

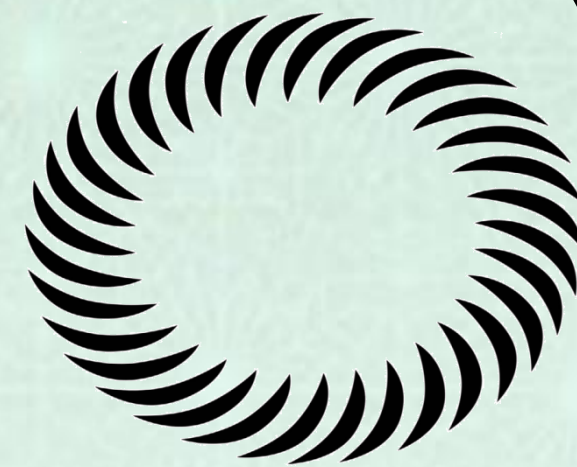


نمایشگاه هفته پژوهش و فناوری
دانشگاه صنعتی همدان
آذر 1404

بر آورد یک مدل ریاضی بنیادین برای رفتار مکانیکی آلیاژ آلومینیم در دمای بالا

امیرحسین مرادی، نعیمه فخار

گروه مکانیک، دانشگاه صنعتی همدان
amirenrgy@gmail.com



هفته ملی پژوهش و فناوری

چکیده

مدل سازی رفتار مکانیکی آلیاژهای آلومینیوم در شرایط دمایی و نرخ کرنش های مختلف از اهمیت بالایی برخوردار است، زیرا این مواد به دلیل نسبت استحکام به وزن بالا، مقاومت در برابر خوردگی، و قابلیت بازیافت گسترده، در صنایع حساسی مانند هوافضا، خودروسازی و انرژی کاربرد دارند. مدل های رفتاری ابزار مؤثری برای پیش بینی پاسخ پیچیده مواد در شرایط گوناگون تغییر شکل محسوب می شوند و امکان توصیف دقیق رفتار شارشی آن ها را فراهم می کنند. در این پژوهش رفتار مکانیکی آلیاژ آلومینیوم 5083 در شرایط دمای بالا و نرخ کرنش پایین با استفاده از آزمایش سنبه برشی بررسی شده است. آزمون ها در دماهای ۲۰۰ تا ۲۷۵ درجه سانتی گراد و نرخ های کرنش ۰.۰۱ تا ۰.۰۰۰۱ بر ثانیه انجام گرفت و داده های استخراج شده برای توسعه یک مدل جانسون-کوک اصلاح شده به کار گرفته شد. این مدل اثرات هم زمان کرنش، نرخ کرنش و دما را توصیف کرده و قادر است رفتار شارشی ماده را با دقت بالایی پیش بینی کند. نتایج نشان داد که مدل پیشنهادی نرم شدگی حرارتی و سخت شدگی ناشی از کرنش را به خوبی بازتولید کرده و می تواند برای شبیه سازی فرایندهای شکل دهی گرم آلیاژ آلومینیوم مورد استفاده قرار گیرد.

واژه های کلیدی: آلیاژ آلومینیوم، آزمون سنبه برشی، دمای بالا، مدل بنیادین

مقدمه

آلیاژهای آلومینیوم به ویژه 5083 به دلیل استحکام مناسب، وزن کم، مقاومت به خوردگی و قابلیت استفاده در دماهای متوسط تا بالا، در صنایع حساس مانند کشتی سازی، خودرو و هوافضا اهمیت ویژه ای دارند. در این شرایط، رفتار ماده تحت تأثیر هم زمان دما و نرخ کرنش قرار می گیرد و پیش بینی دقیق رفتار تنش-کرنش آن برای طراحی و بهینه سازی فرایندهای تولید ضروری است. از میان روش های مختلف آزمایش مکانیکی، آزمون سنبه برشی به دلیل امکان استفاده از نمونه کوچک، اعمال نرخ کرنش کنترل شده و تولید تنش برشی خالص، ابزاری مناسب برای استخراج رفتار شارشی مواد محسوب می شود. از طرفی مدل های رفتاری مانند جانسون-کوک قابلیت شبیه سازی رفتار مواد در شرایط تغییر شکل پیچیده را دارند، اما نسخه پایه آن برای دماهای متوسط و نرخ های کرنش پایین دقت کافی ندارد. بنابراین استفاده از یک نسخه اصلاح شده مبتنی بر داده های دقیق تجربی ضروری است.

