

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу Барана Дениса Ярославовича «Вплив експлуатаційних температур на міцність і циклічну тріщиностійкість теплостійкої сталі металургійного обладнання», що подана на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 01.02.04 – механіка деформівного твердого тіла

Актуальність роботи. На теперішній час основним способом отримання заготовок для виготовлення листового і сортового прокату є метод розливання сталі на машинах безперервного лиття заготовок (МБЛЗ).

Найбільш навантаженим конструктивним елементом машин безперервного лиття заготовок є ролики. Внаслідок технологічних особливостей безперервного лиття на МБЛЗ, зокрема: високих швидкостей, циклічної зміни температур, внаслідок інтенсивного охолодження, деформацій прогину ролика під час руху заготовки, на поверхні роликів утворюються втомні тріщини, що і являється основною причиною виходу їх із ладу. Повністю усунути появу сітки тріщин на поверхні роликів в процесі експлуатації реального обладнання, навіть за рахунок сучасних технологій (спеціальні покриття, ефективні методи зміцнення поверхневих шарів) не вдається і тому, на перший план, виступає розробка достовірних методів прогнозування ресурсу (залишкового ресурсу) роликів. Створення таких методів можливе лише на базі надійних експериментальних даних про закономірність впливу експлуатаційних чинників (температура, частота навантаження) на циклічну тріщиностійкість конкретної теплостійкої сталі, яка використовується в даному обладнанні. Саме тому, дисертаційна робота Барана Дениса Ярославовича, що присвячена виявленню основних закономірностей впливу високих температур і частот навантаження на циклічну тріщиностійкість теплостійкої сталі 25X1M1Ф, із якої виготовляються ролики, що експлуатуються на горизонтальній ділянці МБЛЗ на ММК ім. Ілліча, і уточнення методики прогнозування залишкової довговічності ролика МБЛЗ, є актуальною і має теоретичне та практичне значення. Робота виконана в рамках бюджетної теми.

Ступінь обґрунтованості наукових положень дисертації, і їх достовірність та новизна.

Загальні висновки дисертації з її науковими положеннями є достатньо обґрунтованими, а їх результати достовірними. Це забезпечено широким застосуванням в роботі сучасних експериментальних методик; строгою постановкою сформульованих задач і методів їх розв'язку; підтвердженням результатів експериментів даними електронно-графічних досліджень; використанням сучасного устаткування – електронного просвічувального мікроскопа ПЕМ-125К і сервогідролічної випробувальної машини СТМ-100 та стандартизованих методик для оцінки механічних властивостей матеріалів.

Наукова новизна роботи.

Головний науковий результат роботи полягає в виявленні основних закономірностей впливу температури і частоти навантаження на характеристики статичної міцності, циклічної тріщиностійкості та ударної в'язкості теплостійкої

сталі 25Х1М1Ф, а також на мікрошвидкість росту втомної тріщини (крок втомних борозенок).

Використовуючи оригінальну фізичну модель ролика МБЛЗ автором вперше оцінений вплив зупинок лиття на зміну температурних полів ролика на різних відстанях від поверхні.

На базі встановлених закономірностей вдосконалено методику прогнозування залишкової довговічності ролика МБЛЗ, яка моделює поширення поверхневої втомної тріщини із урахуванням зміни форми фронту тріщини внаслідок зміни напружено-деформованого стану конструкції.

Практична значимість роботи полягає в наступному:

- запропонований комплекс експериментальних методик суттєво підвищує рівень знань про механізми високотемпературної втоми матеріалу ролика МБЛЗ (сталь 25Х1М1Ф) за експлуатаційних умов;
- отриманий великий масив експериментальних даних характеристик тріщиностійкості теплостійкої сталі 25Х1М1Ф в умовах втоми за високих температур і різної частоти навантажування;
- методику оцінювання впливу високих температур на міцність та тріщиностійкість теплостійких сталей впроваджено у ПАТ «БУЛАТ» при оцінюванні залишкового ресурсу металургійного обладнання.

