

1. Сварка в машиностроении. Т.1. Під ред. Н.А. Ольшанского. М.: Машинобудування, 1978.-с.310.
2. Афтанділянц Е. Г., Зазимко О.В., Лопатько К. Г., Іванова О. В. Технологія конструкційних матеріалів: Навчальний посібник в 2-х книгах. Книга 1. К.: НУБіП, 2016.- с. 511.

УДК 669.18.621:539.21

Є. Г. Афтанділянц

Національний університет біоресурсів і природокористування України, Київ

ЗАКОНОМІРНОСТІ ВПЛИВУ ПАРАМЕТРІВ СТРУКТУРИ НА МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ЛИТИХ НОРМАЛІЗОВАНИХ СТАЛЕЙ

Механічні властивості сталей визначаються в основному твердо розчинним впливом елементів та зміною ними кількості та закономірностей виділення вторинних фаз у процесі термічної обробки. Комплексне поліпшення механічних властивостей конструкційних сталей найбільш оптимально може бути досягнуто в тому випадку, якщо легування, модифікування та мікролегування сталей буде поєднуватися з оптимальними режимами термічної обробки та подальшим виділенням елементів з твердого розчину у вигляді дисперсних карбідних і нітридних фаз.

Виходячи з таких передумов досліджували можливість аналітичного опису механічних властивостей нормалізованих сталей з феррито-перлітною структурою з використанням таких вихідних факторів, що істотно впливають на аустенітну структуру, як ступінь перегріву над температурою t_{ac3} (Δt_c), вміст в сталі С, Si, Mn, Cr, S, P, кількість розчиненого в аустеніті азоту (N_a) і ванадію (V_a) та вміст нітридванадієвої фази (q_{VN_a}). На ферито-перлітну структуру - вміст у фериті вуглецю (C_f), марганцю (Mn_f), хрому (Cr_f), кремнію (Si), ванадію (V_f), азоту (N_f), а також нітридванадієвої (q_{VN_f}) та карбідної (q_k) фаз, що виділилися у фериті по завершенню перетворення аустеніту на перліт.

Вплив структурних чинників на формування механічних властивостей литих нормалізованих сталей, з ймовірністю 95%, має такий вид:

- межа міцності (МПа)

$$\begin{aligned} \sigma_{\sigma} = & 1410 + 284,1 \cdot (C + N_a) - 9289 \cdot (S + P) - 2,485 \cdot (C + N_a) \cdot \Delta t_c - 65,63 \cdot q_k + \\ & + 5,095 \cdot q_{VN_f} \cdot (C_f + N_f) + 1,362 \cdot 10^{-3} \cdot \Delta t_c \cdot (C_f + N_f) \cdot (Si + Mn_f + Cr_f + V_f) - , \\ & - 3,957 \cdot 10^{-3} \Delta t_c \cdot q_k \cdot q_{VN_f} \cdot (C_f + N_f) \cdot (Si + Mn_f + Cr_f + V_f); \\ R = & 0.759; \delta = 1.95\%; F_{7/72} = 14.02 > F_m^{0,05} = 1.9, \end{aligned} \quad (1);$$

- межа текучості (МПа)

$$\begin{aligned} \sigma_m = & 592 - 50,71 \cdot (Si + Mn + Cr + V_a) + 203,7 \cdot (C + N_a) \cdot (Si + Mn + Cr + V_a) - \\ & - 4130 \cdot (C + N_a) \cdot (S + P) \cdot (Si + Mn + Cr + V_a) - 87,53 \cdot q_k + \\ & + 132 \cdot (C + N_a) \cdot (S + P) \cdot (Si + Mn + Cr + V_a) \cdot \Delta t_c \cdot q_{VN_a} + , \\ & 151,8 \cdot (Si + Mn_f + Cr_f + V_f) - 196,8 \cdot q_k \cdot q_{VN_f} + \\ & + 6,417 \cdot 10^{-4} \cdot \Delta t_c \cdot (C_f + N_f) \cdot (Si + Mn_f + Cr_f + V_f) \cdot q_k \cdot q_{VN_f} \\ R = & 0.889; \delta = 3.1\%; F_{8/71} = 33.59 > F_m^{0,05} = 2.3, \end{aligned} \quad (2);$$

