Т.В. Балаханова, канд. техн. наук, ст. наук. співр., e-mail: tatja.balakhanova@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-2493-218X>

Г.В. Левченко, д-р техн. наук, проф., зав. лаб., <https://orcid.org/0000-0003-1173-5320>

Є.М. Рибалка, зав. відділу, e-mail: tk-4dnepri@i.ua

Інститут чорної металургії ім. З.І. Некрасова НАН України (Дніпро, Україна)

Контроль якості безперервнолитої заготовки з низьковуглецевої сталі для виготовлення катанки

Обривання переробної низьковуглецевої катанки при волочінні на дріт безпосередньо залежить не тільки від мікроструктури, якості поверхні та наявності на ній дефектів, але й від вмісту неметалевих включень. Досліджено якість вихідних безперервнолитих заготовок різного розміру з низьковуглецевої сталі, які призначені для виготовлення катанки, визначено вид і характер розташування макродефектів, тип і морфологію неметалевих включень, а також трансформацію цих дефектів у готовій катанці. Показано, що забрудненість безперервнолитої заготовки неметалевими включеннями призводить до виготовлення неякісної катанки, яка навіть при відповідності всім вимогам чинної нормативної документації, має низьку технологічність і під час переробки її на дріт руйнується з розшаруванням. Проведено аналіз вимог відповідної нормативної документації щодо якості низьковуглецевої катанки. Показано відсутність регламентованих вимог до чистоти катанки з низьковуглецевої сталі за неметалевими включеннями, що не дозволяє попередити обривність при волочінні саме через велику кількість дефектів. Надано рекомендації як виробникам, так і споживачам низьковуглецевої катанки. Споживачам низьковуглецевої катанки для подальшого перероблення на дріт є доцільним рекомендувати нормування рівня та виду неметалевих включень при прийманні продукції і встановленні границі забрудненості неметалевими включеннями. Показано, що проведення аналізу вмісту неметалевих включень у вихідній безперервнолитій заготовці, яка призначена для виготовлення низьковуглецевої катанки, є неінформативним. Тому для виробників низьковуглецевої катанки рекомендується провести роботи щодо підвищення якості вихідної безперервнолитої заготовки та посилити вимоги до мікроструктури, зокрема за пунктом «крайові точкові забруднення».

Ключові слова: низьковуглецева катанка, неметалеві включення, безперервнолита заготовка, мікроструктура.

С талева катанка використовується як заготовка при волочінні дроту різного призначення, у виробництві гвинтів, болтів, цвяхів, сітки та інших металевих виробів, а також як армувальний елемент залізобетонних виробів.

Попри падіння промислового виробництва з кінця 2019 року і зниження потреби в металопродукції у ряді галузей економіки (машинобудування, нафтогазовидобування, житлове будівництво), продаж катанки у 2019 р. склав 79,8 тис. т, що на 20,1 тис. т вище, ніж у 2018 р. [1]. На сьогодні в Україні є два виробники такої продукції. Це ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» (ПАТ «АМКР») і ПАТ «Дніпровський металургійний комбінат» (ПАТ «ДМК»).

Якість катанки визначається великим комплексом характеристик, до яких належать хімічний склад ста-

лі, макро- і мікроструктура та стан поверхні прокату (дефекти, знеуглецювання, окалина). Сукупно всі перераховані вище параметри визначають якість катанки, необхідну для високої придатності металу до деформування під час виготовлення дроту. Крім завжди актуального питання підвищення якості катанки в конкретних промислових умовах, достатньо гостро стоїть тема зв'язку виробник-споживач.

