

**Т. М. Голубенко**<sup>1,\*</sup>, к.т.н., ORCID 0000-0002-3583-211X**В. А. Луценко**<sup>1</sup>, д.т.н., с.н.с., ORCID 0000-0002-4604-5592**О. В. Луценко**<sup>1</sup>, к.т.н., ORCID 0000-0001-8298-5306**Г. І. Сівак**<sup>1</sup>, н.с., ORCID 0000-0001-6948-7732<sup>1</sup> *Інститут чорної металургії ім. З.І. Некрасова НАН України*\* *Автор для листування: [sumer@i.ua](mailto:sumer@i.ua)*

## ПРО ВПЛИВ ЧИСТОТИ НИЗЬКОВУГЛЕЦЕВОЇ СТАЛІ G3Si1 ПРИ ВИРОБНИЦТВІ ТОНКОГО ДРОТУ

**Анотація.** Неметалеві включення відіграють ключову роль у багатьох важливих властивостях сталі, впливаючи на обробку і застосування сталевих виробів. Виробництво сталевих дротів вимагає високої чистоти сталі, оскільки металеві включення можуть негативно впливати на його якість: спричинити дефекти, зниження пластичності та зменшення довговічності виробу. Контроль металевих включень є важливим етапом у виробництві високоякісного сталевих дротів. Для катанки з легованих, зокрема кремнієво-марганцевих сталей типу G3Si1, у нормативній документації не наведено граничної кількості металевих включень, які можуть бути в сталі без впливу на технічні характеристики. Тож метою дослідження було визначення кількості металевих включень для сталі зварювального призначення і їх вплив на технічні характеристики дроту. Проводилось порівняльне дослідження якості двох партій кремнієво-марганцевої сталі G3Si1, яку переробляють у дріт холодним волочінням з діаметру 5,5 мм до 2,0 мм і 0,8 мм. Основні труднощі при виробництві дроту малих діаметрів пов'язані з підвищенням міцності та обривністю металу в процесі волочіння на виробництві. Структура досліджуваної катанки G3Si1 діаметром 5,5 мм складалася з фериту, перліту і бейніто-мартенситних ділянок. Перед волочінням на малий (1,2...0,8 мм) діаметр кремнемарганцеву сталь піддають термічній обробці – відпалу, який знижує міцність завдяки проходженню процесів сфероїдизації. В результаті структура дослідної сталі складається з фериту і зернистого перліту. Обидві партії дроту зі сталі G3Si1, виробництво яких проходило без обривів та з обривами, мають однакову зернисту ферито-перлітну структуру та схожі властивості. Незначне підвищення міцності дроту може бути пов'язане з більшим вмістом марганцю в межах нормативних значень. Дослідження показали, що для сталі G3Si1 наявність перевищення вмісту металевих включень на 0,5...0,8 одиниць індексу у вихідній катанці діаметром 5,5 мм призводить до обривів при подальшому волочінні на дріт. В результаті

© Т. М. Голубенко, В. А. Луценко, О. В. Луценко, Г. І. Сівак, 2026



Ця стаття відкритої доступу за ліцензією CC BY-NC-ND 4.0  
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/legalcode.uk>

деформації кількість рядкових неметалевих включень у дроті малих діаметрів значно зростає. Отже контроль включень у низьковуглецевій сталі G3Si1 є необхідним для забезпечення безперервного виробництва.

**Ключові слова:** низьковуглецева сталь, неметалеві включення, обривність, механічні властивості, структура.

**Посилання для цитування:** Про вплив чистоти низьковуглецевої сталі G3Si1 при виробництві тонкого дроту / Т. М. Голубенко, В. А. Луценко, О. В. Луценко, Г. І. Сівак // *Фундаментальні та прикладні проблеми чорної металургії*. 2026. Вип. 40. С. 44-55. <https://doi.org/10.52150/2522-9117-2026-40-003>

**Вступ.** Сталь марки G3Si1 використовується переважно для виготовлення зварювального дроту для напівавтоматичного або автоматичного зварювання конструкцій із вуглецевих і низьколегованих сталей в будівельній, машинобудівній та автомобільній промисловості, при виробництві резервуарів і трубопроводів. Високий вміст кремнію і марганцю в складі даної сталі підвищує міцність, в'язкість і сприяє доброму формуванню шва під час зварювання. Завдяки гарній зварюваності, високій міцності шва та стійкості до тріщин, сталь G3Si1 є однією з найпопулярніших марок у промислового виробництва.

