

ОЦІНКА НАДІЙНОСТІ ВИРОБІВ З МАЛОВУГЛЕЦЕВОЇ СТАЛІ З ІТРИЄМ

І.В. Дощечкіна, М.Г. Єфіменко

*Харківський національний автомобільно-дорожній університет,
вул. Петровського, 25, м. Харків, 61002*

Анотація. *Наведено результати дослідження впливу ітрію на параметри надійності маловуглецевої литої сталі. Показано, що оптимальний додаток ітрію (0,08 %) в 1,5 раза збільшує критичне напруження крихкого руйнування, знижує температуру в'язко-крихкого переходу і підвищує коефіцієнт запасу в'язкості як при кімнатній, так і при від'ємних температурах.*

Ключові слова: *сталь, ітрій, надійність, коефіцієнт інтенсивності напружень, критичне напруження крихкого руйнування, коефіцієнт запасу в'язкості, поріг холодноламкості.*

Вступ

Надійність виробу зумовлена рядом факторів, і передусім якістю та властивостями матеріалу. Комплекс стандартних механічних характеристик ще не є вичерпним показником придатності матеріалу для цієї конструкції. Часто, особливо за низьких температур, напружений стан може спричинити окрихчення достатньо пластичного в звичайних умовах матеріалу.

Як відомо, опір матеріалу крихкому руйнуванню залежить від показників тріщиностійкості та температури порогу холодноламкості.

Одним з критеріїв в'язкості руйнування, що найширше використовуються, є коефіцієнт інтенсивності напружень K_{Ic} . Однак певні труднощі у визначенні цієї характеристики, які пов'язані з необхідністю використання масивних зразків та потужного обладнання для їх випробування, змусили шукати інші параметри, що корелюють з K_{Ic} . Ці параметри мають визначатися лише структурою матеріалу і не залежати від виду напруженого стану та масштабу виробу.

Стан питання

Автори [1, 2] як обумовлені параметри пропонують критичне напруження крихкого руйнування σ_{cr} і коефіцієнт запасу в'язкості K_v , які можна використати для достатньо достовірного прогнозування опору матеріалу окрихченню в будь-яких умовах експлуатації. Ці показники без особливих ускладнень визначають за результатами низькотемпературних випробувань на розтяг гладких та надрізаних зразків. На надрізаних зразках отримують тимчасовий опір $\sigma_{вн}$, і його залежність від від'ємних температур має вигляд кривої з максимумом. Максимальне значення $\sigma_{вн}$ характеризує опір матеріалу крихкому руйнуванню $\sigma_{кр}$, а температура, при якій реєструється максимум $\sigma_{вн}$, відповідає в'язко-крихкому переходу для надрізаних зразків $t_{крн}$.

Величина $\sigma_{кр}$ може бути мірою конструкційної міцності матеріалу, оскільки при крихкому або квазікрихкому руйнуванні реальна міцність виробу (середнє номінальне напруження руйнування) не може перевищити $\sigma_{кр}$, що переконливо доведено в роботі [3].

Границя текучості $\sigma_{0,2}$ визначається на гладких зразках, і її значення поступово зростає при зниженні температури. Температура, при якій $\sigma_{0,2}$ дорівнює $\sigma_{кр}$, приймається за поріг холодноламкості $t_{кр}$.

Величина K_v вимірюється відношенням $\sigma_{кр}/\sigma_{0,2}$ за певної температури випробувань і є мірою запасу в'язкості матеріалу в певних температурних умовах експлуатації конкретного виробу.

Мета та постановка задачі

Метою цієї роботи було визначення характеристик $\sigma_{кр}$ і K_v для маловуглецевої литої сталі 30Л, що легована ітрієм.

Методика досліджень

Ітрію в розрахунковій кількості 0,04; 0,08 і 0,4 % мас. вносили у рідку ванну при розливанні сталі. При визначенні $\sigma_{кр}$ і K_b за основу була прийнята методика, яку пропонують автори роботи [1], однак форма і розміри зразків (плоскі, 20×2×2 мм) були розроблені авторами.

Випробування на розтяг здійснювали на установці “АЛА—ТОО” з охолодженням зразків рідким азотом. Максимальне зусилля розтягування дорівнювало 5000Н.

Результати досліджень та їх обговорювання

Дослідження показали, що присадка ітрію в кількості 0,08 % знижує $t_{кр}^H$ на 20 °С порівняно зі сталлю без ітрію. Це свідчить про зменшення чутливості матеріалу до концентраторів напружень. При вмісті ітрію до 0,08 % знижується також і $t_{кр}$ від – 190 °С до – 210 °С. При цьому значно зростає $\sigma_{кр}$ (від 1000 МПа для сталі без ітрію до 1500 МПа з 0,08 % ітрію).

Подальше збільшення концентрації ітрію викликає підвищення $t_{кр}^H$ та $t_{кр}$ і зниження $\sigma_{кр}$. Однак і при 0,4 % ітрію $\sigma_{кр}$ все ще вище ніж у сталі без ітрію. Ці результати на якісному рівні корелюють з експериментальними за від’ємних температур залежностями, отриманими авторами раніше при стандартних випробуваннях на розтяг [4].

У таблиці наведено значення K_b для сталей з різним вмістом ітрію для кімнатної температури, – 60 °С та температури в’язко-крихкого переходу для надрізаних зразків $t_{кр}^H$ (–120 °С 140 °С залежно від концентрації ітрію).