Катанка з низьковуглецевої сталі виготовляється наведеними вище вітчизняними підприємствами згідно з такою нормативною документацією:

– ДСТУ 2770-94 (ГОСТ 30136-95) «КАТАНКА З ВУГЛЕЦЕВОЇ СТАЛІ ЗВИЧАЙНОЇ ЯКОСТІ. Технічні умови»;

– ASTM A 510 M-18 «КАТАНКА ТА НЕОБРОБЛЕНИЙ КРУГЛИЙ ДРІТ З ВУГЛЕЦЕВОЇ ТА ЛЕГОВАНОЇ

СТАЛІ. Технічні умови» (цей стандарт практично дублюється СОУ МПП 77.140-236:2008 «КАТАНКА КРУГЛОГО ПЕРЕРІЗУ З ВУГЛЕЦЕВОЇ СТАЛІ»);

– ISO 16120 «КАТАНКА З НЕЛЕГОВАНОЇ СТАЛІ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ДРОТУ».

При виготовленні катанки для зварювального дроту підприємства користуються різною нормативною документацією. ПАТ «ДМК» застосовує ТУ У 24.1-23365425-695:2015 «КАТАНКА ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ЗВАРЮВАЛЬНОГО ДРОТУ. ТЕХНІЧНІ УМОВИ» (Св-08Г2С, Св-08А, Св-08), ПАТ «АМКР» – ТУ 14-15-345-94 «КАТАНКА З НИЗЬКОВУГЛЕЦЕВОЇ СТАЛІ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ЗВАРЮВАЛЬНОГО ДРОТУ», ТУ 14-15-346-94 «КАТАНКА З ЛЕГОВАНОЇ СТАЛІ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ЗВАРЮВАЛЬНОГО ДРОТУ». Проте перелік основних вимог до якості катанки в них ідентичний.

Аналіз нормативної документації показав, що найбільш жорсткі вимоги пред'являються до низьковуглецевої катанки, призначеної для виготовлення з неї зварювального дроту. Зокрема тільки в цих документах наведено вимоги до рівномірності феритного зерна. У інших нормативних документах вказано, що розмір зерна може бути нормований відповідно до ГОСТ 5639 за бажанням замовника, і вимоги до розміру зерна встановлюють у замовленні.

Ще одним з основних показників якості низьковуглецевої катанки, що зосереджені у всіх чинних нормативних документах, є вимоги до якості поверхні. Поверхневі дефекти, успадковані з катанки, мають істотний вплив на технологічний процес виробництва дроту всіх видів призначення і призводять до обривів у процесі волочіння і на подальших стадіях перероблення. Усунення поверхневих дефектів при виготовленні вихідного металопрокату сприяє поліпшенню умов сухого волочіння, отже, підвищенню якості готового і переробного холоднодеформованого дроту [2, 3].

Згідно з чинною нормативною документацією нормування вмісту та видів неметалевих включень у низьковуглецевій катанці не передбачено жодним документом. Також немає даних про зв'язок допустимої величини та складу неметалевих включень в низьковуглецевій катанці з технологічністю її перероблення на підприємствах, що виготовляють металеві вироби. Проте, численні автори показали вплив неметалевих недеформованих включень на формування мікроструктури zdeформованого металу. Так ще в минулому столітті було показано, що неметалеві включення

практично не впливають на «об'ємні» процеси пластичної деформації та зміцнення, але різноманітно проявляють себе в локальних процесах – у руйнуванні, а також у формуванні зерна і фазового складу сталі [4]. При подальшому деформуванні утворюється характерна волокниста структура сталі. Сульфідні і пластичні силікатні включення під час волочіння катанки з низьковуглецевих сталей витягуються разом з металом і не створюють проблем. Шкідливими є недеформовані оксидні включення, зокрема глиноземисті або типу CaAl , які стають концентраторами напружень і збільшують частоту обривів дроту при волочінні. Достатня кількість робіт показала негативний вплив неметалевих включень, які є в катанці, на якість дроту саме у високовуглецевій сталі [5, 6]. Проте, останніми роками з'явилися дослідження, які показали, що забрудненість неметалевими включеннями безперервнолітої заготовки знижується при підвищенні вмісту вуглецю [7]. Сегрегація в сталі під час протягування низьковуглецевої катанки викликає обриви, які характеризуються осередковим зломом і внутрішніми V-подібними тріщинами [4, 8].