Основні труднощі при виробництві сталевих дротів малих діаметрів пов'язані з підвищенням міцності (наклепом) та обривністю металу в процесі волочіння на виробництві. Вплив наклепу прибирається проведенням термічної обробки (відпалу). Важливою експлуатаційною характеристикою сталевих дротів при його виробництві є обривність – схильність до руйнування під дією навантажень. Розуміння причин підвищеної обривності дозволяє вчасно виявляти дефекти та запобігати збоєм у виробничих процесах. На підвищення обривності дроту при виробництві впливають багато чинників: неправильний режим термообробки і нерівномірність структури з наявністю міцних бейніто-мартенситних ділянок [1, 2], які знижують пластичність дроту; виробничі дефекти, нерівномірна прокатка або волочіння призводять до внутрішніх напружень; шлакові включення, неметалеві домішки, мікротріщини та пористість ослаблюють структуру металу, створюючи осередки для розвитку руйнування [3].

Неметалеві включення є невід'ємною частиною сталевих виробів і відіграють ключову роль у багатьох важливих властивостях сталі, впливаючи як на обробку, механічні характеристики, так і на застосування сталевих виробів. Неметалеві включення утворюються в процесі виплавки сталі та можуть мати різне походження, включаючи оксидні, сульфідні, нітридні та карбідні сполуки [4]. Виробництво

сталевому дроту вимагає високої чистоти сталі, оскільки неметалеві включення можуть негативно впливати на його властивості: спричиняти дефекти, зниження пластичності та зменшення довговічності виробу. Включення можуть стати концентратором напружень, що призводить до утворення мікротріщин. Висока концентрація включень може ускладнювати прокатування, волочіння та інші необхідні технологічні процеси [5].

Неметалеві включення впливають на багато властивостей сталей, їх механічні й конструкційні характеристики. Деякі властивості неметалевих включень суттєво впливають на поведінку сталей, наприклад, пластичність або твердість. Залежно від температури сталі, деформації та хімічного складу включень їх пластичність змінюється, і ці частинки можуть деформуватися, тріскатися або мати змішану поведінку. Тверді та крихітні включення зазвичай руйнуються і перерозподіляються в сталі при кімнатній температурі і не мають міцного зв'язку з металевою матрицею. У таких випадках поєднання низької міцності з'єднання з матрицею та деформації матриці призводять до утворення порожнеч або роз'єднання [6].

Пластичні включення деформуються при обробці сталі. Це приводить до подовження включень уздовж основних робочих напрямків. Анізотропія форми включення призводить до анізотропії властивостей сталі, яку неможливо усунути подальшою термічною обробкою. Включення, які займають значну частину поперечного перерізу матеріалу під час гарячої або холодної обробки або знаходяться в місцях, де висока деформація обробки, можуть спричинити руйнування [7]. Зменшення кількості неметалевих включень дозволяє покращити механічні властивості, оброблюваність та довговічність кінцевого виробу. Таким чином, важливим є контроль об'ємної частки, розміру та розподілу неметалевих включень по перерізу металу.

Контроль неметалевих включень є важливим етапом у виробництві високоякісного сталевому дроту. Для катанки з легованих, зокрема кремнієво-марганцевих сталей типу G3Si1, у міжнародній нормативній документації не наведено граничні кількості неметалевих включень, які можуть бути в сталі без впливу на технічні характеристики. Тож представляє інтерес визначення впливу кількості неметалевих включень для сталі зварювального призначення на технічні характеристики дроту. Для визначення кількості неметалевих включень в сталі використовуються стандарти ДСТУ 8966:2019 та ISO 4967:2013. Згідно з ISO 16120-4:2017 [8] існують регламенти по вмісту неметалевих включень для нелегованої катанки спеціального призначення типу C8D2 для переробки в дріт. В ISO 16120-4:2017

