

УДК 669.15 – 194.56

Грабовський В.Я.¹, Шило Д.О.²

¹ канд. техн. наук, доц. ЗНТУ

² студ. гр. ІФ-214 ЗНТУ

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СТУПІНЧАСТОГО СТАРІННЯ ШТАМПОВОГО СПЛАВУ З ІНТЕРМЕТАЛІДНО-КАРБІДНИМ ЗМІЦНЕННЯМ

Для високих температур експлуатації пресових інструментів та інших виробів запропоновано сплав на залізо-нікелевій основі марки ХН30ВМЮУ (ЭК40) з дисперсійним твердінням. Сплав має ГЦК кристалічну ґратку основи, а легування забезпечує йому зміцнення при старінні за рахунок виділення дисперсних частинок карбідів типу $M_{23}C_6$, M_6C і інтерметалідів γ' -фази типу Ni_3Al та фази Лавеса $Fe_2(W,Mo)$. Рекомендована зміцнювальна термічна обробка сплаву полягає в гартуванні від температури $1250^\circ C$ (витримка 2 години) в маслі та наступного старіння $800^\circ C$, 10 годин. В загартованому стані сплав має твердість 86 HRB (тобто нижче мінімальних значень вимірювань за шкалою HRC). Після наступного старіння твердість зростає до 22 HRC (більше 100 HRB), а механічні властивості при температурі $750^\circ C$ складають близько наступних значень: границя текучості – 200 Н/мм^2 , границя міцності – 370 Н/мм^2 , відносне подовження – 29%, відносне звуження – 42%, ударна в'язкість – 43 Дж/см^2 .

Порівняно низька твердість сплаву потребує її підвищення. З цією метою виконаний пошук режимів ступінчастого старіння, що згідно багатьом дослідженням порівняно із звичайним (одинарним) збільшує здатність до

дисперсійного твердіння без зменшення пластичності сплавів. Пошук оптимальних режимів ступінчатого старіння виконували після попереднього гартування за режимом: 1250°C, витримка 2 години, охолодження в маслі. Варіювання температури та часу старіння виконували за методикою математичного планування експерименту з використанням дрібної репліки 2⁴⁻¹. Визначний контраст відповідав співвідношенню $X_1X_2X_3=X_4$. Параметрами оптимізації були твердість (HRC) та ударна в'язкість (KCU), яка визначалась при температурі 750°C. Остання характеристика вибрана для контролю схильності для гарячої деформації металів. Рівні та інтервали варіювання незалежних факторів ступінчастого старіння наведені в таблиці 1. Час старіння для першої та третьої сходинки був фіксованим і складав 10 годин та 20 годин відповідно, а для другої сходинки варіювався в межах.

Таблиця 1. – Умови побудови факторного плану 2⁴⁻¹

Найменування	Температура I сходинки, °C	Температура II сходинки, °C	Час витримки для II сходинки, годин	Температура III сходинки, °C
Кодове позначення	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄
Нижній рівень	650	725	5	800
Середній рівень	675	750	10	825
Верхній рівень	700	775	15	850
Інтервал варіювання	25	25	5	25

За отриманими даними розраховані рівняння регресії, які, після виключення незначущих коефіцієнтів, мають наступний вигляд:

$$\text{HRC} = 24,4 - 0,5 X_1 - 0,3 X_2 + 0,6 X_3 - 1,4 X_4 - 0,4 X_1X_2;$$

$$\text{KCU}^{750}, \text{ Дж/см}^2 = 36,1 + 1,5 X_1 - 2,1 X_2 - 1,6 X_1X_2 + 1,1 X_1X_3.$$

Пошук найбільш ефективного режиму старіння виконували шляхом дослідження області навколо дослідів з найкращим рівнем характеристик. Такому досліді відповідає ступінчасте старіння за режимом: 700°C, 10 годин + 775°C, 15 годин + 800°C, 20 годин.

Цей режим старіння забезпечує твердість 27 HRC та ударну в'язкість 44 Дж/см². Для більшого підвищення твердості виконано думкове варіювання незалежних змінних навколо цього досліді в межах $-2 < X_1 < 2$.

Найбільше значення твердості, що складало 29 HRC, при досить високій ударній в'язкості (48 Дж/см²) режиму ступінчастого старіння температури першої та другої сходинки співпадають, що відповідає ступінчастому старінню за режимом 710[°]C, 30 годин + 775[°]C, 20 годин.

Це забезпечило сплаву твердість 29 HRC, і наступні механічні властивості при температурі 750[°]C: границя текучості – 284 Н/мм², границя міцності – 419 Н/мм², відносне подовження – 32%, відносне звуження – 44%, ударна в'язкість 42(48) Дж/см².

Тобто в порівнянні зі звичайним старінням досягнуто зростання твердості на 7 одиниць HRC, границі текучості на 80 Н/мм² та границі міцності на 50 Н/мм² без зменшення характеристик пластичності та ударної в'язкості.