

## МЕХАНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ СТАЛЕЙ G3Si1 ТА Св-08Г2

<sup>1</sup>Вінницький національний технічний університет;

<sup>2</sup>ПАТ «ПлазмаТек», Вінниця

*Сформовано технологічний паспорт сталей G3Si1 і Св-08Г2С в стані поставки, який дає достатню для технолога уяву про поведінку матеріалу в пластичній області, що дозволить спроектувати безвідмовний процес волочіння дроту та виготовити якісну продукцію. Під час розробки технологічного паспорта сталей G3Si1 та Св-08Г2С досліджено зразки, які виготовлялись з одного мотка відповідної бухти катанки, що дозволило мінімізувати вплив випадкових факторів на складові карти матеріалу.*

*Криві течії є необхідними для розрахунку енергосилових параметрів, визначення напруження волочіння, а також моделювання процесу волочіння методом скінчених елементів (МСЕ) та суттєво залежать від партій поставки і виробника. Діаграми пластичності є надзвичайно важливою функцією для оцінювання можливості формозмінювання без руйнування за феноменологічними критеріями деформованості, причому пластичність сталі G3Si1 значно вища, ніж Св-08Г2С (це підтверджується виробничим досвідом), тому її можна рекомендувати до використання без проміжних відпалів. Так як процес волочіння має ознаки немонотонного (матеріал в осередку деформації із зони стиску переходить в зону розтягу) в результаті цього спостерігається ефект Баушингера. Коефіцієнт Баушингера в зоні розвинених деформацій досліджених матеріалів склав 0,14...0,16, що вказує на високу чутливість досліджених сталей до формаційної анізотропії. Цей факт треба враховувати, зокрема під час моделювання волочіння МСЕ. Оцінювання технологічної спадковості для процесу волочіння може бути здійснене за твердістю дроту після технологічної переробки. Побудований у роботі градувальний графік «твердість (HV)–напруження ( $\sigma_t$ )–деформації ( $\epsilon_t$ )» дає змогу оцінити твердість дроту після його волочіння, що є важливим для прогнозування якості продукції.*

**Ключові слова:** технологічний паспорт, діаграма пластичності, криві течії, показник напруженого стану, твердість, волочіння.

### Вступ

Напівавтоматичне та автоматичне зварювання в середовищі захисних газів з використанням як присадкового матеріалу дроту марок G3Si1 та Св-08Г2С набуває все більшого використання у виробництві сталевих конструкцій. Саме тому зростає споживання дроту на ринку зварювальних матеріалів. Виготовлювачі зварювального дроту беруть це до уваги і значно розширюють виробничі потужності своїх підприємств.

Основним процесом виробництва дроту марок G3Si1 та Св-08Г2С є процес волочіння з катанки діаметром 6,5 або 5,5 мм до необхідного діаметра 1,6, 1,2, 1,0 або 0,8 мм. Досить часто виготовити дріт без операції проміжного відпалу з необхідними характеристиками є неможливим. Тому раціональне проектування технологічного процесу волочіння дроту без операції проміжного відпалу є актуальним питанням, вирішення якого дозволить значно скоротити цикл виробництва та збільшити продуктивність. Так, постає необхідність у максимальному використанні пластичності матеріалів G3Si1 та Св-08Г2С з метою розробки раціональної технології виробництва дроту вказаних марок. Для забезпечення безвідмовності процесу волочіння та виготовлення зварювального дроту належної якості необхідно здійснити відповідні розрахунки, що неможливо без відомостей про технологічний паспорт (карту) матеріалу зазначених видів катанки [1]. Технологічний паспорт є сукупністю даних про механічні властивості матеріалу у вигляді констант, функцій, функціоналів, які використовуються для моделювання, розрахунків технологічного процесу обробки тиском, а також прогнозування технологічної спадковості. Детально про технологічний паспорт (карту) для різних матеріалів і методику його створення описано у роботах [2], [3]. Для процесу волочіння

дроту з маловуглецевих сталей до карти матеріалу включено такі функції: криву течії, стандартні механічні характеристики, діаграму пластичності, криву Баушингера та градувальний графік «твердість–напруження–деформації». Зауважимо, що в такій постановці інформація про технологічний паспорт матеріалів G3Si1 та Св-08Г2С практично відсутня, крім кривих течії, які детально досліджено у роботі [4].

