
УДК 621(07)+669

Канд. техн. наук С. М. Кучма, канд. экон. наук А. М. Зинченко, С. Ю. Стародубов
Донбасский государственный технический университет, г. Алчевск

ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПРУТКОВ МАЛОГО СЕЧЕНИЯ ИЗ СПЛАВА 44НХМТ С УЛУЧШЕННЫМИ СВОЙСТВАМИ

Предложен новый технологический метод получения прутков малого сечения из эливарного сплава 44НХМТ с использованием термомеханической обработки. Исследовано влияние динамического старения на физико-механические и термоупругие свойства полученных прутков. Определен режим термомеханической обработки, обеспечивающий оптимальный комплекс требуемых термоупругих свойств.

Ключевые слова: эливар, динамическое старение, термоволоочильная установка, добротность, температурный коэффициент частоты.

1 Введение

Создание новых и совершенствование имеющихся устройств, приборов и изделий радиоэлектронной промышленности требует разработки, освоения производства и совершенствования качества прецизионных сплавов, в частности, эливарных. Как правило, изделия и детали из таких сплавов должны обеспечивать требуемый уровень свойств на рабочих режимах. Так, например, основным элементом канального электромеханического фильтра (ЭМФ) является резонатор $\varnothing 2,8$ мм, который работает в жестких условиях и должен обладать повышенным уровнем прочностных свойств, гарантированной добротностью (более 25 000 ед.) при температурном коэффициенте частоты (ТКЧ) в пределах $\pm 3 \cdot 10^{-6} \text{ C}^{-1}$ в интервале температур от $-60 \text{ }^\circ\text{C}$ до $+85 \text{ }^\circ\text{C}$ [1].

В настоящее время резонаторы канальных ЭМФ изготавливаются из серийных прутков эливарного сплава 44НХМТ $\varnothing 4,5$ мм. В состоянии поставки выпускаемые серийно металлургической промышленностью прутки и проволока из эливарных сплавов не обладают необходимым комплексом свойств, предъявляемых к заготовкам резонаторов канальных ЭМФ [2].

Кроме того, сортамент отечественной металлургической промышленности не предусматривает производства прутков из эливарного сплава 44НХМТ диаметром менее 4,5 мм.

В производстве полуфабрикатов резонаторов канальных ЭМФ используются две технологические схемы (рис. 1).

Следует отметить, что применение указанных схем связано со значительными технологическими трудностями. Так, при получении малогабаритных прутков по схеме, представленной на рис. 1, а сложно обеспечить качественную рихтовку проволоки из-за малого ее сечения. Существенным недостатком является и применение механической обработки – шлифования с $\varnothing 4,5$ до $\varnothing 3,4$ мм. Высокая чувствительность сплава к перегреву требует специального подбора режимов шлифования. Кроме того, процесс связан с безвозвратными потерями дорогостоящего материала и сопровождается выделением в воздух рабочей зоны вредных аэрозолей.

Существенным недостатком технологической схемы, представленной на рис. 1, б является то, что температура старения для ряда плавок, обеспечивающая

