

УДК 670.191.33

ВПЛИВ ТЕМПЕРАТУРИ НА УДАРНУ В'ЯЗКІСТЬ ТА ДИНАМІЧНУ ТРІЩИНОСТІЙКІСТЬ СТАЛІ 25X1M1Ф

П. О. МАРУЩАК¹, Р. Т. БИЦАК¹, В. ГЛИХА², А. П. СОРОЧАК¹

¹ Тернопільський національний технічний університет ім. Івана Пулюя;

² Маріборський університет, Словенія

Виявлено, що ударна в'язкість ферито-перлітної сталі 25X1M1Ф зростає з ростом температури випробувань з 20 до 375°C. Це пов'язано зі збільшенням пластичності, що сприяє підвищенню тріщиностійкості матеріалу при 375°C. Тому цю сталь можна використовувати за високотемпературних умов.

Ключові слова: ролики МБЛЗ, ударна в'язкість, динамічна тріщиностійкість, температура.

Однією з найінформативніших характеристик механічних властивостей є ударна в'язкість, за якою можна експрес-діагностувати вплив експлуатаційних факторів на утримувальну здатність та структурний стан матеріалу [1–3]. Роботоздатність конструкцій за високотемпературних умов оцінюють, як правило, за результатами випроб зразків при кімнатній або пониженій температурах [4–6]. Це зумовлено максимальною крихкістю сталей і сплавів за таких умов та складністю експериментів при підвищеній та високій температурах [6, 7].

Водночас умови експлуатації конструкцій металургійного обладнання передбачають також можливість динамічних перевантажень у широкому температурному інтервалі, а літературні дані про високотемпературні залежності ударної в'язкості є обмежені і неоднозначні. Здебільшого із підвищенням температури випроб вона зростає, проте частка енергії зародження і поширення тріщини може відрізнитись [2]. Нижче досліджено вплив температур 20...600°C на ударну в'язкість сталі 25X1M1Ф.

Методика досліджень. Ударну в'язкість визначали на зразках розмірами 10×10××55 mm із V-подібним надрізом радіусом 0,25±0,025 mm. Їх випробували на копрі РКР-300 з енергією удару 300 J та реєстрацією діаграми навантаження в координатах зусилля удару–час та зусилля удару–прогин зразка [8]. Схему вирізання і форму зразків Шарпі вибирали з умов моделювання поширення тріщини в ролику МБЛЗ впродовж експлуатації. Під час роботи втомні тріщини зароджуються на поверхні ролика і розвиваються в радіальному напрямку.

Ударну в'язкість визначали за формулою

$$KCV = A/F, \quad (1)$$

де A – робота руйнування зразка; F – площа його поперечного перерізу в місці надрізу.

Програма керування та записування інформації ударних випробувань “VUNI-CHARPY” дає можливість визначати складники енергії руйнування зразка з допомогою перетворення залежності навантаження–час ($P-t$) у залежність навантаження–переміщення ($P-s$). Загальну роботу ударного руйнування матеріалу A розглядали як роботу зародження A_i та поширення тріщини A_p [9]:

$$A = A_i + A_p. \quad (2)$$

Динамічну тріщиностійкість обчислювали за формулою

$$J_{id} = \frac{2A_i}{B(W-a)}, \quad (3)$$

де B – ширина зразка; W – його висота; a – довжина надрізу.

Результати досліджень. Сталь 25X1M1Ф мала типову ферито-перлітну структуру з зернами фериту розміром 20...30 μm та перліту 30...40 μm . Попередні електронно-мікроскопічні дослідження показали, що зернам фериту властива незначна кількість хаотично розташованих дислокацій. В їх тілі та на межах виявлено карбідні частки округлої та еліпсоїдоподібної форми. Середня товщина пластин цементиту 0,05 μm , а міжпластинчатая відстань 0,13 μm [10].

Характеристики матеріалу за ударного навантаження впродовж зародження та поширення тріщини аналізували за формою діаграми навантажування. Ділянку нестабільного крихкого руйнування виявлено лише при 20°C. Максимальну пластичність сталі спостерігали при 375°C, що спричинило зростання енергоємності руйнування матеріалу під час зародження і поширення тріщини. При 600°C діаграма навантажування за формою подібна до попередньої, проте розташована дещо нижче по осі ординат (рис. 1а). Значення максимального прогину зразка $\Delta l_{375} = 20$ mm найбільше при 375°C, при 20°C – $\Delta l_{20} = 15$ mm та при 600°C – $\Delta l_{600} = 17$ mm (рис. 1б).

