

به نام خدا



مرکز دانلود رایگان مهندسی متالورژی و مواد

www.Iran-mavad.com



The Investigation of Effect of Temperature on Restoration Phenomena During Hot Deformation of Ti-13V-11Cr-3Al

Abstract

The aim of this research is investigation of temperature on behavior of Ti-13V-11Cr-3Al during hot compressive test. Hot compressive behavior of this alloy was studied in constant strain rates (0.1 and 0.001 S^{-1}) and 880 , 930 , 980 , 1030 and 1080°C . discontinues yielding point was observed in hot stress-strain curve of Ti-13V-11Cr-3Al alloy, it means stress increases until a maximum point, then decreased and finally remained constant in special amount. The peak of discontinues yielding point decreases with increasing the temperature. In hot deformation with the strain rate of 0.001 S^{-1} and in all of the test temperatures, crinkle is observed in grain boundaries, so dynamic recovery is dominant restoration phenomena. But during the hot deformation with the strain rate of 0.1 S^{-1} , nucleation of the first recrystallized grains started in 880°C . Recrystallization approximately completed in 1030°C in this strain rate and in 1080°C , grain growth was observed. With increasing the temperature from 880 to 1030°C , grain size reduced from 221 to 145 micron, because of formation of new recrystallized grains. With further increasing the temperature until 1080°C , grain grow caused to increasing the grain size until 200 micron.

Keywords: Ti-13V-11Cr-3Al alloy, Discontinues Yielding Point, Dynamic Recovery and Recrystallization.

بررسی تاثیر دما بر رفتار آلیاژ Ti-13V-11Cr-3Al حین تغییر شکل گرم فشاری

چکیده

هدف از پژوهش حاضر بررسی تاثیر دما بر رفتار تغییر شکل آلیاژ Ti-13V-11Cr-3Al حین آزمون فشار گرم می باشد. به همین منظور رفتار فشار گرم این آلیاژ در نرخ های کرنش ثابت (۰/۱ و ۰/۰۰۱ بر ثانیه) و دمای ۸۸۰، ۹۳۰، ۹۸۰، ۱۰۳۰ و ۱۰۸۰ درجه سانتی گراد مطالعه شد. در منحنی های سیلان گرم این آلیاژ رفتار تسلیم ناپیوسته مشاهده می شود، یعنی پس از ناحیه کار سختی، تنش به مقداری بیشینه رسیده و سپس افت کرده و در مقداری مشخص، ثابت و پایا باقی می ماند. پیک تنش تسلیم ناپیوسته با افزایش دما، کاهش می یابد. در تغییر شکل گرم با نرخ کرنش ۰/۰۰۱ بر ثانیه در همه دماهای مورد بررسی، تخریب در مرز دانه ها مشاهده می شود، بنابراین بازیابی دینامیکی مکانیزم ترمیم غالب است. اما در تغییر شکل گرم با نرخ کرنش ۰/۱ بر ثانیه، جوانه زنی اولین دانه های تبلور مجدد در دمای ۸۸۰ درجه سانتی گراد آغاز می شود. تبلور مجدد در این نرخ کرنش در دمای ۱۰۳۰ درجه سانتی گراد تقریباً کامل شده و در دمای ۱۰۳۰ درجه سانتی گراد رشد دانه مشاهده می شود. با افزایش دما از ۸۸۰ تا ۱۰۳۰ درجه سانتی گراد، اندازه دانه از ۲۲۱ میکرون به ۱۴۵ میکرون کاهش می یابد که دلیل آن تشکیل دانه های تبلور مجدد است. با افزایش بیشتر دما تا ۱۰۸۰ درجه سانتی گراد، اندازه دانه به علت وقوع رشد دانه افزایش یافته و به ۲۰۰ میکرون می رسد.

کلمات کلیدی: آلیاژ Ti-13V-11Cr-3Al، فشار گرم، پدیده تسلیم ناپیوسته، بازیابی دینامیکی، تبلور مجدد دینامیکی.