вказано, що індекси кількості включень для нелегованої катанки, визначені методом найгіршого поля, не мають перевищувати наступні показники, наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Граничні значення індексів для неметалевих включень за ISO 16120-4:2017 для нелегованих сталей

Тип включення	Тонке включення		Товсте включення	
	Найгірше	Середнє значення	Найгірше	Середнє значення
A (сульфіди)	4	2	3	1,5
B (алюмінати)	3	2	2	1,0
C (силкати)	4	2	3	1,5
D (глобулярні оксиди)	3	2	2	1,0
DS (глобулярні)	–	–	2,5	1,0

**Методика дослідження.** Проводилось порівняльне дослідження якості двох партій кремнієво-марганцевої сталі G3Si1, яку переробляють у дріт методом холодного волочіння за схемою 5,5 → 4,75 → 2,0 → 1,2 → 0,8. Для запобігання наклепу й підвищенню рівномірності структури на діаметрі 4,75 мм проводиться пом'якшуюча термічна обробка (сфероїдизуючий відпал). В процесі волочіння другої партії стикалися з підвищеною обривністю дроту на діаметрі 2,0 мм.

Структуру досліджуваного металу й наявність неметалевих включень визначали на повздовжніх шліфах на світловому оптичному мікроскопі «Axiovert 200 M MAT». Визначення механічних властивостей проводили після випробування на розтягування за стандартними методиками.

Хімічний склад досліджуваної низьковуглецевої кремнемарганцевої сталі G3Si1 наведено в таблиці 2, він відповідає вимогам нормативної документації EN ISO 14341. Волочіння партії №1 проходило без ускладнень, а партії №2 – з обривом на діаметрі 2,0 мм.

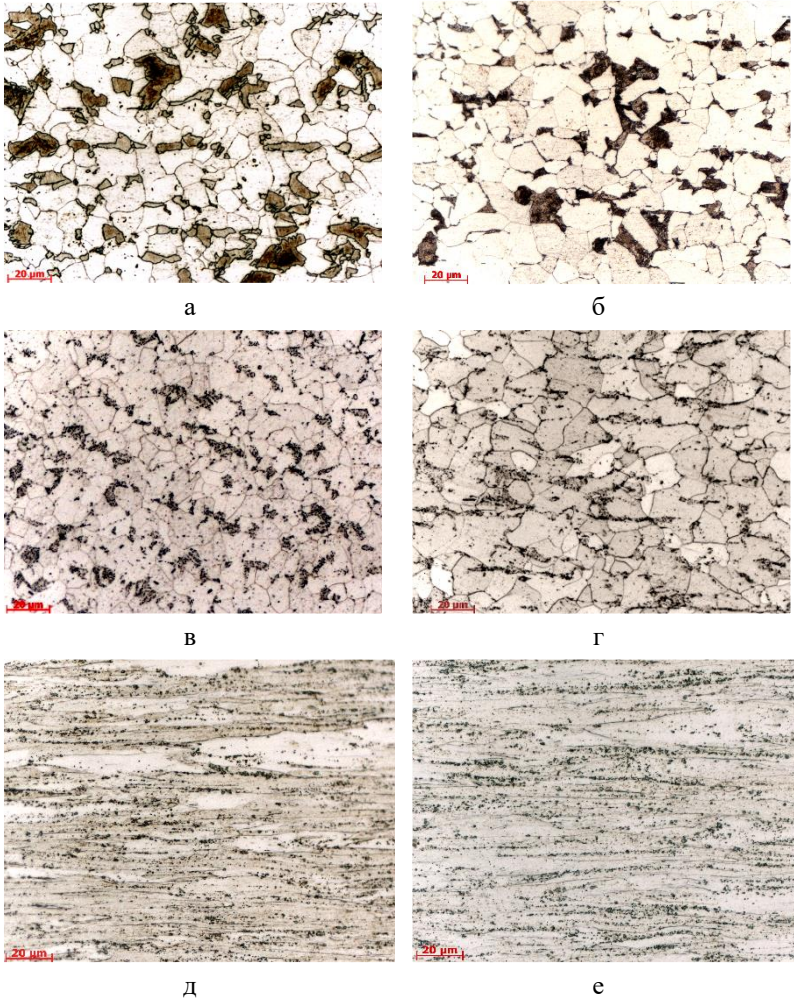
Таблиця 2 – Хімічний склад досліджуваної сталі G3Si1