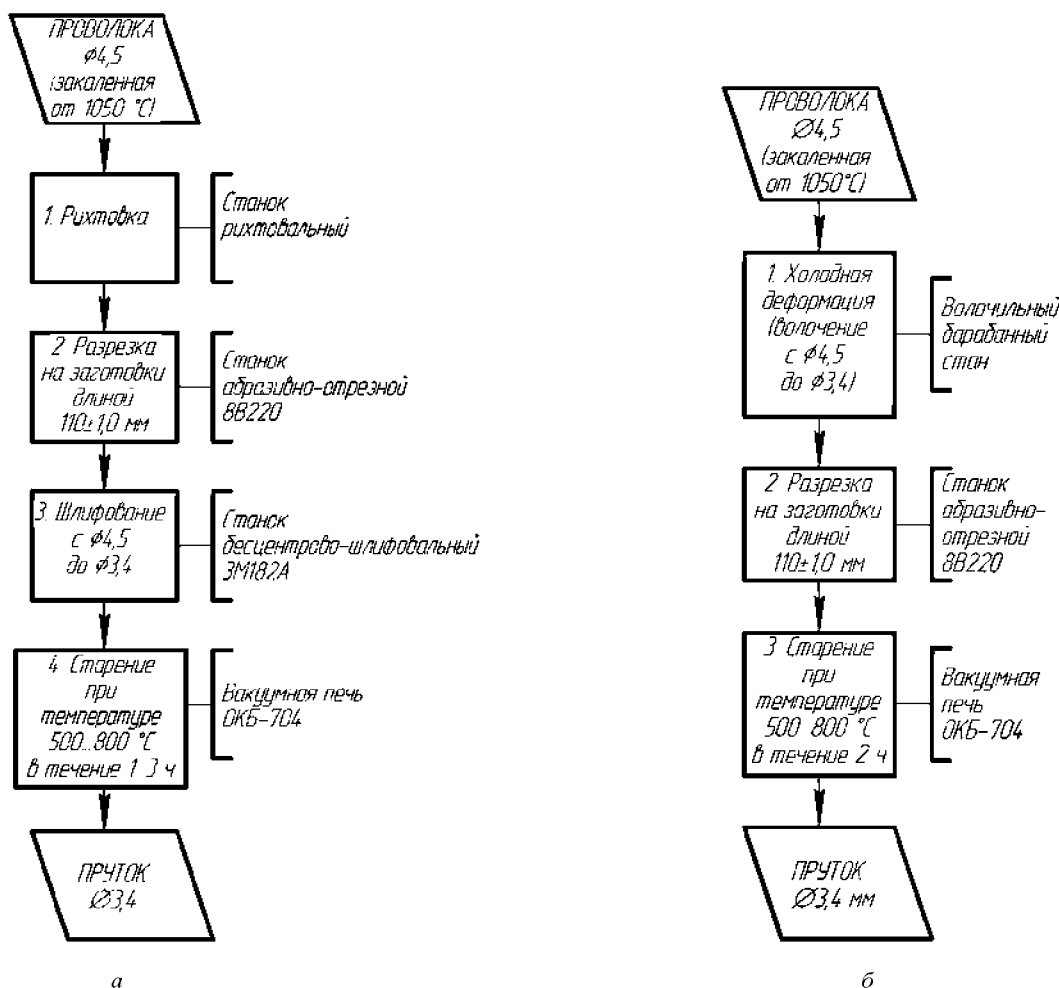


Рис. 1. Существующие технологические схемы производства прутков малого сечения ($\varnothing 3,4$ мм) для изготовления резонаторов канальных ЭМФ из сплава 44НХМТ

получение требуемых значений ТКЧ, не обеспечивает требуемых значений добротности (более 25 000 единиц). В производственных условиях это вызывает большие трудности, связанные с необходимостью экспериментального определения оптимальной температуры старения для каждой плавки и поплавочного запуска металла в производство. Кроме того, для большого числа плавки (приблизительно 30 %) сплава 44НХМТ не удается подобрать режим термической обработки, и эти плавки отбраковываются [3].

Таким образом, проблема дальнейшего совершенствования технологии производства прутков малого сечения из эливарных сплавов типа 44НХМТ является весьма актуальной.

2 Цель и постановка задачи

Для дальнейшего совершенствования технологии эливарных сплавов типа 44НХМТ с целью обеспечения комплекса необходимых термоупругих свойств, промышленно-перспективным путем является использование новых технологических схем обработки. Задачей данной работы является исследование возможности использования старения под напряжением (динамического старения) как способа получения прутков малого сечения для изготовления резонаторов из эливарного сплава 44НХМТ.

3 Анализ публикаций

Как показывает анализ публикаций, в последние годы успешно разрабатываются и внедряются новые методы упрочнения различных сплавов, среди которых преимущественное значение приобретает термомеханическая обработка во всех ее разнообразных вариантах [4, 5].