- відносне видовження (%)

$$\begin{aligned} \delta = & 30,1 - 1,28 \cdot (Si + Mn + Cr + V_a) + 7,983 \cdot (C + N_a) \cdot (Si + Mn + Cr + V_a) - \\ & - 0,3664 \cdot \Delta t_c + 8,782 \cdot (C + N_a) \cdot (S + P) \cdot \Delta t_c - 4,314 \cdot (Mn_f + Cr_f + V_f + Si) + \\ & + 0,02081 \cdot (C_f + N_f) \cdot (Si + Mn_f + Cr_f + V_f) + , \\ & + 0,2682 \cdot q_k \cdot (Si + Mn_f + Cr_f + V_f) + 0,0288 \cdot (Si + Mn_f + Cr_f + V_f) \cdot \Delta t_c + \\ & + 0,0576 \cdot q_k \cdot \Delta t_c - 8,061 \cdot 10^{-3} \cdot q_k \cdot (C_f + N_f) \cdot (Si + Mn_f + Cr_f + V_f) + \\ & + 9,18 \cdot 10^{-2} \cdot q_k \cdot q_{VN_f} \cdot \Delta t_c, \\ R = & 0.904; \delta = 17.8\%; F_{11/68} = 27.7 > F_m^{0,05} = 2.3, \end{aligned} \quad (3);$$

- відносне звуження (%)

$$\begin{aligned} \psi = & 69,4 - 18,33 \cdot (Si + Mn + Cr + V_a) \cdot (C + N_a) - 79,17 \cdot (S + P) \cdot (Si + Mn + Cr + V_a) - \\ & - 0,4384 \cdot \Delta t_c + 5,074 \cdot (S + P) \cdot \Delta t_c + 258,2 \cdot (C + N_a) \cdot (Si + Mn + Cr + V_a) \cdot (S + P) - \\ & - 5,703 \cdot (Si + Mn_f + Cr_f + V_f) + 0,5291 \cdot q_k \cdot (Si + Mn_f + Cr_f + V_f) + , \\ & + 0,04738 \cdot q_k \cdot (C_f + N_f) + 0,03717 \cdot q_k \cdot \Delta t_c - 8,132 \cdot 10^{-3} \cdot q_k \cdot (C_f + N_f) \cdot \\ & \cdot (Si + Mn_f + Cr_f + V_f) + 0,2864 \cdot q_{VN_f} \cdot q_k \cdot \Delta t_c, \\ R = & 0.924; \delta = 17.24\%; F_{11/68} = 36.01 > F_m^{0,05} = 2.3, \end{aligned} \quad (4);$$

- ударна в'язкість (МДж/м²)

$$\begin{aligned} KCU = & 1,22 - 0,0664 \cdot (Si + Mn + Cr + V_a) - 2,457 \cdot (C + N_a) - 13,76 \cdot (S + P) + \\ & + 0,2369 \cdot (C + N_a) \cdot (Si + Mn + Cr + V_a) + 1,556 \cdot (S + P) \cdot (Si + Mn + Cr + V_a) + \\ & + 53,67 \cdot (C + N_a) \cdot (S + P) + 0,01562 \cdot (C + N_a) \cdot \Delta t_c - 4,913 \cdot 10^{-3} \cdot \Delta t_c + \\ & + 0,124 \cdot (S + P) \cdot \Delta t_c + 28,31 \cdot (S + P) \cdot q_{VN_a} - 5,529 \cdot (C + N_a) \cdot (S + P) \cdot (Si + Mn + , \\ & + Cr + V_a) - 0,4229 \cdot (C + N_a) \cdot (S + P) \cdot \Delta t_c - 91,93 \cdot (C + N_a) \cdot (S + P) \cdot q_{VN_a} - \\ & - 0,06272 \cdot (Si + Mn_f + Cr_f + V_f) + 1,962 \cdot 10^{-3} \cdot q_k \cdot (Si + Mn_f + Cr_f + V_f) - \\ & - 1,71 \cdot 10^{-6} \cdot (C_f + N_f) + 0,4247 \cdot q_k \cdot q_{VN_f} - 1,078 \cdot 10^{-4} \cdot q_k \cdot \Delta t_c + \\ & + 6,384 \cdot 10^{-7} \cdot (C_f + N_f) \cdot (Si + Mn_f + Cr_f + V_f) \cdot \Delta t_c, \\ R = & 0.755; \delta = 1.9\%; F_{9/60} = 4.19 > F_m^{0,05} = 1.9. \end{aligned} \quad (5);$$

де R - коефіцієнт множинної кореляції, δ - середня похибка апроксимації (тобто середнє відхилення розрахункових значень від експериментальних), $F_{n/m}$, $F_{\tau}^{0,05}$ – розрахунковий та табличний критерій Фішера, відповідно.

Результати розрахунків показують, що збільшення вмісту в сталі 20ХГСП вуглецю, кременію, марганцю, хрому, ванадію, азоту, а також одночасно ванадію та азоту

призводить до монотонного підвищення міцних та екстремальних змін пластичних характеристик та ударної в'язкості.