Метою роботи є формування технологічного паспорта сталей G3Si1 та Св-08Г2С в стані поставки.

### Результати дослідження

Під час розробки паспорта матеріалу певної марки відомості необхідно подавати для однієї плавки, для мінімізації впливу випадкових факторів на складові карти. Тому далі досліджувались зразки сталей G3Si1 та Св-08Г2С, які виготовлялись з одного мотка кожної бухти катанки, відповідно.

Оскільки, як показано в роботі [4], криві течії суттєво залежать від партій поставки і виробника, то насамперед була вивчена ця складова карти вищезазначених сталей. Для побудови кривих течій зварювальної катанки використано метод випробування на розтяг, оскільки методи випробування на стиск та кручення є незручними через малий діаметр вхідної катанки та потребують використання нестандартних зразків та випробувального обладнання. Для випробування на розтяг використовувались зразки з робочою довжиною 200 мм та діаметром 5,5 мм.

У табл. 1 подано стандартні механічні властивості матеріалів G3Si1 та Св-08Г2С:  $\sigma_{вр}$  — границя міцності, МПа;  $\sigma_T$  — границя текучості, МПа;  $\Delta l$  — відносне видовження, %;  $\psi$  — відносне звуження, %.

Таблиця 1

Механічні властивості матеріалів та значення коефіцієнтів апроксимації

Марка матеріалу	Механічні властивості				Значення коефіцієнтів апроксимації		
	$\sigma_{вр}$ , МПа	$\sigma_T$ , МПа	$\Delta l$ , %	$\psi$ , %	$A$ , МПа	$n$	$R_{adj}^2$
G3Si1	529	350	33	72	858±23	0,188±0,011	0,974
Св-08Г2С	553	392	30	65	1081±6	0,213±0,002	0,999

Побудову кривих течій матеріалів G3Si1 та Св-08Г2С здійснено за методикою роботи [6]. Апроксимацію кривих течій подамо у вигляді степеневі функції П. Людвіга [5]

$$\sigma_i = Ae_i^n, \quad (1)$$

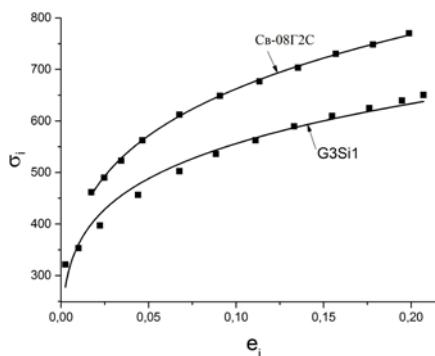


Рис. 1. Криві течії, апроксимовані за (1) показані суцільною лінією ( $\sigma_i$  вимірюється в МПа)

де  $n$  — показник деформаційного зміцнення;  $A$  — модуль (коефіцієнт) зміцнення. Графіки функцій показані на рис. 1. Значення коефіцієнтів апроксимації, та скорегованого коефіцієнта детермінації  $R_{adj}^2$  подано в табл. 1.

Як свідчать дані табл. 1, значення коефіцієнта  $A = 858$  МПа для матеріалу G3Si1 та 1081 МПа для Св-08Г2С. Коефіцієнт зміцнення  $n$  при цьому становить для матеріалів G3Si1 та Св-08Г2С 0,188 та 0,213, відповідно. Варто відмітити те, що в процесі волочіння дроту марки G3Si1 спостерігається значно менше обривів, чим під час виробництва дроту Св-08Г2С. Відносне звуження для G3Si1 складає 72 %, а для Св-08Г2С — 65 %.

