

Афтанділянц Є.Г.

(НУБіП, м. Київ)

МОДЕЛЮВАННЯ РІДКОТЕКУЧОСТІ КОНСТРУКЦІЙНОЇ СТАЛІ

E-mail: aftyev@yahoo.com

Рідкотекучість характеризує здатність розплаву заповнювати порожнину ливарної форми. Найбільш вірогідно порівняльну оцінку рідкотекучості сталей характеризує умовна рідкотекучість, яка визначається при однаковому перегріванні над температурою ліквідусу. При постійних матеріалі форми, гідравлічних і теплофізичних умовах заповнення рідкотекучість сталі залежить від швидкості руху розплаву і часу утворення каркасу твердої фази, які в свою чергу залежать від властивостей рідкого металу і закономірностей його кристалізації.

Дослідження рідкотекучості проводили на сталях, які містять від 0,2 до 0,37% масової частки вуглецю; 0,97...3,2 кремнію; 0,54...3,35 марганцю; 0,79...3,09 хрому; до 0,26 ванадію; 0,005...0,031 азоту.

Рідкотекучість визначали методом вакуумного всмоктування розплаву в інтервалі температур від 1500 до 1650 °С в кварцові трубки при розрідженні $0,03 \pm 7 \cdot 10^{-4}$ МПа шляхом заміру довжини металу, котрий заповнив трубки.

Кількісну закономірність рідкотекучості конструкційних сталей визначали в залежності від величини перегрівання розплаву над температурою ліквідус ($\Delta t_{л}$), теплоти кристалізації ($q_{кр}$), щільності (ρ), кінематичної в'язкості (ν) і поверхневого натягу (σ) розплаву, довжини стовпчастих ($l_{ст}$) і дезорієнтованих ($l_{д}$) дендритів, а також теплопровідності сталі при температурі солідусу (λ_s).

Регресійний аналіз результатів дослідження рідкотекучості показав, що рідкотекучість конструкційної сталі визначається наступною залежністю:

$$l = 82,5 + 55,91 \cdot l_{ст} - 12,11 \cdot l_{ст}^2 - 5,31 \cdot 10^{-3} \cdot \sigma \cdot \rho \cdot \nu - 0,3794 \cdot \lambda_s \cdot l_{ст} \cdot l_{д} + 1,85 \cdot 10^{-4} \cdot \Delta t_{л} \cdot q_{кр} \quad (1)$$

$$R=0,837; \delta=13,8 \%; F_p=32,4 > F_{T(95\%)} = 2,3.$$

Аналіз рівняння 1 показує, що за винятком розмірів зони стовпчастих дендритів, вплив незалежних факторів на рідкотекучість сталі значимий тільки при комплексній їх дії, пов'язаній зі зміною властивостей рідкого металу (ρ , ν , σ), теплоти кристалізації ($\Delta t_{л}$, $q_{кр}$), теплопровідності при температурі солідусу і дисперсності дендритної структури (λ_s , $l_{ст}$, l_d). При цьому тільки з ростом перегрівання розплаву над температурою ліквідусу ($\Delta t_{л}$) і теплоти кристалізації ($q_{кр}$) відбувається збільшення рідкотекучості конструкційної сталі, збільшення ж значень інших факторів, включених в рівняння 1, призводить до зворотного ефекту.

Щодо збільшення значимості комплексного впливу, визначеного за критерієм Стьюдента, з імовірністю 90% ($t_{кр} = 1,70$) фактори можна розташувати в наступній послідовності: $\Delta t_{л} \cdot q_{кр}$ ($t_p = 1,76$), теплопровідність при температурі солідусу і дисперсність дендритної структури $\lambda_s \cdot l_{ст} \cdot l_d$ ($t_p = 1,82$), $l_{ст}$ ($t_p = 2,24$), $\rho \cdot \nu \cdot \sigma$ ($t_p = 10,94$). Отже, по зменшенню ефективності впливу, в відзначених межах зміни досліджуваних параметрів, можна виділити три основні групи чинників:

1. Властивості рідкого металу.
2. Дисперсність дендритної структури.
3. Теплофізичні умови тверднення.

