

**СЕКЦІЯ: НОВІ МАТЕРІАЛИ, МІЦНІСТЬ ТА ДОВГОВІЧНІСТЬ
КОНСТРУКЦІЙ**

УДК 669.245.018.044:620.193.53

О.А. Глотка, к.т.н., доц., В.Ю. Ольшанецький, д.т.н., проф.

Національний університет «Запорізька політехніка», м. Запоріжжя, Україна

**УДОСКОНАЛЕННЯ СТРУКТУРНО-ФАЗОВОГО СКЛАДУ ЛИВАРНИХ
ЖАРОМІЦНИХ НІКЕЛЕВИХ СПЛАВІВ РІВНООСНОЇ КРИСТАЛІЗАЦІЇ**

О. Glotka PhD, Assoc. Prof, V.Y. Ol'shanetskii, Dr., Prof

**IMPROVING THE STRUCTURAL-PHASE STORAGE OF LIQUOR HEAT NICKEL
ALLOYS IN EQUAL-AXLE CRYSTALLIZATION**

По мірі вдосконалення систем легування ливарних жароміцних нікелевих сплавів ускладнюється їхня структура і змінюється фазовий склад. Крім основних фаз: γ - твердого розчину, високодисперсної γ' - фази, що виділяється з γ - твердого розчину, і карбідів типу MC, виділяються надлишкові фази, що являють собою евтектику $\gamma+\gamma'$, карбіди інших типів ($M_{23}C_6$, Me_6C), фази на основі твердого розчину одного з елементів: (хром, кобальт) σ - фаза, (вольфрам, молібден) μ - фаза і т. п. [1, 2]

У системі багатокомпонентного легування (Ni-13,5Cr-5Co-3,4Al-4,8Ti-7,3W-0,8Mo-0,015B-0,12C), що відповідає сплаву ЗМІ-3У, діапазон варіювання елементами був обраний з міркувань максимальної та мінімальної кількості елемента, що вводиться в ливарні жароміцні нікелеві сплави (ЖНС). Таким чином, для дослідження були обрані карбідоутворюючі елементи в наступних діапазонах легування: вуглець (0,02-0,2); титан (1-6); ніобій (0,1-4); тантал (0,5-12); гафній (0,1-2,5) % за масою.

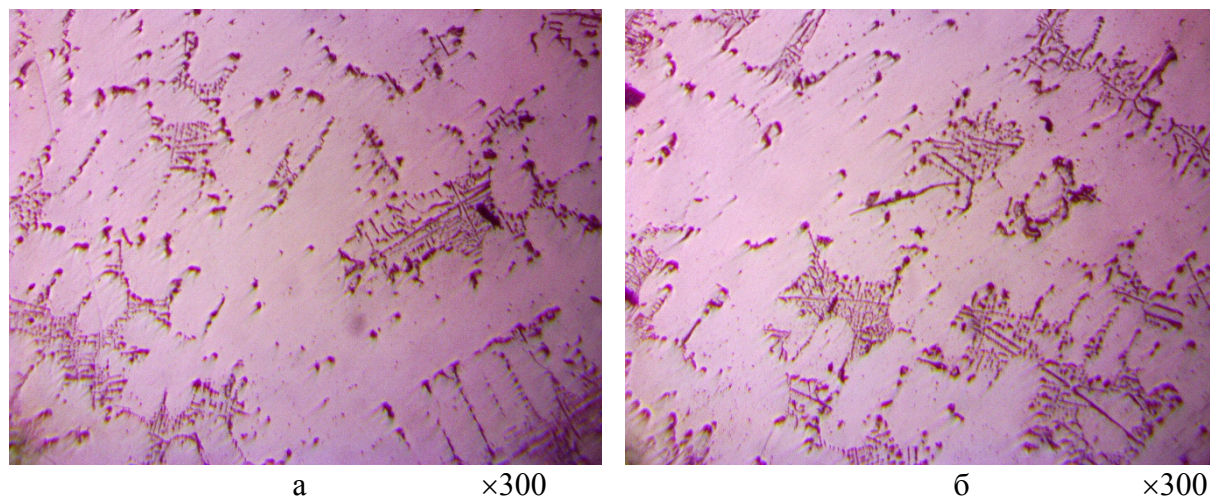


Рис. 1 – Форма карбідів в ливарному жароміцному нікелевому сплаві легованого титаном

Титан присутній не тільки у складі зміцнюючої γ' фази, а й є сильним карбідоутворюючим елементом, на основі якого формуються карбіди типу MC шрифтової форми (рис.1). У досліджуваній системі легування карбіди типу MC на основі титану легований елементами такими як вольфрам, молібден і хром. Вміст вольфраму в карбіді знаходиться в межах (25-40)%, у той час як молібдену та хрому в межах (0,15-0,35)% та (0,45-1,45)% за масою, відповідно. При цьому встановлено, що титан має складний вплив не тільки на температуру розчинення (або виділення)

первинного карбиду MC , але і на аналогічну температуру утворення карбиду типу $M_{23}C_6$.

