

Література:

1. Технічне обслуговування і ремонт автомобілів: Технологія: Підручник / Лудченко О. А. – К.: Вища шк., 2008. – С. 307-318.
2. Гутаревич Ю. Ф., Зеркалов Д. В., Говорун А. Г., Корпач А. О., Мержиєвська Л. П. Екологія та автомобільний транспорт: Навчальний посібник. – К.: Арістей, 2006. – 292 с.
3. Книш Ю. В., Копій М. Л. Шляхи зменшення шкідливих викидів автотранспорту у навколишнє середовище // Науковий вісник національного лісотехнічного університету України: збірник науково-технічних праць. – Львів: РВВ НЛТУ України. – 2014. – Вип. 24.3. – С. 81-86.
4. Матейчик В. П. Методи оцінювання та способи підвищення екологічної безпеки дорожніх транспортних засобів: монографія / В. П. Матейчик. – К.: НТУ, 2006. – 216 с.

Шемет В.Ж.¹, Ворон М.М.², Семенко А.Ю.², Тимошенко А.М.²

(¹КПІ ім. Ігоря Сікорського; ²ФТІМС НАН України, м. Київ)

**СТРУКТУРО- ТА ФАЗОУТВОРЕННЯ В TWIP-СТАЛЯХ
Fe-(20-25)Mn-(9-12)Al-1C В ЛИТОМУ СТАНІ ТА ПІСЛЯ МОДИФІКУВАННЯ
ЛАНТАНОМ І ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ**

E-mail: volodymyrshemet@gmail.com

TWIP-сталі є сучасними та перспективними матеріалами з високою питомою міцністю та широкою сферою застосування в машинобудуванні, аерокосмічній, суднобудівній, хімічній та енергетичній промисловості. Зазвичай до їх складу входить більше 15% мас. марганцю, 5-15% мас. алюмінію та 0,5-1,5% мас. вуглецю [1-3]. Дані сталі частіше всього характеризуються трьома складовими – аустенітом, феритом і зміцнюючими κ-карбідами. Композиції, які знаходяться біля областей існування кількох фаз, відповідно до діаграм стану (рис. 1), можуть бути зручними для управління структурою та властивостями сплавів шляхом термічної обробки. У зв'язку з цим, багато досліджень були

присвячені управлінню структурно-фазовим станом сталей складу Fe-(20-25)Mn-(9-12)Al-1C після лиття та термічної обробки.

