

ФЕНОМЕНОЛОГІЧНА МОДЕЛЬ ЗМІЦНЕННЯ МЕТАЛУ В ПРОЦЕСІ ВОЛОЧІННЯ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Отримана феноменологічна модель зміцнення низьковуглецевого зварювального дроту в процесі багатоступінчатого волочіння у вигляді залежності коефіцієнтів кривої зміцнення від інтегральної деформації витягування. Отримана модель дозволяє розрахувати криву зміцнення, показники міцності і пластичності дроту за результатами випробовування катанки в стані постачання.

Ключові слова: крива зміцнення, зварювальний дріт, волочіння, феноменологічна модель.

Abstract

The obtained phenomenological model of hardening low-carbon welding wire in the process of multistage drawing establishes dependence of the hardening curve coefficients on the integral tensile strain. The obtained model will make it possible to calculate hardening curve, strength and plasticity indicators of metal products by the results of wire rod testing in the delivery state.

Keywords: hardening curve, welding wire, drawing, phenomenological model.

Вступ

Відомо, що в процесі холодного пластичного деформування, зокрема волочіння, метал змінює свої механічні властивості. Для моделювання процесу багатоступінчатого волочіння, здійснення відповідних розрахунків, створення експрес-методів прогнозування механічних характеристик важливо мати математичні моделі зміни характеристик опору пластичній деформації металу після проходження через кожну волоку. Залежності між вихідними характеристиками металу та характеристиками, які формуються при волочінні, спираючись тільки на відомості про стандартні механічні характеристики (границі міцності, текучості, відносне видовження), хімічний склад, мікроструктуру тощо не знайшли належного відображення в літературі. Це пов'язано з неоднозначними взаємозв'язками між вказаними характеристиками та, зокрема, кривою зміцнення. В такому випадку раціонально розглянути механіку процесу зміцнення з використанням феноменологічного підходу. Особливо актуальним є питання дослідження маловуглецевих сталей, з яких виробляється зварювальний дріт [1, 2].

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

Результати дослідження

В початковому стані матеріал катанки зміцнюється за степеневим законом [2] в напрямку його розтягу вздовж вісі, що підтверджується проведеними випробовуваннями

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

Будемо вважати, що після кожного переходу волочіння матеріал набуває властивостей, із збереженням здатності зміцнюватись за степеневим законом, що також підтверджується експериментально.

При побудові моделі розглянуто головний напрямок подальшого, після волочіння, процесу деформування – розтяг вздовж вісі дроту. Таке припущення підтверджується експериментально – криві зміцнення дроту після волочіння, які отримані в досліді на розтяг, мають форму, що відповідає зазначеному закону зміцнення.

Величина коефіцієнта витягування [1]

$$\ln \mu = e_i = \ln \frac{F_0}{F} = \ln \frac{l}{l_0}, \quad (2)$$

де F_0 – початкова площа поперечного перерізу; F – площа поперечного перерізу металу після волочіння; l_0 – початкова довжина зразка; l – довжина після волочіння.

Статистична обробка чисельних експериментальних даних щодо величин коефіцієнтів n і A дала такі результати

$$A = A_0 \cdot \exp(k \cdot \ln \mu), \quad (3)$$

$$n = n_\infty + (n_0 - n_\infty) \cdot a^{\ln \mu}, \quad (4)$$

де A та A_0 – модулі зміцнення матеріалу після протягування (дроту після переходу волочіння) та в стані постачання відповідно, МПа; n , n_0 – показники деформаційного зміцнення матеріалу після волочіння та в стані постачання відповідно; k , a – коефіцієнти.

Кінцева феноменологічна модель опису кривої зміцнення після кожного проходу через волоку:

$$\sigma_i = A_0 \cdot \exp(k \cdot \ln \mu) \cdot e_i^{n_\infty + (n_0 - n_\infty) \cdot a^{\ln \mu}}, \quad (6)$$

Величини стандартних механічних характеристик визначатимуться через (6), зокрема відносно видовження після розриву визначиться за величиною n , а границя міцності – за величинами n і A [3]:

$$\sigma_g = A \cdot \exp(-n) \cdot n^n, \quad (7)$$

$$\sigma_{0,2} = A \cdot 0,002^n, \quad (8)$$

$$\delta = [\exp(n) - 1] \cdot 100\%. \quad (9)$$

На рис. 1 наведено залежність коефіцієнтів n і A в залежності від інтегральної деформації витягування. Як видно, коефіцієнт n прямує асимптотично до константи з невеликими значеннями, що наближаються до нуля, тобто матеріал набуває властивостей ідеально пластичного матеріалу. Втім, при цьому пластичність металу майже вичерпана – використаний ресурс пластичності наближається до одиниці.

