

УДК 621.74

Барсук А. С.¹, Дьомін Д. О.²

¹ аспірант, НТУ «ХПІ», Харків

² докт. техн. наук, професор, НТУ «ХПІ», Харків

СИНТЕЗ СКЛАДУ ЧАВУНУ, ЛЕГОВАНОГО ТИТАНОМ, ЗА КРИТЕРІЄМ МАКСИМУМУ КОЕФІЦІЄНТУ ЗНОСОСТІЙКОСТІ

Анотація: Визначено вміст титану в чавуні, що забезпечує максимум коефіцієнта зносостійкості за різного складу базового сплаву. Встановлено, що при тому самому вмісті титану найбільше значення коефіцієнта зносостійкості залежить від вмісту вуглецю та положення евтектичної точки на діаграмі стану Fe-C. У дослідженому діапазоні найбільші значення коефіцієнта зносостійкості відповідають середній області змін цих факторів. Це дозволяє говорити про те, що вплив вмісту вуглецю і положення евтектичної точки подвійно впливають на зносостійкість при тому самому вмісті титану, причому існує область вмісту титану, в якій вплив цих факторів на величину зносостійкості стає однаковим.

Ключові слова: доевтектичний чавун, легування титаном, абразивне тертя, лопатки змішувачів, вуглецевий еквівалент

Abstract: The content of titanium in cast iron was determined, which provides the maximum wear resistance coefficient with various compositions of the base alloy. It has been established that with the same titanium content, the highest value of the wear resistance coefficient depends on the carbon content and the position of the eutectic point on the Fe-C state diagram. In the studied range, the highest values of the wear resistance coefficient correspond to the average range of variation of these factors. This allows to say that the effect of carbon content and the position of the eutectic point doubly affect wear resistance at the same titanium content, and there is a range of titanium content in which the effect of these factors on the wear resistance value becomes the same.

Keywords: hypoeutectic cast iron, titanium alloying, abrasive friction, mixer blades carbon equivalent

Гіпотеза дослідження ґрунтувалася на наступному. Маючи в своєму розпорядженні адекватну математичну модель, що описує залежність зносостійкості від вмісту в чавуні вуглецю, положення евтектичної точки на діаграмі стану Fe-C і вмісту титану, а також даними промислових плавок чавуну без титану, можна встановити його безпосередній вплив на зносостійкість і визначити оптимальний хімічний склад. Завдяки цьому можна буде отримувати сплав з найбільшою зносостійкістю, а також визначати найбільш суттєві фактори, що впливають на стійкість деталей, схильних до абразивного тертя.

Було використано теоретико-аналітичний підхід до дослідження, яке є

продовженням досліджень, представлених в роботах [1–4].

Оптимізації передувала побудова математичної моделі вигляду $K_{wr} = K_{wr}(C, C_{eq}, Ti)$, в якій вхідні змінні варіювалися наступним чином: $C = (2.21 - 3.34) \%$, $C_{eq} = C + 0.3Si - 0.03Mn = (2.539 - 3.827) \%$, $Ti = (0.28 - 2.94) \%$, K_{wr} – коефіцієнт зносостійкості. Отримане рівняння регресії в натуральному вигляді [1]:

$$\begin{aligned}
 K_{wr} = & 12.08145 + 1.917424 \frac{C - 2.775}{0.565} - 2.09456 \frac{C_{eq} - 3.183}{0.644} - 0.39929 \frac{Ti - 1.61}{1.33} - \\
 & - 13.2789 \left(\frac{C - 2.775}{0.565} \right)^2 - 14.3292 \left(\frac{C_{eq} - 3.183}{0.644} \right)^2 - 3.20145 \left(\frac{Ti - 1.61}{1.33} \right)^2 + \\
 & + 25.76207 \left(\frac{C - 2.775}{0.565} \right) \left(\frac{C_{eq} - 3.183}{0.644} \right) + 4.497585 \left(\frac{C - 2.775}{0.565} \right) \left(\frac{Ti - 1.61}{1.33} \right) - \\
 & - 5.47818 \left(\frac{C_{eq} - 3.183}{0.644} \right) \left(\frac{Ti - 1.61}{1.33} \right).
 \end{aligned} \tag{1}$$

На рисунку 1 представлені результати апроксимації значень K_{wr} , отриманих чисельним моделюванням.

