

УДК 621.778.1

**С. Н. Кучма, С. Ю. Стародубов****СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПРУТКОВ МАЛОГО СЕЧЕНИЯ ИЗ ЭЛИНВАРОВ**

Предложен усовершенствованный технологический метод получения прутков малого сечения из элинваров с использованием термомеханической обработки, включающий процесс динамического старения. Определён режим термомеханической обработки, который обеспечивает оптимальный комплекс необходимых термоупругих свойств в широком интервале климатических температур.

*Ключевые слова:* элинвар, динамическое старение, термомеханическая обработка, пруток, термоволоочильная установка, достаривание.

Инновационное развитие радиоэлектронной и электротехнической промышленности возможно при условии обеспечения их новыми материалами и заготовками из них. Так, всё более широкое применение в указанных отраслях находят сплавы со специальными термоупругими свойствами – элинвары системы «железо-никель-хром». Указанные сплавы характеризуются близкими к нулю значениями температурного коэффициента модуля упругости (ТКМУ), а следовательно, и температурного коэффициента частоты (ТКЧ), обладая при этом высокой добротностью. Они применяются как особо эффективный конструкционный материал для изготовления датчиков в командно-измерительных системах подвижных объектов, управляемых специализированными микропроцессорами. Конструкция таких изделий требует получения прутков малого сечения, а технические характеристики – сочетания ТКЧ в пределах  $\pm 3 \times 10^{-6} \text{ C}^{-1}$  с добротностью более 25 000 ед. в широком климатическом диапазоне от  $-60^\circ$  до  $+85^\circ \text{ C}$ .

Как свидетельствует производственная практика, в настоящее время прутки малого сечения ( $\varnothing 3,4 \text{ мм}$ ) из элинваров получают из проволоки диаметром 4,5 мм по схеме, представленной на рисунке 1а. Данная технологическая схема позволяет получать прутки малого сечения и обеспечивать в них необходимый уровень прочностных свойств. Однако ей присущ ряд существенных недостатков: образование в процессе рихтов-

---

**Кучма Светлана Николаевна** — кандидат технических наук, доцент (Донбасский государственный технический университет, Алчевск, Украина); e-mail: kuchmalana@mail.ru.

**Стародубов Сергей Юрьевич** — старший преподаватель (Донбасский государственный технический университет, Алчевск, Украина); e-mail: sergej.starodubow@yandex.ru.

© Кучма С. Н., Стародубов С. Ю., 2016

---

ки наклёпанного слоя, что приводит к увеличению микротвёрдости и изменению термоупругих свойств; технологические сложности, связанные с использованием рихтовального оборудования; значительные безвозвратные потери металла на операции шлифования; высокая вероятность брака вследствие возможного перегрева при шлифовании; необходимость определения режимов завершающей термообработки опытным путём для каждой плавки (отбраковывается до 30 % плавок).