مقدمه

آلیاژهای تیتانیوم β دسته ای از آلیاژهای تیتانیوم هستند که در آنها فاز β تا دمای محیط نیز پایدار است. آلیاژهای تیتانیوم β به دلیل داشتن خواص منحصربه فرد، کاربرد روزافزونی در صنعت پیدا کرده اند. این آلیاژها به دلیل شکل پذیری بهتر نسبت به آلیاژهای تیتانیوم α و آلیاژهای دوفازی تیتانیوم، از اهمیت بیشتری برای صنایع برخوردارند. یکی از مهمترین فرایندهای تولید این آلیاژها تغییر شکل گرم است که علاوه بر ایجاد شکل نهایی، می تواند خواص مکانیکی را نیز بهبود بخشد (پولمار، ۲۰۰۶؛ تانر، بوید و کوین، ۱۹۶۲). آلیاژ Ti-13V-11Cr-3Al یکی از آلیاژهای تیتانیوم β است که با نام تجاری B-120VCA شناخته می شود (سارجنت، ۱۹۸۲). این آلیاژ در ساخت اجزا و بدنه هواپیماهای پیشرفته مورد استفاده قرار می گیرد. دمای استحاله فاز β به α در این آلیاژ در محدوده دمایی ۷۵۰-۷۲۰ درجه سانتی گراد گزارش شده است (تانر، ۱۹۶۱؛ مویسیف، ۱۹۹۸).

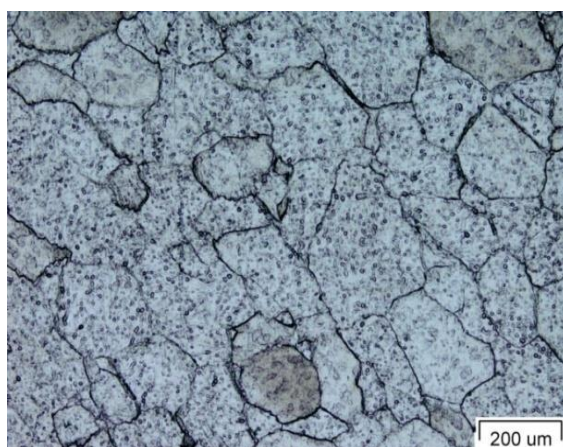
پدیده تسلیم ناپیوسته در تغییر شکل گرم بسیاری از آلیاژهای تیتانیوم β از جمله Ti-13V-11Cr-3Al گزارش شده است (سیرینی واسان، ۱۹۹۲؛ سیرینی واسان، ۱۹۹۳). دلیل وقوع این پدیده به قفل شدن نابجاییها در اثر اختلاف شعاع اتمی عناصر آلیاژی با اتم تیتانیوم نسبت داده شده است (اسمیت، ۱۹۹۱). با افزایش دمای تغییر شکل گرم آلیاژ Ti-13V-11Cr-3Al ، تنش تسلیم و تنش کششی بیشینه کاهش می یابد (شیخعلی، ۱۳۹۰؛ شیخعلی، عباسی، مرکباتی و بدری، ۱۳۹۰). وقوع پدیده تبلور مجدد دینامیکی در تغییر شکل گرم بسیاری از آلیاژهای تیتانیوم β در ناحیه تکفاز β گزارش شده است، درحالیکه بررسی های صورت گرفته نشان داده است که تبلور مجدد دینامیکی در حین فرایندهای تغییر شکل گرم در منطقه دوفازی α/β رخ نمی دهد (سیرینی واسان، ۱۹۹۲). بررسی های انجام شده نشان داده است که حین تغییر شکل گرم آلیاژهای تیتانیوم β در یک نرخ کرنش ثابت، با افزایش دما پدیده ترمیم غالب از بازیابی دینامیکی به تبلور مجدد دینامیکی تغییر می یابد (رابرتسون و مک شان، ۱۹۹۷؛ فیلیپارت و راک، ۱۹۹۸). در محدوده وقوع تبلور مجدد دینامیکی نیز افزایش دمای تغییر شکل باعث افزایش کسر تبلور مجدد و افزایش اندازه دانه تبلور مجدد یافته می شود (مارکوفسکی و همکاران، ۲۰۰۳؛ روزن، پادون و کاسنر، ۱۹۹۹). هدف از پژوهش حاضر بررسی دما بر وقوع فرایندهای ترمیم دینامیکی حین تغییر شکل گرم آلیاژ Ti-13V-11Cr-3Al است. در همین راستا رفتار تغییر شکل گرم این آلیاژ توسط آزمون فشار گرم تک مرحله ای در نرخ های کرنش ثابت و دماهای مختلف بررسی شده است.