Приймаючи за базу сталь 20ХГСП, оцінили ефективність впливу С, Si, Mn, Cr, V, N та V+N на зміну рівня механічних властивостей нормалізованих сталей за різного перегріву над температурою t_{ac3} (Δt_c).

По збільшенню середньої питомої ефективності впливу елементів на міцні властивості їх можна розмістити в наступній послідовності: Cr, Si, C, V, Mn, N, V+N.

При цьому зі збільшенням температури аустенізації ефективність впливу елементів зростає. Це вказує на суттєвий вплив стійкості аустеніту до переохолодження на дисперсність структури, що утворюється в результаті перетворення аустеніту на перліт і ферито-перлітну структуру і, як наслідок, на міцність матеріалу.

Порівнюючи вплив таких карбідо- і нітриде утворюючих елементів, як Cr, C, V, V+N слід зазначити, що ефективність зміни ними міцності сталі залежить, мабуть, не стільки від кількості, скільки від дисперсності фази, що утворюється при перетворенні аустеніту на вторинну перліт, оскільки видно, що вплив таких активних карбідоутворюючих елементів, як хром і вуглець нижче, ніж ванадію, що утворює дисперсні карбіди VC, або ванадію і азоту, що утворюють дисперсні нітриди ванадію.

Аналіз показує, що вуглець, кремній та азот закономірно знижують значення відносного подовження, звуження та ударної в'язкості. А вплив легування марганцем, хромом, ванадієм і ванадієм разом з азотом екстремальний. Є оптимуми їх змістів, у яких має місце одночасне підвищення міцності та пластичних властивостей. При цьому вплив елементів залежить від ступеня перегріву сталі над температурою t_{ac3} .

Наприклад, при легуванні сталі 20ХГСП 0,1% ванадію при перегріві над t_{ac3} на $\Delta t_c = 15$ °С підвищення ударної в'язкості становить 6,7%. Зі збільшенням величини перегріву до $\Delta t_c = 62$ °С вона досягає 9,8%. При подальшому підвищенні величини перегріву ефективність підвищення ванадієм ударної в'язкості знижується і при $\Delta t_c = 265$ °С становить лише 3,2%. Інша закономірність спостерігається у разі спільного легування сталі 0,1% ванадію та 0,015% азоту. Оптимальний вплив спостерігається при перегріві сталі на 100-200 °С вище t_{ac3} , що відповідно на 110-10 °С нижче температури повного розчинення нітридів ванадію в аустеніті.

Це вказує на те, що процес формування механічних властивостей нормалізованих сталей, легуваних азотом і ванадієм з феррито-перлітною структурою практично

повністю контролюється ступенем розчинення нітридів ванадію в аустеніті, а оптимальна температура аустенітизації таких сталей повинна бути не нижче температури повного розчинення нітридів ванадію на 110°C.

В заключенні необхідно відзначити, що механічні властивості нормалізованих конструкційних сталей з феррито-перлітною структурою, з коефіцієнтом кореляції від 0,759 до 0,924 і похибкою від 8,3 до 17,8%, залежать від ступеня легування аустеніту і вмісту в ньому нітридванадієвої фази, вмісту вуглецю, температури закінчення розпаду пересиченого твердого розчину і кількості карбідної і нітридванадієвої фаз, що виділилися.

УДК 622.276.6

А. С. Барсук

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків

ВПЛИВ СКЛАДУ ЧАВУНУ ДЛЯ ЛИТИХ ДЕТАЛЕЙ, ЩО ПРАЦЮЮТЬ В УМОВАХ АБРАЗИВНОГО ТЕРТЯ, НА ЗНОСОСТІЙКІСТЬ

Об'єктом дослідження був доевтектичний чавун, легований титаном для лопаток змішувачів, що працюють в умовах абразивного тертя.

При виборі матеріалу для лопаток та технології його виготовлення важливо вирішувати завдання підбору хімічного складу, що забезпечує задані властивості. При виборі як матеріал чавуну його легують елементами, що забезпечують процеси карбідоутворення, наприклад ванадієм у поєднанні з марганцем, хромом і нікелем [1, 2] або титаном і бором [3, 4]. Такі елементи по-різному впливають на структуру та властивості залежно від абсолютного значення концентрацій елементів та їх співвідношень, дозволяючи отримувати чавуни різних марок, варіюючи цими величинами.

При виборі як матеріал сталі, важливо забезпечити високі поверхневі властивості, на відміну від чавуну, де важливі властивості за обсягом. Це забезпечується технологіями азотування [5] або борування [6], що забезпечують високу поверхневу твердість та задану глибину дифузійного шару.

Виходячи з міркувань вартості і металургійної складності виготовлення, кращим є чавун, структура якого повинна забезпечувати високу стійкість до стирання, для чого вона повинна включати карбіди елементів різної складності.