше – у верхній частині шийки рейки (табл. 2).

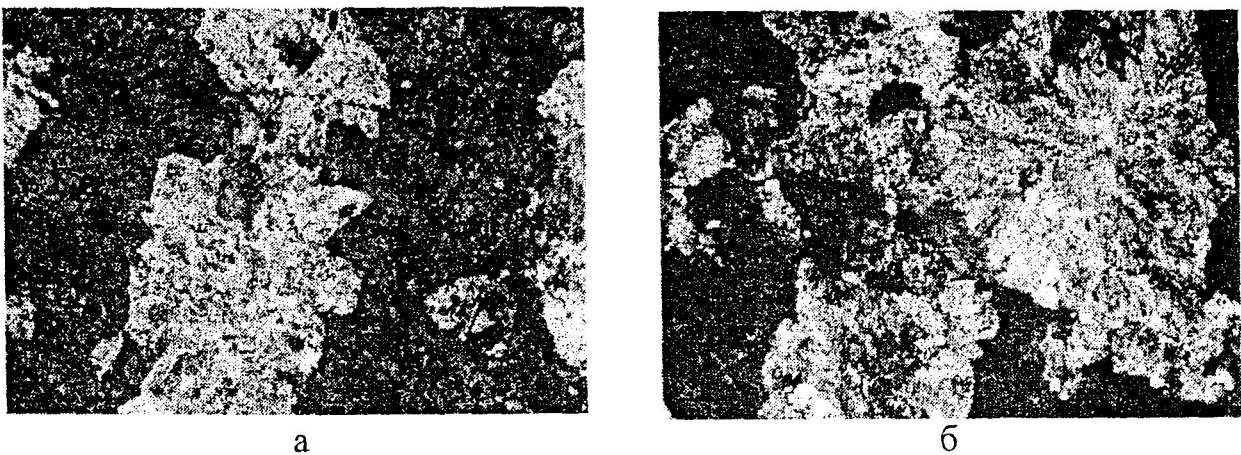


Рис. 10. Мікроструктура центральної частини зони термітного зварювання рейок: а – шийка внизу головки; б – підшва (x280)

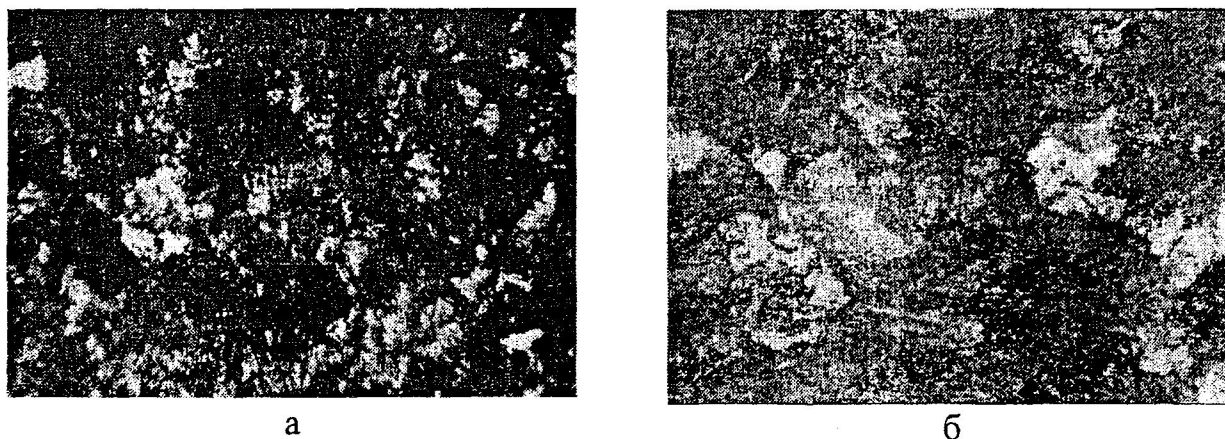


Рис. 11. Мікроструктура нероз'ємного з'єднання біля основного металу:
а – бічна поверхня головки; б – шийка (x280)

Таблиця 2

Кількість фериту і перліту в нероз'ємному з'єднанні рейок Р65 після термітного зварювання

Місце вирізки шліфа	Ферит, %	Перліт, %	Σ , %
Верх головки рейки	36,47	62,12	98,59
Низ головки рейки	38,59	60,00	98,59
Верх шийки рейки	34,35	64,47	98,82
Низ шийки рейки	47,51	51,06	98,57
Низ підшви рейки	52,00	46,35	98,35