Під діаграмою пластичності розуміють залежність пластичності матеріалу від показників напруженого стану. Загальноприйнятим є показник напруженого стану В. А. Бабичкова [3]

$$\eta = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{\sigma_i}. \quad (2)$$

Для побудови діаграми пластичності та її подальшої апроксимації проведено такі види випробувань:

– випробування на розтяг, яке проводилось на розривній машині P5M, де використовувались зразки кожної марки матеріалу діаметром 6,5 мм і робочою довжиною 200 мм;

– випробування на стиск, яке проводилось на гідравлічному пресі ПММ-125, де використовувались зразки діаметром 6,5 мм і висотою 12 мм. Дослід проводили з використанням мідної фольги з метою зменшення тертя та забезпеченням відсутності бочкоутворення;

– випробування на кручення проводилось на машині МК-50, де використовувались зразки діаметром 6,5 мм і довжиною 250 мм.

На рис. 2 наведено фото зразків, які використовувались у випробуваннях для побудови діаграми пластичності.

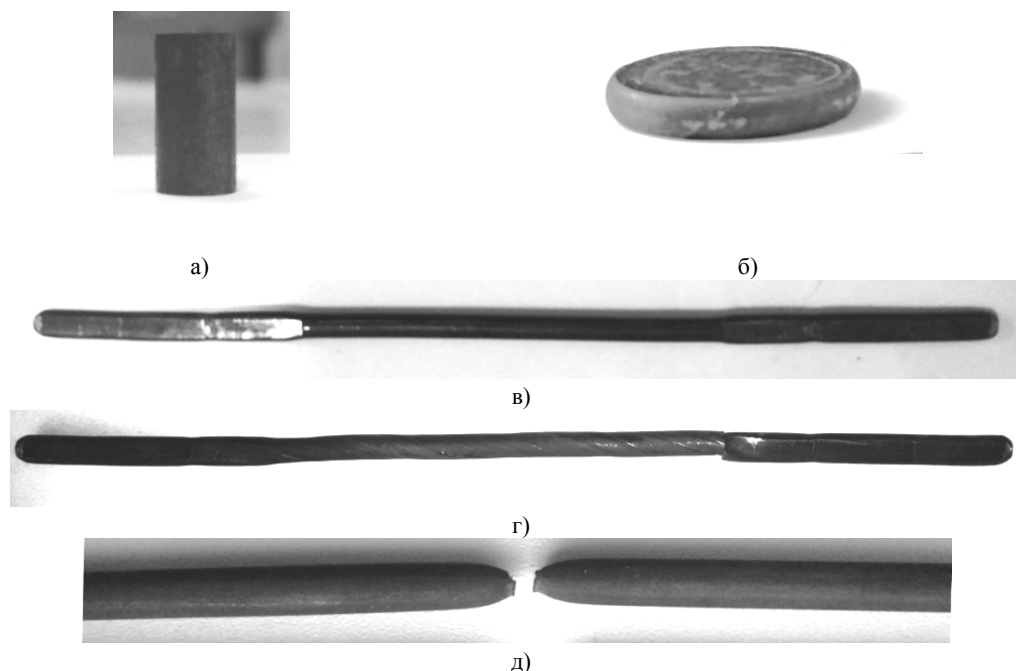


Рис. 2. Фото зразків до та після випробувань: а — на стиск; б — після стиску; в — на кручення; г — після кручення; д — після розтягу

За результатами випробувань виміряні необхідні величини для розрахунку граничних деформацій, які розраховувались за формулами [3].

При розтягу (показник напруженого стану  $\eta = 1$ )

$$e_p(\eta = 1) = \ln \frac{l}{l_0}, \quad (3)$$

де  $l_0$  та  $l$  — робоча довжина зразка до та після випробування, відповідно.

При стиску (показник напруженого стану  $\eta = -1$ )

$$e_p(\eta = -1) = \ln \frac{h_0}{h}, \quad (4)$$

де  $h_0$  та  $h$  — висота зразка до та після випробування, відповідно.

При крученні (показник напруженого стану  $\eta = 0$ )

$$e_p(\eta = 0) = \frac{\operatorname{tg} \gamma}{\sqrt{3}}, \quad (5)$$

де  $\gamma$  — кут між віссю зразка та лінією, що проведена до випробування, паралельно до вісі зразка.

З використанням результатів випробувань та вищенаведеними формулами розраховано необхідні дані (табл. 2) для побудови діаграми пластичності.

