



ارائه شده توسط:

سایت ترجمه فا

مرجع جدیدترین مقالات ترجمه شده

از نشریات معتبر

در مورد نقش چینش اتمی در ایجاد حالت وادارندگی بالا در آلیاژهای آهن-کبالت-

وانادیوم

چکیده

فرایند تشکیل آلیاژ آهن-کبالت-وانادیوم با 52٪ کبالت و 7٪ وانادیوم (ویکالوی) بر اثر گرمادیدن تا 1000°C و سرد شدن از طریق روش های دیلاتومتری و مگنتومتری مورد مطالعه قرار گرفته است. مشخص شده که بر اثر گرما دیدن دو تغییر فاز در آلیاژ رخ می دهد، به عبارت دیگر چینش اتمی نوع B2 در فاز α و تغییر چندریختی $\gamma \rightarrow \alpha$ ، که اختلاف دمای بسیار زیادی دارند. تحلیل وابستگی های نیروی وادارندگی و سختی آلیاژ در دمای تابکاری نشان داده که حداکثر مقدار این پارامترها با دماهای چینش در فاز α مطابقت دارد. فرض شده که فرایند عکس مغناطیسی کردن در آلیاژ تحت آزمایش، با جابجایی دیواره های حوزه فرومغناطیسی و قرار گیری آنها در مرزهای حوزه های ضدفاز که چینش اتمی نوع B2 دارند، مرتبط است.

کلیدواژه ها: ویکالوی، نیروی وادارندگی، چینش اتمی، ناهمسانگردی بلوری مغناطیس، حوزه ضدفاز

مقدمه

آلیاژهای مغناطیسی سیستم آهن-کبالت-وانادیوم با 52-50٪ کبالت و 13-5٪ وانادیوم در نیمه اول قرن بیستم کشف شدند که "ویکالوی" نامیده می شوند [1]، و به گروه فلزات سخت مغناطیسی تعلق دارند. نیروی وادارندگی آلیاژها بسته به مقدار وانادیوم از 4.0 تا 24.0 کیلوآمپر بر متر (kA/m) متغیر است، که القای پسماند بین 1.25 تا 0.6 تسلا (T) قرار دارد [1 و 2].

وجه تمایز ویکالوی ها، شکل پذیری بالای آنها است که باعث می شود یک ویکالوی خواص مغناطیسی مذکور در نوارهای فلزی تا ضخامت 100 میکرومتر را پیدا کند. این واقعیت در کنار ثبات حرارتی بالا که از مشخصه های مغناطیسی است، موجب شده ویکالوی ها برای تولید بخش های فعال روتورهای (پروانه) موتورهای پسماند همزمان (SHM) عملاً غیر قابل جایگزین باشند [3]. وابستگی نیروی وادارندگی آلیاژها بر حسب غلظت

وانادیوم، استفاده از آنها برای تولید دسته های متنوعی از موتورهای پسماند همزمان با دامنه موثر 4 تا 24 کیلوآمپر بر متر را امکان پذیر می کند [4].

مطالعات متعددی به بررسی ماهیت حالت وادارندگی بالا در ویکالوی های اختصاص داده شده است [5-8]. امروزه، یک مفهوم به طور گسترده پذیرفته شده که بر اساس آن نیروی وادارندگی بالای این آلیاژهای با تغییرات فاز رفت و برگشت $\gamma \rightarrow \alpha$ ارتباط دارد. فاز مکعبی با وجوه مرکزدار (fcc) یا بر اثر سرد شدن از دمای $^{\circ}\text{C}$ 1000 (آلیاژ با 5-9٪ وانادیوم) یا بر اثر تغییر شکل پلاستیکی حداقل 80 درصدی (آلیاژهایی با 10-13٪ وانادیوم) به فاز مکعبی مرکزدار (bcc) انتقال می یابد. بازپخت بعدی در دامنه حرارتی 550 تا 670 درجه سلسیوس باعث تغییر فاز جزئی $\gamma \rightarrow \alpha$ می شود، که نتیجه آن ایجاد دو ساختار دوفازی است که در آن مناطق (احتمالاً تک دامنه ای) فاز فرومغناطیسی α با فاز پارامغناطیسی γ پوشانده شده است.