Коефіцієнт запасу в’язкості K_b для сталей з різним вмістом ітрію

Вміст ітрію, %	Температура, °С		
	+20	–60	$t_{кр}^H$
0	3,2	2,3	1,6
0,04	3,2	2,4	1,7
0,08	3,7	2,55	1,8
0,4	3,1	2,3	1,5

Дані таблиці свідчать, що при усіх температурах випробувань запас в’язкості сталі з оптимальною присадкою ітрію (0,08 %) найвищий.

Істотно змінюється і вигляд діаграми розтягання зразків зі сталі, що легована ітрієм. Для сталі з присадкою 0,08 % ітрію руйнуванню передують значно більша пластична деформація, ніж для сталі без ітрію. Важливо підкреслити, що така відмінність спостерігається не тільки при кімнатній, але і при від’ємних температурах.

Виконані експерименти доводять, що в природі окрихчування сталі важлива роль належить стану твердого розчину, який істотно змінюється під модифікуючим, рафінуючим та легувальним впливом ітрію.

У кількості до 0,08 % ітрію розчиняється в α -Fe, змінює положення критичних точок ($A_{с3}$, A_{r1} , A_{r3}), збільшує стійкість переохолодженого аустеніту до розпаду.

Із підвищенням концентрації ітрію до 0,1 % період гратки α -фази і стійкість переохолодженого аустеніту зменшується, критичні точки підвищуються.

Ітрію змінює співвідношення структурних складових: до 0,08 % він сприяє перлітизації, а в більшій концентрації діє як активний феритизатор, що є наслідком формування карбідів ітрію та збагачення ним інтерметалідів.

При вмісті до 0,1 % ітрію значно подрібнює зерно, що формується при кристалізації сталі, а також зменшує дисперсію в розподілі зерен за розмірами. В оптимальній концентрації 0,08 % ітрію очищує твердий розчин від шкідливих домішок (сірки, фосфору, кисню, азоту). Ітрію не тільки зменшує загальну кількість неметалевих включень, але й диспергує та глобуляризує її, забезпечує рівномірний розподіл в об’ємі металу. Перелічені фактори підвищують в’язкість сталі при кімнатній та від’ємних температурах, що підтверджено стандартними випробуваннями на ударну в’язкість [4].

Крім того, внаслідок очищення твердого розчину зменшується кількість вузлів закріплення дислокацій домішковими атомами, підвищується їхня рухливість, полегшується пластична деформація, що забезпечує можливість значної релаксації напружень в усті тріщини і припинення її руху. За даними роботи [5] в'язко-крихкий перехід залежить від пластичної деформації біля вершини тріщини і можливості її подальшого просування.

На підвищення холодностійкості значно впливає також очищення границь зерен під впливом оптимальної концентрації ітрію.

При вищій від оптимальної кількості ітрію властивості сталі знижуються у зв'язку із збільшенням неметалевих включень, появою надлишкової крихкої фази, що збагачена ітрієм, та феритизацією структури матриці.

Висновки

Виконані експерименти дають змогу зробити такі висновки:

1. Оптимальна присадка ітрію (0,08 %) не тільки підвищує механічні властивості сталі [4], але і збільшує в 1,5 раза критичне напруження крихкого руйнування і на 20 °С знижує температуру в'язко-крихкого переходу.

2. Для сталі з оптимальним вмістом ітрію для температур експлуатації до – 120 °С коефіцієнт запасу в'язкості найвищий.

Література

1. Мешков Ю.Я. Физические основы разрушения стальных конструкций. – К.: Наукова думка, 1981. – 240 с.
2. Мешков Ю.Я., Пахаренко Г.А. Структура металла и хрупкость стальных изделий. – К.: Наукова думка, 1985. – 268 с.
3. Веркин Б.И., Гриднев В.Н. и др. Использование физических критериев для оценки качества конструкционных материалов в задачах криогенного машиностроения // Металлофизика. – 1988. – Т.4. Вып. 2. – С. 81–86.
4. Дощечкина И.В., Кафтанов С.В. Повышение конструкционной прочности и хладостойкости литой низкоуглеродистой стали // Вестник Национального технического университета ХПИ: Тематический выпуск: Технологии в машиностроении. Харьков: НТУ ХПИ. – 2002.– № 9. Т. 10. – С. 36–40.
5. Красовский А.Я., Надеждин Г.Н. О физическом смысле температуры хрупкости // Физика хрупкого разрушения. Ч1. – К.: Изд-во института проблем материаловедения УССР. – 1976. – С. 50–55.

THE ESTIMATION OF RELIABILITY OF ARTICLES MADE OF LOW-CARBON STEEL WITH YTTRIUM

V. Doshchekina, N.G. Yefimenko

*Kharkiv National Automobile and Highway University,
25 Petrovski Str., 62001, Kharkiv, Ukraine*

Abstract. *This work describes the yttrium influence on the reliability parameters of low-carbon cast steel. It is show that the optimal yttrium edition (0,08 %) increases the critical stress of the brittle transition temperature by 20 °C and raises the toughness reserve coefficient not only at the room, but also at the below-zero temperatures.*

Keywords: *steel, yttrium, reliability, critical stress of brittle fracture, toughness reserve coefficient, ductile-brittle transition temperature.*