

УДК: 320.18:620.19

О.М.Перков<sup>1)</sup>, І.О.Вакуленко<sup>2)</sup>**ВПЛИВ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ НА МАГНІТОПРУЖНЕ ЗАТУХАННЯ  
В СТАЛІ 45***<sup>1)</sup>Інститут чорної металургії ім. З.І.Некрасова НАН України**<sup>2)</sup>Дніпровський національний університет залізничного транспорту  
ім. ак. В.Лазаряна*

Вивчали вклад магнітопружного затухання в загальний рівень затухання сталі та амплітудну залежність коливань на зразках з середньовуглецевих сталей, зокрема сталі 45. Досліджено вплив термічної обробки на процеси внутрішнього тертя в сталі. Показано, що при великих амплітудах пружних коливань значення  $\delta$  високо відпущених сталей перевищує величину  $\delta$  загартованих сталей

**Ключові слова:** сталь 45, внутрішнє тертя, термічна обробка, амплітуда коливань

**Стан питання.** Останнім часом для деталей і механізмів, що працюють в режимі циклічного навантаження, все більше застосовуються матеріали з високою здатністю демпфірування та невисокою шумністю при пружному деформуванні. Особливо актуальна ця проблема для обладнання залізничного транспорту. Основним обмеженням широкого використання матеріалів з високою здатністю демпфірування в промисловості є дорожнеча деяких матеріалів, їх малий асортимент і звужений комплекс їх фізико-механічних характеристик, в першу чергу міцності, що не завжди задовольняє конструкторів [1].

Одним з найбільш ефективних методів боротьби з шумом, є використання сплавів з високим внутрішнім тертям або демпфуванням. Внутрішнім тертям називають здатність матеріалу незворотно розсіювати енергію механічних коливань. Деформація, що виникає в пружному тілі, визначається не тільки доданими до неї зовнішніми механічними силами, а й змінами температури тіла, його хімічного складу, зовнішніми магнітними і електричними полями, розмірами зерен тощо. При деформації з кінцевою швидкістю в тілі виникає відхилення від термодинамічної рівноваги, що викликає відповідний релаксаційний процес (повернення до рівноважного стану), супроводжуваний дисипацією (розсіюванням) пружної енергії, тобто незворотним її переходом в теплоту [2]. У зв'язку з тим, що сталі, використовувані в устаткуванні залізничного транспорту, мають регламентований хімічний склад, актуальним є питання підвищення її здатності демпфірування шляхом використання термічної обробки.

**Мета роботи.** Вивчали амплітудну залежність коливань на зразках з середньовуглецевих сталей, зокрема сталі 45. Проводили аналіз даних по амплітудній залежності декременту затухання ( $\delta$ ) сталей, що були піддані гартуванню і відпуску при різних температурах.

**Стан питання.** Виявили, що при малих амплітудах коливань найбільший рівень затухання мають зразки, що були загартовані. При

великих амплітудах, навпаки, більш високий декремент мають сталі, що були піддані високотемпературному відпуску. Величина  $\delta$  загартованих зразків не залежить від поля (втрати на магнітопружні процеси в цих зразках повністю відсутні) і слабо залежить від амплітуди коливань зразка (дані про сталь 45 наведені на рис.1).

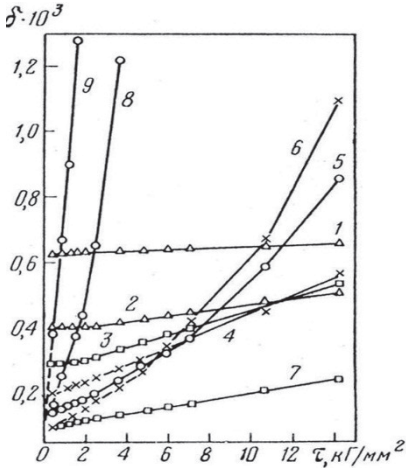


Рисунок 1 – Амплітудна залежність декременту затухання ст.45.

- 1 – гартування з 880°C у воду;
- 2 – відпуск при 200°C;
- 3 – тем саме, 300°C;
- 4 – теж саме, 400°C;
- 5 – теж саме, 600°C;
- 6 – теж саме, 650°C;
- 7 – відпал при 650°C у вакуумі;
- 8 – теж саме, 1150°C

З цих даних бачимо, що з підвищенням температури відпуску зі зменшенням  $\delta$  при малих амплітудах зростає кут нахилу кривих. Внаслідок збільшення середнього кута нахилу кривих зі збільшенням температури відпуску, при високих амплітудах значення  $\delta$  високо відпущених зразків стає вище значення  $\delta$  загартованих зразків. [3]

**Вплив термічної обробки на процеси внутрішнього тертя.** Розглянемо окремо вплив термічної обробки на магнітопружну частину затухання ( $\delta_m$ ) і на ту частину затухання, котра не зв'язана з магнітопружними процесами ( $\delta_c$ ). На рис.2 показана амплітудна залежність сталі 45, яка визначається як  $\delta_m = \delta - \delta_c$ .