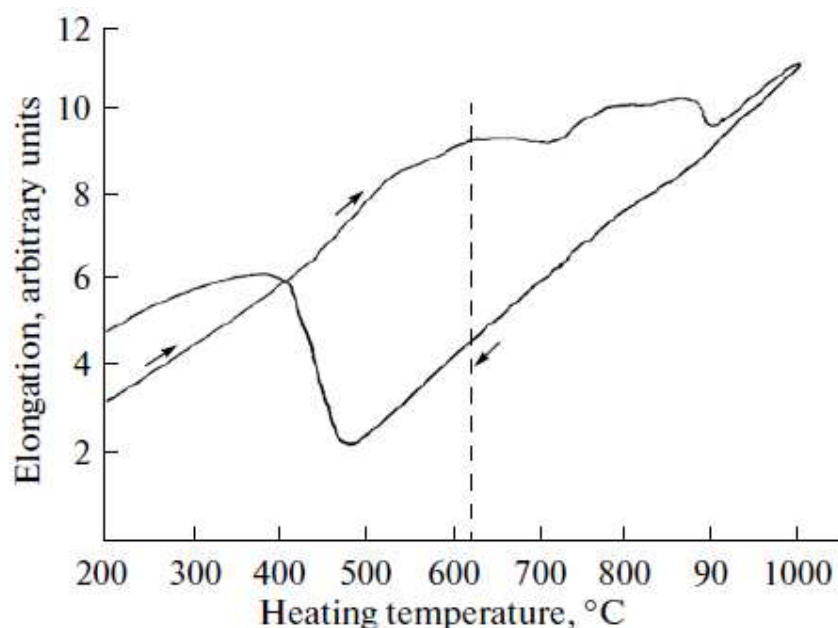
بر اساس نظریه فعلی در مورد پسماند مغناطیسی [9]، فرایند عکس مغناطیسی کردن در مجمعه ای از ذرات تک دامنه ای از طریق چرخش بردار مغناطیس کنندگی انجام می شود، و مقدار نیروی وادارندگی را انرژی میدان های هرز ذره مشخص می کند. در حالت کلی، این نوع مکانیسم مغناطیسی کردن عکس در بسیاری از آلیاژهای مغناطیسی سخت دیده می شود، به خصوص در مورد آلیاژهای متشکل از سیستم های آهن-نیکل-

کبالت-تیتانیوم (YuNDKT) [10 و 11] و آهن-کروم-کبالت (KhK) [12 و 13].

علاوه بر تغییر چندریختی $\gamma \rightarrow \alpha$ ، بر اثر گرما دیدن چینش اتمی در فاز α در این آلیاژها انجام می شود و ساختار بالابند B2 شکل می گیرد. در مقاله [5] به این موضوع اشاره شده است، و وجود این نوع چینش به واسطه پراش نوترون [7 و 8] در آلیاژ حاوی 10/5٪ وانادیوم ثابت شد.

به هر حال، به این دلیل که در آلیاژ انتخاب شده در آزمایشات [7 و 8]، تشابه اختلاف درجه حرارت های چینش و تغییرات در $\gamma \rightarrow \alpha$ ، نمی توان نقش چینش اتمی در شکل گیری حالت وادارندگی بالای ویکالوی ها را به صراحت ارزیابی کرد.

در این مقاله، تاثیر چینش اتمی بر نیروی وادارندگی در مورد آلیاژی با 7٪ وانادیوم مطالعه شد، که اختلاف درجه حرارت چینش اتمی و تغییر چند ریختی در آن بسیار زیاد بود، که در ادامه نشان داده می شود.



شکل 1. دیلاتوگرام ویکالوی با 7٪ وانادیوم بر اثر حرارت دیدن تا 1000 °C و سرد شدن (خط چین نشان دهنده دمای تابکاری برای ایجاد حالت وادارندگی بالا است).

