

УДК: 669.017:539.374:539.67

Мозговий О. В.  
Тітов А. В.**ВПЛИВ ПОВЕРХНЕВОГО ПЛАСТИЧНОГО ДЕФОРМУВАННЯ  
НА ТЕМПЕРАТУРНИЙ СПЕКТР ВНУТРІШНЬОГО ТЕРТЯ СТАЛІ 07X12H2МБФ**

Сплави зі структурою мартенситу широко використовуються в техніці завдяки високій механічній міцності, жаро- та корозійній стійкості. Умови їх роботи при різних температурах та навантаженнях представляють високі вимоги до методів контролю та дослідження їх властивостей. Поряд з іншими методами дослідження використовують методи механічної спектроскопії, які дозволяють отримувати дані про структурний стан і властивості матеріалів на основі непружних явищ, що проходять у них.

У роботі досліджували сталі зразки, які взяті із валу газотурбінного двигуна (ГТД), велика частина відмов у процесі роботи яких припадає на пошкодження із-за втомності. Границя витривалості таких деталей залежить від конструктивних, матеріалознавчих і технологічних факторів. Конструктивний фактор, як показує аналіз літературних джерел, можна врахувати, використовуючи відомі в теорії міцності методи розрахунків. Матеріалознавчий фактор вирішується необхідними фізико-механічними властивостями вихідного матеріалу. Найбільш суттєво впливає на експлуатаційні властивості вихідного стану матеріалу технологічний фактор, який формує мікроструктуру матеріалу, необхідний рівень механічних властивостей, їх розподіл по товщині деталі та інші характеристики. Вид операцій обробки, їх послідовність і режими проведення, інструменти, обладнання та інші фактори дають змогу отримати необхідні структурні і фізико-механічні властивості матеріалу, які визначаються, в основному, станом поверхневого шару.

У роботах [1–4] розглянуто загальні закономірності формування фізико-механічних і структурних властивостей поверхневого шару валів ГТД у взаємозв'язку з технологічними операціями обробки. Із аналізу технологій видно, що найбільший вплив має фінішна операція поверхневого пластичного деформування (ППД) – алмазне вигладжування, яка дозволяє отримати необхідні параметри шорсткості, поверхневої міцності, залишкових напружень. Величина границі витривалості, в більшості випадків, залежить від сили вигладжування і кількості проходів та мало залежить від подачі інструменту і швидкості обробки [1].

У роботі [5] показано, що метод внутрішнього тертя (ВТ) може успішно використовуватись для вивчення впливу різних технологічних операцій виготовлення валів ГТД. Аналіз отриманих результатів амплітудної залежності внутрішнього тертя в залежності від режимів поверхневої пластичної обробки алмазним вигладжуванням показав, що найбільш оптимальною є обробка поверхні зусиллям у 200 Н. При цьому межа довготривалої міцності найбільша.

При натурних випробуваннях деталей і конструкцій ГТД існують певні технічні складності і великі матеріальні затрати. Досліджуючи у лабораторних умовах вплив режимів алмазного вигладжування на формування комплексу параметрів якості тонкостінних валів ГТД, а також вивчення поведінки матеріалу при експлуатаційних режимах, економічно вигідно і зменшує час на отримання результату досліджень.

Метою роботи є оцінка ефективності поверхневої пластичної обробки – алмазного вигладжування – на закономірності температурного спектру внутрішнього тертя та динамічного модуля пружності сталі 07X12H2МБФ, з якої виготовляють тонкостінні вали вентилятора ГТД.

Зразки, розміром  $2 \times 2 \times 15 \text{ мм}^3$ , виготовляли електроіскровим методом із валу, що пройшов повний технологічний цикл виготовлення. Довша частина зразка для дослідження ВТ співпадає з віссю валу. Термічна обробка за режимами гартування виконувалась в маслі з температури 1273–1323 К із наступним відпуском при температурі 913–943 К. Середні значення основних механічних характеристик сталі 07X12H2МБФ такі: границі текучості

( $\sigma_{0,2}$ ) – 853 МПа, пропорційності ( $\sigma_{ли}$ ) – 823 МПа, міцності ( $\sigma_B$ ) – 910 МПа; модуль пружності (E) –  $2,08 \cdot 10^5$  МПа; відносне видовження ( $\varepsilon$ ) – 11 %. Поверхня валу була оброблена алмазним вигладжуванням. Величина прикладеної сили алмазного наконечника до поверхні сталі становила для зразків №№ 1–6, відповідно, через 50 Н від 50 до 300 Н.

У результаті алмазного вигладжування поверхневий шар деталі піддається пластичному деформуванню і при цьому формуються стійкі залишкові стискуючі напруги. Підвищення зусиль вигладжування викликає збільшення глибини розповсюдження стискуючих залишкових напружень і зміщення в глибину їх максимального рівня. Розподіл мікротвердості в поверхневому шарі після алмазного вигладжування більш рівномірний, ніж при шліфуванні. Встановлено, що черговість технологічних операцій вигладжування впливає на величину максимального значення залишкових напружень. Дослідження, проведені авторами у роботі [6], показали, що потрібно вигладжувати спочатку зовнішню сторону, а потім внутрішню сторону валу, так як вигладжування внутрішньої сторони після зовнішньої викликає зменшення піку напружень зовнішньої сторони. Показано, що найбільший вплив на границю витривалості має зусилля вигладжування.