Таблиця 2

Значення експериментальних даних для побудови діаграми пластичності

Марка матеріалу	Значення граничних деформацій			Коефіцієнти чутливості	
	$e_p(\eta = -1)$	$e_p(\eta = 0)$	$e_p(\eta = 1)$	$\lambda_1$	$\lambda_2$
G3Si1	2,102	0,425	0,27	0,454	1,599
Св-08Г2С	1,696	0,27	0,254	0,061	1,838

Діаграму пластичності матеріалів G3Si1 та Св-08Г2С в області зміни показника напруженого стану  $-3 \leq \eta \leq 0$  апроксимовано за Г. Д. Делем [6]

$$e_p = \frac{e_{p-1} e_{p0} \exp(-\eta)}{e_{p-1} + \eta [e_{p-1} - 2,72 e_{p0}]}, \quad (6)$$

де  $e_{p-1}$  — пластичність металу за одноосьового стиску;  $e_{p0}$  — пластичність металу за кручення.

Для матеріалу G3Si1 функція (6) набуде вигляду

$$e_p = \frac{0,893 \exp(-\eta)}{2,102 + 0,946\eta}.$$

Для матеріалу Св-08Г2С функція (6) набуде вигляду

$$e_p = \frac{0,458 \exp(-\eta)}{1,696 + 0,962\eta}.$$

Апроксимація за [3]

$$e_p = e_{p0} \exp(-\lambda_{1,2}\eta), \quad (7)$$

де  $\lambda_{1,2}$  — чутливість пластичності металу до зміни схеми напруженого стану ( $\lambda_1$ , якщо  $0 \leq \eta \leq 1$  і  $\lambda_2$ , якщо  $-1 \leq \eta \leq 0$ ).

Коефіцієнти чутливості розраховано за такими формулами [3]:

$$\lambda_1 = \ln \frac{e_p(\eta=0)}{e_p(\eta=1)}; \quad (8)$$

$$\lambda_2 = \ln \frac{e_p(\eta=-1)}{e_p(\eta=0)}. \quad (9)$$

Отримані параметри наведені у табл. 2.

Показник напруженого стану при розтягу за формулою П. Бріджмена розраховано за формулою [7]

$$\eta = 1 + 3 \cdot \ln \left( 1 + \frac{d}{4R} \right), \quad (10)$$

де  $d$  — діаметр поперечного перерізу зразка по шийці,  $R$  — радіус кривизни меридіонального перерізу шийки зразка.

Граничну деформацію при цьому розраховано за зміни діаметра до та після випробувань

$$e_p(\eta=1) = 2 \ln \frac{d_0}{d}, \quad (11)$$

де  $d_0$  та  $d$  — початковий діаметр зразка та діаметр поперечного перерізу зразка по шийці, відповідно.

Значення необхідних експериментальних даних, які потрібні для розрахунку за (10) та (11) наведено у табл. 3.

Таблиця 3

Значення експериментальних даних для розрахунку показника напруженого стану за Бріджменом

Марка матеріалу	Початковий діаметр зразка, $d_0$ мм	Діаметр поперечного перерізу зразка по шийці $d$ , мм	Радіус кривизни шийки, $R$ , мм	Гранична деформація, $e_p$	Показник напруженого стану $\eta$
G3Si1	6,5	2,84	1,04	1,657	2,558
Св-08Г2С	6,5	3,89	2,885	1,055	1,861

Побудовані діаграми пластичності матеріалів G3Si1 та Св-08Г2С та відповідні апроксимації показано на рис. 3.