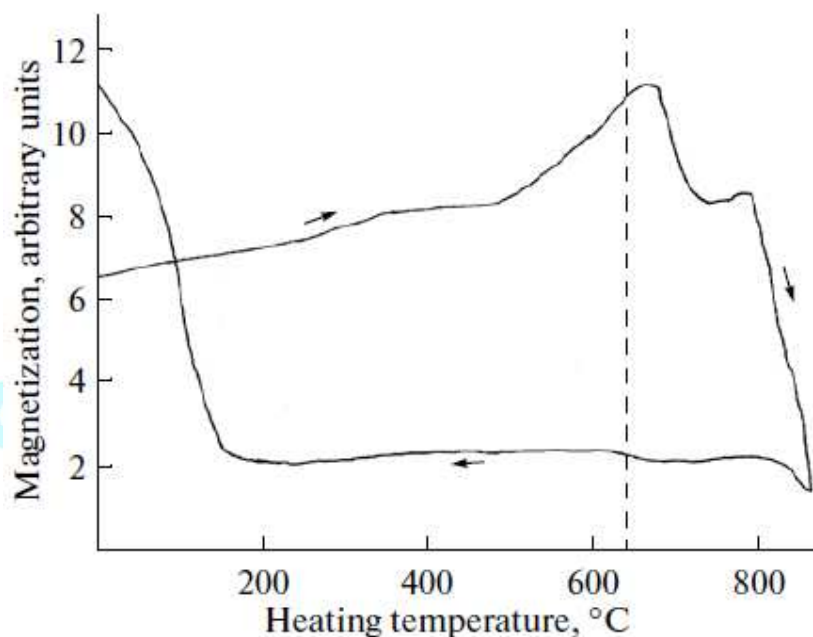
تجربی

در مطالعات ما، ویکالوی تجاری حاوی 7٪ وانادیوم انتخاب شده که برای تولید بخش های فعال یکپارچه روتورهای موتورهای پسماند همزمان استفاده می شود. این آلیاژ در کوره خلاء القایی با استفاده از مواد با بار خالص ذوب شده است. مواد ذوب شده به صورت شمش آبی به وزن 10 کیلو گرم قالب گیری می شوند. ترکیب شیمیایی شمش (وزن /) عبارت است از: کبالت 52/0، وانادیوم 6/85، سیلیسیوم 0/1، منگنز 0/31، کربن 0/07، گوگرد 0/004 و آهن برای تکمیل توازن.

شمش های تولید شده به بخش آهنگری تحت حرارت 1000 تا 1150 درجه سلسیوس منتقل می شوند (به شمشال هایی با ضخامت 30 میلی متر تبدیل می شوند)، رویه برداری شده و در همان دامنه حرارتی فرایند نوردکاری گرم برای تولید میله هایی به ضخامت 3/0 میلی متر انجام می شود. نمونه های آزمایشی از میله نورد گرم ساخته می شوند. حالت اولیه، مربوط به حالتی است که در نمونه های نورد گرم پس از خنک شدن با هوا از درجه حرارت 1000 °C ایجاد شده است.

اختلاف درجه حرارت در تغییر شکل های فازی در آلیاژ در طول گرم و سرد شدن از طریق روش های دیلاتومتری و مگنتومتری مشخص شد. نرخ تغییر درجه حرارت در آزمون های دیلاتومتری و مگنتومتری 10 درجه کلون بر دقیقه (K/min) بود. اندازه گیری های حرارتی مغناطیسی در فرکانس جریان مغناطیس کنندگی 1000 هرتز انجام شد؛ شدت میدان مغناطیسی 5 kA/m بود.

نیروی وادارندگی و سختی نمونه هایی اندازه گیری شد که در شرایط مختلف تحت عملیات حرارتی قرار گرفتند. اندازه گیری نیوری وادارندگی با استفاده از نمونه هایی به شکل متوازی السطوح با ابعاد $20 \times 2/5 \times 5$ میلی متر در سیم پیچ مغناطیسی انجام شد تا شدت میدان مغناطیس کنندگی 40 kA/m فراهم شود. میدان مغناطیسی به این شدت موجب مغناطیس شدگی اشباع نمونه ها شد. سختی آلیاژ از طریق تکنیک استاندارد اندازه گیری شد.



شکل 2. نوع دیگری از مغناطیس شدگی ویکالوی در اثر حرارت دیدن و سرد شدن در دامنه حرارتی 20 تا 860 درجه سلسیوس (خط چین نشان دهنده دمای تابکاری برای ایجاد حالت وادارندگی بالا است).

نتایج و مباحث

تحلیل دیلاتومتری نمودار دیلاتوگرام (شکل 1) نشان داد که بر اثر حرارت دیدن چند خاصیت مشاهده می شود، که عبارتند از وضعیت ثابت در دامنه حرارتی 550 تا 700 درجه سلسیوس، ماکسیمم مغناطیس شدگی در $^{\circ}\text{C}$ 800، و دو افت بر اثر حرارت دیدن بیشتر. پس از افت دوم، که از دمای $^{\circ}\text{C}$ 912 شروع می شود، افزایشی

مطابق با انبساط حرارتی فاز γ در دمای بالا، در طول نمونه رخ می دهد. سپس سرد شدن در دامنه حرارتی 475 تا 400 درجه سلسیوس منجر به بالارفتن منحنی دیلاتومتری نسبت به تغییر $\alpha \rightarrow \gamma$ می شود، که با افزایش حجم همراه است.