Дана сталь відноситься до жароміцних корозійностійких сталей мартенситного класу. Хімічний склад сталі (07X12H2МБФ) такий (табл. 1):

Таблиця 1

Хімічний склад сталі 07X12H2МБФ (у %) за ТУ

C	Cr	Mo	Nb	V	Ni	Fe	Si	Mn	S	P
							Не більше			
0,05–0,09	10,5–12,0	0,35–0,5	0,05–0,15	0,15–0,25	1,4–1,8	основа	0,6	0,6	0,02	0,03

Вимірювання ВТ проводили на оберненому крутильному маятнику. Амплітуда зсувної деформації при крученні змінювалась від  $5 \cdot 10^{-5}$  до  $5 \cdot 10^{-3}$ , температура – від 293 К до 873 К, частота коливань – 1,5 Гц. Реєстрацію амплітуди проводили оптичним методом.

На температурних залежностях внутрішнього тертя (ТЗВТ) спостерігаються невеликі піки і перегини у низькотемпературній, а також і у високотемпературній областях (рис. 1–3). Висота піків у досліджуваних зразках дещо зменшена, що свідчить про зменшення рухливості атомів втілення, їх комплексів. У окремих випадках вони не проявляються зовсім, або величина їх знаходиться на рівні температурного фону ВТ.



Рис. 1. Температурна залежність внутрішнього тертя сталі 07X12H2МБФ після алмазного вигладжування зусиллям 50 Н

При збільшенні температури спостерігається плавне зростання значення ВТ до 673 К, а потім крива різко зростає. Вимірювання проводили до 873 К і на ділянці від 673 К до 873 К при збільшенні і зменшенні температури спостерігається невеликий гістерезис ходу кривих ВТ. Механізми появи такого гістерезису, ймовірно, залежать від залишкового напруженого стану матеріалу, величина якого, в свою чергу, залежить від величини попередньої деформації при механічній обробці.

Так, на рис. 1 криві нагріву і охолодження на ділянці після 673 К міняються місцями, проходячи та вище то нижче одна відносно другої. Зусилля в 100 Н викликало зростання високотемпературної частини кривої при меншій температурі і відсутність перетинів у ході кривих ТЗВТ. Вітка при нагріванні проходить вище за криву при охолодженні (рис. 2).

Подальше зростання зусилля механічної обробки викликало зміну ходу кривих нагрівання-охолодження. Для зразків оброблених зусиллям у 200 Н крива при охолодженні проходить набагато вище за криву при нагріванні ніж для двох попередніх вимірювань (рис. 3).

Зростання значення внутрішнього тертя свідчить про наявність процесів, що спричинили розсіяння механічної енергії. Швидше за все це – наявність свіжих дислокацій, так як останні літературні дані підтверджують дислокаційну природу високотемпературного фону. Коли попередня деформація була незначна, то в матеріалі були малі залишкові напруги. При зростанні таких напруг, внаслідок попередньої механічної обробки, при високих температурах відбувається народження нових дислокацій і внаслідок цього крива охолодження проходить вище кривої при нагріванні.

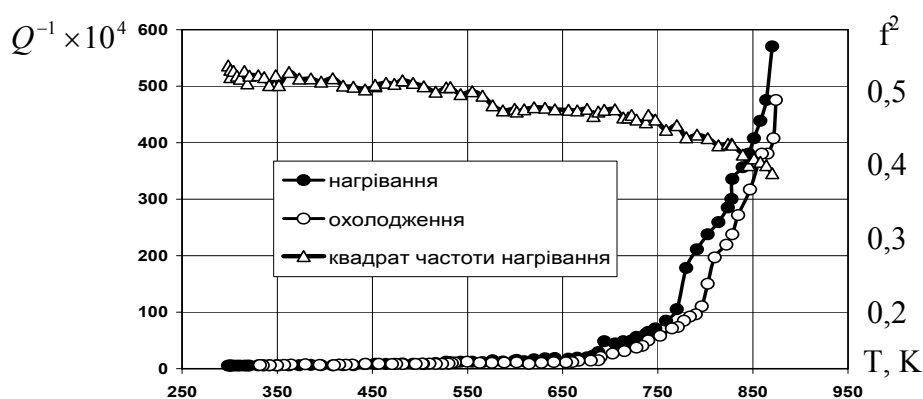


Рис. 2. Температурна залежність внутрішнього тертя сталі 07X12H2MБФ після алмазного вигладжування зусиллям 100 Н

У структурі матеріалу відбуваються необорні зміни, які викликані мікропластичною деформацією і вказаними вище процесами. На рис. 2 і 3 спостерігається на початку різкого зростання значення ВТ зменшення квадрата частоти, зміна якого пропорційна зміні динамічного модуля пружності.

Величина попередньої пластичної деформації впливає на нахил високотемпературної вітки ВТ до шкали температур, а також на величину фону. При збільшенні зусилля притиску алмазного наконечника величина розсіяння механічної енергії зростає, потім після величини сили у 200 Н – зменшується.