Таким чином, обривання переробної низьковуглецевої катанки при волочінні на дріт безпосередньо залежить не тільки від мікроструктури, якості поверхні та наявності на ній дефектів, але й від вмісту неметалевих включень. Оскільки у вітчизняній нормативній документації не регламентовані вимоги до чистоти катанки з низьковуглецевої сталі за неметалевими включеннями, це не дозволяє попередити обривність при волочінні саме через велику кількість дефектів даного типу. Крім цього, немає відомостей і конкретних вимог до якості вихідних заготовок, що використовуються для виготовлення катанки.

Так, наприклад, під час перероблення низьковуглецевої катанки $\varnothing 6$ мм і волочіння з неї переробного дроту $\varnothing 2,4$ мм спостерігалася підвищена обривність (кожні 3–5 м за швидкості 600 м/хв). Аналіз місць обривів переробного дроту у споживача показав підвищену забрудненість неметалевими включеннями 1–3 балів і точкову пористість. Якість поверхні та мікроструктура, а також хімічний склад та показники механічних властивостей були в межах норми та не відрізнялись від зразків низьковуглецевої катанки, які показали задовільну технологічність.

Зазвичай обривання переробного дроту з розшаруванням є характерним для заготовки, яка має за-

Рис. 1. Зовнішній вигляд дефектів зруйнованої катанки з розшаруванням та включення в тріщині, поперечний переріз, сталь марки SAE 1006

Рис. 2. Структура катанки, що містить неметалеві включення, сталь марки SAE 1006, вихідна заготовка 150x150 мм, поздовжній переріз

бруднення неметалевими включеннями, розташованими саме близько до поверхні [8, 9]. Загальний вид, а також мікроструктуру катанки поблизу розшарування наведено на рис. 1.

Дослідження структури катанки в місцях руйнування в процесі її виготовлення на стані 400/200 показало високий вміст оксидів кальцію і кремнію в тріщині. Неметалеві включення в досліджуваних зразках катанки представлені крихкими силікатами та оксидами. Оскільки склад включень складний, вони поєднують в собі властивості і оксидів, і силікатів. Згідно з ДСТУ 8966:2019 «Сталь. Металографічні методи визначення неметалевих включень» забрудненість неметалевими включеннями можна схарактеризувати наступним чином: силікати – 5 балів, оксиди – 3 бали. Протяжність силікатів сягає 2 мм (рис. 2).

Найбільш доцільною рекомендацією для споживачів може бути нормування рівня та виду неметалевих включень при прийманні продукції (катанки для перетягування на дріт) і встановлення границі забрудненості неметалевими включеннями [10]. Так, відділ техконтролю ЧАО «ПО «Стальканат-Силур» при закупівлі високовуглецевої катанки нормує вміст включень не більше 2 балів. Проте, формулювання подібних вимог, які б стосувались низьковуглецевої катанки, під час написання роботи авторам невідомі.

І якщо з боку споживачів все більш-менш зрозуміло, то необхідним є застерегти виробників катанки від додаткових матеріальних витрат і затрат часу у разі запуску в подальше виробництво катанки з неякісної вихідної заготовки. Якщо йти тим же шляхом і зосередитись на нормуванні неметалевих включень вихідної заготовки, постають наступні проблеми. Наразі чинним на території України є ДСТУ 8966:2019 «Сталь. Металографічні методи визначення неметалевих включень». Згідно з цим стандартом вирізування зразків у литому металі діаметром (товщиною) від 120 мм проводиться на відстані $\frac{1}{2}$ радіуса (чверті товщини) (рис. 3). Це ж правило по відбиранню проб діє і в ГОСТ 1778, і в ASTM E 45.

Також треба зазначити ще один момент. Для підвищення конкурентоздатності катанки з низьковуглецевої сталі постійно проводяться роботи щодо зниження її собівартості або покращення споживчих властивостей. Найбільш поширеним шляхом є змен-

шення розмірів вихідної безперервнолитої заготовки для виготовлення катанки. Проте, попередні дослідження показали [11], що катанка, яка отримана з безперервнолитої заготовки (БЛЗ) перерізом 335x400 мм, попередньо прокатаних на заготівельному стані до перерізу 150x150 мм, має більшу пластичність, і, отже, може бути більш технологічною під час її перероблення у споживача.