مواد و روش تحقیق

در این تحقیق شمش آلیاژ Ti-13V-11Cr-3Al تهیه شده در کوره VAR^۱ و نورد گرم اولیه شده، مورد استفاده قرار گرفته است. جدول ۱ ترکیب شیمیایی این آلیاژ را نشان می دهد. ریزساختار اولیه آلیاژ در حالت کار شده با اندازه دانه ۲۲۰ میکرون، در شکل ۱ نشان داده شده است. رفتار فشار گرم این آلیاژ در نرخ های کرنش ثابت (۱، ۰/۱ و ۰/۰۱ بر ثانیه) و دماهای ۸۸۰، ۹۳۰، ۹۸۰، ۱۰۳۰ و ۱۰۸۰ درجه سانتی گراد تا کرنش ۰/۷ مطالعه شد. نمونه های فشار گرم با قطر ۸ و ارتفاع ۱۲ میلیمتر (نسبت ارتفاع به قطر ۱/۵) در راستای نورد اولیه، مطابق با استاندارد ASTM E209 تهیه شدند. برای انجام آزمون فشار گرم از دستگاه سرو هیدرولیک Instron 8502 مجهز به کوره مقاومتی استفاده شد، درحالیکه قبل از انجام این آزمون، همه نمونه ها به مدت ۱۰ دقیقه در دمای آزمون پیش گرم شدند. لازم به ذکر است که پس از نورد گرم و آنیل از آب به عنوان محیط سرد کننده استفاده شد. جهت بررسی های ریزساختاری، نمونه ها در محلول Kroll's با ترکیب شیمیایی ۲ میلی لیتر اسید فلوئورید، ۵ میلی لیتر اسید نیتریک و ۱۳ میلی لیتر آب (واندرورت، ۲۰۰۴) حکاکی شدند. برای تهیه تصاویر ریزساختار از میکروسکوپ نوری مدل Olympus BX 51 استفاده شده است.

جدول ۱- ترکیب شیمیایی آلیاژ Ti-13V-11Cr-3Al مورد استفاده در این پژوهش (درصد وزنی).

عنصر	Ti	V	Cr	Al	Fe
مقدار	پایه	۱۳/۵	۱۱/۲	۳/۱	۰/۳۵

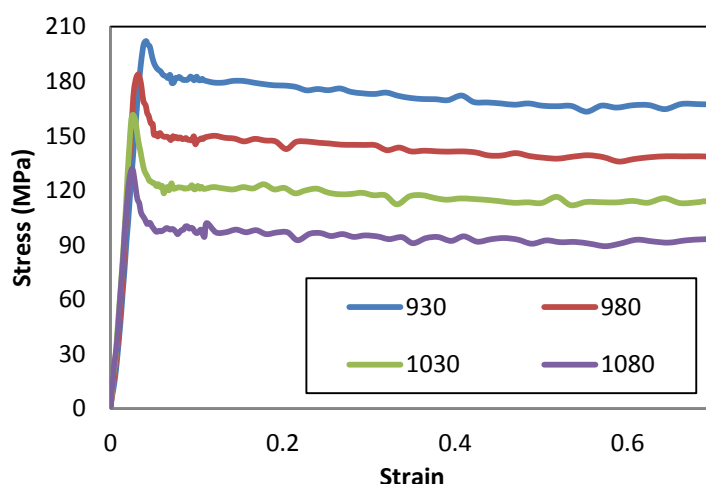


شکل ۱- ریزساختار آلیاژ مورد بررسی پس از نورد گرم اولیه.