Структура роботи. В оглядовій частині (розділ 1) детально розглядається стан проблеми. Основна увага приділяється огляду методик і літератури, щодо впливу температури на тріщиностійкість та довговічність матеріалів. Також акцентується увага на методах оцінювання деградації пластично-деформованого матеріалу. Зокрема, показані переваги метода LM – твердості, розробленого в ІПМ ім. Г.С. Писаренка НАН України академіком А.О. Лебедевим та ін. Оскільки при високих температурах спостерігається структурні зміни в матеріалах, то проведено аналіз фізичних закономірностей руйнування матеріалів при високих температурах. Зроблений висновок, що механізми впливу високих температур на циклічну тріщиностійкість теплостійких сталей вивчено недостатньо і тому відсутнє узагальнення фізико-механічної поведінки теплостійких сталей за наявності локалізованих тріщиноподібних дефектів.

У розділі 2 описуються розроблені методи і обладнання, які використовуються для оцінки впливу температури на статичну міцність, циклічну тріщиностійкість та ударну в'язкість теплостійких сталей, з яких виготовляються ролики МБЛЗ. Також подані методики металофізичних досліджень на електронному просвічувальному мікроскопі типу ПЕМ – 125К (ВАТ «СЕЛМІ», місто Суми). Слід особливо відмітити, що обробка даних на всьому обладнанні, яке використовується для дослідів в роботі, автоматизована, для цього створено відповідне алгоритмічне забезпечення та апаратна частина.

В 3 розділі представлені дані експериментальних досліджень з впливу високих температур (375 °С, 600 °С) на статичну міцність, пластичність та ударну в'язкість теплостійкої сталі 25Х1М1Ф. Автором додатково проведено оцінку впливу температури випробувань на мікро-мезо- та макромеханізми деформування і руйнування теплостійкої сталі 15Х1М1Ф. На основі отриманих експериментальних даних узагальнені механізми деформації і руйнування зразків

сталі 25X1M1Ф за статичного розтягу і при ударному навантаженні при нормальних, підвищених і високих температурах (табл. 3.3, 3.5). В цьому розділі виявлено суттєву структурну деградацію сталі 25X1M1Ф після деформування розтягом і ударного навантаження за температури 600°C. Як наслідок, при температурі 600°C практично в 2 рази зменшується межа міцності сталі (пор. табл. 2.2 і 3.1) і в 1,2 рази енергія зародження тріщини в порівнянні з результатами випробувань при 20°C.

Четвертий розділ присвячений моделюванню експлуатаційного термоцикловання поверхневих шарів ролика МБЛЗ. Вперше візуалізовані періодична та неперіодична складова температурного поля. Причому періодична складова притаманна технологічному процесу, і локалізується у поверхневому шарі. Неперіодична складова поля виникає лише за перехідних режимів. Візуалізація термоциклу також дозволила оцінити зміну його форми. Для поверхні характерний «гострий» термоцикл трикутної форми, із збільшенням відстані від поверхні він набуває «згладженої» форми. В цьому ж розділі подані детальні дослідження впливу високих температур на циклічну тріщиностійкість теплостійкій сталі. Виявлені закономірності залежності швидкості росту втомної тріщини від температури вказують на зниження тріщиностійкості сталі 25X1M1Ф із зростанням температури. Цей факт детально пояснений результатами металофізичних досліджень.

Аналогічні дослідження проведенні з впливу частоти навантаження на циклічну тріщиностійкість сталі 25X1M1Ф. В даному випадку виявлено, що підвищення частоти навантажування з 0,1 Гц до 1 Гц збільшує залишкову довговічність матеріалу приблизно на 10%. Даний ефект автор пояснює зменшенням часу активного навантажування зразка, в результаті змінюється кінетика накопичення пошкоджень та деформацій на макро- і мікрорівнях, що підтверджується результатами фізичних досліджень. Цікавими є також подані в розділі 4 результати досліджень тріщиностійкості сталі 25X1M1Ф у складі біметалу (наявність крихкої складової, сталь 15X13MФ). Показано, що тріщиностійкість біметалу знижується у 8,0...10 разів порівняно із монометалевим зразком. Причому, як і в попередніх дослідженнях, дані механічних випробувань одночасно аналізуються з даними металофізичних досліджень.