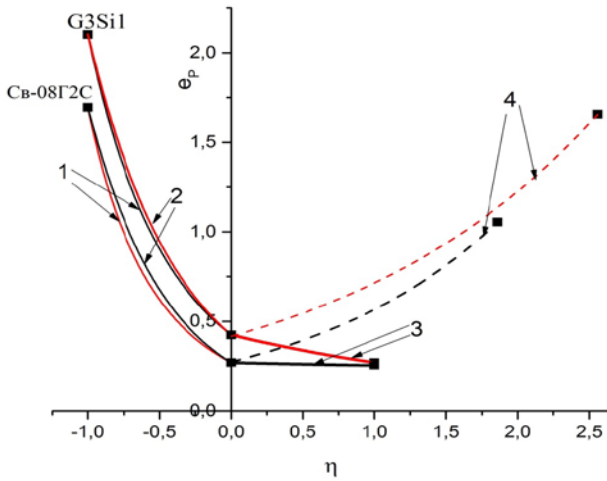


Рис. 3 Діаграми пластичності матеріалів G3Si1 та Sv-08Г2С: 1 — апроксимація за (6), 2, 3 — за (7) та 4 — за (10)

60...76 % (45 % для зразків, які потребували операцію проміжного відпалу). Так, під час переробки катанки Sv-08Г2С з відносним звуженням 60 % в процесі волочіння спостерігались обриви дроту, що значно ускладнювало процес виробництва та спричиняло зменшення продуктивності праці через простої обладнання.

Виробничий досвід підтверджує те, що проміжний відпал у виробництві дроту зі зварювальної катанки марки G3Si1 використовують набагато рідше, ніж при використанні катанки Sv-08Г2С.

Відомо, що процес волочіння має ознаки немонотонного — матеріал в осередку деформації із зони стиску переходить в зону розтягу. В результаті цього в металі спостерігається ефект Баушингера, що полягає в зменшенні напруження текучості, за зміни знака деформації [8]. Для врахування анізотропного зміцнення розглядають таку характеристику матеріалу, як криву Баушингера в координатах  $\beta = f(e_i)$ , де  $\beta = \frac{\sigma_i''}{\sigma_i'}$  — відношення границі текучості на стиск після розтягу до інтенсивності напружень  $e_i$  [3].

Для побудови кривої Баушингера проведені випробування матеріалів марок G3Si1 та Sv-08Г2С на розтяг, де зразки катанки розтягували до різних значень  $e_i$  і розвантажували. Далі вирізали зразки на стиск таким чином, щоб стиск проходив в напрямку, протилежному розтягу.

Для практичного використання в теоретичних розрахунках моделювання із застосуванням сучасних програм МСЕ криву Баушингера апроксимуємо степеневою функцією [8]

$$\beta(e_i) = \beta_0 + (1 - \beta_0) \cdot \exp[-k \cdot e_i^2], \quad (12)$$

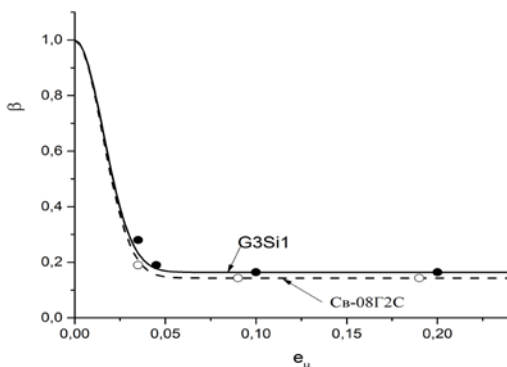


Рис. 4. Графік залежності коефіцієнта Баушингера від попередньої пластичної деформації

напружено-деформованого стану заготовки у разі її деформування [1]—[3], [8].

Для побудови градуовального графіка «твердість-напруження-деформації» для матеріалу G3Si1 проведено вимірювання твердості за Віккерсом катанки у 5 точках, напівфабрикату

Як впливає з рис. 3, пластичність матеріалів G3Si1 та Sv-08Г2С добре описується функціями (6) та (7) у від'ємній області показника напруженого стану  $\eta$ . У додатній зоні показника  $\eta$  в розрахунку за формулою Бріджмена при розтягу спостерігається суттєве збільшення пластичності від  $\eta$ . Тобто функція, що описує пластичність за таких значень є немонотонною, що в свою чергу спричиняє невизначеність при апроксимації виразами (5), (6).

