

*к.т.н. Кучма С.М.,
Стародубов С.Ю.
(ДонДТУ, м. Алчевськ, Україна)*

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТЕРМОМЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ НА СПЕЦІАЛЬНІ ТЕРМОПРУЖНІ ВЛАСТИВОСТІ ЕЛІНВАРА

Проведено исследование возможности применения термомеханической обработки по схеме: закалка – холодная деформация – отпуск для разработанного на основе сплава 44НХМТ дисперсионно-твердеющего элинвара. Установлен оптимальный режим термомеханической обработки, обеспечивающий высокую добротность сплава.

Ключевые слова: дисперсионно-твердеющий элинвар, термомеханическая обработка, добротность, температурный коэффициент частоты, отпуск.

Проведено дослідження можливості застосування термомеханічної обробки за схемою: загартування – холодне деформування – відпускання для розробленого на основі сплаву 44НХМТ дисперсійно-твердіючого елінвара. Встановлено оптимальний режим термомеханічної обробки, який забезпечує високу добротність сплаву.

Ключові слова: дисперсійно-твердіючий елінвар, термомеханічна обробка, добротність, температурний коефіцієнт частоти, відпускання.

Вступ

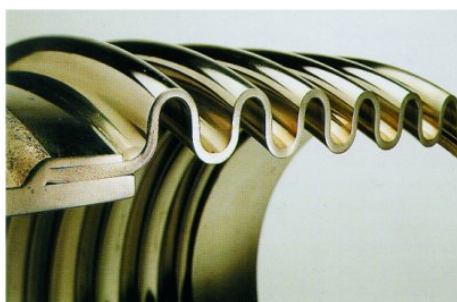
Інноваційний розвиток таких галузей машинобудування, як радіоелектронна та електротехнічна промисловість можливий за умови їх забезпечення новими матеріалами та заготовками з них. Зокрема, все більш широке застосування в зазначених галузях промисловості знаходять сплави зі спеціальними фізичними властивостями – елінвари. Такі сплави застосовують для виготовлення волоскових спіралей; пружин спеціальних годинникових механізмів; плоских, спіральних та гелікоїдальних пружин; резонаторів електромеханічних фільтрів (рис. 1, а); барокоробок; сільфонів (рис. 1, б); звукопроводів; трубок Бурдона (рис. 1, в); датчиків тиску та інших пружних чуттєвих елементів.

На даний час основним конструкційним матеріалом для виготовлення зазначених виробів є дисперсійно-твердіючий елінвар 44НХМТ. Проте в стані постачання прутки та дріт, що серійно виготовляються ме-

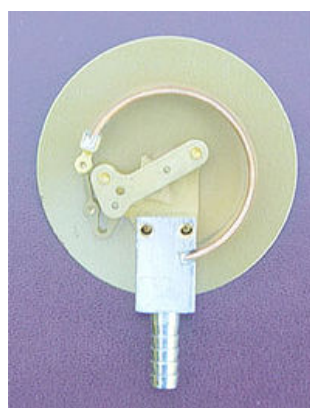
талургійною промисловістю, не мають необхідного поєднання спеціальних термопружних властивостей, необхідних для виготовлення пружночутливих елементів. Проведені експериментальні та теоретичні дослідження [1] дозволили розробити технологію спеціальної комбінованої термомеханічної обробки сплаву 44НХМТ, яка забезпечує високий рівень спеціальних термопружних властивостей. Проте цей процес досить складний та трудомісткий, до того ж вимагає застосування спеціального обладнання (термоволочильної установки [2]).