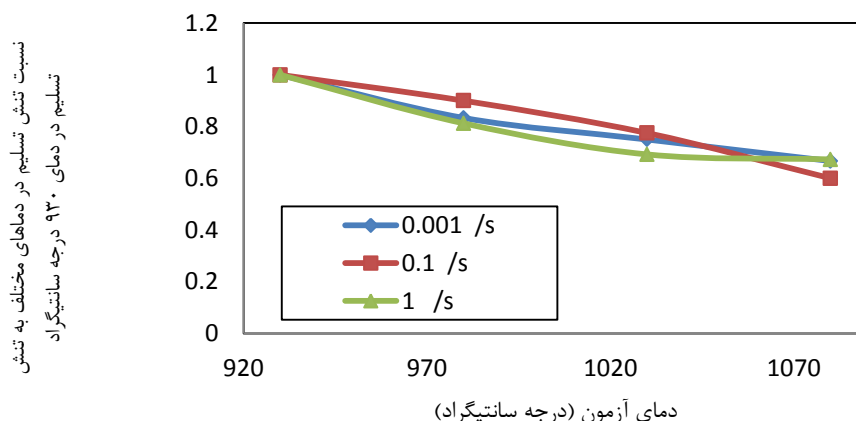
نتایج و بحث

شکل ۲ منحنی تنش- کرنش آزمون فشار گرم آلیاژ Ti-13V-11Cr-3Al را در دماهای ۹۳۰، ۹۸۰، ۱۰۳۰ و ۱۰۸۰ درجه سانتی گراد و نرخ کرنش ۰/۱ بر ثانیه نشان می دهد. همان گونه که در همه دماهای مورد بررسی مشخص است، تنش سیلان پس از عبور از ناحیه الاستیک و کارسختی و پیش از ورود به ناحیه پلاستیک، به یک مقدار حداکثر رسیده و سپس دچار افت ناگهانی شده و به ناحیه سیلان حالت پایا می رسد. این رفتار که پدیده تسلیم ناپیوسته نامیده می شود در بسیاری از آلیاژهای تیتانیوم β گزارش شده است (شیخعلی، ۱۳۹۰؛ رابرتسون و مک شان، ۱۹۹۷؛ فیلیپارت و راک، ۱۹۹۸؛ مارکوفسکی و همکاران، ۲۰۰۳). قفل شدن نابجایی ها توسط عناصر بین نشین و جانشین سبب وقوع پدیده تسلیم ناپیوسته در این آلیاژ می شود. در صورتی که نابجایی ها به دلیل واکنش با اتم های محلول به صورت غیر متحرک و قفل شده باشند، چگالی نابجایی های متحرک کاهش می یابد. بنابراین به دلیل کاهش یافتن چگالی نابجایی های متحرک، رفتار تسلیم ناپیوسته مشاهده می شود (دیتز، کان و سمیاتین، ۲۰۰۳). شکل ۳ نسبت کاهش تنش تسلیم فشاری آلیاژ Ti-13V-11Cr-3Al با دما را در نرخ های کرنش ۰/۰۱، ۰/۱ و ۱ بر ثانیه نمایش می دهد. افزایش دمای تغییر شکل سبب رهایی نابجایی ها از وضعیت قفل شده و افزایش چگالی نابجایی های متحرک می شود. در نتیجه مقدار پیک تنش تسلیم با افزایش دمای تغییر شکل کاهش می یابد. از سوی دیگر ملاحظه می شود که در نرخ های کرنش ۰/۱ و ۱ بر ثانیه، روند کاهش تنش تسلیم با افزایش دما شدیدتر است. با افزایش نرخ کرنش، میزان برخورد نابجایی ها و در نتیجه میزان کارسختی قبل از وقوع تسلیم افزایش می یابد. همچنین با افزایش دما قابلیت تحرک نابجایی ها افزایش یافته و در نتیجه

مقدار کارسختی و تنش تسلیم نیز کاهش می‌یابد. درحالیکه در نرخ‌های کرنش کمتر، کارسختی کمتری صورت می‌گیرد و افزایش دما تأثیر کمتری بر افت تنش تسلیم دارد (دیتر، ۱۹۸۴؛ هومفریز و هارتلی، ۲۰۰۷).