وابستگی دمایی مغناطیسی کردن نیز چند خاصیت را نشان می دهد (شکل 2). با افزایش دما، ابتدا مغناطیس شدگی شدت می گیرد، سپس، در حرارت بین 380 تا 450 درجه سلسیوس وضعیت ثابت می شود، پس از آن مغناطیس شدگی دوباره شدت می گیرد، از حداکثر مقدار در دمای 650 درجه سلسیوس می گذرد و پس از افزایش ملایمی به سرعت کاهش می یابد. دلیل این کاهش ممکن است هم تغییر $\gamma \rightarrow \alpha$ باشد و هم حداکثر نیروی وادارندگی و سختی (به جدول زیر مراجعه کنید).

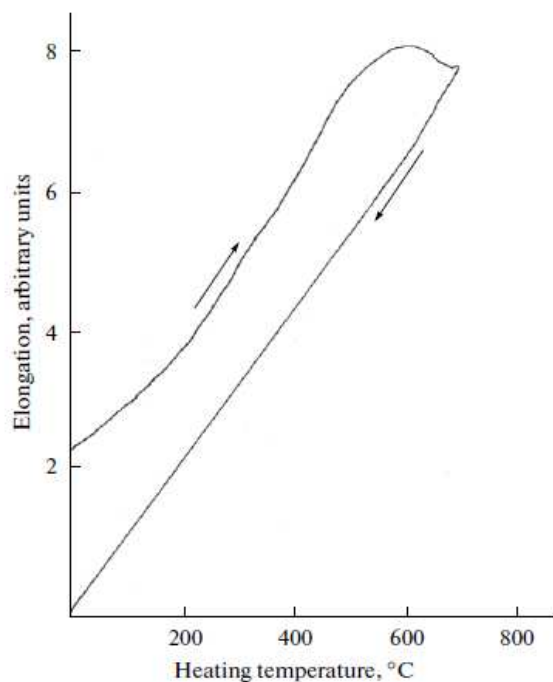
کاهش طول نمونه و افزایش مغناطیس شدگی، که به دلیل شروع تغییر $\gamma \rightarrow \alpha$ رخ داده، در دماهای بالاتر مشاهده می شود. یعنی رسیدن به حالت وادارندگی بالا با فرایندهایی که در خود فاز α بر اثر حرارت دیدن رخ می دهد ارتباط دارد و به تغییر $\gamma \rightarrow \alpha$ و شکل گیری فاز پارمغناطیس γ مربوط نیست. خواص مغناطیسی و مکانیکی ویکالوی حاوی 7٪ وانادیوم در حالات مختلف عملیات حرارتی

حالات عملیات حرارتی	نیروی وادارندگی (kA/m)	سختی (HRC)
1000 °C، 15 دقیقه توقف، خنک کاری با هوا	4/8	38/0
1000 °C، 15 دقیقه توقف، خنک کاری با 400 °C	4/8	44/0
هوا، تابکاری به مدت 30 دقیقه در دماهای 620 °C	9/2	57/0
مختلف 800 °C	6/7	38/0

این نتیجه نیز با بر اساس نتایج به دست آمده از تحلیل دیلاتومتری خنک کاری نمونه هایی که تا دماهای مختلف گرم شده اند تائید می شود: پس از حرارت دیدن تا دمایی زیر 750 °C، دیلاتوگرام هیچ مشخصه ای را نشان نمی دهد که نشانگر وقوع تغییر $\alpha \rightarrow \gamma$ (شکل 3) باشد. این مطالب به این معنا است که در اثر حرارت دیدن تا دمای 750 °C، تغییر $\alpha \rightarrow \gamma$ رخ نمی دهد. نتایج حاصل از تعیین مگنتومتری مقدار فاز γ که بر اثر

حرارت دیدن ایجاد شده نیز گواه همین مورد است: فاز γ تا پیش از رسیدن به حرارت 750°C ظاهر نمی شود (شکل 4).