а



б



в

Рисунок 1 – Вироби з елінварів

В промисловій практиці отримані дані, які дають змогу вважати, що в елінварах навіть незначні коливання хімічного складу від однієї плавки до іншої, а також в межах однієї плавки внаслідок ліквідаційних явищ, здійснюють суттєвий вплив на величину та стабільність таких спеціальних термопружних властивостей, як температурний коефіцієнт модуля пружності (ТКМУ) та температурний коефіцієнт частоти (ТКЧ) [3]. У зв'язку з цим на основі сплаву 44НХМТ був розроблений дисперсійно-твердіючий сплав з наступним вмістом основних легуючих елементів: нікель $Ni = 45,6...46,6\%$; хром $Cr = 2,7...3,3\%$; титан $Ti = 2,7...3,1\%$; алюміній $Al = 0,6...1,1\%$; вольфрам $W = 2,0...3,0\%$.

Після виготовлення даному сплаву притаманні наступні спеціальні термопружні властивості: $ТКЧ \pm 6,0 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ при добротності (Q) не вище за 15 000 одиниць в інтервалі температур $-60^\circ \dots + 85^\circ\text{C}$.

Постановка задачі

Як правило, для поліпшення спеціальних термопружних властивостей дисперсійно-твердіючі елінвари піддають загартуванню, холодному деформуванню та відпусканню.

Задачею даної роботи є дослідження впливу традиційної термомеханічної обробки на термопружні властивості сплаву, а саме добротність та ТКЧ, та визначення оптимальних режимів обробки, які забезпечують високий рівень зазначених властивостей в широкому експлуатаційному інтервалі температур: $-60^{\circ} \dots +85^{\circ} \text{C}$.

Методика досліджень

Зразки сплаву (у вихідному стані діаметром $\varnothing 4,5$ мм) піддавали пом'якшуючій термообробці: нагріванню до температур $1\ 000^{\circ}$; $1\ 050^{\circ}$; $1\ 100^{\circ} \text{C}$ з наступним охолодженням у воді.

Після загартування зразки піддавали холодному деформуванню на стані 300 зі ступенем обтискання $\varepsilon = 60\%$ [1].

Відпускання проводили в вакуумній печі ОКБ-704 в інтервалі температур від 500° до 750°C . Було з'ясовано, що максимальне зміцнення сплаву досягається за короткий проміжок часу і збільшення витримки при відпусканні практично не здійснює вплив на його властивості. Досліджуваний інтервал часу відпускання деформованого сплаву визначено методом послідовних наближень і звужено до однієї години.

Для визначення термопружних властивостей розробленого сплаву застосовували метод підрахування числа вільних коливань (метод вимірювання декременту затухання) [4].

ТКЧ визначали за температурним відходом резонансної частоти в інтервалі температур $+5^{\circ} \dots +55^{\circ} \text{C}$, $+25^{\circ} \dots -60^{\circ} \text{C}$ та $+25^{\circ} \dots +85^{\circ} \text{C}$ по формулі:

$$TKЧ = \frac{df}{dt} = \frac{f_2 - f_1}{f_1(t_2 - t_1)},$$

де f_1 – резонансна частота при кімнатній температурі, Гц;

f_2 – резонансна частота при температурі нагрівання (охолодження), Гц;

t_1 – кімнатна температура, $^{\circ} \text{C}$;

t_2 – температура нагрівання (охолодження), $^{\circ} \text{C}$.

Для визначення спеціальних термопружних властивостей при підвищених температурах застосовували спеціально сконструйовану вакуумну камеру, в якій розташовували предметний столик з досліджуваним зразком. В камері підтримували вакуум з остаточною тиском не вище за

7×10^{-3} Па для попередження окислення сплаву при підвищених температурах. Температуру в камері вимірювали за допомогою двох вбудованих термопар типу ТПП 0555, встановлених на границях розрахункової довжини зразка, і забезпечували точність підтримання температур $\pm 1^\circ \text{C}$.

Результати експерименту

За даними експерименту отримано залежності добротності та ТКЧ від температури відпускання та температури пом'якшуючої обробки, наведені на рисунках 2 та 3 відповідно.