Номер партії	Вміст хімічних елементів, % мас.						
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Al
1	0,060	0,73	1,43	0,013	0,005	0,03	0,005
2	0,070	0,77	1,60	0,013	0,006	0,04	0,005
Вимоги EN ISO 14341	0,06-0,14	0,7-1,0	1,3-1,6	0,025	0,025	0,15	0,02

### **Вихідні данні та результати дослідження.**

Структура досліджуваної катанки діаметром 5,5 мм зі сталі G3Si1 складалася з фериту, перліту й бейніто-мартенситних ділянок (рис.1, а, б). Перед волочінням на малий (1,2...0,8 мм) діаметр

кремнемарганцеву сталь на діаметрі 4,75 мм піддають термічній обробці – відпалу, який знижує міцність завдяки проходженню процесів сфероїдизації. В результаті структура дослідної сталі складається з фериту й зернистого перліту (рис.1, в-е). Механічні властивості дослідної сталі наведено в таблиці 3.



а, в, д – партія № 1

б, г, е – партія № 2

а, б – 5,5 мм; в, г – 4,75 мм; д, е – 2,0 мм

Рисунок 1 – Структура сталі G3Si1 (x800) різних діаметрів

Незначне підвищення міцності дроту може буди пов'язане з більшим вмістом марганцю в межах нормативних значень. Загалом дріт зі сталі G3Si1 від двох партій має схожу структуру та властивості. Таким чином, можна зробити висновок що підвищення обривності для партії №2 не пов'язане зі структурою, а має вплив інших факторів.

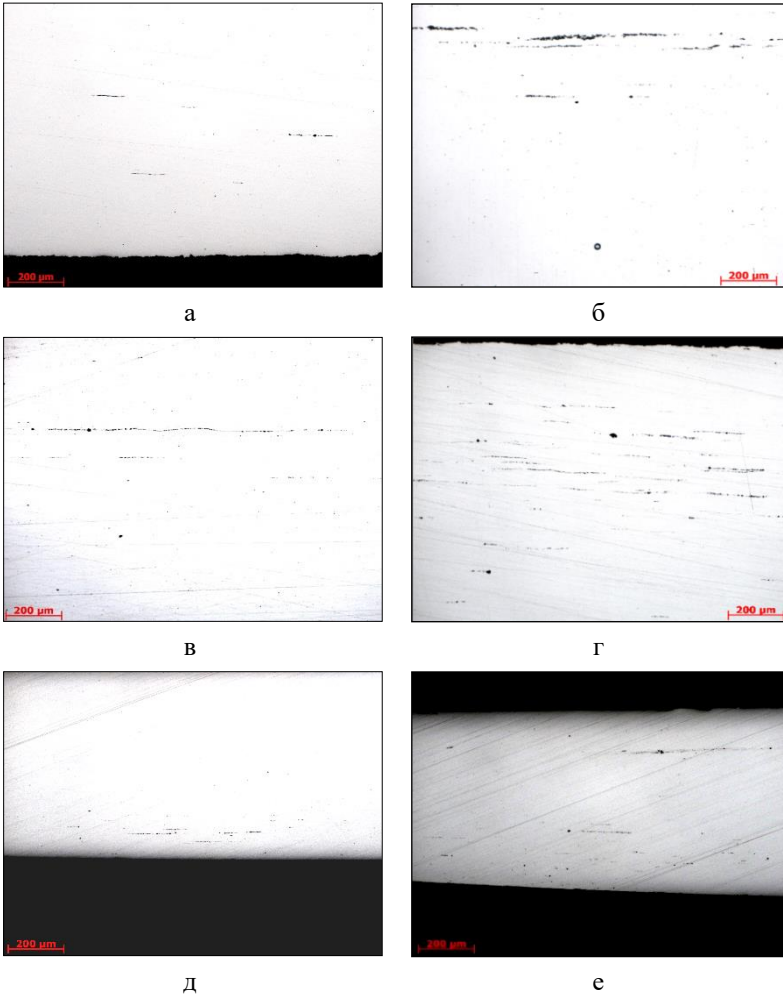
Таблиця 3. Механічні властивості сталі G3Si1