Приймаючи за основу сталь 20ХГСЛ, визначили ефективність впливу елементів на зміну рідкотекучості конструкційних сталей при температурі заливання 1550 °С (рис. 1) і при різному перегріванні над температурою ліквідусу (рис. 2).

Аналіз результатів досліджень показує, що вплив легувальних елементів на властивості рідкого металу, дисперсність дендритної структури і теплофізичні параметри тверднення такий, що за питомою ефективністю збільшення рідкотекучості їх можна розташувати в наступній послідовності Si, Cr, Mn, C, V, N, V+N.

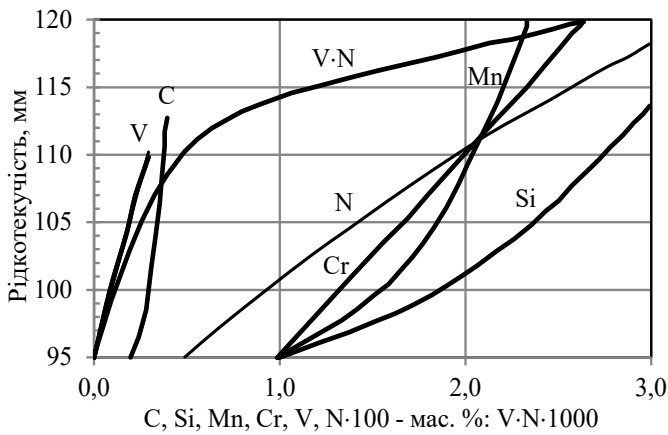


Рис. 1. Вплив елементів на рідкотекучість конструкційних сталей при температурі заливання 1550 °С. Базовий хімічний склад сталі (мас. %): C = 0,2; Si = 1,0; Mn = 1,0; Cr = 1,0; N = 0,006

Видно, що найбільш ефективно підвищення рідкотекучості досягається при мікролегуванні сталі азотом і ванадієм. Зважаючи, що одночасно з цим відбувається диспергування первинної і вторинної структури, мікролегування сталі азотом і ванадієм має бути одним з ефективних способів підвищення якості виливків з низько- і середньолегованих сталей.

В результаті аналізу процесу формування рідкотекучості теоретично обґрунтовано та експериментально підтверджено, що її рівень визначається дисперсністю дендритної структури, величиною перегрівання розплаву над температурою ліквідусу, а також властивостями рідкого металу, теплопровідністю сталі при температурі солідусу, теплотою і інтервалом кристалізації. Встановлено кількісну закономірність такого впливу, яка з ймовірністю 95% і високим ступенем достовірності ($R = 0,837$, середня помилка апроксимації 13,8%) описують реальний процес.

По збільшенню ефективності впливу інтегральних факторів на рідкотекучість конструкційних сталей їх можна розташувати в наступній послідовності: теплофізичні умови тверднення, дисперсність дендритної структури, властивості рідкого металу. При цьому з ростом перегрівання розплаву над температурою ліквідусу, теплоти кристалізації і дисперсності дендритної структури відбувається зростання рідкотекучості, збільшення ж значень інших факторів призводить до зворотного ефекту.