Тому для підтвердження або спростування можливості застосування даної методики для визначення забрудненості БЛЗ з низьковуглецевої сталі, яка призначена для виготовлення катанки, були використані темплеті, відібрані від БЛЗ зі сталі марки SAE 1006 саме різного розміру – 335x400 мм (3 плавки) та 150x150 мм (5 плавок). Характер розташування неметалевих включень за перерізом проводили на нетравлених відполірованих зразках, вирізаних з поверхні, $\frac{1}{4}$ товщини та з центральної зони вихідної БЛЗ. Оцінку здійснювали за найбільш забрудненими полями зору.

Рис. 3. Схема вирізування зразка з темплету заготовки згідно з вимогами ДСТУ 8966:2019

Рис. 4. Найбільш забруднені ділянки за перерізом безперервнолитої заготовки 335×400 мм: а – поверхня; б – ¼ товщини від поверхні; в, г – центр; г – максимальне одиничне оксидне включення

Рис. 5. Найбільш забруднені ділянки за перерізом БЛЗ 150×150 мм, сталь марки SAE 1006: а – поверхня; б – ¼ товщини від поверхні; в, г – центр

Аналіз неметалевих включень, які спостерігали в БЛЗ більшого розміру, показав наявність незначної кількості неметалевих включень за перерізом заготовки. У поверхневих шарах БЛЗ перерізом 335×400 мм виявлено дрібні оксидні включення (до 15 мкм), силікати і сульфіді не виявлені. У центральній частині – силікатів недеформованих 2 а і 2 б балів, є поодинокі випадки великих включень до 50 мкм. Мікроструктура катанки по всьому перерізу характеризується незначними оксидними недеформованими включеннями (максимум 1 бал). Мікроструктуру неметалевих включень досліджуваної БЛЗ представлено на рис. 4.

Дещо інший характер має особливість розташування неметалевих включень у БЛЗ меншого перерізу – найбільші включення розташовані в поверхневих

шарах заготовки, у міру наближення до центральних шарів включення зменшуються (рис. 5).

Включення різноманітні і переважно складного складу, складаються зі скла і складних силікатів Fe, Mn, середній бал становить 3–4 (внаслідок наявності особливо великих включень – до 300 мкм, на основній площі шліфа – близько 2 балів). У середній частині заготовки (¼ товщини) неметалеві включення представлені склом, складними силікатами, можливо включення за типом шпінелів на основі Al в деяких глобулах. Максимальний бал 4 (коштом великих включень – понад 30 мкм). У центральній частині заготовки зустрічаються скло і складні силікати, розмір яких не перевищує 10 мкм. Максимальний бал – 3, середній – 2. Мікроструктуру неметалевих включень досліджуваної заготовки представлено на рис. 5.

Неметалеві включення в отриманій з цих заготовок катанці (див. рис. 2) описані вище за текстом.

Таким чином бачимо, що забрудненість неметалевими включеннями БЛЗ різного перерізу, різного рівня якості не можливо оцінити за методикою, яка запропонована вищезгаданою нормативною документацією. Крім цього, як зазначено авторами [12, 13], оцінювання за цією методикою, це, перш за все, оцінювання конкретного темплету, а також не зображує реального розподілу неметалевих включень за їхніми розмірами. Тобто оцінити якість БЛЗ конкретної плавки, а навіть однієї БЛЗ по всій довжині є неможливим.

Іншим способом аналізу і контролю якості БЛЗ, крім нормування рівня хімічного складу, загазованості сталі, що розливають, є дослідження макроструктури.