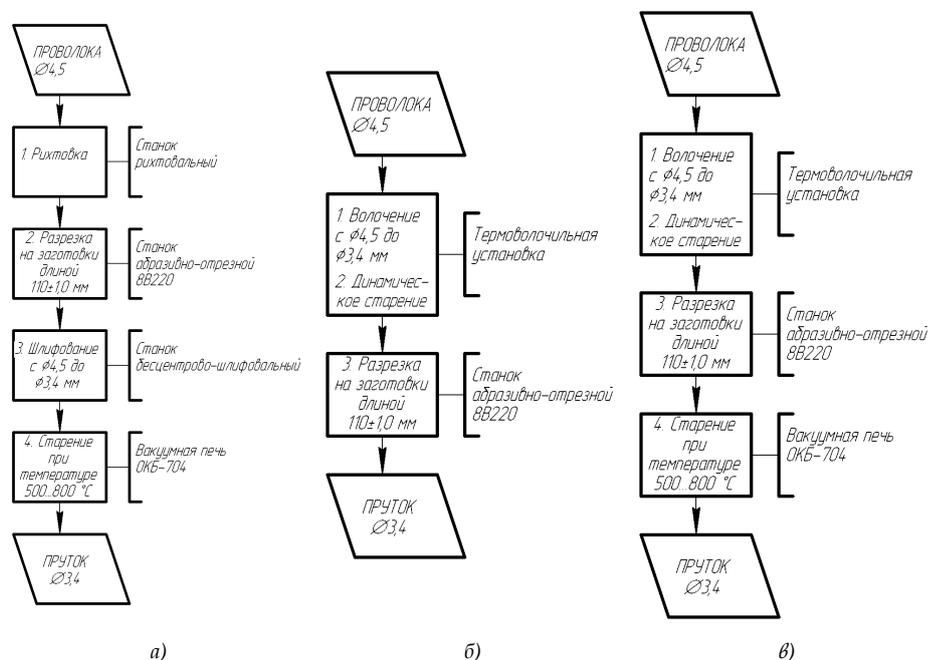


Рис. 1. Технологические схемы получения прутков малого сечения из элинваров

Всё вышеперечисленное создаёт предпосылки для поиска новых более эффективных технологических схем изготовления прутков малого сечения из элинваров, лишённых указанных недостатков.

Из анализа литературных источников [1] следует, что перспективным направлением исследований является применение термомеханической обработки, в частности, динамического старения.

Была разработана новая технологическая схема производства прутков малого сечения из элинваров, представленная на рисунке 1б, в которой формоизменяющей операцией является волочение, а необходимый комплекс специальных термоупругих свойств формируется на операции динамического старения (старения с приложением растягивающих напряжений).

Для реализации данной технологической схемы предложена термоволоочильная установка (рис. 2).

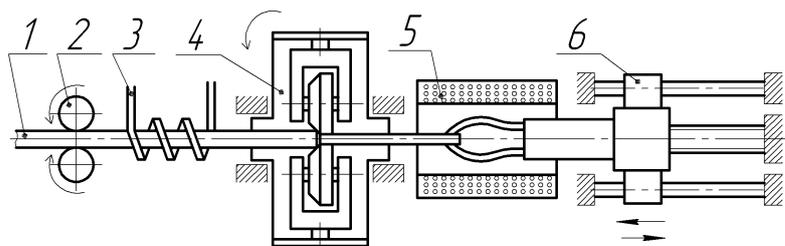


Рис. 2. Схема термоволоочильной установки

Установка состоит из последовательно расположенных: задающего устройства 2 для подачи заготовки 1, узлов нагрева 3 и 5, вращательной роликовой головки 4 и тянущего устройства 6. Вращательная роликовая головка установлена на пустотелом шпинделе и имеет три свободно вращающихся ролика, расположенных по окружности через  $120^\circ$ . 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 вращательной 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 подаётся в задающее устройство 2, откуда поступает в узел нагрева 3. Индуктором узла нагрева проволока нагревается до температуры около  $300^\circ\text{C}$ , 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 вращательную деформирующую головку 4. При этом к проволоке прикладывается нагрузка, превышающая предел текучести. Степень деформации составляет около  $60\%$ .

Второй этап начинается с момента возврата тянущего устройства 6 в крайнее правое положение. Захват выходит из рабочей зоны узла нагрева 5, но при этом продолжает удерживать деформированную проволоку в натянутом состоянии. Однако приложенная нагрузка снижается, её величина не превышает предел текучести обрабатываемого материала. Автоматически включается узел нагрева 5 и нагревает участок проволоки, находящейся в нём, до заданной температуры. Температура нагрева проволоки индуктором узла нагрева 5 контролируется фотоэлектрическим пирометром.

Испытаниям подвергали образцы проволоки  $\varnothing 4,5$  мм из дисперсионно-твердеющего эливаара 44НХМТ. Динамическое старение проводили с приложением растягивающих напряжений  $40$  МПа в интервале температур  $t$   $500^\circ$  до  $750^\circ\text{C}$  с интервалом  $25^\circ\text{C}$ . Сплав выдерживали при заданной температуре в течение 25 минут. Затем прутки отрезали гиль-

отинными ножницами (на схеме условно не показаны), расположенными между вращающейся роликовой головкой 4 и узлом нагрева 5.

Применение разработанной термоволоочильной установки дало возможность объединить в одной операции процессы формообразования (холодное волочение до  $\varnothing 3,4$  мм) и формирование необходимых свойств (термомеханическая обработка).

Результаты измерения добротности и ТКЧ на образцах прутков  $\varnothing 3,4$  мм из сплава 44НХМТ, полученных методом динамического старения, представлены на рисунке 3.