В заключному 5 розділі показано як попередньо отримані експериментальні результати з впливу температури і частоти навантаження можуть використовуватися для достовірного моделювання залишкової довговічності ролика МБЛЗ після визначення параметрів максимального тріщиноподібного дефекту методами неруйнівного контролю.

В дисертації розглядались дві моделі. Одна модель спрощена, при якій вважалось, що втомна тріщина поширюється за сталого коефіцієнту форми фронту тріщини $a/c=0,25$. В другій моделі змодельовано зростання поверхневої втомної тріщини в ролик МБЛЗ з урахуванням зміни співвідношення півосей еліпса та розкиду параметрів циклічної тріщиностійкості.

Порівнюючи результати розрахунків по двох моделях автор показує, що розрахунок за спрощеною процедурою на 25% занижує залишкову довговічність

ролика порівняно із розрахунком, в якому КІН обчислювали з урахуванням зміни форми фронту тріщини. Тобто виявляється, що спрощена процедура дає більш консервативний прогноз довговічності ролика і це на думку рецензента, є позитивним моментом, так як дозволяє в першому наближенні використовувати спрощену методику оцінки довговічності ролика МБЛЗ.

Результати роботи повністю наведені в 20 друкованих працях, з них 7 статей у фахових наукових журналах і збірниках, 2 статті – у закордонних виданнях, внесених до наукометричної бази «SCOPUS». Новизна запропонованих технічних рішень підтверджена двома патентами України.

За матеріалами роботи потрібно зробити ряд зауважень. Зауваження по дисертаційній роботі:

1. В оглядовій частині дисертації (стор. 15,16) і в розділі 2 (стор. 46,47) детально описаний новий метод LM-твердості, розроблений в ІПМ ім. Г.С. Писаренка НАН України для оцінки пошкодженості матеріалу в процесі напрацювання. В даному випадку в якості основної характеристики, яка ставиться у відповідність до рівня пошкодженості матеріалу, вибирається не абсолютне значення параметру твердості, а рівень розсіювання характеристик твердості. Однак реально цей метод в дисертації для оцінки пошкодженості матеріалу не використовується. Автор приводить в роботі тільки дані по абсолютним значенням зміни твердості і мікротвердості зразків сталі 25X1M1Ф, деформованих за температур 20°C і 600°C (табл. 3.2).

2. Для дослідженого діапазону температур автором узагальнені механізми деформації і руйнування теплостійкої сталі 25X1M1Ф при статичному розтязі і ударному навантаженні. (див. табл. 3.3 і 3.5). На основі цього описового процесу мікромеханізмів деформування і руйнування сталі автор дає пояснення про зміну макрохарактеристик матеріалу, а також для ударного навантаження приводить кількісні залежності між мікро- та макрохарактеристиками сталі (рис. 3.11). Тоді постає логічне питання: чому в роботі не подані аналогічні залежності для статичного розтягу сталі?

3. Частота обертання моделі ролика становила 0,01 Гц, що як пише автор «... наближено відповідає експлуатаційним умовам». (стор. 78). Виникає питання, із яких міркувань в роботі вибрані фактичні частоти навантаження сталі 25X1M1Ф при оцінці її циклічної тріщиностійкості (0,1 Гц і 1 Гц)?

4. Є деякі різночитання в дисертації і авторефераті в частині моделювання впливу зупинки процесу розливання на ролик. В дисертації на стор. 78 автор пише « Моделювали зупинку процесу розливання за 1,0 хвилину». На графіку (рис. 4.3) процес поданий до 90 сек., а в авторефераті (стор. 8) написано «... моделювали зупинку процесу розливання до 5,0 хвилин».

5. Дані отримані автором показують, що коливання температури при глибині, на моделі ролику, від поверхні 15 мм протягом одного оберту ролика складає 83°C (див. табл. 4.1). Тому, можливо, при оцінці довговічності ролика з початковою довжиною тріщини $a_0=15$ мм (див. параграф 5.1 дисертації) вплив