Як зазначалось, вихідним матеріалом для виготовлення раніше розглянутої зруйнованої катанки та переробного дроту була БЛЗ розміром 150×150 мм. Нині виготовлення катанки з низьковуглецевої сталі відбувається за двома схемами – з БЛЗ великого перерізу з проміжним перекачуванням її на заготовку 150×150 мм та безпосередньо з БЛЗ 150×150 мм. Макроструктуру металу БЛЗ 150×150 мм порівнювали з БЛЗ перерізом 335×400 мм, перекачаних до розміру 150×150 мм. Хімічний склад всіх досліджуваних заготовок відповідає нормам SAE 1006.

Оцінювання проводили відповідно до вимог ТУ У 14-2-1222-98 «Заготовка прямокульна из непрерывнолитой стали» (зі змінами від 2013 р.). Характеристика макроструктури досліджуваних БЛЗ і катаних заготовок 150×150 мм представлені в таблиці.

Якість структури БЛЗ меншого перерізу у порівнянні з більшим помітно вища за показниками «цен-

тральна шпаристість» та «осьові тріщини». Це пояснюється тим, що при зменшенні перерізу БЛЗ швидкість кристалізації вище, і тому дефекти, пов'язані з усадкою, ліквациєю і перерозподілом домішок, будуть меншими. Осьова ліквация вища саме у заготовках більшого розміру, що збігається з аналізом мікроструктури, який показав підвищене скупчення неметалевих включень у центральних ділянках заготовок 335×400 мм.

Можна стверджувати, що якість БЛЗ 150×150 мм за показниками макроструктури практично не поступається катаній заготовці аналогічного перерізу.

Попри те, що макроструктура безперервнолитих заготовок відповідає необхідним вимогам, відмінність структури заготовки меншого перерізу проявляється у вищому балі крайових точкових забруднень. Характер їхнього розподілу відповідає виявленому раніше розподілу неметалевих включень за перерізом заготовки. Крім цього, розміри й кількість включень значно перевершують забрудненість БЛЗ великого перерізу. Ступінь розвитку крайових точкових забруднень визначається розміром і кількістю розташованих у металі неметалевих включень [14, 15]. Найпершим заходом щодо зниження рівня неметалевих включень є захист розливного струменя. Забрудненість неметалевими включеннями малих заготовок може пояснюватися також вищими швидкостями розливання у порівнянні з БЛЗ 335×400 мм, а також підвищеним окисненням сталі [15]. Відомо, що на здатність дефектів до заварювання в процесі виготовлення металопрокату впливає ступінь деформації. Найскладніше відбувається роздрібнення неметалевих включень за перерізом прокату [16], тому має сенс для низькову-

Характеристики макроструктури вихідних БЛЗ і отриманих з них катаних заготовок зі сталі марки SAE 1006

№ п/п	Заготовка та її розміри, мм	Центральна шпаристість	Осьова ліквация	Осьові тріщини	Ліквацийні смуги	Світлий контур	Крайові точкові забруднення
		Вимоги ТУ У 14-2-1222-98, бал не більше ніж					
		3	3	2	2	3	2
1	Кат. 150	1,5	0,5	0,5	0,5	0	0
	БЛЗ 335×400	1,5	1	1	0	0	1
2	Кат. 150	0,5	0,5	0,5	0	0	0
	БЛЗ 335×400	1,5	2	2,5	0,5	0,5	1
3	Кат. 150	1,5	1	0,5	0	0	0
	БЛЗ 335×400	1	1	1	0	0	1
4	БЛЗ 150×150	1,5	0,5	2	1	0	1,5
5	БЛЗ 150×150	2	1	1	1,5	0	1
6	БЛЗ 150×150	1,5	0,5	1,5	1	0	1,5

глицевої сталі для виготовлення катанки нормувати дефекти макроструктури окремо для різного перерізу вихідної БЛЗ (тобто з урахуванням кінцевої витяжки). Що стосується дефекту «крайові точкові забруднення», то норми цього дефекту потрібно встановити не тільки для кожного перерізу, а й взагалі знизити.