در بررسی پراش اشعه ایکس آلیاژ پس از بازپخت، که حداکثر نیروی وادارندگی (620°C) را ایجاد می کند، نشان می دهد که ساختار آلیاژ شامل فاز α می شود ولی نشانه ای از وجود دیگر فازها به چشم نمی خورد.



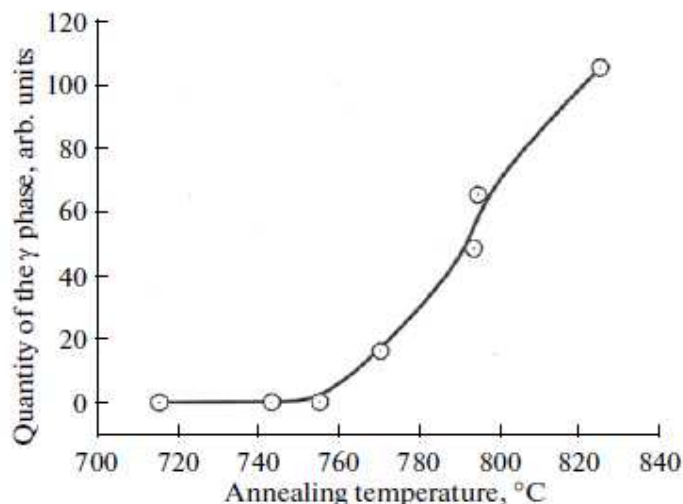
شکل 3. دیلاتوگرام ویکالوی بر اثر حرارت دیدن تا 690°C و خنک کاری.

نتایج حاصل از این بررسی منجر به این فرض می شود که حالت وادارندگی بالا در ویکالوی ها منوط به شکل گیری ابرساختار نوع B2 در فاز α است نه وجود ساختار $\alpha + \gamma$ دوفازی [5-8].

اجازه دهید استدلال های موافق این فرضیه را بیان کنیم.

در آلیاژ های آهن-کبالت، دو نوع تغییر فاز با اطمینان محرز شده است، یعنی چینش اتمی همراه با شکل گیری ابر ساختار نوع B2، و تغییر چندریختی $\gamma \rightarrow \alpha$ است [14]. دمای چینش 730°C است، سرعت چینش به دما بستگی دارد، و در دماهای نزدیک به دمایی که معمولاً برای تابکاری ویکالوی ها استفاده می شود، این سرعت برای تکمیل چینش با دامنه بلند در عرض چند دقیقه کافی است [15].

دمای تغییر چندریختی در آلیاژ آهن-کبالت با 50٪ کبالت بالتر از 900 °C است [14]. ساخت آلیاژ با وانادیوم این دما را کاهش می دهد. علاوه بر این، بین تغییر شکل های ایجاد شده در حرارت دیدن ($\alpha \rightarrow \gamma$) و خنک کاری ($\gamma \rightarrow \alpha$)، پسماند ظاهر می شود که با افزایش غلظت وانادیوم و کاهش دامنه درجه حرارت تغییر شکل ها به سرعت افزایش می یابد [5]. در آلیاژهای با 10-13٪ وانادیوم، دمای تغییر چندریختی زیر دمای محیط است و شکل گیری فاز α مستلزم تغییر شکل فاز γ است.



شکل 4. مقدار فاز γ بر اثر حرارت دیدن ویکالوی به صورت تابعی از دمای تابکاری.

به دلیل وجود پسماند، فاز α که بر اثر خنک کاری از دمای 1000 °C (در آلیاژهایی با محتوای وانادیوم زیر 9٪) یا بر اثر تغییر شکل (در آلیاژهایی با غلظت بالاتر وانادیوم) ایجاد می شود، در دماهای بالاتر از 650 °C ثابت است.

بسته به غلظت وانادیوم در آلیاژ، دمای تغییر چندریختی هم بالا و هم پایین دمای چینش اتمی قرار می گیرد. در غلظت مشخصی از وانادیوم، اختلاف دمای این تغییرات همپوشانی می کنند که در آلیاژهای حاوی 10/5٪ وانادیوم رخ می دهد [7 و 8].