Діаметр, мм	$\sigma_b$ , МПа		$\delta$ , %	
	партія №1	партія №2	партія №1	партія №2
5,5	600	578	-	-
4,75	463	436	34,8	33
2,0	848	828	4,25	5,6
0,8	1165	1234	3,5	4,0

Дослідження кількості неметалевих включень сталі G3Si1 діаметром 5,5 мм (партія №1) за ISO 4967:2013 показали присутність рядкових крихких алюмінатів (тип В) з індексом 2,5 (тонка серія) і 1 (товста серія), пластичних силікатів (тип С) з індексом 1, точкових оксидів (тип D) з індексом 1,5 та сульфідів (тип А) з індексом 0,5 (рис. 2, а). Рядкові й відокремлені точкові включення розташовуються переважно у поверхні катанки. Пластичні сульфідні в процесі волочіння прокату стоншуються та в дроті малих діаметрів (2,0...0,8 мм) не виявляються при стандартних збільшеннях. Крихкі оксидні, алюмінатні й силікатні включення подрібнюються під дією деформації. В результаті після волочіння сталі G3Si1 на діаметр 1,2 мм кількість та розмір неметалевих включень змінилися, зменшився діаметр окремих включень та збільшилася кількість і розмір рядків. Крихкі рядкові включення (тип В) відповідають індексу 2 (рис.2,б), точкові включення (тип D) індексу 1, і силікати (тип С) відповідають індексу 1. В дроті діаметром 0,8 мм сульфідних включень не виявлено, присутні дрібні точкові і рядкові включення з індексами 2 (В), 1,5 (С) і 1 (D) (рис.1, д). Загалом сталь G3Si1, партія № 1, має задовільну чистоту за вмістом неметалевих включень. Наведені результати відповідають нормативним значенням для нелегованих сталей (див.табл.1). Суттєвих ускладнень при виробництві дроту з приведенного металу не було.

При виробництві дроту зі сталі G3Si1 (партія 2) стикалися з обривністю при волочінні з діаметра 2,0 мм на 0,8 мм. Аналіз зразків, отриманих з місць поряд з обривом, показав наявність великої кількості неметалевих включень. Дослідження вихідної катанки діаметром 5,5 мм зі сталі G3Si1 (партія 2) показали присутність включень з індексами: А 0,5, В 3,5<sub>тонке</sub>, В 2<sub>товсте</sub>, С 1,5, D 1,5, DS 1,5 (рис.2, б, табл.4). Рядкові

включення розташовуються уздовж напрямку прокатки, наближено до поверхні зразка.



а, в, д – партія № 1

б, г, е – партія № 2

а, б – 5,5 мм; в, г – 4,75 мм; д, е – 2,0 мм

Рисунок 2 – Неметалеві включення в сталі G3Si1 різного діаметру

Після холодного волочіння на діаметр 2,0 мм в результаті деформації кількість неметалевих включень змінилася, сульфіди

стоншилися і при стандартних збільшеннях не виявляються, крихіткі та широкі окремі вклучення роздірилися на довгі рядки, в результаті щільність вклучень збільшилася, а індекси змінилися на: А 0, В 4,5<sub>тонке</sub>, В 0,5<sub>товсте</sub>, С 1, D 1, DS 1 (рис.2, г). Рядкові вклучення тонкі, однак розповсюджені по всій поверхні шліфа й складаються з безлічі дрібних часток зруйнованих вклучень. Для діаметру дроту 0,8 мм вміст неметалевих вклучень відповідає наступним індексам: А 0, В 3,5<sub>тонке</sub>, В 0,5<sub>товсте</sub>, С 1,5, D 1, DS 1 (рис.2, е).