Висновки

Оскільки неметалеві включення послужили основною причиною розшарування та обривності низьковуглецевої катанки при виробництві переробного дроту, то є раціональним при виготовленні низьковуглецевої катанки провести роботи щодо підвищення якості та посилення вимог до вихідної БЛЗ, зокрема

за пунктом «крайові точкові забруднення», оскільки аналіз вмісту неметалевих включень на даному етапі є неінформативним.

Споживачам катанки рекомендацією є обов'язкове посилення вхідного контролю, за основу можна взяти приклад фірми Піреллі. Так, розмір деформованих включень у готовій низьковуглецевій катанці нормувати не більше 30 мкм, недеформованих – не більше 15 мкм [9]. Тому в теперішніх умовах є сенс у переробці невеликої кількості катанки з кожної плавки з метою оцінки частоти обривів і визначення їх причини. Якщо частота обривів нижче встановленої норми, приймається рішення про запуск низьковуглецевої катанки у виробництво.

ЛІТЕРАТУРА

1. Ильин А. Нулевая ставка. Почему трейдеры недовольны импортом металлопроката в Украину. НВ Бизнес 03.02.2020. URL: <https://nv.ua/biz/experts/antidemping-metallprokata-pochemu-treydery-protiv-ponizheniya-poshlin-dlya-moldovy-i-belarusi-50067849.html> (дата звернення: 19.05.2020).
2. Савенок А.Н., Куренкова Т.П., Борисовец И.В., Сахарная А.А. Влияние поверхностных дефектов, наследованных с катанки, на качество холоднотянутой проволоки. *Литье и металлургия*. 2012. № 4 (68). С. 35–39.
3. Парусов Э.В., Луценко В.А., Чуйко И.Н., Сагура Л.В., Голубенко Т.Н. О нормировании предельно допустимой глубины дефектов на поверхности стальной заготовки при производстве горячекатаного бунтового проката. *Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури*. 2017. № 1 (226). С. 57–63.
4. Бельченко Г.И., Губенко С.И. Неметаллические включения и качество стали. К.: Техника, 1980. 234 с.
5. Сычков А.Б., Жигарев М.А., Жукова С.Ю., Перчаткин А.В., Перегудов А.В. Совершенствование технологии производства высококачественной катанки. *Литье и металлургия*. 2011. № 4 (63). С. 85–92.
6. Сычков А.Б., Зайцев Г.С., Малашкин С.О., Шекшеев, М.А. Обеспечение металлургического и структурного качества катанке широкого назначения. *Литейные процессы*. 2014. № 13. С. 98–120.
7. Столяров А.М., Бунеева Е.А., Мошкунев В.В., Потапова М.В. Исследование влияния различных факторов на загрязненность непрерывнолитой заготовки неметаллическими включениями. *Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации*. 2018. № 1 (2). С. 52–56.
8. Барышников М.П., Чукин М.В., Бойко А.Б. Исследование поврежденности проволоки в процессе волочения в зависимости от расположения неметаллических включений. *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Металлургия*. 2016. Т. 16. № 1. С. 46–53.
9. Сычков А.Б., Жигарев М.А., Перчаткин А.В., Мазанов С.Н., Зенин В.С. Трансформация дефектов непрерывнолитой заготовки в поверхностные дефекты проката. *Металлург*. 2006. № 2. С. 60–64.
10. Сычков А.Б., Жигарев М.А., Перчаткин А.В., Перегудов А.В., Жукова С.Ю., Гункина О.Г., Верещагина О.Н., Барадинцева Е.П., Грицаенко В.И. Неметаллические включения в высокоуглеродистой стали. *Литье и металлургия*. 2011. № 3 (62 Спецвыпуск). С. 91–99.
11. Левченко Г.В., Воробей С.А., Борисенко А.Ю., Мосьпан В.В., Антонов Ю.Г., Моцный В.В., Мединский Г.А. Качество низкоуглеродистой катанки, произведенной из сортовых и блюмовых непрерывнолитых заготовок. *Металл и литье Украины*. 2017. № 2–3 (285–286). С. 26–33.
12. Гун Г.С., Селиванова Е.С., Полякова М.А. Сравнительный анализ требований стандартов на определение неметаллических включений в стали и сплавах. *Качество в обработке материалов*. 2016. № 2. С. 33–39.
13. Дрозин А.Д., Япарова Н.М., Куркина Е.Ю. Алгоритм математической обработки информации, снимаемой с поверхности микрошлифов при исследовании загрязненности стали неметаллическими включениями. *Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника»*. 2018. Т. 18. № 1. С. 124–132.
14. Ботников С.А. Современный атлас дефектов непрерывнолитой заготовки и причины возникновения прорывов кристаллизующейся корочки металла. Волгоград, 2011. 97 с.
15. Сладкошteeв В.Т., Ахтырский В.И., Потанин Р.В. Качество стали при непрерывной разливке. М.: Металлургиздат, 1963. 174 с.
16. Рудской А.И., Лунев В.А., Щеглова Е.Г. и др. Поведение дефектов макро- и микроструктуры непрерывнолитой заготовки при сортовой прокатке. *Металлообработка*. 2006. № 4 (34). С. 52–54.