در آلیاژهایی که حاوی وانادیوم کمتر از 10٪ باشند، به خصوص در آلیاژ با 7٪ وانادیوم که در این تحقیق بررسی شده، وضعیتی کاملاً متفاوت مشاهده شد. در این مورد، دمای چینش اتمی لزوماً کمتر از دمای تغییر $\alpha \rightarrow \gamma$ است، و اختلاف دمای دو تغییر فاز کاملاً متمایز هستند. علاوه بر این، اختلاف دمای تغییر $\alpha \rightarrow \gamma$ در آلیاژ

حاوی 7٪ وانادیوم بالای دمای تابکاری است که برای ایجاد حالت وادارندگی بالا به کار می رود (620 °C)؛ از این رو، فاز ۷ در چنین بازپختی تشکیل نمی شود، و نمی تواند دلیلی بر مقدار بالای نیروی وادارندگی باشد. مطالب بالا نشانگر این است که حالت وادارندگی بالا که در ویکالوی حاوی 7٪ وانادیوم (و شاید دیگر آلیاژهای این نوع) ظاهر می شود، در فرایند چینش اتمی در فاز α قابل ردیابی است.

نتایج تجربی حاصل از این تحقیق و داده های به دست آمده از متون علمی [15 و 16] اجازه می دهد فرضیه ای در خصوص مکانیسم احتمالی تشکیل حالت وادارندگی بالا در آلیاژ مورد بررسی تدوین کنیم.

این مورد حتمی است که حداکثر نیروی وادارندگی به حالت چینش تک فاز بستگی دارد. متعاقباً، فرایند معکوس مغناطیسی شدن در ویکالوی حاوی 7٪ وانادیوم از طریق جابجایی دیواره های حوزه فرومغناطیسی (FDWS) انجام می شود، و مقدار نیروی وادارندگی بر اساس درجه قرارگیری دیواره های حوزه فرومغناطیسی در ترک های ساختاری تعیین می شود. در تحقیقی [15] ثابت شده که در خلال چینش اتمی همراه با شکل گیری ابرساختار نوع B2 در آلیاژهای متشکل از ترکیب محدود (3-2 در وانادیوم /)، حوزه های ضدفاز ایجاد می شوند. مرز جداکننده یک حوزه از حوزه دیگر معرف ناحیه ای است که درون آن پارامتر چینش اتمی η از مقدار معمول حوزه به صفر می رسد. به طور مشابه، پارامترهای غناطیسی که به η بستگی دارند، به خصوص انرژی ناهمسانگردی بلوری مغناطیس K، بر اثر عبور از یک حوزه به حوزه دیگر تغییر می کند، و درون بلور کاهش انرژی رخ می دهد که درجه قرارگیری دیواره های حوزه فرومغناطیسی را تعیین می کند.

احتمال ایجاد این مکانیسم در آلیاژهای متشکل از نوع L10 در تحقیق [16] مورد ملاحظه قرار گرفته است، که در آن مقدار نیروی وادارندگی بر اساس ضریب زاویه وابستگی $K(\eta)$ تعیین شد. در این آلیاژها، بر اثر چینش اتمی، شبکه مکعبی به شبکه چهارگوش تغییر می کند، که منجر به افزایش ناگهانی مقدار ناهمسانگردی بلوری مغناطیس می شود که به نوبه خود منجر به وابستگی شیبدار $K(\eta)$ و متقابلاً مقادیر واقعاً بالای نیروی وادارندگی می شود. ولی در آلیاژهایی که در این تحقیق بررسی کردیم، بر اثر چینش اتمی در ابرساختار نوع B2، شبکه مکعبی حفظ می شود. بنابراین، نمی توانیم انتظار افزایش ناگهانی ناهمسانگردی بلوری مغناطیس را داشته باشیم. از این رو، وابستگی $K(\eta)$ بسیار ملایم تر است که منجر به مقادیر کمتر نیروی وادارندگی می شود.

نتیجه گیری

مطالعه تجربی انتقال فازها در آلیاژ نوع ویکالوی حاوی 7٪ وانادیوم، که اختلاف دماهای چینش اتمی در فاز α و تغییر چندریختی $\gamma \rightarrow \alpha$ به وضوح متمایز هستند، اثبات کرده که دمای بازپخت (620°C) که در آن حالت وادارندگی بالا رخ می دهد، در بازه دمای چینش اتمی قرار می گیرد که کاملاً پایین تر از دمای شروع تغییر $\gamma \rightarrow \alpha$ است. این مطالب اثباتی بر این است که دلیل شکل گیری حالت وادارندگی بالا فرایند چینش است که در فاز α رخ می دهد.