Результати досліджень із оцінки загальної забрудненості кремнемарганцевої сталі G3Si1 неметалевими вклученнями представлені у зведеній таблиці 4.

Таблиця 4. Оцінка забруднення сталей неметалевими вклученнями

Тип	Тонке вклучення				Товсте вклучення			
	Партія №1*		Партія №2**		Партія №1*		Партія №2**	
	Найгірше	Середнє	Найгірше	Середнє	Найгірше	Середнє	Найгірше	Середнє
діаметр 5,5 мм								
А	0,5	0,5	0,5	0,5	0	0	0	0
В	2,5	1,25	<b>3,5</b>	1,7	1	0,75	2	<b>1,8</b>
С	1	0,75	1,5	1	0	0	0	0
Д	1,5	1	1,5	1	0	0	0	0
DS	-	-	-	-	0	0	1,5	1
діаметр 2,0 мм								
А	0	0	0	0	0	0	0	0
В	2,5	2	<b>4,5</b>	<b>2,8</b>	0	0	1,5	1,3
С	1	1	1	1	0	0	0	0
Д	1	0,75	1	0,8	0	0	0	0
DS	-	-	-	-	0	0	1	1
діаметр 0,8 мм								
А	0	0	0	0	0	0	0	0
В	2	1,2	<b>3,5</b>	<b>2,4</b>	0	0	0,5	0,5
С	1,5	1,25	1,5	1,1	0	0	0	0
Д	1	1	1	1	0	0	0	0
DS	-	-	-	-	0	0	1	0,5

\* – переробка металу з діаметру 2,0 на 0,8 мм проходила без обривів.

\*\* – переробка металу з діаметру 2,0 на 0,8 мм проходила з обривами.

Для партії № 2, виробництво якої проходило з обривами, спостерігається підвищена кількість неметалевих вклучень типу В, яка перевищує нормовані значення, наведені в ISO 16120-4:2017 для нелегованих сталей.

Для діаметру 5,5 мм тонкі рядкові включення типу В мають індекс 3,5 при межі 3, товсті включення мають середнє значення 1,8 при межі 1. Для діаметру 2,0 мм тонкі включення типу В мають індекс 4,5 при межі 3 і середнє значення 2,8 при межі 2. Для діаметру 0,8 мм тонкі включення В мають індекс 3,5 при межі 3 і середнє значення 2,4 при межі 2.

Дослідження показали, що для сталі G3Si1 наявність перевищення вмісту неметалевих включень на 0,5...0,8 значень індексу у вихідній кремнемарганцевій катанці діаметром 5,5 мм призводить до обривів при подальшому волочінні на дрiт. В результаті деформації вміст неметалевих включень у дроті малих діаметрів має значне перевищення нормативних граничних значень, наведених в ISO 16120-4:2017 для нелегованих сталей.

Отже, забезпечення низького вмісту неметалевих включень (менше індексу 3 для тонких і індексу 2 для товстих включень) в прокаті діаметром 5,5 мм з низьковуглецевої кремнемарганцевої сталі G3Si1 підвищує технологічність переробки у дрiт та попереджує обрив металу на етапі волочіння на малий діаметр (1,2...0,8 мм).

### **Висновки**

В роботі розглянуто низку причин, пов'язаних із підвищенням обривності при виробництві дроту з низьковуглецевої сталі G3Si1. Основними причинами є нерівномірність структури з наявністю бейніто-мартенситних ділянок та неметалеві включення, які створюють осередки для розвитку руйнування.

Визначено, що проведення термічної обробки (відпалу) дозволяє уникнути обривності дроту через нерівномірність структури. Обидві партії дроту зі сталі G3Si1, виробництво яких проходило без обривів та з обривами, мають однакову зернисту ферито-перлітну структуру та схожі властивості.