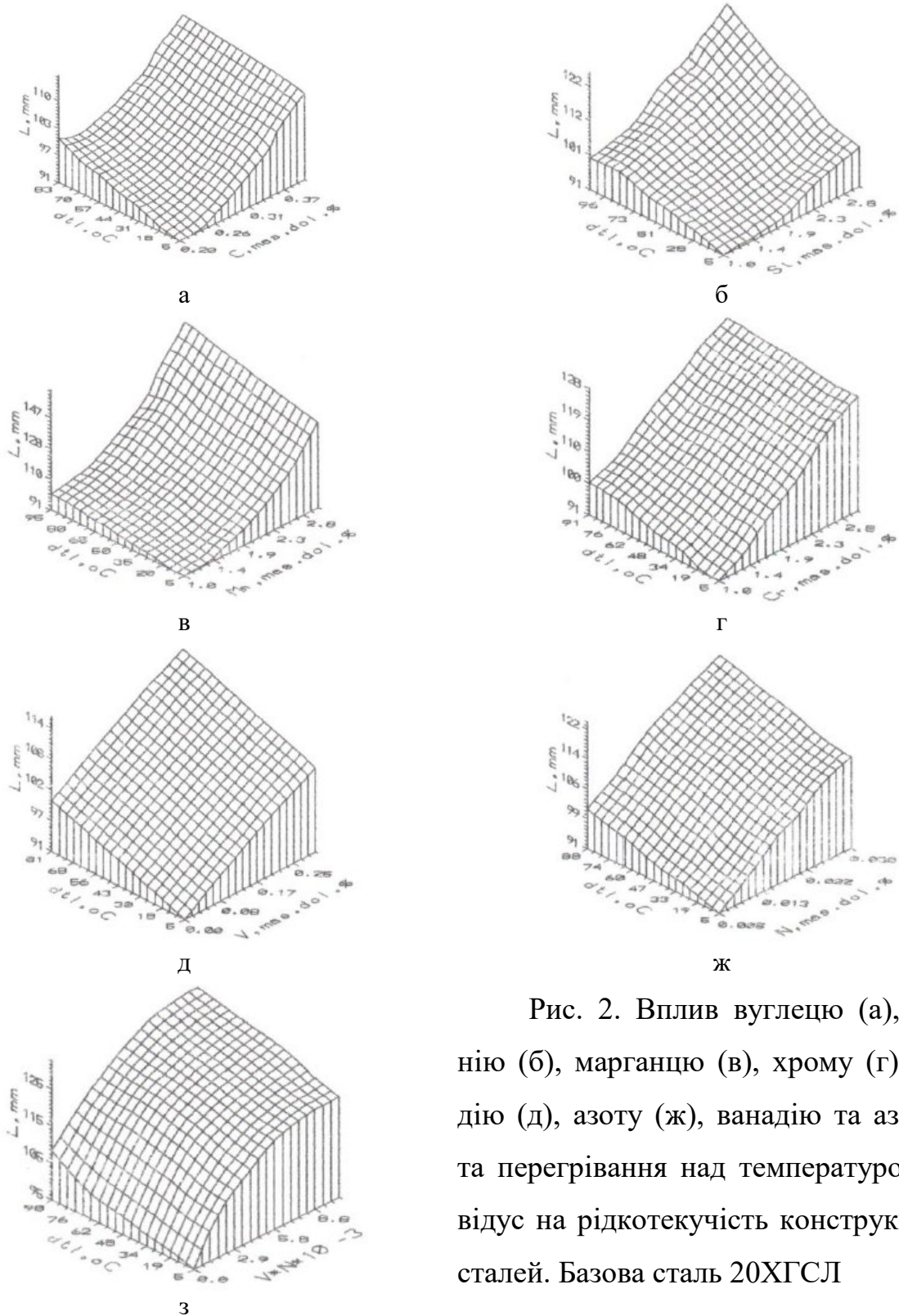


Рис. 2. Вплив вуглецю (а), кремнію (б), марганцю (в), хрому (г), ванадію (д), азоту (ж), ванадію та азоту (з) та перегрівання над температурою ліквідус на рідкотекучість конструкційних сталей. Базова сталь 20ХГСЛ

За питомою ефективністю збільшення рідкотекучості легувальні елементи можна розташувати в наступній послідовності: Si, Cr, Mn, C, V, N, V+N.