Умови охолодження і фазові перетворення суттєво впливають на розмірні характеристики структурних складових у різних частинах нероз'ємного з'єднання. Найменший розмір ділянок фериту і перліту (табл. 3) спостерігається у верхній частині головки нероз'ємного з'єднання. У нижній частині головки він дещо збільшується. При переході до шийки рейки розмір ділянок фериту також зростає. Слід зазначити, що в нижній частині шийки розмір ділянок фериту більший від розміру ділянок перліту. При переході до низу підшви рейки різниця в розмірах ділянок фериту і перліту ще більше зростає.

Таблиця 3

Розмірні характеристики фериту та перліту в центральній частині нероз'ємного з'єднання рейок

Місце вирізки шліфа	Середній розмір зерна, мкм	
	ферит	перліт
Верх головки	76,1649	129,0323
Низ головки	120,9677	153,2258
Верх шийки	169,3548	177,4194
Низ шийки	193,5484	185,4839
Низ підшви	217,7419	185,4839

Неоднорідність структури призводить до неоднорідності механічних властивостей локальних об'ємів нероз'ємного з'єднання рейок. Дослідження твердості зони термітного з'єднання показали, що твердість від зони термітного сплавлення до центральної частини зменшується (рис. 11 – 13).

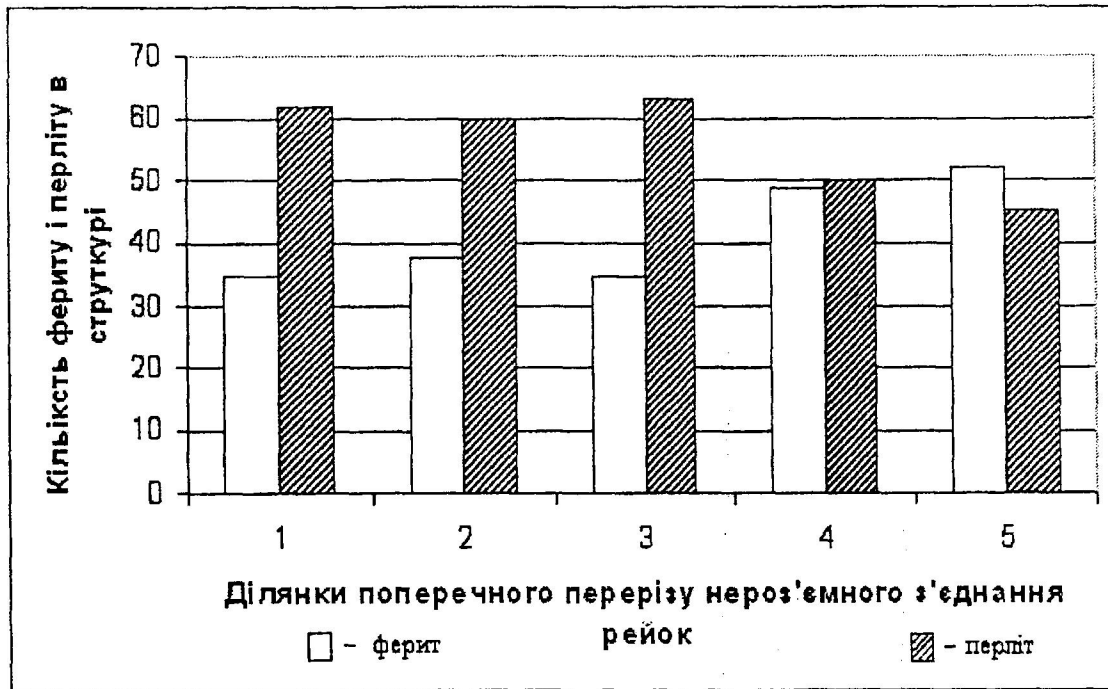
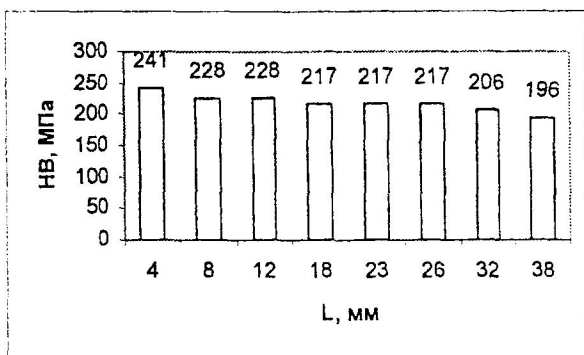
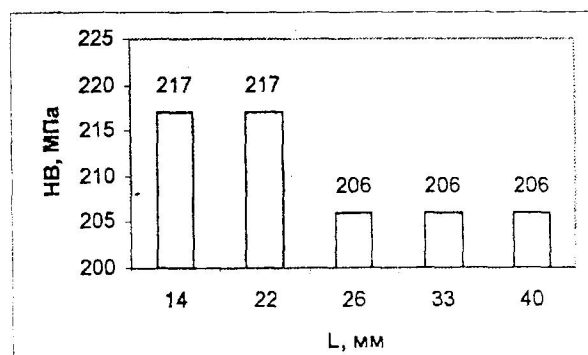