تقدیر و تشکر

از ان.بی. دی یاکونووا برای انجام تحلیل پراش اشعه ایکس قدردانی می کنیم.

REFERENCES

1. R. M. Bozorth, *Ferromagnetism* (Van Nostrand, New York, 1951; Inostrannaya Literatura, Moscow, 1956).
2. *Precision Alloys: A Handbook*, Ed. by B. V. Molotilov (Metallurgiya, Moscow, 1974) [in Russian].
3. E. V. Artamonov, M. A. Libman, and N. N. Rudanovskii, "Modern Magnetically Hard Materials for Rotors of Synchronous Hysteresis Electric Motors," *Stal*, No. 6, 65–68 (2007).
4. B. A. Delektorskii, N. Z. Mastyaev, and I. N. Orlov, *Design of Gyroscope Electric Motors* (Mashinostroenie, Moscow, 1968) [in Russian].
5. G. V. Pshechenkova, "Study of Transformations in Deformed Iron–Cobalt–Vanadium Alloys for Permanent Magnets," *Pretszion. Splavy*, No. 15, 111–125 (1956).
6. T. V. Krasnopevtseva and B. G. Livshits, "Effect of Vanadium on Transformations in Iron–Cobalt–Vanadium Alloys," *Pretszion. Splavy*, No. 15, 68–85 (1956).
7. V. I. Zel'dovich, A. V. Doroshenko, E. S. Samoiloa, et al. "Ordering of α -Phase in Vicalloy-1 Alloy," *Fiz. Met. Metalloved.* **32**, 287–295 (1971).
8. V. I. Zel'dovich, E. S. Samoiloa, and A. V. Doroshenko, "Phase Transformations in Vicalloy-1 Alloy," *Fiz. Met. Metalloved.* **35**, 125–133 (1973).
9. B. G. Livshits, V. S. Kraposhin, and Ya. Linetskii, *Physical Properties of Metals and Alloys* (Metallurgia, Moscow, 1980) [in Russian].
10. B. G. Livshits, Ya. L. Linetskii, E. G. Knizhnik, and V. S. Kraposhin, "Formation of YuNDK35T5 (Ticonal) Alloy Structure in Magnetic Field," *Fiz. Met. Metalloved.* **25**, 425–430 (1968).
11. Ya. L. Linetskii, B. G. Livshits, and E. G. Knizhnik, "Secondary Decomposition (Secondary Periodic Structure) in Ticonal Alloys," *Fiz. Met. Metalloved.* **29**, 265–270 (1970).
12. B. E. Vintaikin and R. N. Kuz'min, "About Peculiarities of Phase Equilibrium in High-Coercive Fe–Cr–Co–Mo Alloys," *Fiz. Met. Metalloved.* **65**, 1163–1168 (1988).
13. B. E. Vintaikin, "Additional Data on the Structure of Fe–Cr–Co–Mo Alloys," *Metallofizika* **10**, no. 6, 104–105 (1988).
14. M. Hansen and K. Anderko, *Constitution of Binary Alloys* (McGraw-Hill, New York, 1958; Metallurgizdat, Moscow, 1962).
15. E. I. Mal'tsev, V. I. Goman'kov, I. M. Puzei, and A. D. Skokov, "Neutron Diffraction Study of the Atomic Ordering Processes in Alloys of the Iron–Cobalt System," *Fiz. Met. Metalloved.* **43**, 955–965 (1977).
16. Ya. S. Shur, L. M. Magat, G. V. Ivanova, et al., "Coercive Force Nature of CoPt Alloy in Ordered State," *Fiz. Met. Metalloved.* **26**, 241–247 (1968).

برای خرید فرمت ورد این ترجمه، بدون واتر مارک، اینجا کلیک نمایید.

این مقاله، از سری مقالات ترجمه شده رایگان سایت ترجمه فا میباشد که با فرمت PDF در اختیار شما عزیزان قرار گرفته است. در صورت تمایل میتوانید با کلیک بر روی دکمه های زیر از سایر مقالات نیز استفاده نمایید:

لیست مقالات ترجمه شده ✓

لیست مقالات ترجمه شده رایگان ✓

لیست جدیدترین مقالات انگلیسی ISI ✓

سایت ترجمه فا ؛ مرجع جدیدترین مقالات ترجمه شده از نشریات معتبر خارجی