REFERENCES

1. Ilin, A. (03.02.2020). Zero rate. Why traders are unhappy with the import of metal distribution to Ukraine. NV Biznes. URL: <https://nv.ua/biz/experts/antidemping-metalloprokata-pochemu-treydery-protiv-ponizheniya-poshlin-dlya-moldovy-i-belarusi-50067849.html> (last accessed: 19.05.2020) [in Russian].
2. Savenok, A.N., Kurenkova, T.P., Borisovets, I.V., Saharnaya, A.A. (2012). Influence of the surface defects inherited from rolled wire on quality of cold drawn wire. *Lit'e i Metallurgiya. Foundry Production and Metallurgy*, no. 4 (68), pp. 35–39 [in Russian].
3. Parusov, E.V., Lutsenko, V.A., Chuiko, I.N., Sahura, L.V., Golubenko, T.N. (2017). About rationing maximum allowable defect depth on the surface of steel billets in production of hot-rolled steel. *Bulletin of Prydniprov's'ka State Academy of Civil Engineering and Architecture*, no. 1 (226), pp. 57–63 [in Russian].
4. Bel'chenko, G.I., Gubenko, S.I. (1980). Non-metallic inclusions and steel quality. Kyiv: Tekhnika, 234 p. [in Russian].
5. Sychkov, A.B., Zhigarev, M.A., Zhukova, S.Yu., Perchatkin, A.V., Peregodov, A.V. (2011). Improvement of production technology of high-quality rolled wire. *Lit'e i Metallurgiya. Foundry Production and Metallurgy*, no. (4), pp. 85–92 [in Russian].
6. Sychkov, A.B., Zaytsev, G.S., Malashkin, S.O., Sheksheev, M.A. (2014). Provision of metallurgical and structural quality general-purpose wire rod. *Litejnye protsessy*, no. 13, pp. 98–120 [in Russian].
7. Stolyarov, A.M., Buneeva, E.A., Moshkunov, V.V., Potapova, M.V. (2018). Study of the Different Factors Influence on Continuously-casted Bar Impurity by Nonmetallic Inclusions. *Ferrous Metallurgy. Bulletin of Scientific, Technical and Economic Information*, no. 1 (2), pp. 52–56 [in Russian].
8. Baryshnikov, M.P., Chukin, M.V., Boyko, A.B. (2016). Effect of distribution of non-metallic inclusions on wire damage in the process of drawing. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Metallurgy*, vol. 16, no. 1, pp. 46–53 [in Russian].
9. Sychkov, A.B., Zhigarev, M.A., Perchatkin, A.V., Mazanov, S.N., Zenin, V.S. (2006). Transformation of Continuous Casting Defects in Surface Defects of rolled Products. *Metallurgist*, no. 2, pp. 60–64 [in Russian].
10. Sychkov, A.B., Zhigarev, M.A., Perchatkin, A.V., Peregodov, A.V., Zhukova, S.Yu., Gunkina, O.G., Vereshchagina, O.N., Baradyntseva, E.P., Gritsaenko, V.I. (2011). Nonmetallic impurities in high-carbon steel foundry production and metallurgy. *Lit'e i Metallurgiya. Foundry Production and Metallurgy*, no. 3 (62), pp. 91–99 [in Russian].
11. Levchenko, G., Vorobey, S., Borisenko, A., Mos'pan, V., Antonov, Yu., Motsnyy, V., Medinskiy, G. (2017). Quality of low-carbon rod produced from billets and bloom continuous castings. *Metal and Casting of Ukraine*, no. 2–3 (285–286), pp. 26–33 [in Russian].
12. Gun, G.S., Selivanova, E.S., Poljakova, M.A. (2016). Comparative analysis of requirements of standards for determination of non-metallic inclusions in steel and alloys. *Kachestvo v obrabotke materialov*, no. 2, pp. 33–39 [in Russian].
13. Drozin, A.D., Yaparova, N.M., Kurkina, E.Yu. (2018). Algorithm of mathematical processing of information obtained from the surface of steel samples at the study of pollution of steel by non-metallic inclusions. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Computer Technologies, Automatic Control, Radio Electronics*, vol. 18, no. 1, pp. 124–132 [in Russian].
14. Botnikov, S.A. (2011). Modern atlas of defects concast billets and causes breakouts of crystallized crust metal. Volgograd, 97 p. [in Russian].
15. Sladkoshteev, V.T., Akhtyrskiy, V.I., Potanin, R.V. (1963). Quality steel in the continuous casting. Moscow: Metallurgiya, 174 p. [in Russian].
16. Rudskoj, A.I., Lunjov, V.A., Shcheglova, E.G. et al. (2006). Behavior of defects in the macro- and microstructure of a continuously cast billet during section rolling. *Metallrobootka. Metalworking*, no. 4 (34), pp. 52–54 [in Russian].