Навпаки себе поводить величина температури, при якій спостерігається різке зростання високотемпературної вітки ВТ. Така температура міститься в області 650–750 К. Починаючи з цих температур, суттєвий вплив на ТЗВТ мають процеси, що зв'язані з полігонізацією і рекристалізацією.

Графік температурної залежності квадрата частоти  $f^2(T)$  (рис. 2 і 3) свідчить, що при збільшенні температури частота коливань зменшується. Різке зменшення частоти після 723 К служить підтвердженням, що в цьому районі температур у матеріалі відбуваються релаксаційні процеси. Але інтенсивність яких незначна, так як на кривій нагрівання не спостерігається чітко релаксаційний пік, а тільки невеликий перегин. Можливо він перекривається великим зростанням високотемпературного фону. Ймовірно – це зернограничний пік.

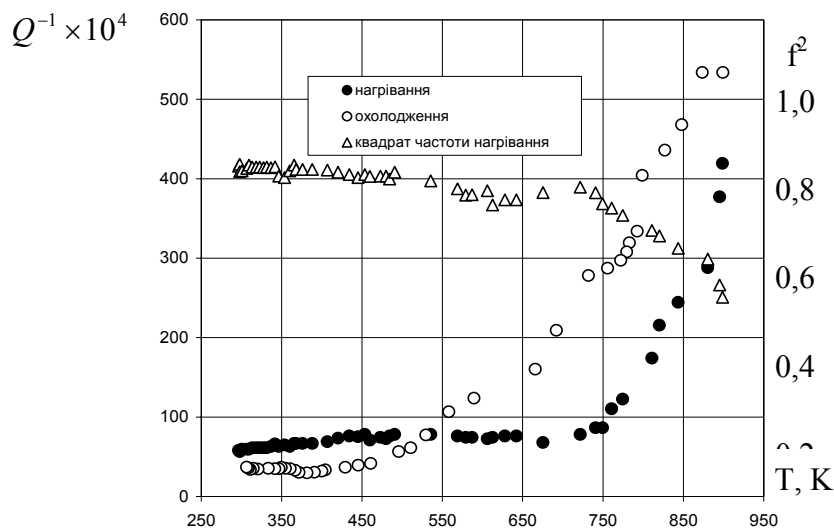


Рис. 3. Температурна залежність внутрішнього тертя сталі 07X12H2MBF після алмазного вигладжування зусиллям 200 Н

### ВИСНОВКИ

У результаті досліджень виявлено вплив режимів поверхневої пластичної деформації сталі 07X12H2MBF на розсіяння механічної енергії в процесі зміни температури. Встановлені залежності між величиною притиску алмазного наконечника і параметрами температурної залежності внутрішнього тертя дають можливість визначати оптимальні режими обробки деталей для отримання необхідних експлуатаційних характеристик, а також розкрити фізичну природу і механізми ефектів ВТ.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Богуслаев В. А. Технологическое обеспечение и прогнозирование несущей способности деталей ГТД / В. А. Богуслаев, В. К. Яценко, В. Ф. Притченко. – К. : Манускрипт, 1993. – 333 с.
2. Торбило В. М. Алмазное выглаживание / В. М. Торбило. – М. : Машиностроение, 1972. – 105 с.
3. Мозговой В. Ф. Особенности комплексной оценки деформационных параметров поверхностного слоя при изготовлении тонкостенных валов ГТД / В. Ф. Мозговой, В. А. Титов, А. Я. Качан // Технологические системы. – 2000. – № 2 (4). – С. 56–66.
4. Формирование параметров качества несущих поверхностей валов ГТД алмазным выглаживанием / В. А. Богуслаев, В. Ф. Мозговой, А. Я. Качан, В. А. Титов, А. И. Попенко // Вестник двигателестроения. – 2003. – № 1. – С. 84–89.
5. Вплив обробки поверхні пластичним деформуванням на параметри внутрішнього тертя в сталях / О. В. Мозговий, В. Ф. Мозговий, О. Я. Качан, В. А. Титов // Вісник двигунобудування. – 2003. – № 1. – С. 96–99.
6. Оценка эффективности финишной технологической обработки алмазным выглаживанием валов ГТД из стали X12HMBFШ при испытаниях на многоцикловую усталость / В. Ф. Мозговой, А. Я. Качан, А. П. Грабовский, Э. Г. Петренко // Технологические системы. – 2001. – № 1 (7). – С. 37–41.
7. Механическая спектроскопия металлических материалов / М. С. Блантер, И. С. Головин, С. А. Головин, А. А. Ильин, В. И. Сарак. – М. : МИА, 1994. – 256 с.

Мозговий О. В. – канд. техн. наук, доц. ВДПУ ім. М. Коцюбинського;

Тітов В. А. – мол. наук. співробітник НТУУ «КП».

ВДПУ ім. М. Коцюбинського – Вінницький державний педагогічний університет імені Михайла Коцюбинського, м. Вінниця;

НТУУ «КП» – Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ.

E-mail: mozgovyj@yandex.ua