Залежність добротності від температури старіння носить нелінійний характер. При цьому температура пом'якшуючої термообробки перед пластичним деформуванням дроту значно впливає на добротність розробленого сплаву. Слід відзначити, що при температурах відпускання до 600°C добротність сплаву менша, ніж до термомеханічної обробки. Різке зростання добротності сплаву спостерігається з температури відпускання 600°C і вже при температурі відпускання 650°C добротність досягає свого максимального значення 23 000 одиниць. Подальше підвищення температури відпускання призводить до деякого зниження добротності сплаву, причому зазначене зниження тим більше, чим більша температура загартування.

Щодо ТКЧ досліджуваного сплаву, то він знаходиться в області додатних значень і з підвищенням температури старіння монотонно зростає до температури відпускання 700°C , після чого спостерігається деяке його зменшення. На відміну від добротності, температура загартування майже не впливає на величину ТКЧ. Слід підкреслити, що в усьому дослідженому інтервалі температур старіння значення ТКЧ виходять за межі заданого рівня ($\pm 3 \times 10^{-6} \text{C}^{-1}$), причому зразки з максимальною добротністю мають ТКЧ близько $+12 \times 10^{-6} \text{C}^{-1}$.

Таким чином, в ході проведених досліджень встановлено, що розроблений елінвар, який містить нікель $Ni = 45,6...46,6\%$; хром $Cr = 2,7...3,3\%$; титан $Ti = 2,7...3,1\%$; алюміній $Al = 0,6...1,1\%$; вольфрам $W = 2,0...3,0\%$ після традиційної термомеханічної обробки має більш високу добротність, ніж сплав-прототип 44НХМТ. Добротність підвищується з 8 000 до 23 000 одиниць.

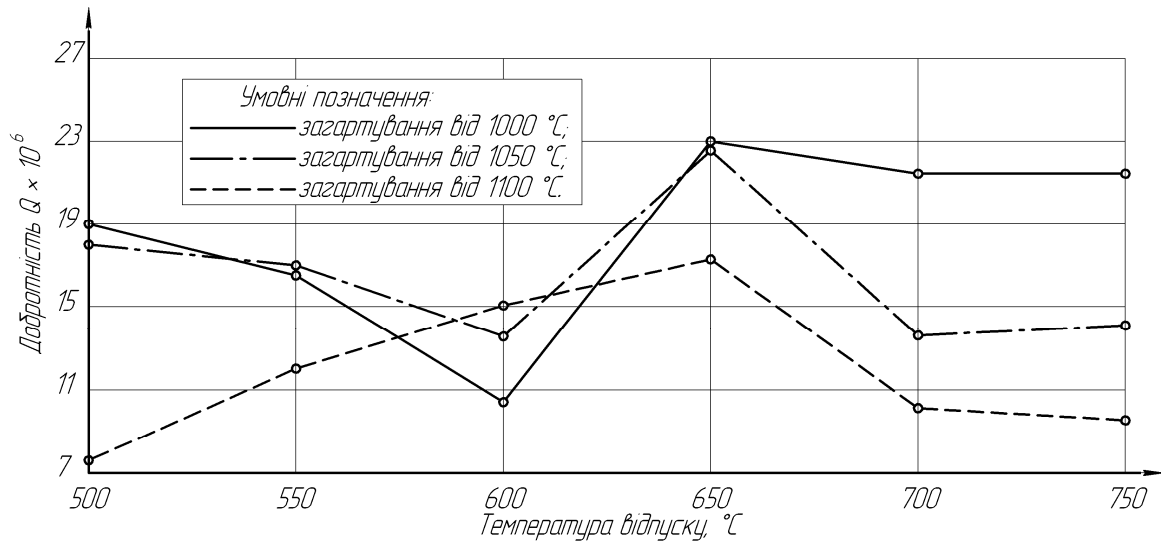


Рисунок 2 – Залежність добротності сплаву, загартованого з різних температур, від температури відпускання

