

УДК 538.43;670.191.33

**П. Марущак¹, канд. техн. наук; Р. Біщак¹;
А. Пилипенко², канд. техн. наук**

¹Тернопільський державний технічний університет імені Івана Пулюя
²Національний університет біоресурсів і природокористування України

КІНЕТИКА СТАТИЧНОГО ДЕФОРМУВАННЯ ТА РУЙНУВАННЯ ТЕПЛОСТІЙКОЇ СТАЛІ 25X1M1Ф ПІСЛЯ ПОПЕРЕДНЬОГО ТЕРМОЦИКЛІЧНОГО НАПРАЦЮВАННЯ

Досліджено закономірності статичного деформування та руйнування теплостійкої сталі 25X1M1Ф за попереднього термоциклічного напрацювання. Виявлено зменшення міцності та пластичності матеріалу із зростанням тривалості напрацювання. Поряд із зміцненням матеріалу поверхневого шару тримка здатність термоцикльованого матеріалу визначається процесами термічного повороту.

P. Maruschak, R. Bishchak, A. Pylypenko

KINETICS OF STATIC DEFORMATION AND FRACTURE OF HEAT-RESISTANT STEEL 25Kh1M1F AFTER PRELIMINARY THERMAL-CYCLE WORK

It has been investigated regularity of static deformation and destruction and fracture of heat-resistant steel 25Kh1M1F after preliminary thermal-cycle work. Durability and plasticity of material has decreased with growth of work duration. Ability of thermal-cycling material combined with strengthening surface layer is determined the processes of thermal turn.

За неізотермічного напрацювання в матеріалі відбуваються складні процеси на макро-, мікро- та субмікрорівнях. Вони спричиняють хімічні флуктуації в матеріалі, порушення вихідної структури, часткове вичерпання пластичності [1-3]. Статичне навантаження матеріалу після певного термоциклічного напрацювання виявляє відхилення характеристик міцності і пластичності внаслідок відмінностей зародження, локалізації і злиття мікротріщин [4].

Особливо помітним є мезорельєф поверхні матеріалу внаслідок зміни пластичності приповерхневих шарів та закономірностей диспергуванням матеріалу [5]. Проте визначальним для статичного деформування є зародження макротріщини в процесі злиття мікродефектів та утворення макротріщини [6]. За умов зовнішнього навантаження необхідно враховувати три структурні рівні процесу руйнування, на мікро-, мезо-, і макрорівнях. На першому етапі зароджуються розсіяні в об'ємі пори, на другому етапі – об'єднуються, для третього - притаманний ріст мікродефектів та їх руйнування [7-9].

Ці ефекти можуть бути проаналізовані методом повних діаграм, який поєднує підходи концепції розсіяного пошкодження матеріалу та механіки деформівного твердого тіла [4,6].

Дана стаття присвячена дослідженню зміни деформівних властивостей сталі 25X1M1Ф із зростанням термоциклічного напрацювання.

Методика досліджень

Циліндричні зразки діаметром 5,0 мм термоциклювали з частотою 0,013 Гц в діапазоні температур 13 ↔ 500 °С протягом 1000, 2000, 2500 циклів, записуючи

розподіл температури поверхні зразка та кількість термоциклів [2]. Термоцикльовані зразки розтягували за умов рівноважного деформування на випробувальній установці ZD-100Pu з комп'ютеризованою вимірювальною системою до стадії, що передують утворенню макротріщини.

Кінетику накопичення розсіяних пошкоджень у термоцикльованому матеріалі при статичному навантаженні описували за допомогою моделі [4], визначаючи значення деформації розпушення матеріалу ε_p , де в якості основного параметру прийнято поточне значення коефіцієнта поперечної деформації.

Деформація розпушення зразка:

$$\varepsilon_p = [1 - 2\mu(\varepsilon)]\varepsilon,$$

де $\mu(\varepsilon)$ - поточне значення коефіцієнта поперечної деформації.

Опис діаграм деформування

Сталь 25X1M1Ф після виготовлення ролика машини безперервного лиття заготовок має ферито-перлітну структуру із включеннями карбідів. Феритні зерна є практично вільними від дислокацій та містять значну кількість рівномірно розташованих дисперсних карбідів, рис. 1.