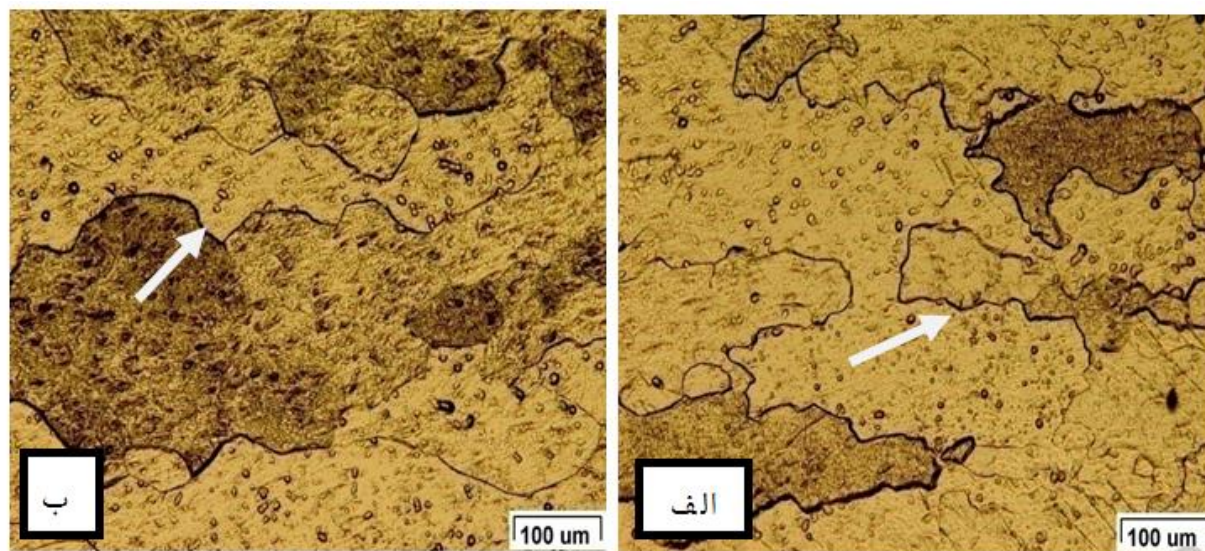


شکل ۲- منحنی سیلان گرم آلیاژ Ti-13V-11Cr-3Al در دماهای ۹۳۰، ۹۸۰، ۱۰۳۰ و ۱۰۸۰ درجه سانتی‌گراد و نرخ کرنش ۰/۱ بر ثانیه.