Діаграма пластичності матеріалу G3Si1 свідчить про те, що катанка має значно кращу здатність до переробки, ніж матеріал Sv-08Г2С. На основі даних табл. 1 варто відмітити таке: відносне звуження після розриву для катанки G3Si1 72...74 % (63...65 % для зразків, які потім проходили операцію відпалу) та для Sv-08Г2С

60...76 % (45 % для зразків, які потребували операцію проміжного відпалу). Так, під час переробки катанки Sv-08Г2С з відносним звуженням 60 % в процесі волочіння спостерігались обриви дроту, що значно ускладнювало процес виробництва та спричиняло зменшення продуктивності праці через простої обладнання.

Виробничий досвід підтверджує те, що проміжний відпал у виробництві дроту зі зварювальної катанки марки G3Si1 використовують набагато рідше, ніж при використанні катанки Sv-08Г2С.

Відомо, що процес волочіння має ознаки немонотонного — матеріал в осередку деформації із зони стиску переходить в зону розтягу. В результаті цього в металі спостерігається ефект Баушингера, що полягає в зменшенні напруження текучості, за зміни знака деформації [8]. Для врахування анізотропного зміцнення розглядають таку характеристику матеріалу, як криву Баушингера в координатах  $\beta = f(e_i)$ , де  $\beta = \frac{\sigma_i''}{\sigma_i'}$  — відношення границі текучості на стиск після розтягу до інтенсивності напружень  $e_i$  [3].

Для побудови кривої Баушингера проведені випробування матеріалів марок G3Si1 та Sv-08Г2С на розтяг, де зразки катанки розтягували до різних значень  $e_i$  і розвантажували. Далі вирізали зразки на стиск таким чином, щоб стиск проходив в напрямку, протилежному розтягу.

Для практичного використання в теоретичних розрахунках моделювання із застосуванням сучасних програм МСЕ криву Баушингера апроксимуємо степеневою функцією [8]

де  $k = -\frac{\ln(0,5)}{e_{i1}^2}$ , в якому  $e_{i1}$  відповідає середньому значенню  $\beta_1 = \frac{1 + \beta_0}{2}$ .

Значення  $\beta_0$  та  $k$  для G3Si1 становлять:  $\beta_0 = 0,164$ ;  $k = 2046$ ; для Sv-08Г2С —  $\beta_0 = 0,143$ ;  $k = 2122$ .

Оцінка технологічної спадковості для процесу волочіння може бути здійснена за твердістю дроту після технологічної переробки. Градуовальний графік «твердість-напруження-деформації» дає можливість прогнозувати твердість після волочіння за величиною витягування, а також може бути використаний для експериментально-розрухункових методів оцінювання

напружено-деформованого стану заготовки у разі її деформування [1]—[3], [8].

Для побудови градуовального графіка «твердість-напруження-деформації» для матеріалу G3Si1 проведено вимірювання твердості за Віккерсом катанки у 5 точках, напівфабрикату

(4 зразки) та готового дроту діаметром 0,8 мм (5 зразків).

За результатами вимірювань побудовано градувальний графік, показаний на рис. 5. Зазначимо, що відхилення значення твердості катанки не перевищувало 10 %.

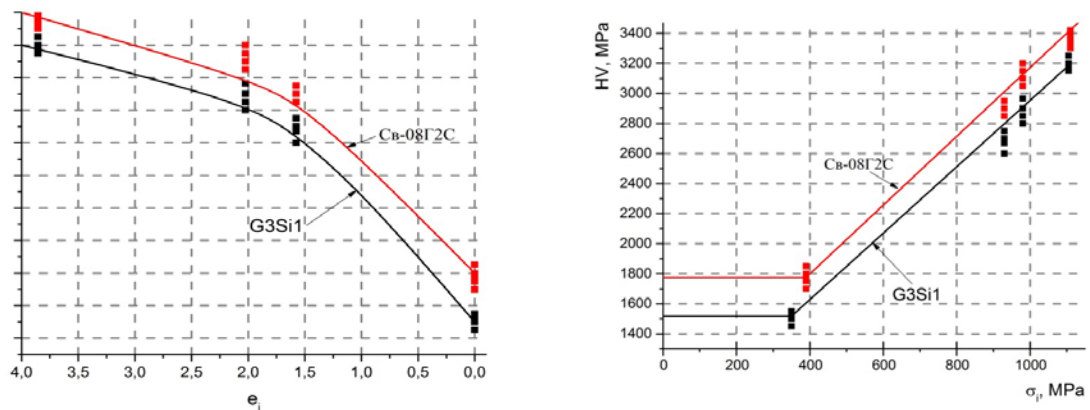


Рис. 5. Градувальний графік матеріалів G3Si1 та Св-08Г2С «твердість ( $HV$ )–напруження ( $\sigma_i$ )–деформації ( $e_i$ )»