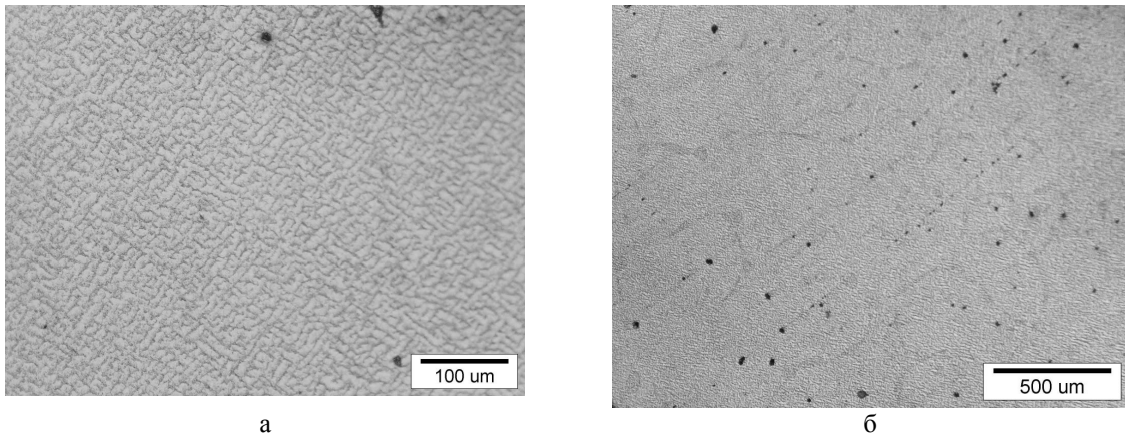


Рисунок 1 - Мікроструктура сталі 25X1M1Ф у вихідному стані

Експериментальні криві статичного деформування сталі 25X1M1Ф після термоциклічного напрацювання змінюють свою форму внаслідок відмінностей міцністних і пластичних властивостей досліджуваних зразків, рис. 2а. Спочатку в матеріалі відбувається інтенсивне генерування дислокацій, хаотично розподілених у тілі зерна. Матеріал розпушується за умови зростання мікронапружень окремих структурних складових. Найбільш інтенсивно дислокації зароджуються в приповерхневих шарах та місцях наявності карбідів, що є причиною накопичення мікронеоднорідностей [8]. На локальну концентрацію напружень має значний вплив форма, розміри та розподіл мікронеоднорідностей. Згідно з основними положеннями теорії руйнування, глибина пошкодженого шару визначатиметься напружено-деформованим станом та енергетичними умовами термоциклювання та розтягання зразка.

Для всіх досліджених зразків матеріал пластично деформувався за відсутності тріщин із формуванням виступів поверхневого мезорельєфу. Проте за напрацювання більше 1000 циклів у зернах матеріалу виникають площини текучості, що сприяють пластичному деформуванню матеріалу.

Після термоциклічного напрацювання в матеріалі частково втрачається пластичність, накопичується неоднорідність окремих локальних зон металу, рис. 2б. Характер кривих ε_p (ε_p) свідчить про те, що процес розпушення після $N=1000...2000$ термоциклів знижується. Із зростанням термоциклічного напрацювання значну роль відіграють процеси термічного повороту, зумовлені перерозподілом дислокацій,

набуттям ними енергетично вигідніших конфігурацій. За $N=2500$ термоциклів на міжфазних межах матеріалу виникають субмікроскопічні несучільності (мікропори).

