

УДК 621.771:669.017.3

О.М. Тумко <sup>(1)</sup>, заступник начальника ЦЗЛ  
Н.В. Костюченко <sup>(1)</sup>, начальник лабораторії  
Г.П. Маренкова <sup>(1)</sup>, провідний інженер  
Б.П. Серeda <sup>(2)</sup>, професор, д.т.н.  
І.В. Кругляк <sup>(2)</sup>, доцент, к.т.н.  
Є.В. Бабаченко <sup>(2)</sup>, аспірант

## ЗМЕНШЕННЯ МІКРОПОРИСТОСТІ ПРОКАТУ СТАЛЕЙ ШХ15(СГ) 45Х9С3 І 14Х1Ф

<sup>(1)</sup> ПАТ «Електрометалургійний завод «Дніпроспецсталь», м. Запоріжжя,  
<sup>(2)</sup> Запорізька державна інженерна академія

Рассмотрены дефекты сортовых прутков, изготовленных из подшипниковой ШХ15(СГ) и высокоуглеродистых (45Х9С3, 14Х1Ф) марок стали путем прокатки на станах 1050/950 и 550 в условиях ПАО «Электрометаллургический завод «Днепроспецсталь». Для снижения дефекта «микропоры» предложено осуществлять нагрев слитков указанных марок стали перед прокаткой при более низкой температуре, что позволяет практически полностью устранить отмеченный дефект.

Ключевые слова: подшипниковые и высокоуглеродистые стали, нагрев слитков, прокатка, сортовой пруток, микропористость

Розглянуто дефекти сортових прутків, виготовлених з підшипникової ШХ15(СГ) та високо вуглецевих (45Х9С3, 14Х1Ф) марок сталі шляхом прокатування на станах 1050/950 і 550 за умов ПАТ «Електрометалургійний завод «Дніпроспецсталь». Для зниження дефекту «мікропори» запропоновано здійснювати нагрівання зливків вказаних марок сталі перед прокатуванням за більш низької температури, що дозволяє практично повністю усунути зазначений дефект.

Ключові слова: підшипникові та високо вуглецеві сталі, нагрівання зливків, прокатування, сортовий пруток, мікропористість

The defects of sort sticks, made from bearing SHKH 15 and highcarbon (45KH9C3, 14KH1F) marks of steel by rolling on figures 1050/950 and 550 in the conditions of PAJ «Electrometallurgy plant «Dneprospetsstal» are considered. For the decline of defect of «microinterstice» heating of bars of the indicated marks is offered to carry out before rolling at more subzero temperature, that allow practically fully to remove noted defect.

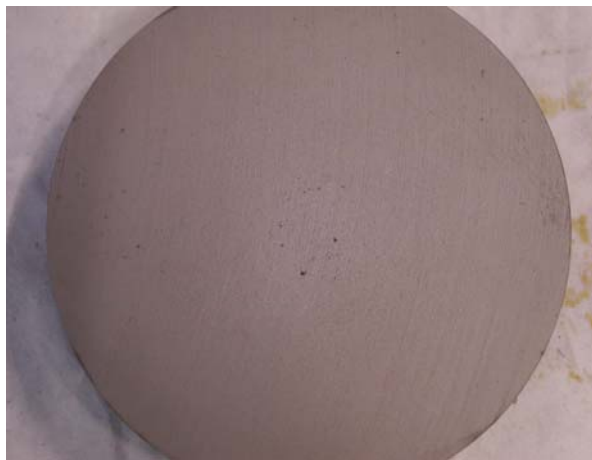
Keywords: bearing and high-carbon steels, heating of bars, rolling, sort stick, microporosity

*Вступ.* За жорстких умов сучасного ринку різних марок сталі, який постійно розвивається, головну увагу приділяють якості металевої продукції. Для підвищення конкурентоспроможності та збереження своєї позиції на зазначеному ринку кожному металургійному підприємству слід удосконалювати діючі або розробляти нові технології виробництва сталі.

Існує ряд дефектів, які суттєво впливають на зниження службових характеристик металу під час його експлуатації. Одним з них є мікропори у прокаті сортових прутків, які раніше [1,2] називали внутрішніми розривами.

Мікропори (внутрішні розриви) утворюються під час гарячої деформації в

осьовій зоні прутків внаслідок її зниженої пластичності та наявності розтягуючих напружень [3,4]. На поперечних макротемплетях дефект подається як ділянки, що мають темно-витравлювальний характер, і розташовуються в осьовій зоні (рис. 1). На подовжніх мікрошліфах спостерігаються групи дрібних розривів у вигляді сітки мікропор, які розтягнуто уздовж напрямлення деформації та розташовано у смужках, які збагачено карбідами та ліквацийними домішками (рис. 2). Створення таких розривів пов'язано із зональною та дендритною ліквациєю, а також збагаченням окремих ділянок ліквацийними домішками (карбідні евтектики та інші фази), що мають нижчу температуру твердіння сталі основного складу. За температури нагрівання зливків, яка перевищує оптимальне значення для ліквацийних ділянок, останні втрачають пластичність і міцність під час деформації. Як наслідок створюється мікропористість. На утворення цього дефекту впливають хімічний склад сталі, умови деформації, міра дендритної ліквациї та температура нагрівання перед деформацією [4,5].