Дослідження показали, що для сталі G3Si1 наявність перевищення вмісту неметалевих включень на 0,5...0,8 одиниць індексу у вихідній катанці діаметром 5,5 мм призводить до обривів при подальшому волочінні на дрiт. В результаті деформації кількість рядкових неметалевих включень у дроті малих діаметрів значно зростає. Отже, контроль включень в низьковуглецевій сталі G3Si1 є необхідним. Забезпечення низького вмісту неметалевих включень (менше індексу 3 для тонких і індексу 2 для товстих включень) в прокаті діаметром 5,5 мм з низьковуглецевої кремнемарганцевої сталі G3Si1 підвищує технологічність переробки у дрiт та попереджує обривність металу на етапі волочіння на малий діаметр.

**Перелік посилань**

1. Парусов Е. В., Сичков О. Б., Чуйко І. М., Сагура Л. В., Сивак А. І., Голубенко Т. М. Вплив хімічного складу сталі на утворення бейніто-мартенситних ділянок в структурі бунтового прокату зварювального призначення. *Вісник Українського матеріалознавчого товариства ім. І. М. Францевича*. 2017. № 10. С.60-66.
2. Asati B., Shajan N., Arora K. S. Development of high strength welding consumable for arc welding carbon steels. *Materials Today: Proceedings*. 2023. <http://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.07.007>
3. Das S., Talukdar S., Kumar A., Mukhopadhyay G. Metallurgical investigation of welding wire rod grade during processing. *Engineering Failure Analysis*. 2020. Vol. 118. 104884. <http://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2020.104884>
4. Wang Y., Karasev A., Park J.H., Jönsson P.G. Non-metallic Inclusions in Different Ferroalloys and Their Effect on the Steel Quality: A Review. *Metallurgical and Materials Transactions B*. 2021. Vol. 52. 2892–2925. <https://doi.org/10.1007/s11663-021-02259-7>
5. Lipiński T. Analysis of the Distribution of Non-Metallic Inclusions and Its Impact on the Fatigue Strength Parameters of Carbon Steel Melted in an Electric Furnace. *Materials*. 2024. 17 (24). 6151. <https://doi.org/10.3390/ma17246151>
6. Vasconcellos A. L. da Costa e Silva. The effects of non-metallic inclusions on properties relevant to the performance of steel in structural and mechanical applications. *Journal of Materials Research and Technology*. Vol. 8, Iss. 2, 2019, P. 2408-2422. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2019.01.009>
7. Vasconcellos A. L. da Costa e Silva. Non-metallic inclusions in steels – origin and control. *Journal of Materials Research and Technology*. Vol. 7, Iss. 3, 2018, P. 283-299. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2018.04.003>
8. ISO 16120-4:2017. Non-alloy steel wire rod for conversion to wire —Part 4: Specific requirements for wire rod for special applications. International standard. 2017, Published in Switzerland 11p.

**References**

1. Parusov, E. V., Sychkov, O. B., Chuyko, I. M., Sahura, L. V., Syvak, A. I., & Holubenko, T. M. (2017). Vplyv khimichnogo skladu stali na utvorennya beynito-martensytnykh dilyanok v strukturi buntovoho prokату zvaryuval'noho pryznachennya [The influence of the chemical composition of steel on the formation of bainite-martensitic areas in the structure of rolled steel for welding purposes]. *Bulletin of the ukrainian material science society of i.m. frantsevich*, 10, 60-66.
2. Asati, B., Shajan, N., & Arora, K. S. (2023). Development of high strength welding consumable for arc welding carbon steels. *Materials Today: Proceedings*. <http://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.07.007>
3. Das, S., Talukdar, S., Kumar, A., & Mukhopadhyay, G. (2020). Metallurgical investigation of welding wire rod grade during processing. *Engineering Failure Analysis*, 118, 104884. <http://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2020.104884>
4. Wang, Y., Karasev, A., Park, J. H., & Jönsson, P. G. (2021). Non-metallic Inclusions in Different Ferroalloys and Their Effect on the Steel Quality: A Review. *Metallurgical and Materials Transactions B*, 52, 2892–2925 <https://doi.org/10.1007/s11663-021-02259-7>

5. Lipiński, T. (2024). Analysis of the Distribution of Non-Metallic Inclusions and Its Impact on the Fatigue Strength Parameters of Carbon Steel Melted in an Electric Furnace. *Materials*. 17(24), 6151 <https://doi.org/10.3390/ma17246151>