Можна бачити, що зі зростанням температури відпуску, збільшується внесок магнітопружної частини затухання в загальний рівень затухання і що амплітудна залежність  $\delta_m$  стає все більш виразною, росте середній кут нахилу кривих  $\delta_m = f(\tau)$  (тангенс середнього кута нахилу цих кривих позначений літерою (с)).

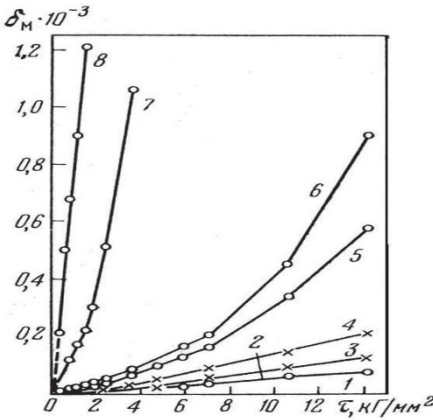


Рисунок 2 – Залежність магнітопружної частини затухання коливань  $\delta_m$  ст.45 від амплітуди коливань.

- 1 – гартування з 880<sup>0</sup>С у воду;
- 2 – відпуск при 200<sup>0</sup>С;
- 3 – тем саме, 300<sup>0</sup>С;
- 4 – теж саме, 400<sup>0</sup>С;
- 5 – теж саме, 600<sup>0</sup>С;
- 6 – теж саме, 650<sup>0</sup>С;
- 7 – відпал у вакуумі при 650<sup>0</sup>С;
- 8 – теж саме, 1150<sup>0</sup>С

Легко побачити, що криві  $\delta_m$  при їх екстраполяції до нульового значення  $\tau$  сходяться в нульовій точці. Це показує, що у даному випадку втрати енергії зумовлені головним чином магнітопружним гістерезисом, а втрати на мікрохвильові токи або дуже малі, або дорівнюють нулю.

На рис.3 представлені дані по впливу температури  $\delta_c$  відпуску на ст.45, тобто на ту частину затухань, яка не зумовлена втратами енергії на магнітопружний гістерезис.

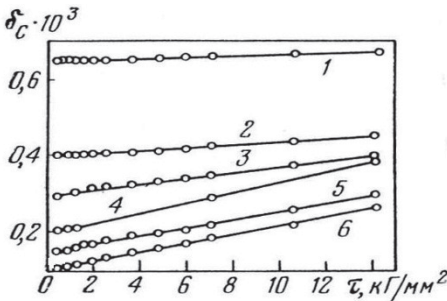


Рисунок 3 – Залежність декременту затухання намагнічених до насичення зразків ст.45 від амплітуди коливань (пояснення як і на рис.2)

З наведених даних можна побачити, що  $\delta_c$  з підвищенням температури відпуску зменшується, досягаючи мінімального значення для високо відпущених зразків (лінія 6). Для аналізу відносного вкладу магнітопружного затухання в загальний рівень затухання сталі поєднуємо на одному графіку залежність  $\delta_m$  і  $\delta_c$  від температури відпуску при деяких вибраних амплітудах пружних коливань. На рис.4, а можна бачити, що зі зростанням температури відпуску  $\delta$  - відносний вклад  $\delta_m$  в загальний півень затухання при  $\tau = 7,1$  кг/мм<sup>2</sup> (5) і  $\tau = 14,2$  кг/мм<sup>2</sup> (6). Доля  $\delta_c$  різко зменшується, а доля  $\delta_m$  – зростає. Так, після відпуску при 600 °С (рис.4,б) величина  $\delta_m$  складає біля 70 % від загального рівня затухання  $\delta_m$  при визначеній амплітуді пружних коливань ( $\tau = 14,2$  кг/мм<sup>2</sup>); при малих

амплітудах ( $\tau = 7,1 \text{ кг/мм}^2$ ) доля  $\delta_m$  зменшується: після такої ж обробки  $\delta_m$  вже складає не 70 %, а лише 40 %.