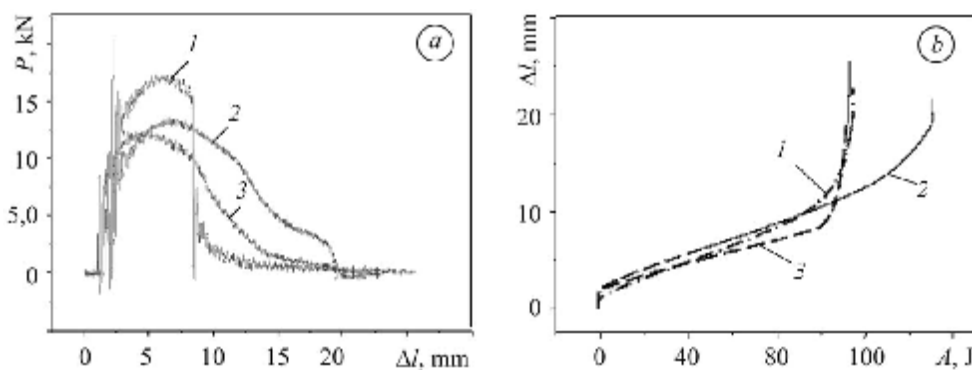


Рис. 1. Крива деформування (а) та енергії руйнування (б) зразків при 20 (1); 375 (2) та 600°C (3).

Fig. 1. Curve of deformation (a) and fracture energy (b) of specimens at 20 (1); 375 (2) and 600°C (3).

Проаналізовано вплив температури на енергоємність зародження і поширення тріщини за ударного руйнування. Виявлено, що порівняно із значеннями складників енергії, одержаними при 20°C, енергія зародження тріщини при 375°C зростає у 1,6 рази, а при 600°C – у 1,2 рази. Зменшення інтенсивності її зростання при 600°C зумовлено зниженням тримкої здатності матеріалу, розвитком тріщин розшарування та множинним пошкодженням матеріалу.

Виявлено, що зростання ударної в'язкості матеріалу у діапазоні 20...600°C супроводжується пропорційним збільшенням динамічної тріщиностійкості (рис. 2а, б). Це свідчить про те, що енергоємність руйнування матеріалу зростає не лише на стадії зародження тріщини, а й під час її поширення (рис. 2б). Порівнюючи значення енергії поширення тріщини у температурному діапазоні 20...600°C, виявили, що при 375°C енергоємність руйнування зростає у 1,9 рази, а при 600°C – у 1,1 рази порівняно із енерговитратами руйнування зразка при 20°C. Зниження енергоємності руйнування сталі 25X1M1Ф з підвищенням температури випроб з 375 до 600°C пов'язане із тим, що високі температури спричиняють певну релаксацію напружень внаслідок інтенсивного пластичного деформування, яке дещо притуплює вершину тріщини та зменшує швидкість її росту [11, 12].

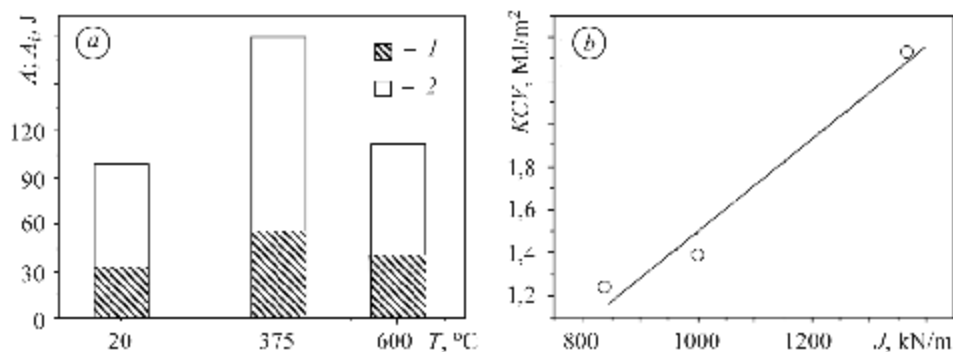


Рис. 2. Залежність роботи зародження тріщини (1) та повної роботи руйнування (2) від температури (а) та зв'язок ударної в'язкості із динамічною тріщиностійкістю матеріалу у діапазоні температур 20...600°C (b).

Fig. 2. Dependence of crack initiation work (1) and complete fracture work (2) on temperature (a) and relation of impact toughness and dynamic crack growth resistance of material in the temperature range from 20 to 600°C (b).

Робота руйнування металу за ударного навантаження залежить від його пластичності та пропорційна деформованому об'єму зразка, оскільки криві зміни деформованого об'єму та ударної в'язкості залежно від температури подібні [12, 13]. Пластичніший матеріал деформується об'ємніше та має вищу ударну в'язкість (рис. 3).

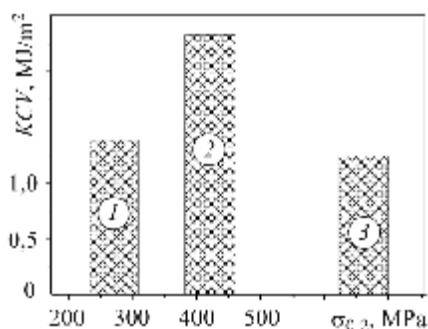


Рис. 3. Залежність ударної в'язкості сталі 25X1M1Φ від умовної границі текучості при 600 (1); 375 (2) та 20°C (3).

Рис. 3. Dependence of impact toughness of 25X1M1Φ steel on conditional yield stress at 600 (1); 375 (2) and 20°C (3).