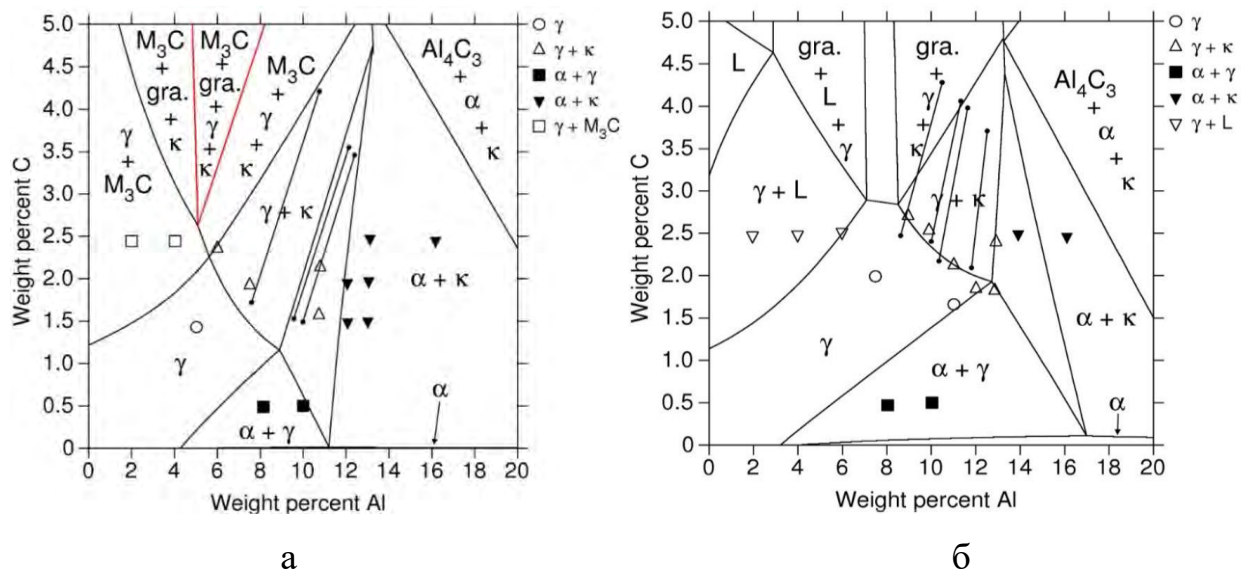


Рис. 1. Розраховані діаграми стану Fe-20Mn-Al-C при 900 °C (а) і 1200 °C (б) [4, 5]

В ході досліджень було одержано експериментальні зразки сплавів різного хімічного складу і розглянуто вплив термічної обробки на аустенізацію та низькотемпературного старіння на виділення к-карбідів. Вплив додавання La на структуру отриманих зразків сталі Fe-Mn-Al-C також досліджено з точки зору подрібнення структури та рафінування сплавів від домішок.

Встановлено, що вміст алюмінію близько 12% мас. робить сталі Fe-(20-25)Mn-(9-12)Al-1C менш схильними до стабілізації аустеніту після гартування. Одночасно відбувається більша стабілізація фериту та полегшується виділення к-карбідів. Такі результати частково не узгоджуються з теоретично розрахованими фазовими діаграмами.

Було виявлено, що найбільш універсальним складом для досягнення різних типів структури наближено можна назвати Fe-25Mn-9Al-1C, але на практиці він демонструє низьку здатність утворювати к-карбіди після рекомендованої термічної обробки – гартування з 1100 °C та подальшого низькотемпературного старіння 600 °C протягом 2 годин. TWIP-сталі зі складом, близьким до трифазної

зони, вимагають більшої тривалості нагріву або більш високої температури гартування для повної аустенізації через високий вміст алюмінію.

Утворення та розподіл κ -карбідів відбувається на межі зерен між α -Fe та γ -Fe у литому стані. Це може бути більш імовірно, ніж після термообробки.

Встановлено, що додавання лантану має ефект очищення розплаву від домішок та одночасного слабовираженого модифікування структури. При додаванні лантану вміст марганцю зменшується через інтенсивну десульфурацію.

Література:

1. Raabe, D., Tasan, C.C., Springer, H. and Bausch, M. (2015), From High-Entropy Alloys to High-Entropy Steels. *steel research int.*, 86: 1127-1138. <https://doi.org/10.1002/srin.201500133>
2. Bleck, W. New insights into the properties of high-manganese steel. *Int J Miner Metall Mater* 28, 782–796 (2021). <https://doi.org/10.1007/s12613-020-2166-1>
3. Bih-Show Lou, Yen-Yu Chen, Zih-You Wu, Yu-Chu Kuo, Jenq-Gong Duh, Jyh-Wei Lee. (2022). $(\text{Fe,Mn})_3\text{AlC}_x$ κ -carbide formation and characterization in pack aluminization of Fe–29Mn–9Al–0.9C lightweight steel, *Journal of Materials Research and Technology*, Volume 20, 1524-1532. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2022.07.179>
4. Peng Chen, Xiaowu Li, Hongliang Yi. (2020). The κ -Carbides in Low-Density Fe-Mn-Al-C Steels: A Review on Their Structure, Precipitation and Deformation Mechanism. *Metals*. 10, 1021. <https://doi.org/10.3390/met10081021>
5. Chin K., Lee H., Kwak J., Kang J., Lee B. Thermodynamic calculation on the stability of $(\text{Fe,Mn})_3\text{AlC}$ carbide in high aluminum steels. *J. Alloy. Compd.* 2010. vol. 505. pp. 217–223. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2010.06.032>