### Висновки

Технологічний паспорт матеріалів G3Si1 та Св-08Г2С в стані поставки дає достатню для технолога уяву про поведінку матеріалу в пластичній області. Криві течії необхідні для розрахунку енергосилових параметрів, визначення напруження волочіння, а також моделювання процесу волочіння методом скінчених елементів (МСЕ) тощо. Діаграми пластичності є важливою функцією для оцінювання деформовності, при чому пластичність сталі G3Si1 значно вища, ніж Св-08Г2С, тому її можна рекомендувати до використання без проміжних відпалів. Коефіцієнт Баушингера в зоні розвинених деформацій досліджених матеріалів склав 0,14...0,16, що вказує на високу чутливість досліджених сталей до формаційної анізотропії. Цей факт треба враховувати, зокрема при моделюванні волочіння МСЕ. Градувальний графік «твердість ( $HV$ )–напруження ( $\sigma_i$ )–деформації ( $e_i$ )» дає змогу оцінити твердість дроту після його волочіння, що важливо для прогнозування якості продукції.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] О. В. Грушко, «Феноменологічні аспекти створення карт матеріалів для процесів холодного пластичного деформування», *Обработка материалов давлением: сб. науч. тр.*, № 1 (34), с. 85-95, 2013.
- [2] А. В. Грушко, *Карты материалов в холодной обработке давлением*. Вінниця, Україна: ВНТУ, 2015.
- [3] В. А. Огородников, *Деформируемость и разрушение металлов при пластическом формоизменении*. Киев: УМК ВО, 1989.
- [4] О. В. Грушко, Ю. О. Слободянюк, «Криві течії катанки марок G3Si1 та Св-08Г2С», *Обработка материалов давлением: сб. науч. тр.*, № 1 (42), с. 207-213, 2016.
- [5] П. Людвиг, «Основы технологической механики», *Расчеты на прочность: сборник научных трудов*, вып. 15, с. 130-166, 1970.
- [6] Г. Д. Дель, *Технологическая механика*. М.: Машиностроение, 1978.
- [7] П. Бриджмен, *Исследование больших пластических деформаций и разрыва*. М.: Наука, 1955.
- [8] Д. В. Хван, *Повышение эффективности в обработке металлов давлением*. Воронеж: изд-во Воронеж. ун-та, 1995.

Рекомендована кафедрою опору матеріалів та прикладної механіки ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 9.07.2018

**Грушко Олександр Володимирович** — д-р техн. наук, професор, професор кафедри опору матеріалів і прикладної механіки, e-mail: grushko1alex@gmail.com ;

Вінницький національний технічний університет, Вінниця

**Слободянюк Юлія Олегівна** — інженер-технолог, e-mail: yuliya\_slobodyanyuk@ukr.net.

ПАТ «ПлазмаТек», Вінниця

O. V. Grushko<sup>1</sup>  
Yu. O. Slobodianiuk<sup>2</sup>

## Mechanical Characteristics of Steels G3Si1 and Sv-08G2S

<sup>1</sup>Vinnytsia National Technical University;  
<sup>2</sup>PJSC PlasmaTec, Vinnytsia

*There has been formed the technological passport of steel G3Si1 and Sv-08G2S in the state of supply, which gives enough information for the technologist about the behavior of the material in the plastic field, which allows to design a trouble-free process of wire drawing and to produce high-quality products. In the development of the technological passport of steels G3Si1 and Sv-08G2C, samples were considered that were made from one coil of each wire coil, respectively, which minimized the influence of random factors on the composite material map.*