Рис. 12. Кількість фериту і перліту в нероз'ємному з'єднанні рейок Р65: 1 – верх головки рейки; 2 – низ головки рейки; 3 – верх шийки рейки; 4 – низ шийки рейки



а



б

Рис. 13. Розподіл твердості в головці рейки в напрямку від зони сплавлення до центральної частини з'єднання: а – поверхня кочення; б – бічна поверхня

Причому зменшення твердості по поверхні кочення відбувається в більшій мірі, ніж на бічній поверхні. Розподіл твердості в шийці біля головки аналогічний до розподілу твердості по поверхні кочення. Найбільша зміна твердості довжини спостерігається в шийці біля підшви рейки, а також у підшві. Зміна твердості в окремих ділянках зони термітного зварювання (рис. 14, 15), знаходиться в кореляції з розподілом у структурі ділянок, збіднених і збагачених вуглецем, що формуються завдяки різній швидкості охолодження головки шийки і підшви зварного з'єднання (рис. 9, 10).

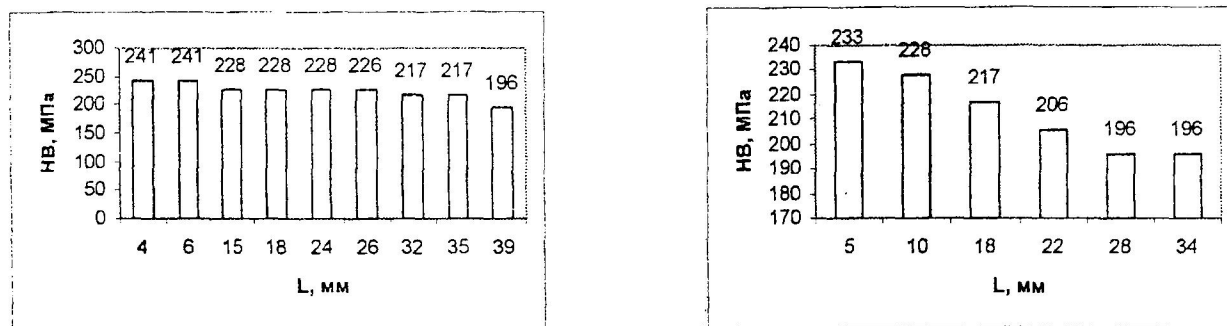


Рис. 14. Розподіл твердості в шийці рейки в напрямку від зони сплавлення до центральної частини з'єднання: а – шийка біля головки; б – шийка біля підшви

Дослідження зносостійкості за методом “диск – колодка” показали, що зміна структури суттєво впливає на інтенсивність зношування термітної сталі. Випробовували зразки після полірування, а також після ручної механічної обробки. Шорсткість зразків після полірування була меншою, ніж після механічної обробки. Як видно (рис. 17, 18, табл. 4, 5), зміна зносостійкості як після полірування, так і після механічної обробки однакова. Найменша інтенсивність зношування спостерігається на зразках, отриманих з верхньої частини головки нероз'ємного з'єднання. Найбільше зношування помічено на полірованих зразках з нижньої частини головки нероз'ємного з'єднання, а після механічної обробки – на зразках з підшви з'єднання. При переході від головки до шийки інтенсивність зношування стає меншою. Найвищу зносостійкість зафіксовано в головці рейки, твердість якої не є найбільшою (рис. 16).