Так как эливарный сплав 44НХМТ относится к классу дисперсионно-твердеющих сплавов, то для получения прутков малого сечения возможно применить один из видов термомеханической обработки – динамическое старение. Динамическое старение обеспечивает процесс распада пересыщенного твердого раство-

ра в непрерывно изменяющемся поле упругих напряжений, созданных внешней нагрузкой, и, соответственно, в непрерывно изменяющемся напряженном и структурном состоянии сплава. Кроме того, процесс динамического старения связан с приданием необходимой формы изделию – термофиксацией.

4 Методика исследований

Получение образцов методом холодной пластической деформации с последующим динамическим старением заключалось в том, что закаленную от температуры 1050 °С и охлажденную в воде проволоку подвергали волочению с \varnothing 4,5 мм до \varnothing 3,4 и динамическому старению на термоволоочильной установке, схема которой представлена на рис. 2.

Установка состоит из последовательно расположенных задающего устройства 2 для подачи заготовки 1, узлов нагрева 3 и 5, вращающейся роликовой головки 4 и тянущего устройства 6. Вращающаяся роликовая головка установлена на полом шпинделе и имеет три свободно вращающихся ролика, установленных по окружности через 120°. Роликовая головка вращается с частотой 250...350 об/мин. Ролики задающего устройства 2 и тянущее устройство 6 обеспечивают подачу эливарной проволоки диаметром 4,5 мм к узлу нагрева 3 и вращающейся роликовой головке со скоростью 7...10 м/мин.

Термоволоочильная установка работает в автоматическом режиме и оборудована гидроприводом, цикл работы которого состоит из двух этапов.

Эливарная проволока 1 подается на задающее устройство 2, откуда поступает в узел нагрева 3. Индуктором узла нагрева 3 проволока подогревается до температуры ~300 °С, что не превышает температуры рекристаллизации.

На первом этапе тянущее устройство 6 перемещается в крайнее левое положение и захватывает проволоку. После захвата тянущее устройство перемещается в крайнее правое положение, протягивая проволоку через вращающуюся роликовую головку 4. При этом

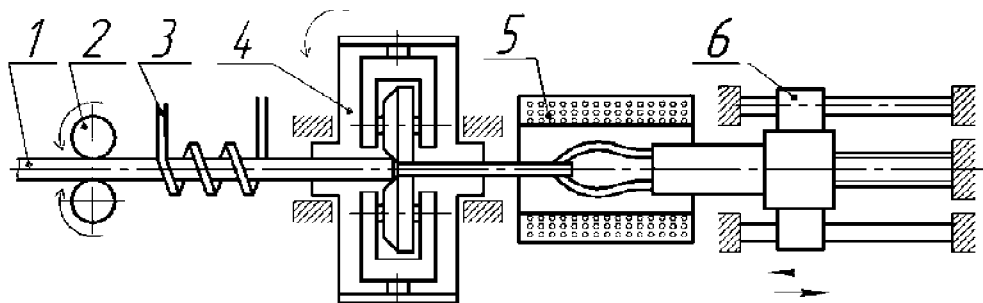


Рис. 2. Схема термоволоочильной установки:

- | | |
|----------------------------|------------------------------------|
| 1 – заготовка (проволока); | 4 – вращающаяся роликовая головка; |
| 2 – задающее устройство; | 5 – узел нагрева; |
| 3 – узел нагрева; | 6 – тянущее устройство с захватом |

к проволоке прикладывается нагрузка, превышающая ее предел текучести. Степень деформации составляет ~ 60 %.

Второй этап начинается с момента возврата тянущего устройства 6 в крайнее правое положение. Захват выходит из рабочей зоны узла нагрева 5, но при этом он продолжает удерживать деформированную проволоку в натянутом состоянии. Однако прикладываемая нагрузка снижается, и ее величина не превышает предела текучести и обеспечивает напряжение 40 МПа. Автоматически включается узел нагрева 5 и нагревает находящийся внутри него участок проволоки до заданной температуры. Таким образом, деформированная проволока в узле нагрева выдерживается в поле упругих деформаций с одновременным воздействием на нее температуры в течение 25 минут. Время выдержки определяли методом последовательных приближений [6]. Температура нагрева проволоки индуктором узла нагрева 5 контролируется фотоэлектрическим пирометром.