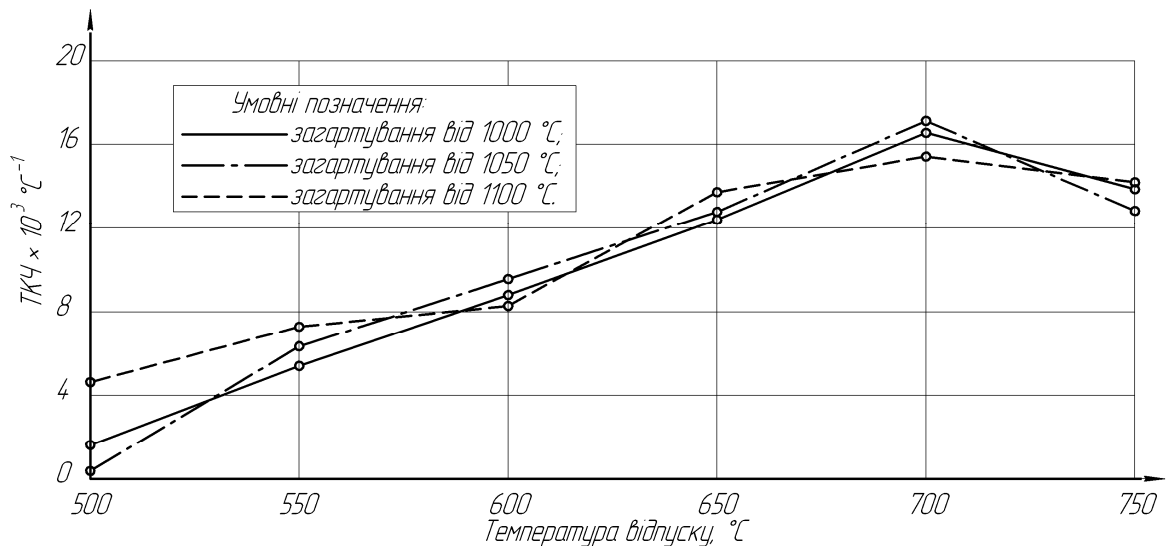


Рисунок 3 – Залежність ТКЧ сплаву, загартованого з різних температур, від температури відпускання

Висновки

1. Визначено режим термомеханічної обробки розробленого елінвару ($Ni = 45,6...46,6\%$; $Cr = 2,7...3,3\%$; $Ti = 2,7...3,1\%$; $Al = 0,6...1,1\%$; $W = 2,0...3,0\%$), який забезпечує високу добротність: загартування від $1000^{\circ}C$ + холодне деформування ($\epsilon \approx 60\%$) + відпускання при $650^{\circ}C$ на протязі 1 години.

2. Підтверджено перспективність використання розробленого елінвару в якості конструкційного матеріалу для пружно-чуттєвих елементів.

3. Для розвитку технології розробленого дисперсійно-твердіючого елінвару необхідно провести подальший пошук видів та режимів спеціальної термомеханічної обробки з метою забезпечення поєднання високих значень добротності з ТКЧ, близьким до нуля.

Бібліографічний список

1. Кучма С.Н. Улучшение комплекса свойств элинварного сплава 44НХМТ методом комбинированной деформационно-термической обработки: дис. канд. тех. наук: 05.02.01: защищена 18.05.2010; утв. 10.10.2010 / Кучма Светлана Николаевна. – Харьков: ХНАДУ, 2010.

2. Пат. 56892 Україна, МПК (2011.01) G21 D1/78 Установка для термомеханической обработки / С.М. Кучма, С.Ю. Стародубов; заявник і патентовласник Донбас. державн. техн. ун-т. – № u201009891; заявл. 09.08.2010; опубл. 25.01.2011, Бюл. № 2. – 2 с., ил.

3. Рахштадт А.Г. Пружинные стали и сплавы: [3-е изд., перераб. и доп] / А.Г. Рахштадт. – М.: Металлургия, 1982. – 400 с.

4. Измерения в электронике / В.А. Кузнецов [и др.]; под ред. В.А. Кузнецова. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 512 с., ил.

Рекомендовано до друку д.т.н., проф. Новохатським О.М.