Збільшення легованістю ніобієм до 1,5% приводить до зростання його в карбіді типу MC . А при 2,5% карбід змінює свою основу і стає на основі ніобію, при цьому морфологія карбиду змінюється з шрифтової (рис.1) на огранену неправильної форми (рис.2). Так само, при 2,5% ніобію спостерігаються зміни у карбідах типу $M_{23}C_6$, до зазначеної концентрації ніобію, карбіди склалися з: 73,8Cr; 13,7 Mo; 5,6W; 1,76Ni та 0,71Co і практично ці показники не змінювалися. Однак, вище 2,5% Nb концентрація елементів у карбідах помітно змінилася: 88,7Cr; 2,6 Mo; 1,5W; 0,87Ni і 0,8Co і не змінювалася зі зростанням вмісту ніобію. Зміна концентрацій елементів призводить до виділення топологічно-щільнопакованої (ТЩП) фази (Р-фази) та наближення складу карбиду до типу $Cr_{23}C_6$, який має нижчу термодинамічну стабільність.

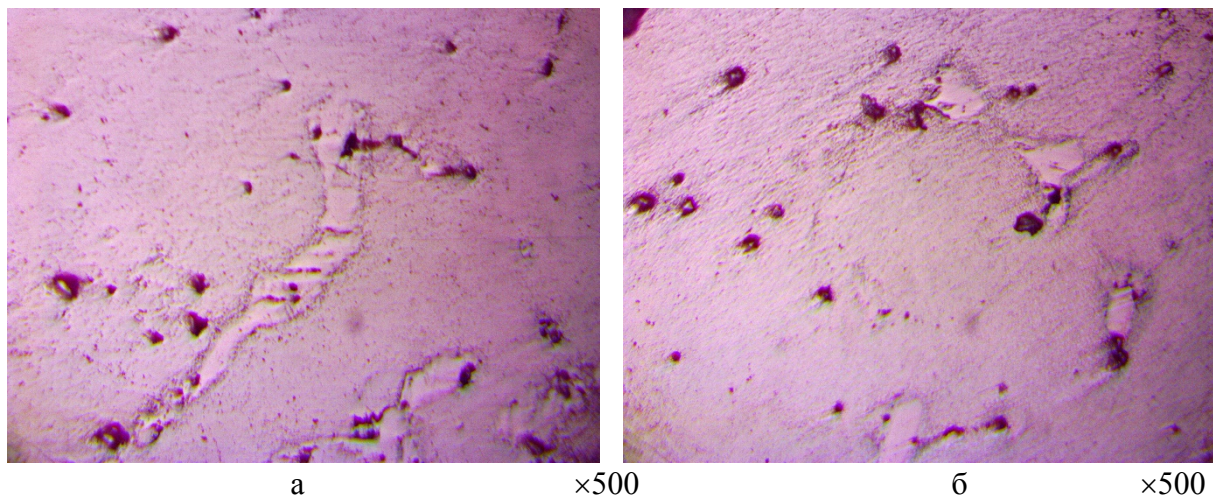


Рис. 2 – Морфологія карбідних фаз в ливарному жароміцному нікелевому сплаві легованим ніобієм

Збільшення вмісту танталу в сплаві до 4% по масі призводить до утворення ТЩП фаз (типу Р-фази), що може негативно впливати на механічні властивості. При вмісті 4% танталу проходить зміна стехіометрії карбиду подібно до того, як це відбувається при легуванні ніобієм - карбід прагне до утворення $Cr_{23}C_6$. При концентрації в сплаві танталу 8% можливе виділення σ - фази, що також негативно впливає на структурну неоднорідність і механічні характеристики сплаву, особливо пластичність.

Таким чином, отримані залежності визначення типу, кількості і хімічного складу карбідів показали хорошу збіжність і узгодженість, порівняно з експериментальними даними.

Література

1. Glotka A.A. Forecasting the Properties of Heat-Resistant Nickel Alloys Equalaxial Crystallization / A.A. Glotka, V.E. Ol'shanetskii// Archives of Metallurgy and Materials. – 2022. - Vol. 67, No. 1. - PP. 51-56. <https://doi.org/10.24425/amm.2022.137471> .
2. Chao-Nan Wei The effects of carbon content on the microstructure and elevated temperature tensile strength of a nickel-base superalloy / Chao-Nan Wei , Hui-Yun Bor, Li Chang// Materials Science and Engineering A. – 2010. – Volume 527. – Pp. 3741-3747. doi:10.1016/j.msea.2010.03.053
3. R Yonghua Characterization of $M_{23}C_6$ carbide precipitated at grain boundaries in a superalloy / R Yonghua, Hu Geng, G Yongxiang // Metallography. – 1989. - №22(1). – P. 47-55. DOI: [10.1016/0026-0800\(89\)90021-9](https://doi.org/10.1016/0026-0800(89)90021-9).