**Рисунок 1** – Макроструктура у поперечному макротемплеті, х 100

Розриви від осьового перегрівання найчастіше зустрічаються для високо легированих і високо вуглецевих сталей. Для високо вуглецевих сталей поява розривів обумовлена наявністю легкоплавких карбідних і сульфідних евтектик, які розташовуються на ліквацийних ділянках і можуть бути ділянками локального руйнування [1].



**Рисунок 2** – Мікропори у подовжньому мікрошліфу, х 100

*Постановка завдання.* Метою роботи є зниження браку для прутків, виготовлених із сталей ШХ15(СГ), 45Х9С3 і 14Х1Ф, спричиненого наявністю у металі мікро-

пор.

*Головна частина досліджень.* Відомо, що попередження утворення мікропористості є можливим як під час зниження міри дендритної ліквідації у металі, так і температури його нагрівання перед деформацією.

Тому роботу присвячено дослідженням, які пов'язано зі зниженням браку для прутків вищезгаданих сталей шляхом їх нагрівання перед прокатуванням на станах 1050/950 і 550 до нижчої температури.

Під час виробництва прутків з підшипникової сталі ШХ15(СГ) технологія, що існує на ПАТ «Електрометалургійний завод «Дніпроспецсталь», передбачає нагрівання зливків до температури 1230 °С, витримку за зазначеної температури протягом 1 год. 15 хв. ... 2 год. 35 хв., зниження температури до 1180 °С і наступну витримку за цієї температури від 1 год. 10 хв. до 4 год. перед прокатуванням (табл. 1). Протягом півріччя на обтисково-заготівельному стані 1050/950 підприємства здійснювали прокатування 47 плавок (2230 т) цієї сталі на прутки діаметром 150...240 мм. Наступна ультразвукова перевірка якості прутків з використанням методики SEP 1921 для групи контролю 3 і класів Dd показала, що 11 плавок (397 т) сталі ШХ15 (СГ) не відповідала стандарту через наявність луно-сигналів бракувального характеру.

Результатами металографічних досліджень встановлено, що причиною появи зазначених сигналів є наявність мікропор у осьовій частині гарячекатаних прутків.

Для зменшення вказаного виду браку під час нагрівання зливків сталі ШХ15 (СГ) у нагрівальних колодязях стану 1050/950 випробували технологію, що передбачає зниження температури нагрівання металу на другому ступені на 20 °С, тобто з 1180 до 1160 °С (табл. 1). З використанням такої технології на стані 1050/950 виконано прокатування 54 плавок (2560 т) сталі ШХ15 (СГ) на прутки діаметром 150...240 мм. Встановлено, що деформація зливків не спричинювала ускладнень, а пластичність металу була задовільною. При цьому в чотирьох плавках (154 т) виявили наявність мікропористості. Таким чином, запропонований режим нагрівання зливків у нагрівальних колодязях стану 1050/950, дозволяє скоротити кількість браку для прутків за дефектом «мікропори» з 18 до 6 % (табл. 1).

Вирішенням проблеми усунення високого рівня браку, зафіксованого під час ультразвукового контролю прутків із сталі 14Х1Ф і 45Х9С3, також стало пониження температури нагрівання зливків у нагрівальних колодязях стану 1050/950 і заготовок у методичних печах стану 550.

Заводська технологія виробництва прутків із зливків сталі 45Х9С3 характеризується крицюванням металу за температури 1270 °С протягом від 1 год. 45 хв. до 2 год. і наступним його видаванням на прокатування. За рік за цією технологією здійснено нагрівання та прокатування 192,65 т сталі 45Х9С3, з них за дефектом «мікропори» не пройшли вихідний контроль 31,69 т (16,4 %). Автори запропонували понизити температуру крицювання зливків від 1270 до 1200 °С. За дослідною технологією надавали нагрівання та прокатування на прутки діаметром 140...155 мм 212,07 т сталі 45Х9С3. Під час ультразвукового контролю цього прокату внутрішні дефекти у металі не виявили (табл. 1).

