

Афтанділянц Є.Г.

(НУБіП, м. Київ)

**ОСОБЛИВОСТІ ТРІЩИНОУТВОРЕННЯ В НИЗЬКО- ТА
СЕРЕДНЬОЛЕГОВАНИХ ЛИТИХ СТАЛЯХ**

E-mail: aftyev@yahoo.com

Закономірності зародження та розповсюдження тріщин вивчали на сталях, які містять від 0,06 до 0,35% масової частки вуглецю; 0,03...2,69% кремнію; 0,10...2,54% марганцю; 0,10...3,06% хрому; 0,012...0,030% азоту; 0,001...0,028% кисню; 0,015...0,037% сірки; 0,004...0,025% фосфору, до 0,26% ванадію.

Експерименти проводили на установці, яка складається з сирової піщано-глинястої ливарної форми, в якій формується ступінчаста модель, двох болтів для односторонньої фіксації усадки металу, пружно деформованої пластини, що створює утруднену усадку металу.

Приймаючи, що утворення тріщин залежить значною мірою від дисперсності дендритної ($l_{ст}, \Delta_2; l_d$) і аустенітної (d_a) структури, а також від таких характеристик ливарної усадки як температура початку усадки після передусадкового розширення ($t_{ну}$) і величина усадки в момент зародження тріщин ($K_{лу(t_{ну}-t_b)}$), визначили кількісні закономірності такого впливу на верхню межу температурної області гарячоломкості (t_b), напруження (Δ_3) і відносне подовження (δ_3), при якому відбувається зародження тріщин.

Рівняння мають такий вигляд:

$$t_g = 257 + 0,829 \cdot t_{ну} - 168,9 \cdot l_{ст} \cdot l_d \cdot \Delta_2 + 370 \cdot l_{ст} \cdot l_d \cdot \Delta_2 \cdot d_a^B, \\ R = 0,937; \delta = 0,69\%; F_p = 43 > F_T^{0,01} = 5,09. \quad (1)$$

$$\sigma_3 = 9167 \cdot K_{лу} \cdot (t_{ну} - t_b) - 1,15 \cdot 10^7 \cdot K_{лу}^2 \cdot (t_{ну} - t_b)^2 + 4,17 \cdot 10^9 \cdot K_{лу}^3 \cdot (t_{ну} - t_b)^3 - \\ - 0,921 + 49,4 \cdot d_a^B - 201,7 \cdot \Delta_2 \cdot d_a^B - 8,19 \cdot l_{ст} \cdot l_d \cdot d_a^B + 31,9 \cdot l_{ст} \cdot l_d \cdot \Delta_2 \cdot d_a^B, \\ R = 0,989; \delta = 12,7\%; F_p = 88 > F_T^{0,01} = 4,28. \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \delta_3 &= 0,099 - 0,158 \cdot d_a^B - 0,118 \cdot l_d \cdot d_a^B - 0,0133 \cdot l_{ct} \cdot l_d \cdot d_a^B + 0,216 \cdot (d_a^B)^2, \\ R &= 0,72; \delta = 26\%; F_p = 4,58 > F_T^{0,05} = 2,96. \end{aligned} \quad (3)$$

Регресійний аналіз показав, що між нижньою (t_n) і верхньою (t_b) межею інтервалу гарячоломкості, а також відстанню між гілками другого порядку (Δ_2) і розміром зерна аустеніту (d_a^H) з імовірністю 99% існує наступний кількісний зв'язок:

$$\begin{aligned} t_n &= 1110 - 6732 \cdot \Delta_2 + 0,486 \cdot t_b + 2135 \cdot d_a^H - 1,23 \cdot 10^4 \cdot \Delta_2 \cdot d_a^H + \\ &+ 2,04 \cdot 10^4 \cdot (\Delta_2)^2 + 2,01 \cdot 10^3 \cdot (d_a^H)^2, \\ R &= 0,948; \delta = 1,3\%; F_p = 22,3 > F_T^{0,01} = 4,32. \end{aligned} \quad (4)$$

Деформація вилівка від моменту початку утворення тріщин до переходу до внутризеренного руйнування з імовірністю 99% визначається дисперсністю дендритної структури та розміром зерна аустеніту при температурі верхньої (d_a^B) і нижньої (d_a^H) границі гарячоломкості:

$$\begin{aligned} dl_{xp} &= 1740 - 1980 \cdot l_{ct} + 17370 \cdot \Delta_2 - 1887 \cdot l_{ct} \cdot \Delta_2 - 60350 \cdot \Delta_2 \cdot d_a^B + \\ &+ 5285 \cdot l_{ct} \cdot l_d \cdot d_a^B \cdot \Delta_2 + 353 \cdot (l_{ct})^2 + 17260 \cdot (d_a^B)^2 - 5449 \cdot l_{ct} \cdot l_d \cdot d_a^B \cdot \Delta_2 \cdot d_a^H, \\ R &= 0,967; \delta = 18\%; F_p = 23,5 > F_T^{0,01} = 4,3. \end{aligned} \quad (5)$$

Приймаючи за основу сталь 20ХГСЛ, визначили ефективність впливу легувальних елементів і перегрівання розплаву над температурою ліквідус на вищенаведені характеристики процесу.