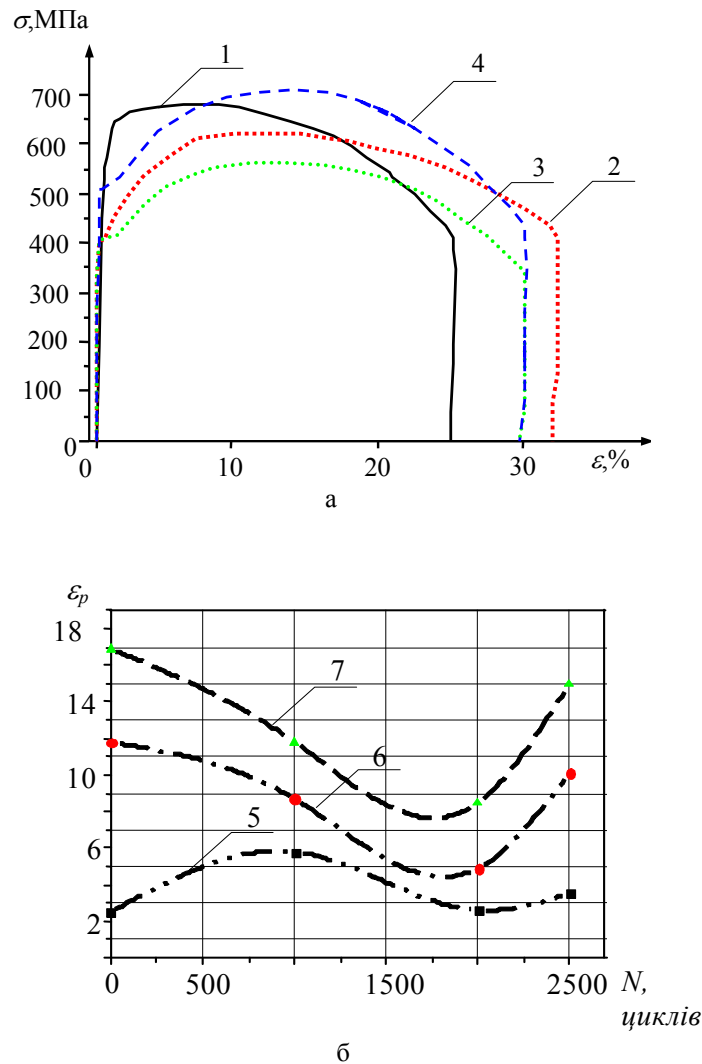


Рисунок 2 - Вплив термічного напрацювання на закономірності деформування сталі 25X1M1Ф
 а - повні діаграми деформування сталі у вихідному стані (1) та за 1000, 2000, 2500 циклів термічного напрацювання (2,3,4) відповідно;
 б - зміна деформації розпушення сталі із збільшенням ступеня деформування
 5- $\epsilon=10\%$, 6- $\epsilon=20\%$, 7- $\epsilon=25\%$

Зростання макродеформації супроводжується насиченням матеріалу мікродфектами, при цьому мікророзпушення внаслідок зародження мікродфектів змінюється розпушенням за рахунок зростання їх розмірів, злиття окремих мікропор і мікротріщин.

Помітно, що якісно кінетика процесу накопичення пошкоджень термоцикльованих зразків за різного ступеня деформацій є подібною, рис. 3а. Проте темп накопичення пошкоджень зразків після 1000 термоциклів за малих деформацій (8 %) становив 6%. Для зразків термоцикльованих 25000 циклів прискорене пороутворення виявлено за деформації 10 %, після 2000 циклів напрацювання - 16 %. За значних (більше 10%) деформацій злиття пор відбувалось за подібними механізмами.

За зміною деформації розпушення оцінено кінетику накопичення мікропошкоджень, рис. 3. Для зразків з напрацюванням в 2500 циклів за загальної деформації 30 % значення деформації розпушення сягає 20 %. Для зразків з напрацюванням 1000 та 2000 циклів за однакової повздовжньої деформації значення деформації розпушення знаходиться в межах 7,2% і 3,2% відповідно. Спільним для усіх

випробуваних зразків є те, що в процесі деформування коефіцієнт поперечної деформації зменшується, що свідчить про інтенсивний процес накопичення пошкоджень.

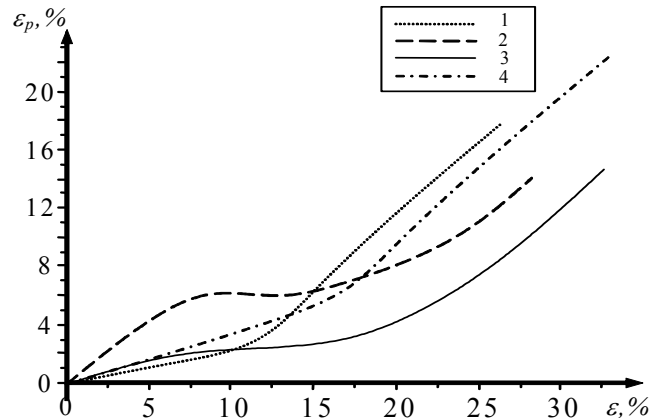


Рисунок 3 - Залежність деформації розриву - а та коефіцієнта поперечного деформування - б за відносної деформації зразка

На заключному етапі деформування при загальній деформації в 30% пошкоджуваність зразків з максимальним термовпливом становила 20%, тоді як для зразків з напрацюванням 2000 та 1000 циклів -13 % і 17 % відповідно, рис. 4. Відмінності деформування спостерігали в нахилах спадаючих ділянок діаграм деформування, які відображають енергоємність процесу макроруйнування. Локалізація і концентрація пор за подальшого збільшення деформації супроводжується їх злиттям і утворенням зародкової тріщини. Із зростанням напрацювання зменшується кут нахилу спадної ділянки діаграми деформування.