Динамическое старение эливарной проволоки диаметром 4,5 мм проводили с приложением растягивающих напряжений 40 МПа в интервале температур от 500 до 750 °С через каждые 25 °С. Сплав выдерживался при заданной температуре в течение 25 минут. Затем прутки отрезались гильотинными ножницами (на схеме они условно не показаны), которые размещаются между вращающейся роликовой головкой 4 и узлом нагрева 5.

Полученный прутки малого сечения разрезали абразивным кругом на заготовки длиной $110 \pm 1,0$ мм.

На полученных образцах определяли термоупругие свойства (добротность Q и ТКЧ) с использованием метода подсчета числа свободных колебаний (метод измерения декремента затухания) [7]. Для повышения точности определение резонансной частоты проводили по III-й гармонике.

ТКЧ определяли по температурному уходу резонансной частоты в интервале температур +5 ... +55 °С, +25 ... -60 °С и +25 ... +85 °С по формуле:

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

где f_1 – резонансная частота при комнатной температуре, Гц;

f_2 – резонансная частота при температуре нагрева (охлаждения), Гц

t_1 – комнатная температура, °С;

t_2 – температура нагрева (охлаждения), °С.

Добротность определяли по методу измерения декремента затухания [7]. Выбранный метод реализует формулу:

$$Q = \frac{\pi N}{\ln \frac{A_1}{A_2}},$$

где N – произвольное целое число периодов,

A_1, A_2 – амплитуды напряжения затухающего колебательного процесса.

При соотношении амплитуд, равном $\frac{A_1}{A_2} = L^{0,1p}$

показания счетчика будут соответствовать значению $0,1Q$ (L – длина образца). В этом случае погрешность измерения зависит от погрешности счета и неточности установки порогов компараторов.

Испытания осуществляли на специально разработанном измерительном комплексе, реализующем выбранный метод определения добротности и включающем прибор ПКП-17, работающий совместно с частотомером ЧЗ-34А.

Нагрев образцов осуществляли в климатической камере с точностью поддержания температуры ± 1 °С.

Для определения термоупругих характеристик при повышенных температурах использовали специально сконструированную вакуумную камеру, в которую помещали предметный столик с испытуемым образцом. В камере поддерживали вакуум с остаточным давлением не выше $7 \cdot 10^{-3}$ Па для предотвращения окисления сплава при повышенных температурах. Температуру в камере измеряли с помощью двух встроенных термопар типа ТПП 0555, установленных на границах расчетной длины образца.

Определение прочностных и пластических характеристик осуществляли испытаниями на одноосное статическое растяжение цилиндрических образцов (ось растяжения была ориентирована вдоль направления прокатки) до разрыва с измерением $\sigma_e, \sigma_{0,2}, \delta, \psi$ по стандартным методикам [8, 9].

5 Результаты эксперимента

Степень деформации проволоки в прутках $\varnothing 3,4$ мм выбрали приблизительно 60 % [10].

Зависимости термоупругих характеристик (ТКЧ, добротности) проволоочных образцов из исследуемой плавки, обработанные на термоволоочильной установке, от температуры динамического старения приведены на рис. 3.

Необходимо отметить, что прутки диаметром $\varnothing 3,4$ мм после динамического старения обладают более высокой добротностью ($Q = 16000$ ед.) по сравнению с серийной проволокой диаметром $\varnothing 4,5$ мм ($Q = 8000$ ед.), используемой для изготовления резонаторов канальных ЭМФ.