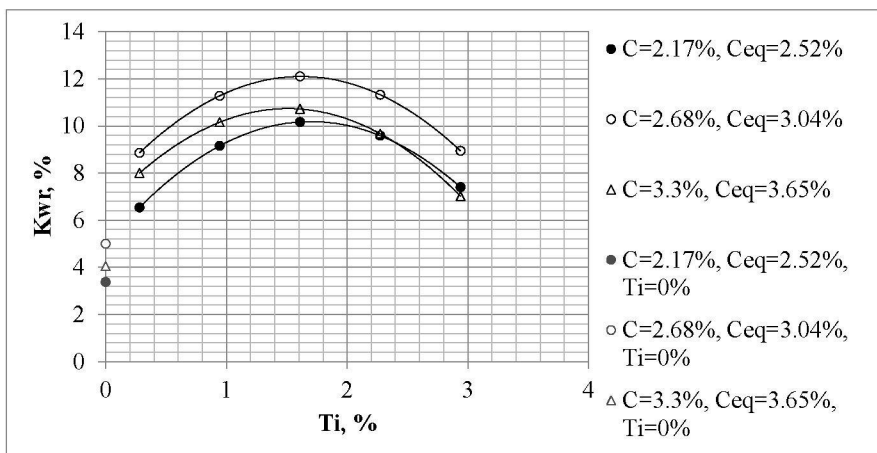


Рисунок 1 – Результати чисельного моделювання

З рисунку 2 видно, що максимальна величина коефіцієнта зношування досягається на середньому рівні вмісту титану, незалежно від значень C і C_{eq} . У варіанті $C = 2.17\%$ і $C_{eq} = 2.52\%$ $K_{wrmax} \approx 10\%$, у варіанті $C = 2.68\%$ і

$C_{eq}=3.04\%$ $K_{wtmax}\approx 12\%$, у варіанті $C=3.3\%$ і $C_{eq}=3.65\%$ $K_{wtmax}\approx 11\%$.

Такі результати дозволяють визначити оптимальний за критерієм $K_{wt}\rightarrow \max$ склад сплаву: $C=2.68\%$, $C_{eq}=3.04\%$, $Ti=1.61\%$. Він забезпечує коефіцієнт зносостійкості $K_{wtmax}\approx 12\%$.

Оптимальне значення вуглецевого еквівалента дозволяє оцінити множину допустимих співвідношень Si та Mn у хімічному складі, виходячи з рівняння:

$$Si(\%) = \frac{0.36 + 0.03 Mn(\%)}{0.3} = 1.2 + 0.1 Mn(\%). \quad (2)$$

Розрахунок вмісту кремнію за рівнянням (2) при $Mn=0.96\%$ дає результат $Si=1.296\%$, що збігається з експериментальним значенням, що складало $Si=1.3\%$.

Аналіз отриманих результатів дозволяє побачити важливу тенденцію впливу титану на коефіцієнт зносостійкості, а також оцінити вплив на нього співвідношень C та C_{eq} . Так, встановлено, що застосування Ti для легування чавуну із вмістом вуглецю, близьким до сталей, навіть у мінімальній кількості призводить до збільшення коефіцієнта зносостійкості майже на 92%. Збільшення вмісту вуглецю з $C=2.17\%$ до $C=2.68\%$ при мінімальному рівні вмісту титану призводить до збільшення коефіцієнта зносостійкості на 78%, а збільшення вмісту вуглецю до рівня $C=3.3\%$ при мінімальному рівні вмісту титану призводить до збільшення коефіцієнта зносостійкості на 98%.

Привертає увагу той факт, що якщо вміст титану перевищує значення, що забезпечує $K_{wt} = K_{wtmax}$, зміна вмісту вуглецю і положення евтектичної точки практично не впливає на тенденцію зміни величини K_{wt} . Це видно з характеру кривих залежностей $K_{wt}=f(Ti)$ для $C=2.17\%$, $C_{eq}=2.52\%$ і $C=3.3\%$, $C_{eq}=3.65\%$, які практично збігаються. При цьому збільшення вмісту титану призводить до погіршення зносостійкості і використання титану в таких кількостях може вважатися необґрунтованим як з точки зору впливу на зносостійкість, так і їх економічних міркувань. Виходячи з цього, напрямок подальших досліджень може полягати в пошуку пояснень цього факту, на рівні аналізу структури, процесів та механізмів її утворення, зокрема з урахуванням результатів, наведених в роботах [2–4].

Список використаних джерел

1. Kharchenko, S., Barsuk, A., Karimova, N., Nanka, A., Pelypenko, Y., Shevtsov, V., Morozov, I., Morozov, V. (2021). Mathematical model of the mechanical properties of Ti-alloyed hypoeutectic cast iron for mixer blades. EUREKA: Physics and Engineering, 3, 99–110. doi: <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2021.001830>

2. Vasenko, Yu. A. (2012). Technology for improved wear iron. Technology

Audit and Production Reserves, 1 (1 (3)), 17–21.

doi: <https://doi.org/10.15587/2312-8372.2012.4870>

3. Frolova, L., Barsuk, A., Nikolaiev, D. (2022). Revealing the significance of the influence of vanadium on the mechanical properties of cast iron for castings for machine-building purpose. Technology Audit and Production Reserves, 4 (1 (66)), 6–10. doi: <http://doi.org/10.15587/2706-5448.2022.263428>