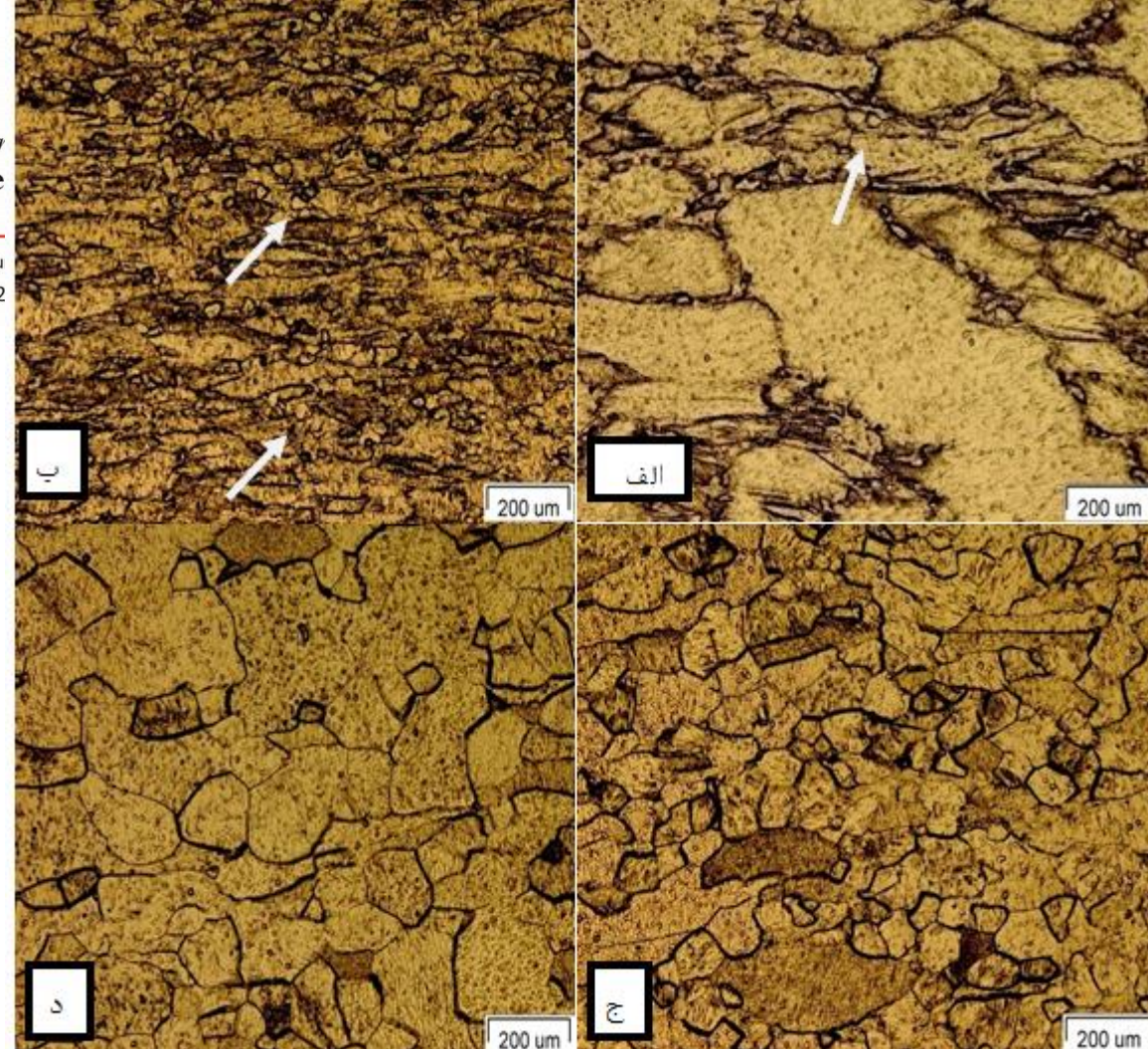
شکل ۳- اثر دما بر تغییرات تنش تسلیم در آزمون فشار گرم آلیاژ Ti-13V-11Cr-3Al.

شکل ۴ ریزساختار نمونه‌های فشار گرم آلیاژ Ti-13V-11Cr-3Al را در نرخ کرنش ۰/۰۰۱ بر ثانیه و دماهای ۹۸۰ و ۱۰۸۰ درجه سانتی‌گراد نشان می‌دهد. در تغییر شکل گرم این آلیاژ با نرخ کرنش ۰/۰۰۱ بر ثانیه، تخریب در مرزدهانه‌ها کاملاً مشهود است که با پیکانهای سفیدرنگ مشخص شده است. هنگام تغییر شکل گرم در نرخ کرنش پایین، در اثر وقوع بازیابی دینامیکی زیردهانه‌ها و مرزهای فرعی تشکیل می‌شوند. مرزدهانه‌ها به صورت موضعی و در پاسخ به نیروی کشش مرزهای فرعی، مهاجرت کرده و مضرس می‌شوند (هومفریز و هارتلی، ۲۰۰۷). بنابراین می‌توان مکانیزم غالب ترمیم در دماهای ۹۸۰-۱۰۸۰ درجه سانتی‌گراد و نرخ کرنش ۰/۰۰۱ بر ثانیه را بازیابی دینامیکی در نظر گرفت.



شکل ۴- تصاویر میکروسکوپ نوری ریزساختار نمونه‌های فشار گرم در نرخ کرنش ۰/۰۱ بر ثانیه و دماهای: الف) ۹۸۰ ب) ۱۰۳۰ درجه سانتی‌گراد.