Інтенсивність зношування нижньої частини головки рейкового з'єднання вища, хоча твердість її найбільша. Незважаючи на те, що твердість верхньої і нижньої частин головки однакова, інтенсивність зношування нижньої частини головки більша. Отримані результати корелюють із зміною кількісних параметрів мікроструктури. Так, найвища зносостійкість у головці з'єднання обумовлена наявністю в структурі 60 – 67% перліту (рис. 12), причому розмір перлітних ділянок менший і складає 129 мкм (табл. 3). Збільшення інтенсивності зношування в нижній частині головки з'єднання залежить від росту зерен фериту і перліту в структурі. Підвищення зношування в нижній частині підшви рейки пов'язано як з зменшою кількістю перліту, так і з більшим розміром його зерен. Зростання зносостійкості в головці обумовлено тим, що згідно з контактною схемою взаємодії поверхні при терті даної структури зростає кількість плям контакту на перлітних ділянках.

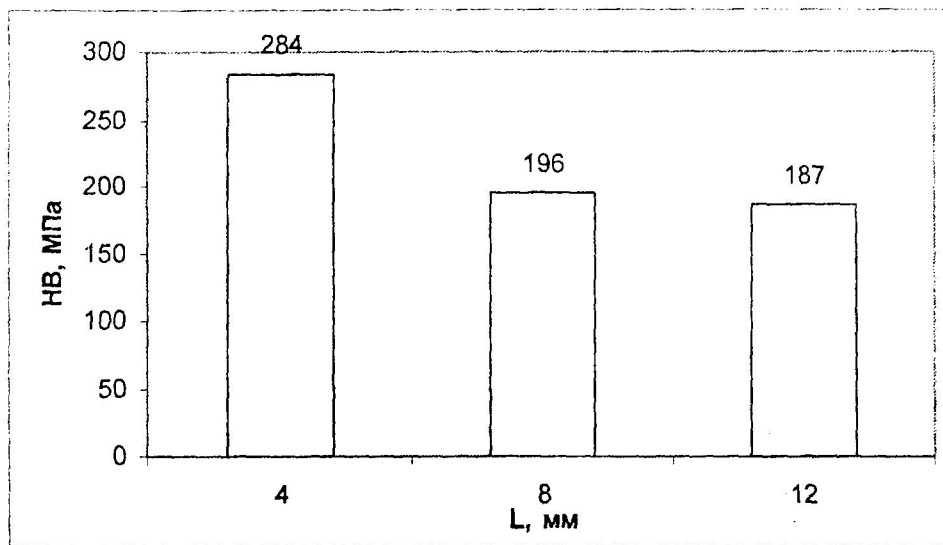


Рис. 15. Розподіл твердості в підшві рейки в напрямку від зони сплавлення до центральної частини з'єднання



Рис. 16. Твердість зразків, вирізаних з різних частин нероз'ємного з'єднання для випробовування на зношування: 1 – верх головки рейки; 2 – низ головки рейки; 3 – верх шийки рейки; 4 – низ шийки рейки; 5 – низ підшви рейки

Таблиця 4

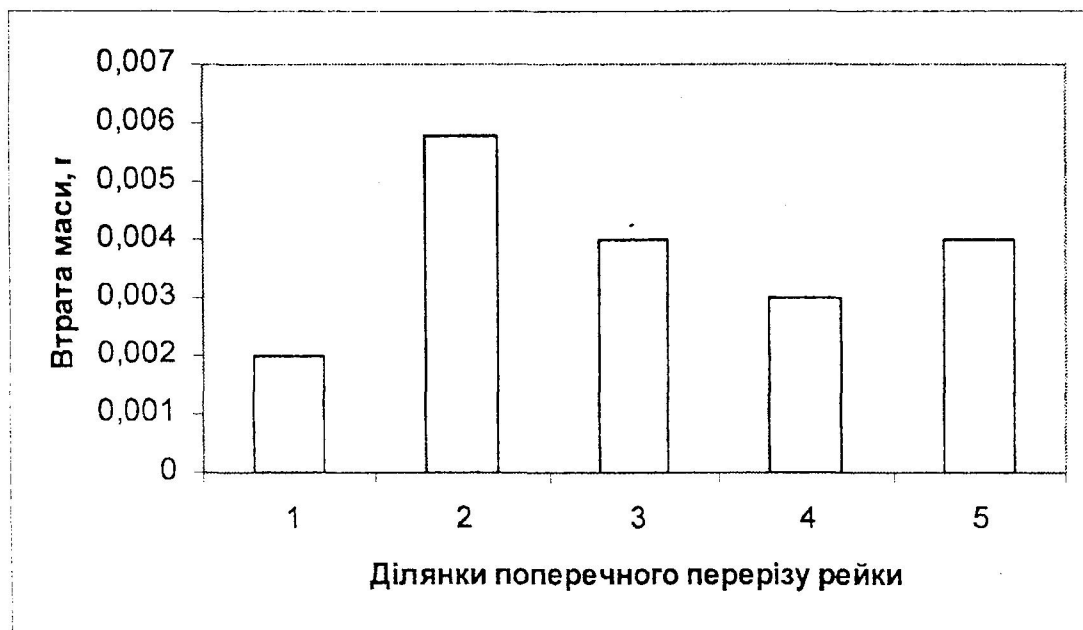
**Результати випробування на зношування зразків
з полірованою поверхнею**

