

УДК 621.941.1.

М.І. Пилипець, докт. техн. наук, проф., В.Р. Паньків

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМІНИ МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ СТАЛІ 08КП У ВІДПАЛЕНОМУ І ГАРЯЧЕКАТАНОМУ СТАНАХ ПРИ НАВИВАННІ СМУГИ НА РЕБРО

M.I. Pylypets, Dr., Prof., V.R. Pankiv

INVESTIGATION OF MECHANICAL PROPERTIES CHANGES OF STEEL 08KP IN THE ANNEALED AND HOT ROLLED CONDITIONS WHEN STRIP OF METAL IS COILING ON THE EDGE

З метою визначення впливу структурного стану сталі на характер зміцнення в процесі навивання гвинтових спіралей на оправу провели визначення механічних властивостей сталі 08кп у вихідному гарячекатаному стані і після відпалу за режиму: нагрівання в печі до 920⁰С, витримка 15 хвилин та охолодження з піччю. Глибоке відпалювання при температурі 920⁰С призводить до зняття спотворень кристалічної решітки і фазових перетворень, тому слід очікувати появи в сталі великої кількості вільних площин ковзання, що забезпечить якісне формоутворення гвинтових заготовок навиванням на ребро на оправку.

Для виключення впливу нестабільності властивостей для різних ділянок за площею стрічки всі зразки були вирізані з одного листа номінальною товщиною 2 мм. Дослідження здійснювали шляхом навивання на оправки діаметром 60, 45 і 25мм, при цьому дійсню ступінь деформації e_{\max} та інтенсивність деформації e_i визначали за умовою: $e_{\max} = \ln\left(\frac{4R - b}{4R - 2b}\right)$, $e_i = 1,15 \cdot e_{\max}$, де R - зовнішній радіус навитої спіралі; b – висота стрічки. Умова виникнення пластичної деформації зовнішнього (внутрішнього) волокна при згині, враховуючи дані Целікова А.І. описується відношенням: $\frac{d}{b} = \frac{E}{\sigma_m}$, де d - діаметр оправки; b - товщина смуги; E - модуль пружності (для маловуглецевих сталей $E=2 \cdot 105$ МПа); σ_m - межа плинності (для маловуглецевих сталей вона змінюється в межах 180 - 350 МПа).

Для визначення зміцнення сталі в процесі навивання враховується накопичена деформація $e_{\text{нак}}$. Розрахунок накопиченої деформації в операціях навивання стрічки на ребро, представляє певну складність, адже волокна металу в одному поперечному перерізі переносять різну деформацію як за величиною, так і за знаком, що змінюється від нуля в нейтральному перетині до максимальної на поверхні. Деформацію при навиванні розраховували як деформацію опуклого волокна на відстані b_1 висоти стрічки від поверхневого шару, вважаючи, що вона близька до середньої за перетином.

Деформація відпаленої сталі після навивання викликає підвищення σ_T при $e_{\text{нак}} = 0,5$ майже в 1,4 рази і σ_B на 10%. При деформації сталі в стані поставки навивання практично не впливає на показники міцності.

Як впливає з досліджень, зміцнення сталі 08кп в процесі навивання визначається лише накопиченою деформацією $e_{\text{нак}}$, обумовленою діаметром оправки.

Отже, можна запропонувати залежність, що описує зміну межі текучості сталі при її пластичному згині у вигляді: $\sigma_T = \sigma_{T0} + a \cdot e_{\text{нак}}^{0,5}$, де a – коефіцієнт, що є аналогом енергії дефекту.

Зміцнення відпаленої сталі, отримані в процесі навивання розрахованої в дійсних координатах, наступне: $\sigma_T = 200 + 101 \cdot e_{\text{нак}}^{0,5}$

Незначне зміцнення відпаленої сталі при навиванні можна пояснити меншою інтенсивністю збільшення щільності дислокацій ρ в порівнянні з гарячекатаною сталлю. Коефіцієнт a є аналогом енергії дефекту. Зі збільшенням значення коефіцієнта a , енергія дефекту зменшується. Для одного і того ж структурного стану сталі значення енергії дефекту - постійна величина. Так як значення коефіцієнта a постійне, то існує пропорційна залежність між ступенем деформації ϵ і щільністю дислокацій ρ (зі збільшенням деформації збільшується щільність дислокацій ρ).

Для деформації визначеної в логарифмічних координатах зміцнення сталі в процесі навивання буде: $\sigma_T = \sigma_{T0} + a \cdot e_{\text{нак}}^{0,5}$, де $e_{\text{нак}}$ - логарифмічна дійсна деформація.

Значення коефіцієнта a в процесі навивання - $a_{\text{зн}} = 0,8$.

Для однакових структурних станів сталі значення коефіцієнта a має бути постійною величиною. Наведемо доказ цього твердження, заснованого на пропорційній залежності між деформацією ϵ і щільністю дислокацій ρ . Можна записати:

$\sigma_T = \sigma_{T0} + a \cdot (\epsilon/\eta)^{0,5}$, де η - поправочний коефіцієнт, що враховує спосіб навивання (дискретне навивання, неперервне навивання).

Фізичний зміст коефіцієнта η може бути наступним - він визначає швидкість збільшення щільності дислокацій ρ . Тоді $\sigma_T = \sigma_{T0} + (a/\eta^{0,5}) \cdot \epsilon^{0,5}$.

Отже, коефіцієнт $a_{\text{зн}}$ можна представити як: $a_{\text{зн}} = a/\eta^{0,5}$.

Твердження про те, що коефіцієнт a пропорційний енергії дефекту, отримано при аналізі зміцнення сталі при монотонних деформаціях, тому можна припустити, що значення $a_{\text{пр}}$ має бути постійною величиною. Відповідно значення $a_{\text{зн}}$ буде:

$a_{\text{зн}} = a_{\text{пр}}/\eta^{0,5}$, де $\eta = (a_{\text{пр}}/a_{\text{зн}})^2$. Для дослідженого структурного стану сталі 08кп величина η буде дорівнює: $\eta = (a_{\text{пр}}/a_{\text{зн}})^2 = (7/0,8)^2 = 76,56$.

Застосуємо даний метод аналізу зміни тонкої структури для випадку зміцнення сталі в гарячевальцьованому стані. Вид моделі зміцнення гарячевальцьованої сталі в процесі формоутворення навиванням на ребро полоси на оправку наступний: $\sigma_T = 30 + 0,23 \cdot e_{\text{нак}}^{0,5}$.

З літератури відомо, що кристалічна решітка гарячевальцьованої сталі має більше пружних спотворень, ніж кристалічна решітка сталі після повного відпалювання і відповідно енергія дефекту гарячевальцьованої сталі більше енергії дефекту відпаленої сталі. Цим можна пояснити те, що незначне зміцнення гарячевальцьованої сталі в процесі формоутворення навиванням на ребро полоси на оправку пояснюється меншою інтенсивністю збільшення щільності дислокацій ρ в порівнянні з навиванням на ребро полоси на оправку з відпаленої сталі.