Анализ экспериментальных данных о характере изменения ТКЧ позволяет сделать вывод, что характер изменения и значения ТКЧ во всем интервале температур испытаний достаточно близки; максимальное приближение к требуемым значениям ТКЧ = $\pm 3 \cdot 10^{-6}$ °С⁻¹ в пределах всего эксплуатационного интервала температур от -60 до +85 °С обеспечивается при температуре динамического старения 670–675 °С. Однако, как видно из рисунка 4, этот интервал температур является очень узким.

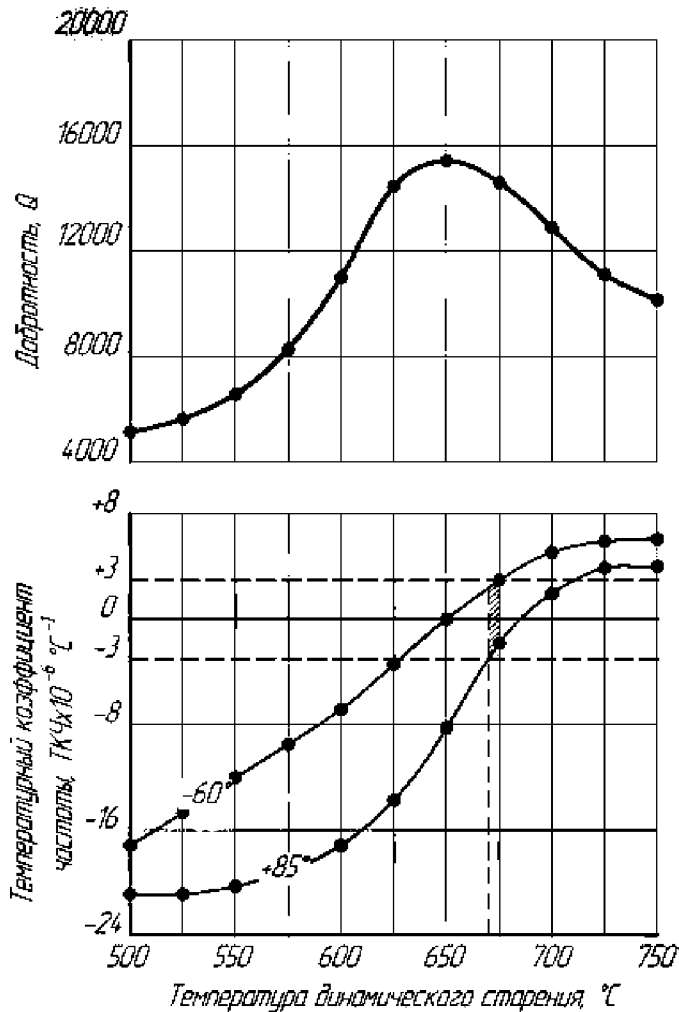


Рис. 3. Зависимости ТКЧ и добротности от температуры ДС сплава 44НХМТ

Таким образом, в результате динамического старения достигается значительное повышение добротности (до 15 000 единиц). При этом интервал температур динамического старения, обеспечивающий такое повышение добротности, весьма широк: 630–660 °C (рис. 4). Вместе с тем достичь требуемый уровень ТКЧ ($\pm 3 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$) в интервале температур -60...+85 °C удастся в очень узком диапазоне температур 670–675 °C, несовпадающий с интервалом температур высокой добротности.

К сплавам, используемым для изготовления резонаторов канальных ЭМФ, требования по механическим свойствам не предъявляются. Вместе с тем эти свойства определяют технологичность сплава при назначении требуемых усилий обжатия [11].

Результаты испытаний механических свойств при растяжении представлены на рис. 4 и 5.