شکل ۵ تصاویر میکروسکوپ نوری ریزساختار نمونه‌های فشار گرم با نرخ کرنش ۰/۱ بر ثانیه را در دماهای مختلف نشان می‌دهد. در دمای ۸۸۰ درجه سانتی‌گراد تعداد اندکی دانه‌های بسیار ریز در مجاورت برخی از مرز دانه‌های اولیه وجود دارد که با پیکان سفید مشخص شده است. بنابراین یک ساختار گردنبندی بسیار ظریف، ایجاد شده و جوانه‌زنی دانه‌های تبلور مجدد یافته به مقدار اندک آغاز شده است. از اینرو انتظار می‌رود که در تغییر شکل گرم با نرخ کرنش ۰/۱ بر ثانیه، تبلور مجدد دینامیکی در دمای ۸۸۰ درجه سانتی‌گراد آغاز شود. در دمای ۹۳۰ درجه سانتی‌گراد مقدار اندکی دانه‌های ریز تبلور مجدد یافته در بین دانه‌های اولیه کشیده شده، مشاهده می‌شوند (شکل ۵-ب). برخی از این دانه‌ها با پیکانهای سفید رنگ در ساختار متمایز شده‌اند. با افزایش دما و رشد جوانه‌های تشکیل شده، کسر تبلور مجدد افزایش می‌یابد. کسر تبلور مجدد در دمای ۱۰۳۰ درجه سانتی‌گراد و نرخ کرنش ۰/۱ بر ثانیه، حدود ۹۲ درصد است و ساختار تقریباً هم‌محور مشاهده می‌شود. این مقدار با استفاده از تصاویر ریزساختاری به دست آمده است، در صورتیکه از روابط نسبت تنش برای محاسبه کسر تبلور مجدد دینامیکی استفاده شود، مقدار ۸۹ درصد برای تبلور مجدد به دست می‌آید که نشان دهنده تطابق قابل توجه بین روابط تنش و ریزساختاری است. بنابراین ساختار حاصل از فشار گرم در دمای ۱۰۳۰ درجه سانتی‌گراد و نرخ کرنش ۰/۱ بر ثانیه، به دلیل تشکیل دانه‌های هم‌محور و یکنواخت، مطلوب است. میانگین اندازه دانه در دمای ۹۸۰ و ۱۰۳۰ درجه سانتی‌گراد، به ترتیب ۱۲۰ و ۱۴۵ میکرومتر است، در حالیکه در دمای ۱۰۸۰ درجه سانتی‌گراد، میانگین اندازه دانه به ۲۰۰ میکرومتر می‌رسد. افزایش میانگین اندازه دانه از دمای ۹۸۰ به ۱۰۸۰ درجه سانتی‌گراد، بیانگر پایان مرحله تبلور مجدد دینامیکی و آغاز رشد دانه است. بنابراین می‌توان دمای پایان تبلور مجدد دینامیکی را نزدیک به دمای ۱۰۳۰ درجه سانتی‌گراد در نظر گرفت.



شکل ۵- تصاویر میکروسکوپ نوری ریزساختار نمونه های آزمون فشار گرم در نرخ کرنش ۰/۱ بر ثانیه و دماهای:
(الف) ۸۸۰ °C؛ (ب) ۹۳۰ °C؛ (ج) ۱۰۳۰ °C؛ (د) ۱۰۸۰ °C.

نتیجه گیری

- ۱- در آزمون فشار گرم آلیاژ Ti-13V-11Cr-3Al در همه دماهای مورد بررسی، پدیده تسلیم ناپیوسته مشاهده شد. یعنی تنش سیلان پس از عبور از ناحیه الاستیک و کارسختی و پیش از ورود به ناحیه پلاستیک، به یک مقدار حداکثر رسیده و سپس دچار افت ناگهانی شده و به ناحیه سیلان حالت پایا می‌رسد.
- ۲- مقدار پیک تنش تسلیم با افزایش دمای تغییر شکل کاهش می‌یابد.
- ۳- مکانیزم غالب ترمیم در دماهای ۹۸۰-۱۰۸۰ درجه سانتی‌گراد و نرخ کرنش ۰/۰۰۱ بر ثانیه، بازیابی دینامیکی است.
- ۴- در تغییر شکل گرم با نرخ کرنش ۰/۱ بر ثانیه، تبلور مجدد دینامیکی در دمای ۸۸۰ درجه سانتی‌گراد آغاز می‌شود.
- ۵- کسر تبلور مجدد در دمای ۱۰۳۰ درجه سانتی‌گراد و نرخ کرنش ۰/۱ بر ثانیه، حدود ۹۲ درصد است. بنابراین دمای ۱۰۳۰ درجه سانتی‌گراد را می‌توان دمای تکمیل شدن پدیده تبلور مجدد دینامیکی در نرخ کرنش ۰/۱ بر ثانیه در نظر گرفت.