*A current curves are necessary for the calculation of power-supply parameters, determination of voltage stress, and also the modeling of the finite element (ITU) drawing process, and essentially depends on the supply batches and the manufacturer. The plasticity diagrams are an extremely important function for evaluating the possibility of form-modification without destroying the phenomenological criteria of deformability, with the plasticity of the steel G3Si1 much higher than the Sv-08G2C (this is subjected to the production experience), therefore it can be recommended for use without intermediate annealings. Since the drawing process seems to be nonmonotone one — the material in the deformation cell from the compression zone passes into the tensile zone — as a result of this there is the Bauschinger effect. The Bauschinger coefficient in the field of developed deformations of the investigated materials was 0,14...0,16, which indicates the high sensitivity of the investigated steels to the formation anisotropy. This fact must be taken into account, in particular, in the simulation of drawing ITU. An assessment of the technological inheritance for the drainage process can be made according to the hardness of the wire after the technological re-bake. The calibration graph constructed in this paper, hardness (HV)—strength ( $\sigma_i$ )—deformation ( $\epsilon_i$ ) makes it possible to estimate the hardness of the wire after its drawing, which is important in predicting the quality of the products.*

**Keywords:** technological passport, plasticity diagram, current curves, stress-state, hardness, drawing.

**Grushko Oleksandr V.** — Dr. Sc. (Eng.), Professor, Professor of the Chair of Resistance of Materials and Applied Mechanics, e-mail: grushko1alex@gmail.com ;

**Slobodianiuk Yuliia O.** — Processing Engineer, e-mail:yuliya\_slobodyanyuk@ukr.net

O. V. Грушко<sup>1</sup>  
Ю. О. Слободянюк<sup>2</sup>

## Механические характеристики сталей G3Si1 и Св-08Г2С

<sup>1</sup>Винницкий национальный технический университет;  
<sup>2</sup>ПАО «ПлазмаТек», Винница

*Сформирован технологический паспорт сталей G3Si1 и Св-08Г2С в состоянии поставки, который дает достаточное для технолога представление о поведении материала в пластической области, что позволит спроектировать безотказный процесс волочения проволоки и изготовить качественную продукцию. При разработке технологического паспорта сталей G3Si1 и Св-08Г2С исследованы образцы, которые изготавливались из одного мотка бухты катанки, соответственно, что позволило минимизировать влияние случайных факторов на составляющие карты материала.*

*Кривые течения необходимы для расчета энергосиловых параметров, определения напряжения волочения, а также для моделирования процесса волочения методом конечных элементов (МКЭ) и существенно зависят от партий поставок и производителя. Диаграммы пластичности являются чрезвычайно важной функцией для оценки возможности формоизменения без разрушения за феноменологическими критериями деформируемости, причем пластичность стали G3Si1 значительно выше, чем Св-08Г2С (это подтверждается производственным опытом), поэтому ее можно рекомендовать к использованию без промежуточных отжигов. Так как процесс волочения имеет признаки немонотонного — материал в очаге деформации из зоны сжатия переходит в зону растяжения — в результате этого наблюдается эффект Баушингера. Коэффициент Баушингера в области развитых деформаций исследованных материалов составил 0,14...0,16, что указывает на высокую чувствительность исследованных сталей к формационной анизотропии. Этот факт надо учитывать, в частности при моделировании волочения МКЭ. Оценка технологической наследственности для процесса волочения может быть осуществлена по твердости проволоки после технологической переработки. Построенный в работе градуировочный график «твердость (HV)—напряжение ( $\sigma_i$ )—деформации ( $\epsilon_i$ )» позволяет оценить твердость проволоки после ее волочения, является важным для прогнозирования качества продукции.*

**Ключевые слова:** технологический паспорт, диаграмма пластичности, кривые течения, показатель напряженно-состояния, твердость, волочение.

**Грушко Александр Владимирович** — д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры сопротивления материалов и прикладной механики, e-mail: grushko1alex@gmail.com ;

**Слободянюк Юлия Олеговна** — инженер-технолог, e-mail: yuliya\_slobodyanyuk@ukr.net