Зависимость пластических свойств сплава 44НХМТ от температуры динамического старения представлена на рис. 4. Относительное удлинение δ при температуре старения 500 °C составляет 1,9 % и с повышением температуры старения растет, достигая

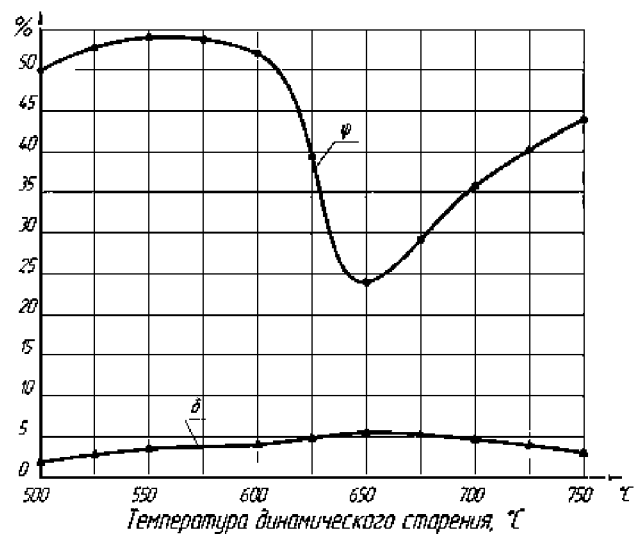


Рис. 4. Зависимость пластических свойств сплава 44НХМТ от температуры ДС

максимального значения 5,4 %. Одновременно с этим наблюдается уменьшение поперечного сужения, причем при температурах динамического старения ниже 600 °С оно практически остается неизменным, а при температурах динамического старения выше 600 °С – снижается.

Такое поведение механических свойств, а именно: повышение прочностных характеристик (σ_{φ} , $\sigma_{0,2}$) и относительного удлинения d с одновременным уменьшением поперечного сужения ψ , характерно для образования упорядоченных структур. Оно связано с ориентированным выделением второй фазы в поле напряжений [12, 13], что ведет к упрочнению материала в районе образования шейки и перемещению сосредоточенной деформации в другую область образца. В результате такого характера деформации образца происходит значительное (в 2,5 раза) увеличение относительного удлинения d с одновременным падением поперечного сужения ψ .

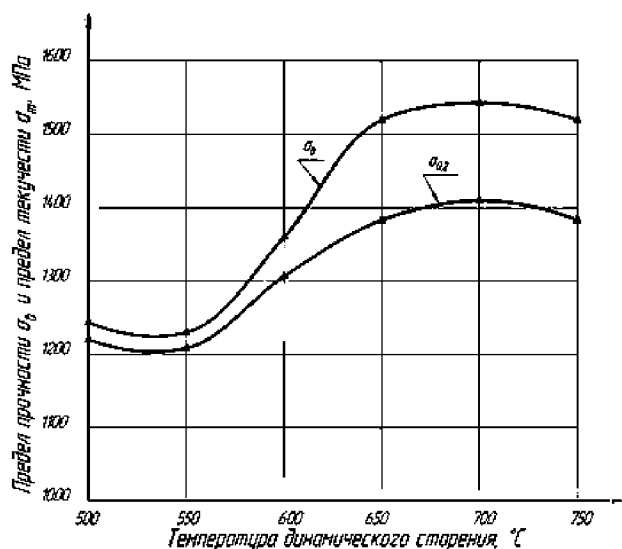


Рис. 5. Зависимость прочностных характеристик сплава 44НХМТ от температуры ДС

6 Выводы

1. Установлено положительное влияние динамического старения на уровень комплекса термоупругих свойств. В частности, величина добротности в прутках малого сечения достигает 15 000 единиц.

2. Определен оптимальный режим динамического старения эливарного сплава типа 44НХМТ, обеспечивающий стабильно высокую добротность в прутках малого сечения \varnothing 3,4 мм: нагрев при температуре 700 °С под нагрузкой, обеспечивающей напряжение 40 МПа, в течение 25 минут.

3. Для обеспечения и прогнозирования требуемого комплекса термоупругих свойств эливарного спла-

ва 44НХМТ необходимо провести дальнейшие исследования структурных превращений, происходящих в сплаве в процессе динамического старения, и выявить оптимальную структуру, обеспечивающую этот комплекс его термоупругих свойств.