Received 18.05.2021

Summary

T.V. Balakhanova, PhD (Engin.), Senior Researcher,
e-mail: tatja.balakhanova@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-2493-218X>

H.V. Levchenko, Dr. Sci. (Engin.), Professor, Head of the Laboratory,
<https://orcid.org/0000-0003-1173-5320>

Ye.M. Rybalka, Head of the Department, e-mail: tk-4dnepr@i.ua

Iron and Steel Institute of Z.I. Nekrasov of the NAS of Ukraine (Dnipro, Ukraine)

Quality control of continuous cast ingot from low-carbon steel for wire rod production

It was stated that the breakage of processing low-carbon wire rod during wire drawing directly hinges not only on the microstructure, surface quality and the presence of defects on it, but also on the content of non-metallic inclusions. An analysis of the requirements of the relevant regulatory documents for the quality of low-carbon wire rod was carried out. It is shown that there are no regulated requirements for the cleanliness of low-carbon steel wire rod for non-metallic inclusions in the current domestic regulatory documentation, which does not allow to prevent breakage during drawing precisely because of the abundance of defects. The quality of continuous cast ingots of various sizes from low-carbon steel, the presence and nature of macrodefects, the type and morphology of non-metallic inclusions, as well as the transformation of defects in the finished wire rod have been investigated. Recommendations were given to manufacturers and consumers of low-carbon wire rod. It is advisable to recommend standardizing the level and type of non-metallic inclusions when accepting products and establishing the contamination limit with non-metallic inclusions to consumers of low-carbon wire rod for subsequent processing into wire. It is shown that the analysis of the non-metallic inclusions content in the continuous cast ingot intended for the manufacture of low-carbon wire rod is uninformative. Given this, the manufacturers of low-carbon wire rod are recommended to carry out work to improve the quality of the initial continuous cast ingot and to strengthen the requirements for the macrostructure, in particular, on the item "edge point contamination".

Keywords

Low carbon wire rod, non-metallic inclusions, continuous cast ingot, macrostructure.