6. Vasconcellos A. L. da Costa e Silva. (2019). The effects of non-metallic inclusions on properties relevant to the performance of steel in structural and mechanical applications. *Journal of Materials Research and Technology*. 8(2), 2408-2422 <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2019.01.009>

7. Vasconcellos A. L. da Costa e Silva. (2018). Non-metallic inclusions in steels – origin and control. *Journal of Materials Research and Technology*. 7 (3), 283-299 <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2018.04.003>

8. ISO 16120-4:2017. Non-alloy steel wire rod for conversion to wire – Part 4: Specific requirements for wire rod for special applications. International standard, Switzerland, 11.

**T. M. Golubenko**<sup>1,\*</sup>, Ph. D. (Tech.), ORCID 0000-0002-3583-211X

**V. A. Lutsenko**<sup>1</sup>, D. Sc. (Tech.), Senior Researcher, ORCID 0000-0002-4604-5592

**O. V. Lutsenko**<sup>1</sup>, Ph. D. (Tech.), ORCID 0000-0001-8298-5306

**G. I. Sivak**<sup>1</sup>, Researcher, ORCID 0000-0001-6948-7732

<sup>1</sup> *Iron and steel institute of Z.I. Nekrasov of National academy of science of Ukraine*

\* *Corresponding author: sumer@i.ua*

### **ABOUT INFLUENCE OF THE CLEANLINESS OF THE LOW-CARBON STEEL G3Si1 DURING PRODUCTION OF THE THIN WIRE**

**Abstract.** Non-metallic inclusions play a key role in many important properties of steel, affecting the processing and application of steel products. The production of steel wire requires high purity of steel, since non-metallic inclusions can negatively affect its quality: cause defects, reduce plasticity and reduce the durability of the product. Control of non-metallic inclusions is an important stage in the production of high-quality steel wire. For rod made of alloyed, in particular silicon-manganese steels of the G3Si1 type, the regulatory documentation does not specify the maximum number of non-metallic inclusions that can be in the steel without affecting the technical characteristics. Therefore, the purpose of the study was to determine the number of non-metallic inclusions for steel for welding purposes and their effect on the technical characteristics of the wire. A comparative study of the quality of two batches of silicon-manganese steel G3Si1, which is processed into wire by cold drawing from a diameter of 5.5 mm to 2.0 mm and 0.8 mm, was carried out. The main difficulties in the production of small-diameter wire are associated with increasing the strength and brittleness of the metal during the drawing process in production. The structure of the studied G3Si1 wire rod with a diameter of 5.5 mm consisted of ferrite, pearlite and bainite-martensitic areas. Before drawing to a small (1.2...0.8 mm) diameter, the silicon-manganese steel is subjected to heat treatment - annealing, which reduces the strength due to the passage of spheroidization processes. As a result, the structure of the experimental steel consists of ferrite and granular pearlite. Both batches of wire from G3Si1 steel, produced without breaks and with breaks, have the

same granular ferrite-pearlite structure and similar properties. A slight increase in the strength of the wire may be due to a higher manganese content within the regulatory values. Studies have shown that for G3Si1 steel, the presence of an excess of non-metallic inclusions by 0.5...0.8 index units in the initial rod with a diameter of 5.5 mm leads to breaks during further drawing into wire. As a result of deformation, the number of linear non-metallic inclusions in small-diameter wire increases significantly. Therefore, control of inclusions in low-carbon G3Si1 steel is necessary to ensure continuous production.

**Keywords:** low-carbon steel, non-metallic inclusions, breakability, mechanical properties, structure.

**For citation:** Golubenko, T. M., Lutsenko, V. A., Lutsenko, O. V., & Sivak, G. I. (2026). About influence of the cleanliness of the low-carbon steel G3Si1 during production of the thin wire. *Fundamental and applied problems of ferrous metallurgy*, 40, 44-55. <https://doi.org/10.52150/2522-9117-2026-40-003>

*Рукопис надійшов до редакції / Received 06.11.2025*

*Рекомендовано до друку / Accepted 28.05.2026*

*Опубліковано / Published 30.05.2026*