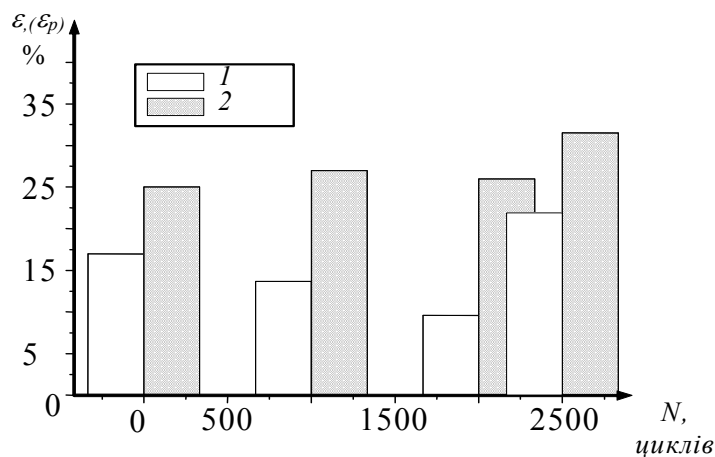


Рисунок 4 - Залежність деформації розпушення (1) та відносної деформації (2) від тривалості термоциклічного напрацювання

Дослідженнями механізму формування поверхневого дефектного мезорельєфу зразків за статичного розтягу виявлено, що на поверхні термоциклізованих зразків порушення суцільності матеріалу відбувається за менших деформацій, що підтверджується макрохарактеристиками матеріалу.

Отже, комплексне вивчення пластично-деструктивного деформування, розроблення методів виявлення і кількісної оцінки ступеня мікроруйнування є новим підходом оцінки міцності і ресурсу пластичності металу.

Роботу виконано за кошти Державного фонду фундаментальних досліджень, номер проекту 0107U006982.

Висновки

Досліджено механізми впливу термоциклічного напрацювання на деформаційне зміцнення теплостійкої сталі та механізми термічного повороту теплостійкої сталі. Встановлено, що термоциклічне напрацювання спричиняє незворотну деградацію пластичних, міцнісних і пружних властивостей матеріалу.

Література

1. Thermal fatigue material degradation of caster rolls' surface layers / P. Yasniy, P. Maruschak, Y. Lapusta et al. // Mech. of Adv. Mater. and Struct.-2008.-Vol. 15.-Issue 6 & 7.-P. 499 – 507.
2. Марущак П.О., Коноваленко І.В., Біщак Р.Т. Аналіз розтріскування поверхні і методика оцінки термовтоми матеріалів // Вісник Тернопільського держ. техн. ун-ту.-2008.-№1.-С. 33-37.
3. Малыгин Г.А., Лихачев В.А. Роль анизотропии теплового расширения и тепловых микронапряжений // Зав. лаборатория.-1966.-№ 3.-С. 335-347.
4. Новые методы оценки деградации механических свойств металлоконструкций в процессе наработки / Лебедев А.А., Чаусов Н.Г.-К., ИПМ ім. Г.С. Писаренка НАНУ, 2004.-133с.
5. Физическая мезомеханика и компьютерное конструирование материалов / Под ред. Панина В.Е. – Новосибирск: Наука, 1995. – Т. 1. – 298 с., Т. 2. –320 с.
6. Лебедев А.А., Чаусов Н.Г. Феноменологические основы оценки трещиностойкости материалов по параметрам спадающих участков диаграмм деформаций // Проблемы прочности.-1983.-№2.-С. 6-10.
7. Грешнов В.М., Лавриненко Ю.А., Напалков А.В. Прогнозирование разрушения металлов в процессах холодной деформации. Сообщение 1. Приближенная модель пластической деформации и разрушения металла // Проблемы прочности. – 1995. – №1.-С. 76-85.
8. Рыбакина О.Г., Сидорин Я.С. Экспериментальное исследование закономерностей пластического разрыхления металлов // Изв. АН СССР. – 1966. – № 1. - С.120-124.

Одержано 12.11.2008 р.