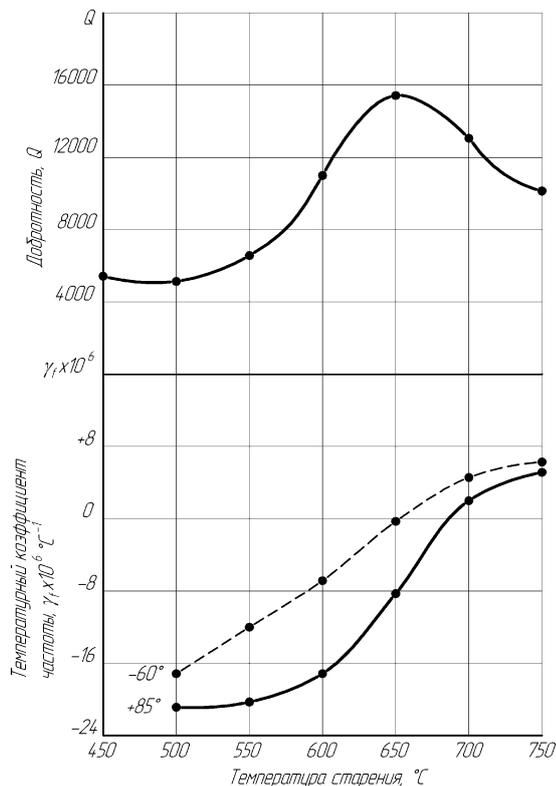


Рис. 3. Зависимость уровня специальных термоупругих свойств (элинвар 44НХМТ) от температуры динамического старения

Изменение добротности  $Q$  сплава 44НХМТ от температуры динамического старения близко параболической зависимости. Повышение добротности наблюдается в интервале температур динамического старения от  $500^\circ$  до  $650^\circ\text{C}$  и достигает максимального значения 15000 ед. Дальнейшее повышение температуры старения до  $700^\circ\text{C}$  снижает добротность до 12000 ед.

Изменения ТКЧ от температуры старения представлены на рисунке 3 двумя криволинейными зависимостями. Это объясняется тем, что по

условиям эксплуатации ТКЧ должен оставаться неизменным в климатическом районе температур от  $-60^{\circ}\text{C}$  до  $+85^{\circ}\text{C}$ . Графические зависимости ТКЧ от температуры динамического старения обнаруживают возрастание ТКЧ во всем интервале температур от  $500^{\circ}$  до  $700^{\circ}\text{C}$ . При всех температурах старения график  $\text{TKЧ}_{-60^{\circ}\text{C}}$  располагается на рисунке 3 выше графика  $\text{TKЧ}_{+85^{\circ}\text{C}}$ . Получить варьированием температуры динамического старения значения  $\text{TKЧ} \pm 3 \times 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$  как при отрицательных ( $-60^{\circ}\text{C}$ ), так и при положительных ( $+85^{\circ}\text{C}$ ) температурах испытаний не удалось.

В связи с этим для окончательного формирования свойств использовалась комбинированная термическая обработка, состоящая из динамического старения и достаривания в течение 2-х часов (рис. 1б). Это позволило получить более высокий уровень специальных термоупругих свойств по сравнению с предыдущей технологической схемой.

Результаты измерения добротности и ТКЧ на образцах прутков  $\varnothing 3,4 \text{ мм}$  из сплава 44НХМТ, полученных методом динамического старения с последующим достариванием, представлены на рисунке 4.