На переділі сталі марки 14Х1Ф нагрівання зливків за заводською технологією здійснювали у нагрівальних колодязях стану 1050/950 за температури 1200 °С протя-

Таблиця 1 – Баланс сортового прокату сталей ШХ15(СГ), 45Х9С3 і 14Х1Ф

Марка сталі	Профіль металу, мм	Технологія обробки у печі	Температура нагрівання сталі, °С	Обсяг прокатоного металу, т	Брак з мікропористості	
					т	%
ШХ15(СГ)	150...240	заводська	1180	2230	397,02	17,70
		дослідна	1160	2560	154,07	6,00
45Х9С3	140...155	заводська	1270	192,65	31,69	16,40
		дослідна	1200	212,07	-	-
14Х1Ф	круг 44...125	заводська	1200	98,82	11,01	11,14
		дослідна	1160	86,03	4,01	4,70
		дослідна*	1140	51,37	-	-
14Х1Ф	круг 140...185	заводська	1200	81,50	7,45	9,14
		дослідна	1160	138,74	11,89	8,60
		дослідна*	1140	65,87	-	-

Примітка \* нагрівання заготовок у методичних печах стану 550

гом 45 хв. ... 1 год. 45 хв. з наступним передаванням металу на прокатування. За заводською технологією нагрівання заготовок із цієї сталі у методичних печах стану 550 виконували за температури: 1180 °С – верхня зварювальна зона; 1200 °С – нижня зварювальна зона; 1180 °С – крицювальна зона. Встановлено, що ряд плавки сталі 14X1Ф (18,45 т) не відповідав стандарту за дефектом «мікропори», їх кількість сягає 20 % прокатоного металу. Авторами запропоновано здійснювати нагрівання зливків сталі 14X1Ф у нагрівальних колодязях для стану 1050/950 за температури 1160 °С. Дослідне нагрівання заготовок у методичних печах стану 550 виконували за наступним режимом: температура у верхній зварювальній зоні – 1160 °С, в нижній зварювальній зоні – 1180 °С, у крицювальній зоні – 1160 °С. З використанням цієї технології нагрівання на стані 1050/950 було прокатано 138,74 т прутків із сталі 14X1Ф діаметром 140...180 мм і на стані 550/86,03 т прутків діаметром 44...125 мм. За дефектом «мікропори» вихідний контроль не пройшли 15,9 т сталі, що складає 13 % прокатоного металу.

У зв'язку із досить значним запасом міцності валків і станин станів 1050/950 та 550, а також з незначним струмовим навантаженням їх електродвигунів, було прийнято рішення про подальше зниження температури нагрівання зливків сталі 14X1Ф у нагрівальних колодязях стану 1050/950 під прокатування до 1140 °С, а нагрівання заготовок цієї сталі у методичних печах стану 550 виконувати за температури: 1130 °С у верхній зварювальній зоні; 1150 °С в нижній зварювальній зоні та 1130 °С у крицювальній зоні. Далі було виконано прокатування 65,87 т прутків діаметром 140...185 мм на стані 1050/950 і 51,37 т прутків діаметром 44...125 мм – на стані 550. Методом ультразвукового контролю наявність тріщин у прутках не виявлено.

*Висновки.* За умов ПАТ «Електрометалургійний завод «Дніпроспецсталь» розроблено та впроваджено технології нагрівання зливків сталей ШХ15(СГ), 45Х9С3 і 14Х1Ф у нагрівальних колодязях стану 1050/950 і заготовок сталі 14Х1Ф у методичних печах стану 550. Такі технології дозволили суттєво понизити брак для металу на наявність мікропор: на сталі ШХ15(СГ) його величина зменшується у три рази, а на сталях 45Х9С3 і 14Х1Ф є практично відсутньою.

## ПЕРЕЛІК ЛІТЕРАТУРИ

1. Трофимчук, В. Д. Дефекты прокатной стали и меры борьбы с ними [Текст] / В. Д. Трофимчук. – М. : Гос. науч.-техн. изд-во литературы по черной и цветной металлургии, 1954. – 631 с. – Библиография в конце каждого раздела.
2. Чижиков, Ю. М. Процессы обработки давлением легированных сталей и сплавов [Текст] / Ю. М. Чижиков. – М. : Металлургия, 1965. – 499 с. – Библиогр. : с. 498-499.
3. Серета, Б. П. Обробка металів тиском [Текст] : навч. посібник / Б. П. Серета ; МОН України. – Запоріжжя : РВВ ЗДІА, 2009. – 344 с. – Бібліогр. : с. 342. – ISBN 978-966-8462-11-5.
4. Серета, Б. П. Прокатне виробництво [Текст] : навч. посібник / Б. П. Серета ; МОН України. – Запоріжжя : РВВ ЗДІА, 2008. – 312 с. – Бібліогр. : с. 310. – ISBN 978-966-7101-96-1
5. Серета, Б. П. Металознавство та термічна обробка чорних та кольорових металів [Текст] : підручник / Б. П. Серета ; МОН України. – Запоріжжя : РВВ ЗДІА, 2008. – 302 с. – Бібліогр. : с. 300-301. – ISBN 978-966-8462-03-6.

Стаття надійшла до редакції 15.05.2014 р.  
рецензент, проф. М.Ф. Колесник

Текст даної статті знаходиться на сайті ЗДІА в розділі Наука  
<http://www.zgia.zp.ua>