مراجع

- 1- I. J. Polmear(2006), Light alloys from traditional alloys to nanocrystals(4th ed.), New York: Elsevier Butterworth-Heinemann pub., pp. 299-335.
- 2- L.E. Tanner, J. E. Boyd and J.E. Coyne(1962), The electron metallographic examination of transformation structure in the Ti-13V-11Cr-3Al alloy, Transactions metallurgical society, vol. 224, pp. 872-889.
- 3- P.M. Sargent(1982), Deformation maps for titanium and zirconium, Scripta Metallurgica, vol. 16, pp. 1415-1422.

- 4- V.N. Moiseev(1998), Beta-titanium alloys and prospects of their development, Metal Science and Heat Treatment, Vol. 40, pp 482-485.
- 5- L. E. Tanner(1961), The isothermal transformation of Ti-13V-11Cr-3Al, Transactions of the ASM, vol. 53, pp. 407-414.
- 6- R. Srinivasan(1992), Yield points during the high temperature deformation of Ti-15V-3Al-3Cr-3Sn alloy, Scripta Metallurgica, Vol. 27, pp. 925-930.
- 7- R. Srinivasan and I. Weiss(1993), High temprature deformation of the near beta Ti-15V-3Cr-3Sn-3Al alloy, Beta Titanium Alloys in the 1990's, Pennsylvania, pp.283-295.
- 8- W.F. Smith(1991), Principles of materials science and engineering, McGraw-Hill, pp.284-326.
- ۹- امیرحسین شیخعلی(۱۳۹۰)، بررسی تغییرشکل گرم آلیاژ Ti-13V-11Cr-3Al، پایان نامه مقطع کارشناسی ارشد رشته مهندسی مواد (گرایش شناسایی و انتخاب مواد مهندسی)، مجتمع مواد و فناوریهای ساخت، دانشگاه صنعتی مالک اشتر تهران.
- ۱۰- امیرحسین شیخعلی، مریم مرکباتی، سیدمهدی عباسی، حامد توکلی و حسن بدری(۱۳۹۰)، بررسی تسلیم ناپیوسته در تغییرشکل داغ آلیاژ Ti-13V-11Cr-3Al، مجموعه مقالات پنجمین کنفرانس شکل دهی فلزات و مواد ایران، دانشگاه صنعتی شریف، ۷۲۵-۷۳۲.
- 11-D.G. Robertson and H.B. McShane(1997), Isothermal hot deformation behaviour of metastable (beta) titanium alloy Ti-10V-2Fe-3Al, Materials Science and Tech., Vol. 13, pp 575-583.
- 12-I. Philippart and H.J. Rack(1998), High temperature dynamic yielding in metastable Ti-6.8Mo-4.5Fe-1.5Al, Material Science and Eng. A., Vol. 243, pp. 196-200.
- 13-P.E. Markovsky O.M. Ivasishin, Y.V. Matviychuk and S.L. Semiatin(2003), Precipitation and recrystallization behavior of beta titanium alloys during continuous heat treatment, Metallurgical and Materials Trans. A, Vol. 34, pp. 147-159.
- 14-R.S. Rosen, S.P. Paddon and M.E. Kassner(1999), The variation of the yield stress of Ti alloys with strain rate at high temperatures, Journal of Materials Engineering and Performance, Vol.8, pp. 361-367.
- 15-ASTM E209: Standard practice for compression tests of metallic materials at elevated temperatures with conventional or rapid heating rates and strain rates(2005).
- 16-G.F. Vander Voort(2004), Handbook metallography and microstructurs, USA, ASM International, Vol 9, pp. 2167-2170.
- 17-G.E. Dieter, H.A. Kuhn and S.L. Semiatin(2003), Handbook of Workability and Process Design, ASM, pp.232-274.
- 18-G.E. Dieter(1984), Workability testing techniques, USA, ASM, pp.63-77.
- 19-F.J. Humphreys and M. Hatherly(2007), Recrystallization and Related Annealing Phenomena(2nd Ed.), Elsevier, pp. 415-450.