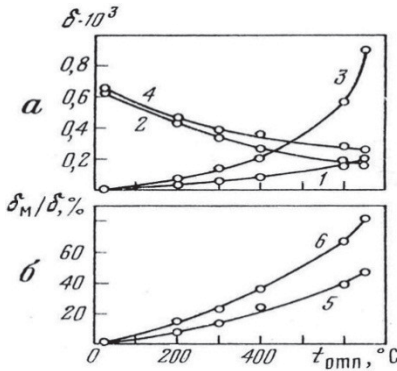


Рисунок 4 – Залежність затухання коливаний від температури відпуску ст.45

а – відносний вплив магнітопружної частини на загальний рівень затухання при

$\tau = 7,1 \text{ кг/мм}^2$  (1 -  $\delta_m$ ; 2 -  $\delta_c$ ) і  
 $\tau = 14,2 \text{ кг/мм}^2$  (3 -  $\delta_m$ ; 4 -  $\delta_c$ )

На рис.5, а з'явлена характеристика магнітопружного затухання  $K$  для ст.45 з величиною коерцитивної сили  $H_c$  і твердістю HRC, а на рис.5,б з'явлена величина  $\delta_c$  з цими ж характеристиками при  $\tau = 14,2 \text{ кг/мм}^2$ .

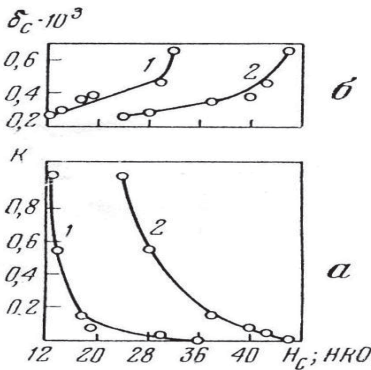


Рисунок 5 – Порівняння характеристик магнітопружного затухання з магнітними і механічними властивостями ст45

Швидкість нагріву, град/хв.: 1 – 0;

2 – 0,4; 3 – 0,75; 4 – теж саме, витримка 10 год., а – залежність  $K$  від  $H_c$  (1) і HRC (2);  $\delta_c$  – залежність  $\delta_c$  від  $H_c$  (1) і HRC (2)

### Висновки.

1. Високий рівень затухання загартованих зразків не пов'язаний з магнітопружними процесами. По мірі збільшення температури відпуску та частими затуханнями, які не зумовлені магнітопружними процесами ( $\delta_c$ ), зменшується; одночасно виникають втрати енергії, пов'язані з магнітопружними процесами. Внаслідок цього при великих амплітудах пружних коливаний значення  $\delta$  високо відпущених сталей перевищує величину  $\delta$  загартованих сталей.

2. Встановлено, який внесок в загальний рівень затухання вносять втрати на магнітопружний гістерезис при різних температурах відпуску.

3. Встановлена кореляція між змінами  $\delta_c$ ,  $\delta_m$  і  $H_c$ , а також HRC.

4. Показано, що при вивченні впливу тих чи інших факторів на здібність демпфірування сталей необхідно розглядати вплив цих факторів як на  $\delta_s$ , так і на  $\delta_h$ .

1. *Новик А. С.* Внутреннее трение в металлах, в кн.: Успехи физики металлов. Сб. статей, пер. с англ., ч. 1, М., 1956.
2. *Фавстов Ю.К., Шульга Ю.Н., Рахитадт А.Г.* Металловедение высокодемпфирующих сплавов. – М.:»Металлургиздат», 1980, – 272 с.
3. *Постников В.С.* Внутреннее трение в металлических материалах. М., Наука, 1990, с. 7-25.

*Статья поступила в редакцию сборника 15.03.2017  
и прошла внутреннее и внешнее рецензирование*

***О.Н.Перков, И.А.Вакуленко***

**Влияние термической обработки на магнитоупругое затухание в Ст. 45**

Исследовано влияние термической обработки на процессы внутреннего трения в стали. Изучали вклад магнитоупругих затуханий в общий уровень затухания стали и амплитудную зависимость колебаний на образцах из среднеуглеродистых сталей, в частности стали 45. Показано, что при больших амплитудах упругих колебаний значение  $\delta$  высоко отпущенных сталей превышает величину  $\delta$  закаленных сталей.

**Ключевые слова:** сталь 45, внутреннее трение, термическая обработка, амплитуда колебаний

***O.N.Perkov, I.A.Vakulenko***

**The heat treatment effect on magnetoelastic damping in steel of grade 45**

The article shows the influence of heat treatment on the processes of internal friction in steel. We have also studied the contribution of magnetoelastic damping to the total level of damping in steel and the oscillation amplitude dependence with regard to the samples of medium-carbon steels, in particular, those of steel 45. In the article, it is shown that under conditions of high amplitudes of elastic oscillations, the  $\delta$  value of high-tempered steels exceeds the  $\delta$  value of hardened steels.

**Keywords:** steel 45, internal friction, heat treatment, amplitude of oscillations