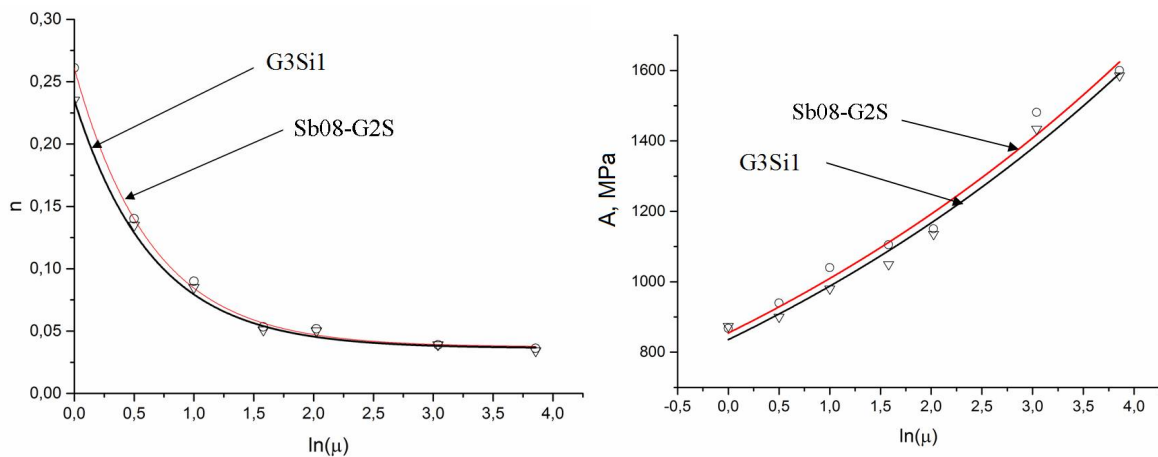


Рис. 1 – Зміна коефіцієнтів n і A в залежності від інтегральної деформації витягування

Представлення залежностей в вигляді апроксимацій (3)–(6) може набути практичного значення не тільки для маловуглецевих сталей типу Св-08Г2С та G3Si1, але й для інших марок сталей, оскільки в них входять коефіцієнти початкової кривої зміцнення для катанки в стані постачання, а закон зміцнення більшості металів відповідає степеневому. Зручним є також те, що в залежностях є лише по одному невідомому коефіцієнту k та a , які не можливо однозначно задати без випробовувань зразків

дроту після волочіння. В першому наближенні можна припустити, що ці коефіцієнти не суттєво залежатимуть від параметрів процесу та властивостей матеріалу, що дасть змогу скористатись ними для передбачення механічних властивостей і побудові феноменологічної математичної моделі поведінки металу в процесі волочіння.

Для уточнення відповідних моделей варто провести постановочні експерименти на кожній з марок сталей, які підлягають технологічній обробці, знайти k та a для кожної групи. Далі випробувати вихідний матеріал в стані постачання. Розрахунки за формулами (7)–(9) дадуть передбачувані значення характеристик міцності і пластичності і якщо вони не відповідатимуть вимогам стандарту, то необхідно провести операції відпалу, або відмовитись від такої партії металу.

Зауважимо, що отримана феноменологічна модель буде найкраще описувати механічні характеристики для процесу волочіння, який характеризується певними, дослідженими, геометричними та конструктивними параметрами матриці, умовами змащення, швидкістю волочіння, кількістю проходів і т.д., оскільки ці фактори спричиняють вплив на досліджувані величини опору пластичному деформуванню [1, 2].

Висновки

Отримана модель волочіння маловуглецевого зварювального дроту дозволить за результатами випробувань катанки в стані поставки спрогнозувати показники міцності та пластичності зварювального дроту виготовленого за заданим маршрутом. Якщо спрогнозовані показники не будуть відповідати вимогам стандартів, то необхідно провести операції відпалу, або відмовитись від такої партії металу. Можливість прогнозувати механічні властивості дроту після волочіння дозволить зменшити виробництво неякісного дроту та уникнення економічних ризиків на виробництві в зв'язку з виготовленням неякісного продукту. На етапі вхідного контролю сировини отримана модель дозволить скласти раціональний план виробництва дроту різних діаметрів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Перлин И.Л. Теория волочения / И.Л. Перлин, М.З. Ерманок. – М.: Металлургия, 1971. – 448с.
2. Грушко О. В., Слободянюк Ю. О., Ткаченко Р. С. Криві течії катанки марок G3Si1 та Св-08Г2С // Обработка материалов давлением : сб. науч. тр. – Краматорск : ДГМА, – 2016. – № 1 (42). – С. 207-213.
3. Побудова кривої течії матеріалу за границями міцності і текучості / О. В. Грушко, В. А. Огородніков, М. І. Побережний, М. П. Єленич // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2009. – № 6 (87). – С. 90–93.

Грушко Олександр Володимирович — професор кафедри ОМПМ, доктор технічних наук, професор, Вінницького національного технічного університету, м. Вінниця, e-mail: grushko1alex@gmail.com.

Hrushko Oleksandr — Prof. of Materials Strength and Applied Mechanics Department, Doctor of Technical Sciences, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: grushko1alex@gmail.com.