Місце вирізки зразків	Номер зразка	m_1 , г	m_2 , г	Δm , г
Верх головки рейки	1	1,3680	1,03485	0,00195
Низ головки рейки	2	1,16360	1,15785	0,00575
	2	1,10335	1,09950	0,00425
Верх шийки рейки	3	1,01060	1,00650	0,00410
Низ шийки рейки	4	1,02975	1,02745	0,00230
Низ підшви рейки	4	1,07435	1,07125	0,00310
	5	1,10050	1,09600	0,00450

Таблиця 5

**Результати випробувань на зношування зразків
з механічно обробленою поверхнею**

Місце вирізки зразків		m_1 , г	m_2 , г	Δm , г
Верх головки рейки	1	1,03485	1,03080	0,00405
Низ головки рейки	2	1,09565	1,08980	0,00585
Верх головки рейки	3	1,00650	1,00190	0,00460
	3	1,05675	1,05230	0,00445
Низ шийки рейки	4	1,07125	1,06575	0,00550
	5	1,08715	1,08070	0,00645
Низ підшви рейки	5	0,99200	0,98560	0,00640



**Рис. 17. Результати випробувань на зношування зразків
з полірованою поверхнею: 1 – верх головки рейки;
2 – низ головки рейки; 3 – верх шийки рейки; 4 – низ шийки рейки;
5 – низ підшви рейки**



Рис. 18. Результати випробовувань на зношування зразків з механічно обробленою поверхнею: 1 – верх головки рейки; 2 – низ головки рейки; 3 – верх шийки рейки; 4 – низ шийки рейки; 5 – низ підшви рейки

З вищевикладеного випливає:

1. Використаний комплекс досліджень нероз'ємних з'єднань рейок Р65 після термітного зварювання дозволив визначити шляхи керування структурою для підвищення їх зносостійкості.

2. Мікроструктурним аналізом показано розвиток значної структурної неоднорідності в зоні зварювання на перерізі рейок, присутність ділянок, що містять до 0,1% С і ділянок з вмістом вуглецю понад 0,65%. Із збільшенням швидкості тепловідведення під час кристалізації нероз'ємних з'єднань розмір ділянок фериту і перліту стає меншим.

3. Розвиток структурної неоднорідності приводить до зміни твердості на перерізі нероз'ємного з'єднання. Найвища твердість спостерігається у нижній частині головки, а найнижча – у верхній частині шийки нероз'ємного з'єднання рейок.

4. Аналіз зносостійкості сталі на перерізі нероз'ємного з'єднання показав, що прямої залежності зносостійкості від твердості в досліджених зразках не спостерігається. Вирішальним фактором, що впливає на зносостійкість, є кількісні параметри мікроструктури, зокрема кількість перліту і розмірні характеристики перлітних і феритних ділянок. Підвищення зносостійкості зафіксовано при наявності в структурі 52 – 62% перліту, ділянки якого мають мінімальний розмір.

5. Вплив структури на зносостійкість обумовлений відповідністю її кількісних параметрів механічній схемі тертя. При величині ділянок перліту, більших від розмірів плям контакту, зносостійкість підвищуватиметься, коли розмір ділянок фериту буде найменшим.

1. Кузін О. А., Яцюк Р. А. Металознавство та термічна обробка металів. К., 2005.
2. Салтыков С. А. Стереометрическая металлография. М., 1970.
3. Трение, изнашивание и смазка: Справочн. В 2-х кн. / Под ред. И. В. Крагельского, В. В. Алисина. М., 1978.