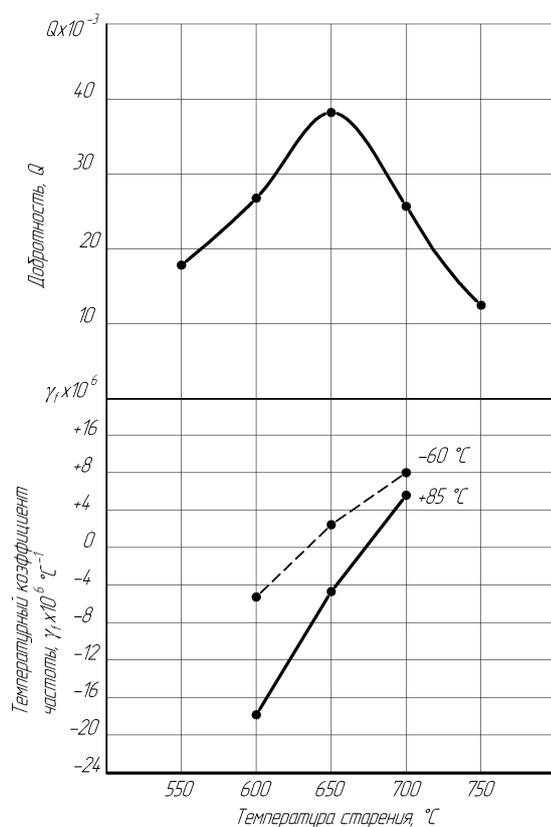


Рис. 4. Зависимость уровня специальных термоупругих свойств (элинвар 44НХМТ) от температурного режима комбинированной термомеханической обработки

Как следует из графика, достаривание сплава после динамического старения уменьшает разницу между значениями ТКЧ<sub>-60°C</sub> и ТКЧ<sub>+85°C</sub>, и при температуре 675°C значения ТКЧ удовлетворяют предъявляемым требованиям и имеют величину  $\pm 2,5 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$  (для динамического старения при температуре 550°C). Одновременно с этим добротность достигает максимальных значений (около 35 000 ед.).

Таким образом, динамическое старение при высоких температурах даёт возможность получения малогабаритных прутков из элинварных сплавов, минуя процесс рихтовки, а комбинированная термомеханическая обработка, включающая процесс динамического старения, снижает чувствительность ТКЧ к точности поддержания температуры последующего старения, обеспечивает большую размерную стабильность изделий из элинварных сплавов. Такое изменение свойств можно объяснить структурными превращениями, происходящими в сплаве при динамическом старении.

Определены режимы термомеханической обработки, обеспечивающие получение малогабаритных прутков с заданным комплексом свойств: минимальными, стремящимися к нулевому значениями ТКЧ при высокой добротности.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бернштейн М. Л. Термомеханическая обработка металлов и сплавов: в 2 т. М.: Металлургия, 1968. Т.1: Термомеханическая обработка сплавов. 596 с.
2. Пат. 30882 Україна, МПК (2006) C21D8/06. Спосіб отримання малогабаритних прутків з дроту елінварного сплаву / Кучма С. М. (Україна); Харківський національний автомобільно-дорожній університет (Україна). № u200714161, заявл. 17.12.2007; опубл. 11.03.2008. Бюл. № 5. 4 с.
3. Пат. 56892 Україна, МПК (2010) C21D1/78. Установа для термомеханічної обробки / Кучма С. М., Стародубов С. Ю. (Україна); Донбаський державний технічний університет (Україна). № u201009891, заявл. 09.08.2010; опубл. 25.01.2011. Бюл. № 2. 4 с.

\* \* \*

**Kuchma Svetlana N., Starodubov Sergey Yu.**  
**IMPROVING THE TECHNOLOGY OF MANUFACTURING RODS**  
**OF SMALL SECTION FROM ELINVARs**

(Donbass State Technical University, Alchevsk)

An improved technological method of producing rods of small section from elinvars with a thermomechanical treatment, including the process of dynamic aging is offered. We define the thermomechanical processing mode, which provides the optimum combination of necessary thermoelastic properties in a wide range of climatic temperatures.

*Keywords:* elinvars, dynamic aging, thermomechanical treatment, rod, thermo-draw mill, final ageing.

REFERENCES

1. Bernshtein M. L. *Termomekhanicheskaya obrabotka metallov i spлавov* (Thermomechanical treatment of metals and alloys): in 2 parts. Part 1: *Termomekhanicheskaya obrabotka spлавov* (Thermomechanical treatment of alloys), Moscow, Metallurgiya Publ., 1968. 596 p.
2. Kuchma S. N. (Ukraine) *Sposib otrymannya malogabarytnykh prutkiv z drotu elinvarnogo spлавy* (The method for producing small-sized rods from the wire of elinvar alloy): Patent 30882 Ukraine, MPK (2006) C21D8/06, no. u200714161, declared 17.12.2007; published 11.03.2008, Bulletin no. 5, 4 p.
3. Kuchma S. N., Starodubov S. Yu. (Ukraine) *Ustanovka dlya termomekhanichnoyi obraboky* (Mil for thermomechanical treatment): Patent 56892 Ukraine, MPK (2010) C21D1/78, no. u201009891, declared 09.08.2010; published 25.01.2011, Bulletin no. 2, 4 p.

\* \* \*