Для дослідженого діапазону температур найбільшу тримку здатність та ударну в'язкість сталь 25X1M1Φ має при 375°C. Це свідчить про її високу пластичність і тріщиностійкість. Зі зростанням температури випроб до 600°C пластичне деформування інтенсифікується, тримкість знижується, поверхня зламу формується у вигляді деформованих ямок відриву. При 20°C сталь руйнується за механізмом квазісколювання, що зумовлює низьку ударну в'язкість матеріалу.

ВИСНОВКИ

Встановлено залежність між енергетичними параметрами динамічного деформування та руйнування при температурах випробувань 20...600°C. Проаналізовано діаграми навантажування зразка Шарпі. Досліджено зародження та поширення тріщини за вказаних умов, виявлено зв'язок між ударною в'язкістю та динамічною тріщиноздатністю сталі 25X1M1Φ.

РЕЗЮМЕ. Выявлено, что ударная вязкость феррито-перлитной стали 25X1M1Φ возрастает с повышением температуры испытаний с 20 до 375°C. Рост ударной вязкости связан с увеличением пластичности и динамической трещиностойкости материала при 375°C. Этот результат подтверждает возможность использования стали в высокотемпературных условиях.

SUMMARY. It is observed that in 25X1M1Φ ferrite-pearlite steel the impact toughness increases with the growth of testing temperature from 20 to 375°C. The growth of impact toughness is attributed to the increased plasticity and dynamic crack growth resistance of 25X1M1Φ steel 375°C. This result proves the possibility of using 25X1M1Φ steel for high-temperature applications.

Роботу фінансовано за кошти Україно-словенського проекту (0109U005184) та за державним замовленням (0109U007705).

1. *Експлуатаційна деградація сталі X52 магістрального газопроводу / Г. Габетта, Г. М. Никифорчин, Е. Лунарска та ін. // Фіз.-хім. механіка матеріалів. – 2008. – 44, № 1. – Р. 88–99. (In-service degradation of gas trunk pipeline X52 steel / G. Gabetta, H. M. Nykyforchyn, E. Lunarska et al. // Materials Science. – 2008. – 44, № 1. – P. 104–119.)*
2. *Мікроструктура та мікромеханізми руйнування матеріалів роликів машин безперервного лиття заготовок / П. В. Ясній, П. О. Марущак, В. Б. Гладьо та ін. // Зб. наук. праць. Механіка і фізика руйнування будівельних матеріалів та конструкцій. – 2007. – 7. – С. 705–714.*
3. *Буда Г. В., Камардин В. М. Физическое обоснование контроля ударной вязкости проката из малоуглеродистых и низколегированных сталей // Дефектоскопия. – 1995. – № 10. – С. 3–31.*
4. *Dunder M., Aračić S., and Samardžić I. Impact energy analysis of HSLA specimens after simulated welding thermal cycle // Metalurgija. – 2008. – 47, № 2. – P. 87–91.*
5. *Маслюк В. М. Оценка стали массового производства ответственного назначения по характеристикам ударной вязкости // Металлург. – 2006. – № 6. – С. 54–56.*
6. *Марущак П. О., Ясній О. П. Оцінка тримкої здатності матеріалу за двопараметричним критерієм руйнування // Обробка матеріалів тиском. – 2008. – 19, № 1. – С. 154–158.*
7. *Investigation of secondary phases effect on 2205 DSS fracture toughness / I. Calliari, E. Ramous, G. Rebuffi, G. Straffellini // La Metallurgia Italiana. – 2008. – P. 5–8.*
8. *Pučko B., Gliha V. Charpy toughness of vibrated microstructures // Metalurgija. – 2005. – 44, № 2. – P. 1103–106.*
9. *Вплив мікроструктури на динамічну в'язкість руйнування сталі з наплавленим захисним шаром / Д. Я. Баран, В. Б. Гладьо, П. О. Марущак та ін. // Вісник Житомир. держ. технол. ун-ту. – 2007. – № 1 (40). – С. 7–14.*
10. *Взаємозв'язок мікродислокаційних параметрів і твердості пластично деформованих теплотривких сталей / П. В. Ясній, П. О. Марущак, В. Б. Гладьо, Д. Я. Баран // Фіз.-хім. механіка матеріалів. – 2008. – № 2. – С. 41–45. (P. V. Yasnil, P. O. Marushchak, V. B. Hlad'o, and D. Ya. Baran, Correlation of the Microdislocation Parameters with the Hardness of Plastically Deformed Heat-Resistant Steels // Materials Science. – 2008. – 44, № 2. – P. 194–200.)*
11. *Tauscher S. The correlation of fracture toughness with Charpy V-notch impact test data // Technical Report ARLCB-TR-81012. – 1981. – P. 72.*
12. *Ясній П. В., Марущак П. О. Ролики МБЛЗ: Деградація і тріщиностійкість матеріалів. – Тернопіль, Джура, 2009. – 232 с.*
13. *Ясній П. В., Гладьо В. Б., Марущак П. О. Стійкість теплостійких сталей до динамічного руйнування за наявності концентраторів напружень // Вісник Терноп. держ. техн. ун-ту. – 2007. – 12, № 4. – С. 7–12.*

Одержано 22.01.2010