

## ФЕНОМЕНОЛОГІЧНА МОДЕЛЬ ЗМІЦНЕННЯ МАЛОВУГЛЕЦЕВИХ СТАЛЕЙ В ПРОЦЕСІ ЇХ БАГАТОСТУПІНЧАСТОГО ВОЛОЧІННЯ

<sup>1</sup> ПАТ «ПлазмаТек»  
<sup>2</sup> ВВПУ ЛДУБЖД

### **Анотація**

Отримана феноменологічна модель зміцнення маловуглецевого зварювального дроту марок G3Si1 і Sb-08Г2С в процесі їх багатоступеневого волочіння, що встановлює залежність коефіцієнтів кривої зміцнення (модуля зміцнення та показника зміцнення) від інтегральної деформації витягування.

**Ключові слова:** крива зміцнення, зварювальний дріт, модуль зміцнення, показник зміцнення, феноменологічна модель.

### **Abstract**

The obtained phenomenological model of hardening low-carbon welding wire of the grades G3Si1 and Sb08-G2S in the process of multistage drawing establishes dependence of the hardening curve coefficients (hardening index and hardening modulus) on the integral tensile strain.

**Keywords:** hardening curve, welding wire, drawing, hardening modulus, hardening indicator, phenomenological model.

### **Вступ**

В процесі волочіння метал знаходиться в умовах складного немонотонного навантаження, що супроводжується інтенсивним наклепом та утворенням текстури [1]. В роботі [2] досліджено вплив кількості проходів, ступеня витягування та інших величин на стандартні механічні характеристики – границю міцності, границю текучості, відносне видовження після розриву. Відмітимо, що ці характеристики безпосередньо пов'язані з фундаментальними властивостями металу – його кривою зміцнення, діаграмою пластичності та іншими функціями, які в сукупності складають карту метала для процесу холодного пластичного деформування [3]. Залежності між вихідними характеристиками металу та характеристиками, які формуються при волочінні, спираючись тільки на відомості про стандартні механічні характеристики, хімічний склад, тощо не знайшли належного відображення в літературі.

Метою роботи є пошук феноменологічних зв'язків між коефіцієнтом витягування та параметрами кривої зміцнення маловуглецевої сталі зварювального дроту в процесі його багатоступінчастого волочіння.

### **Результати дослідження**

В даній роботі експериментальному дослідженню підлягали зразки дроту на різних етапах волочіння за виробничими маршрутами. Побудову кривої зміцнення та визначення механічних характеристик металу дроту здійснювали шляхом проведення випробувань на розтяг на розривній машині Р5М, яка має свідоцтво про метрологічну повірку. Робоча довжина зразків становила 200 мм.

Для дослідів використовувались зразки катанки різних партій (в стані постачання), зразки напівфабрикату дроту діаметрів 2,5 та 2,0 мм та зразки готового обмідненого зварювального дроту діаметрів 0,8; 1,0; 1,2 та 1,6 мм

В результаті експериментів встановлено, що криві зміцнення як вихідного матеріалу катанки, так і дроту після волочіння, слідує двопараметричному степеневому закону зміцнення за П. Людвігом [4] із коефіцієнтом детермінації не менше 0,95. Для вихідного матеріалу (катанки в стані постачання)

$$\sigma_i = A_0 e_i^{n_0}, \quad (1)$$

де  $A_0$ ,  $n_0$  – коефіцієнти апроксимації – модуль та показник зміцнення недеформованого металу.

Статистична обробка отриманих даних виявила характерні апроксимуючі функції параметрів  $A$  та  $n$  від коефіцієнта витягування  $\ln \mu$ .

Модуль зміцнення –

$$A = A_0 \cdot \exp(k \cdot \ln \mu), \quad (2)$$

де  $k$  – коефіцієнт апроксимації.

Показник зміцнення –

$$n = n_\infty + (n_0 - n_\infty) \cdot a^{\ln \mu}, \quad (3)$$

де  $n_\infty$ ,  $a$  – коефіцієнти апроксимації.

Кінцева феноменологічна модель опису кривої зміцнення після кожного проходу через волоку набуває вигляду

$$\sigma_i = A_0 \cdot \exp(k \cdot \ln \mu) \cdot e_i^{n_\infty + (n_0 - n_\infty) \cdot a^{\ln \mu}}. \quad (4)$$

### Висновки

Отримана модель дозволить за результатами випробувань катанки в стані постачання розрахувати криву зміцнення, показники міцності та пластичності металопродукції. Якщо шукані показники не будуть відповідати вимогам стандартів, то необхідно провести операції, які змінять вихідні властивості металу (наприклад, здійснити відпал).

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Cetinarlan, C. S. Tensile properties of cold-drawn low-carbon steel wires under different process parameters / C. S. Cetinarlan, A. Guzey // *Materiali in tehnologije. Materials and technology*. – 2013. – Vol. 47, Issue 2. – Pp. 245-252.
2. Jokovic, Ž. Optimization of a cold wire drawing technological process / Ž. Jokovic, N. Djapic // *Journal of Chemical Technology and Metallurgy*. – 2015. - Vol. 50, Issue 5. – Pp. 653-660.
3. Грушко О. В. Феноменологічні аспекти створення карт матеріалів для процесів холодного пластичного деформування / О. В. Грушко // *Обработка материалов давлением : сб. науч. тр. – Краматорск : ДГМА, 2013. – № 1 (34). – С. 85–95. – ISSN 2076-2151.*
4. Людвиг П. Основы технологической механики // *Расчеты на прочность: сборник научных трудов*. – М.: Машиностроение, 1970. – Вып. 15. – С. 130–166.

**Слободянюк Юлія Олегівна** – інженер-технолог, ПАТ «ПлазмаТек», м.Вінниця, e-mail: juliya\_slobodyanyuk@mail.ru

**Ткаченко Руслан Станіславович** – викладач науково-методичного відділу ВВПУ ЛДУБЖД, м.Вінниця

Науковий керівник **Грушко Олександр Володимирович** – д.т.н., проф., професор кафедри опору матеріалів та прикладної механіки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: grushko\_alex@mail.ru.

**Slobodyanyuk Yuliya O.** – processing engineer, PJSC PlasmaTec, Vinnitsa, e-mail: juliya\_slobodyanyuk@mail.ru.

**Tkachenko Ruslan S.** – teacher scientific and methodological department VVPU LDUBGD, Vinnitsa

Supervisor: **Grushko Olexandr V.** - Dr. Sc., Professor of materials resistance and applied mechanics, Vinnitsia National Technical University, Vinnitsa, e-mail: grushko\_alex@mail.ru.