Перечень ссылок

1. Паэранд Ю. Э. Малогабаритный полосовой электро-механический фильтр / Ю. Э. Паэранд // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. – 2003. – № 5. – С. 16–17.
2. ТУ 14-1-4630 – 89 Проволока холоднотянутая из сплава 44НХМТ. – Введ. 1989-01-07. – М. : Государственный комитет СССР по управлению качеством продукции и стандартами : Изд-во стандартов, 1988. – 8 с.
3. Кучма С. Н. Исследование влияния режимов термической обработки на физико-механические и эливарные свойства сплава 44НХМТ / С. Н. Кучма // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2005. – №6/1(18). – С. 27–29.
4. Бараз В. Эливарные сплавы: особенности состава, структуры и свойств. Ч. 1 / В. Бараз, В. Стрижак // Национальная металлургия. – 2003. – №4. – С. 96–98.
5. Бараз В. Эливарные сплавы: особенности состава, структуры и свойств. Ч. 2 / В. Бараз, В. Стрижак // Национальная металлургия. – 2003. – № 5. – С. 101–105.
6. Виленкин В. Я. Метод последовательных приближений / В. Я. Виленкин. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Наука, 1978 – 108 с.
7. Измерения в электронике : справочник / под ред. В. А. Кузнецова. – М. : Энергоатомиздат, 1987. – 512 с., ил.
8. Проволока. Методы испытания на растяжение : ГОСТ 10446–80 – [Введ. 1987-01-07]. – М. : Государственный комитет СССР по стандартам. – 1987. – 9 с. – (Изд-во стандартов).
9. Металлы. Методы испытания на растяжение при повышенных температурах : ГОСТ 9651–84 – [Введ. 1986-01-01]. – М. : Государственный комитет СССР по стандартам. – 1985. – 6 с. – (Изд-во стандартов).
10. Исследование влияния динамического старения на свойства прутков из эливарного сплава 44НХМТ / [А. П. Любченко, Д. Б. Глушкова, С. Н. Кучма, С. Ю. Стародубов] // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – № 6/1(18). – 2005. – С. 27–29.
11. Пастухова Ж. П. Пружинные стали и сплавы цветных металлов / Ж. П. Пастухова, А. Г. Рахштадт. – М. : Металлургия, 1983. – 363 с.
12. Суховаров В. Ф. Природа влияния температуры закалки на механизм выделения γ' -фазы / В. Ф. Суховаров, А. И. Кольчужкина, В. В. Караваева // ФММ, 1972. – Т. 34, вып. 1. – С. 103–106.
13. Влияние структурно-фазового состояния промышленных дисперсионно-твердеющих сплавов на их технологические и прочностные свойства: отчет о НИОКР/ Восточно-казахский государственный университет им. С. Аманжолова ; рук. Скаков М. К. ; исполн. Ерболатулы Д. – Курчатов, 2006. – 16 с.

Одержано 01.12.2010

Кучма С.М., Зинченко А.М., Стародубов С.Ю. Технологія отримання прутків малого перерізу зі сплаву 44НХМТ з полішеними властивостями

Запропоновано новий технологічний метод отримання прутків малого перерізу з елінварного сплаву 44НХМТ з використанням термомеханічної обробки. Досліджено вплив динамічного старіння на фізико-механічні та термопружні властивості отриманих прутків. Визначено режим термомеханічної обробки, який забезпечує оптимальний комплекс потрібних термопружних властивостей.

Ключові слова: елінвар, динамічне старіння, термоволоочільна установка, добротність, температурний коефіцієнт частоти.

Kuchma S., Zinchenko A., Starodubov S. Bars production technology made of alloy 44HXMT with improved properties

The new technological method of small bars receiving from elinvar alloy 44HXMT using thermomechanical treatment was proposed. The effect of the dynamic ageing on the physical, mechanical and thermoelastic properties of small bars were researched. The mode of thermomechanical treatment, providing the optimal range required thermoelastic properties, was determined.

Key words: elinvar, dynamic ageing, thermal drawing equipment, temperature coefficient of frequency.