Аналіз розрахунків показує, що зміна легувальними елементами характеристик ливарної усадки, а також дисперсності дендритних і аустенітної структури така, що зі збільшенням вмісту в сталі вуглецю, кремнію, марганцю і хрому спостерігається тенденція до зміщення верхньої межі інтервалу гарячоломкості в область більш низьких температур.

Такий вплив елементів пов'язано, в основному, зі зміною ефективності зниження ними температури початку усадки після передусадкового розширення і диспергування дендритної і аустенітної структури. Щодо збільшення середньої питомої ефективності впливу, елементи можна розташувати в наступній послідовно-

сті: Si, Mn, Cr, C, V, V+N, N.

Аналіз напруження, при якому відбувається зародження тріщини (σ_3) показує, що вплив елементів такий, що з ростом вмісту в сталі хрому, кремнію, вуглецю і азоту напруження σ_3 монотонно збільшується, в той час як при легуванні марганцем, ванадієм і спільно ванадієм і азотом спостерігається екстремальна залежність. Питому ефективність впливу елементів на зміну σ_3 можна представити у вигляді такої послідовності: Cr, Mn, Si, V, N + V, N, C.

Аналізуючи вплив елементів на відносне подовження необхідно позначити, що легування стали 20ХГСЛ вуглецем, хромом і азотом призводить, в основному, до монотонного зниження; ванадієм і спільно ванадієм і азотом до підвищення, а кремнієм і марганцем до екстремальної зміни пластичності металу. За питомою ефективністю впливу елементи можна розташувати в наступній послідовності: Cr, Si, Mn, C, V, V + N, N.

Аналіз впливу легувальних елементів на нижню межу інтервалу гарячолоамкості (t_H) показує, що якісний вплив елементів на температуру t_H , за винятком спільного легування стали азотом і ванадієм, аналогічно їх впливу на t_B . Зворотня закономірність впливу спільного легування сталі азотом і ванадієм вказує на істотний внесок характеристик структури металу в основному, мабуть, відстані між гілками другого порядку в зміну температури t_H , оскільки відомо, що їх зменшення супроводжується диспергуванням оксисульфідних вкраплень, яке призводить до зміщення нижньої межі інтервалу гарячолоамкості в область більш високих температур.

Зміна в результаті легування границь інтервалу гарячолоамкості така, що зі збільшенням вмісту в сталі вуглецю, кремнію, марганцю, хрому та ванадію температурна область утворення і зростання тріщин розширюється, в той час як при введенні в сталь азоту, а також спільно азоту і ванадію до $V \cdot N = 0,005$ інтервал гарячолоамкості істотно звужується. Щодо збільшення середньої питомої ефективності впливу, елементи можна розташувати в наступній послідовності: Si, Mn, Cr, V, C, V + N, N.

Збільшення вмісту вуглецю в сталі при перегріванні над температурою лік-

відусу на 14 °С практично не впливає на зміну деформації виливка від моменту зародження тріщин до переходу до внутризеренного руйнування, в той же час при перегріванні на 61 °С підвищення вмісту вуглецю від 0,2 до 0,4% призводить до збільшення розміру тріщин в 2,5 рази. Необхідно відзначити ефективний вплив азоту, збільшення вмісту якого від 0,005% до 0,035% призводить до зменшення абсолютної деформації виливка в інтервалі горячоламкості в 5,1...5,8 рази. Це вказує на те, що ефективне диспергування дендритної структури, що спостерігається при легуванні сталі азотом, має суттєвий вплив на гальмування процесу зростання тріщин в інтервалі горячоламкості. Щодо збільшення середньої питомої ефективності впливу елементів на зміну деформації виливка в інтервалі горячоламкості (dI_{xp}), їх можна розташувати в наступній послідовності: Cr, Si, Mn, V, C, V + N, N.

Легування сталі ванадієм і азотом призводить до екстремальної зміни температури верхньої межі області горячоламкості конструкційних сталей з екстремумами при 0,1% ванадію і 0,02% азоту. У разі спільного легування сталі азотом і ванадієм також спостерігається екстремальна зміна температури t_b з максимальним її зниженням при вмісті в сталі 0,02% азоту і 0,15% ванадію ($V \cdot N = 0,003$) (рис. 1). Збільшення перегрівання розплаву над температурою ліквідусу (dt_1) підвищує ефективність спільного впливу азоту і ванадію. Так якщо при $dt_1 = 44$ °С і $V \cdot N = 0,003$ зниження t_b становить 39 °С, то при $dt_1 = 69$ °С ефективність спільного впливу азоту і ванадію збільшується в 2,3 рази і становить $\Delta t_b = 90$ °С.

У висновку слід зазначити, що аналіз впливу легувальних елементів на процес утворення і розвитку тріщин у виливках в процесі охолодження після затвердіння показує, що найбільш оптимальна цілеспрямована зміна характеристик процесу досягається при спільному легуванні сталі азотом і ванадієм.

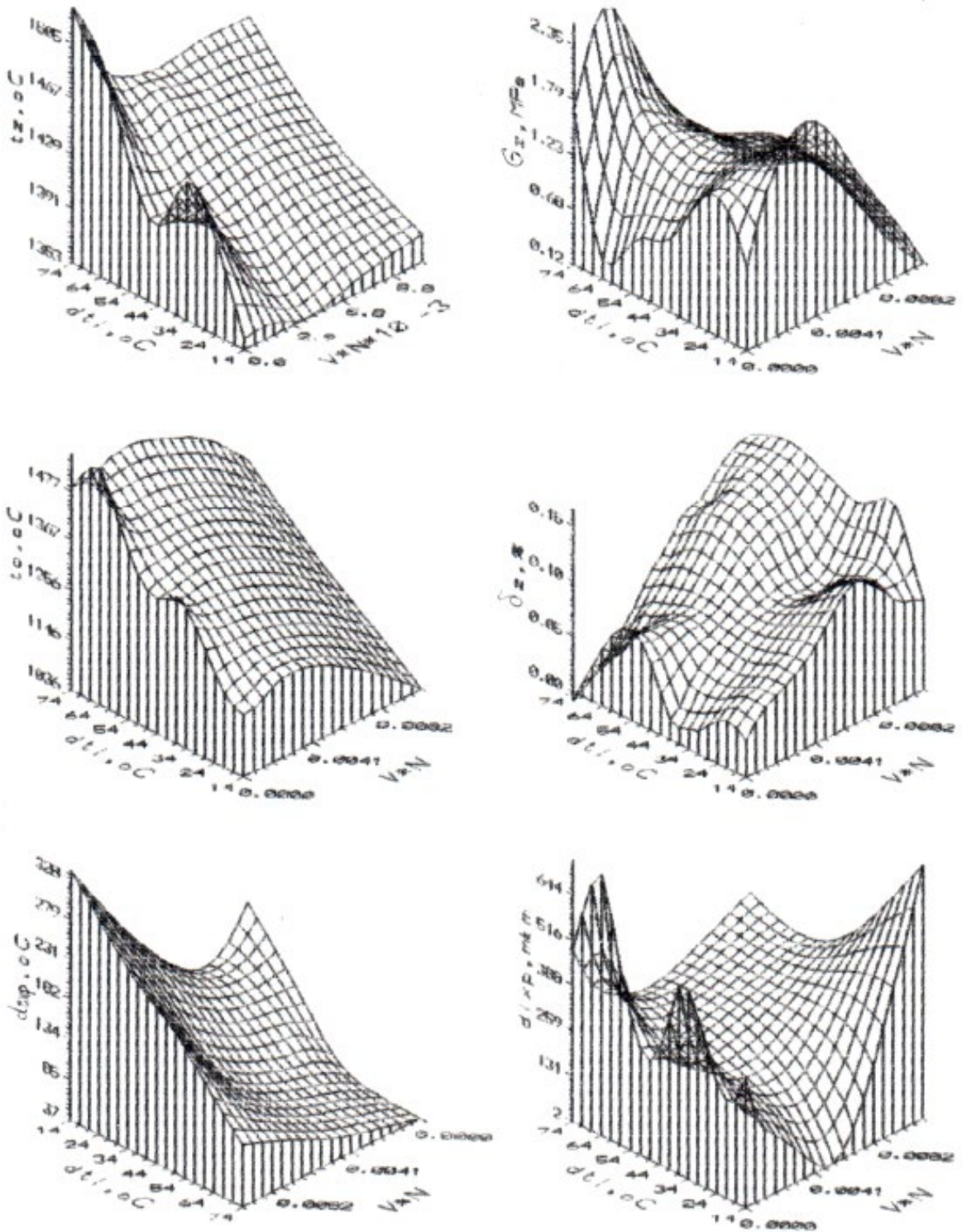


Рис. 1. Вплив $V + N$ і перегрівання над температурою ліквідусу на характеристики гарячоламкості сталі 20ХГСЛ