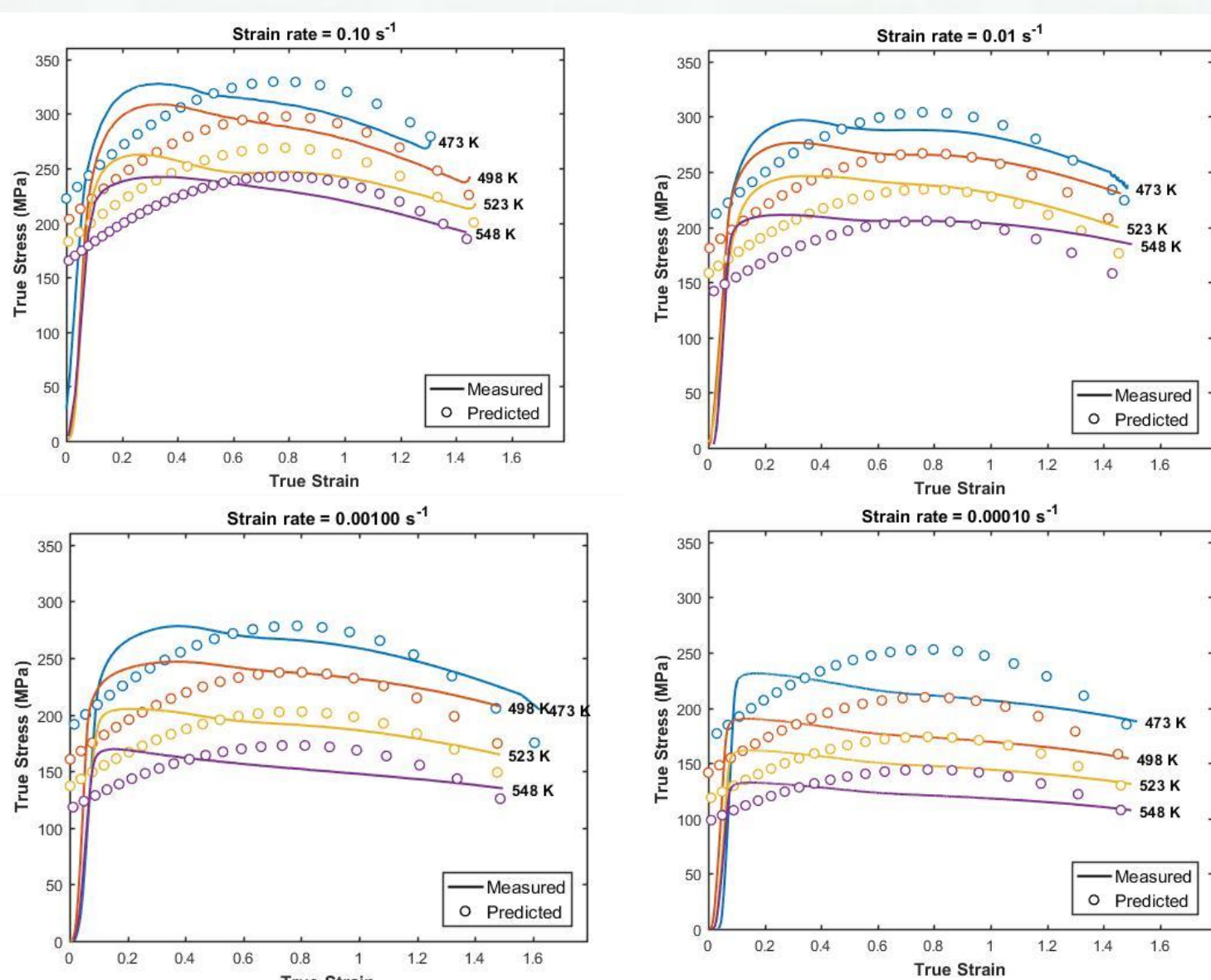
اهداف و روش پژوهش

هدف اصلی این پژوهش، استخراج رفتار تنش-کرنش آلیاژ آلومینیوم در دماهای بالا و نرخ های کرنش پایین، و سپس توسعه یک مدل جانسون-کوک اصلاح شده بوده است. ابتدا آزمون سنبه برشی با سرعت های مختلف انجام شد و منحنی های واقعی تنش-کرنش به دست آمد. سپس داده های آزمون برای تعیین ضرایب سخت شدگی کرنشی، حساسیت به نرخ کرنش و پارامترهای نرم شدگی حرارتی به کار گرفته شد. نسخه اصلاح شده مدل جانسون-کوک شامل تأثیرات کرنش، نرخ کرنش و دما به صورت هم زمان بوده و به کمک برازش منحنی ها ضرایب مدل تعیین شد. در مرحله نهایی، نتایج پیش بینی مدل با داده های تجربی مقایسه شد تا دقت آن ارزیابی شود.

یافته های پژوهش

نتایج به دست آمده از آزمون های سنبه برشی نشان داد که آلیاژ 5083 نسبت به تغییرات دما و نرخ کرنش حساسیت بالایی دارد و رفتار مکانیکی آن به طور واضح تحت تأثیر این دو پارامتر قرار می گیرد. با افزایش دما تنش جریان به شکل قابل توجهی کاهش یافت؛ این رفتار نتیجه فعال شدن مکانیزم های نرم شدگی حرارتی است که موجب می شوند نابجایی ها با انرژی کمتری حرکت کرده و ساختار بلوری مقاومت کمتری در برابر تغییر شکل نشان دهد. در دماهای بالاتر، منحنی های تنش-کرنش نیز شیب کمتری داشتند که بیانگر کاهش توان سخت شوندگی ماده است. از سوی دیگر، کاهش نرخ کرنش نیز موجب کاهش تنش جریان شد که این موضوع نشانه نرخ حساسیت مثبت آلیاژ است. به بیان دیگر، در نرخ های کرنش پایین ماده فرصت بیشتری برای فعال شدن فرایندهای بازجایی دینامیکی دارد و بنابراین تمایل بیشتری به تغییر شکل یکنواخت و نرم تر از خود نشان می دهد. این رفتار در تمام دماهای آزمایش مشاهده شد اما شدت آن در دماهای بالاتر بیشتر بود. مقایسه داده های تجربی با نتایج مدل جانسون-کوک اصلاح شده نشان داد که این مدل توانسته است تمام روندهای اصلی رفتار ماده را به درستی بازتولید کند.

مدل اصلاح شده جانسون-کوک در ناحیه سخت شوندگی و نیز نرم شوندگی حرارتی به شکل زیر مورد استفاده قرار می گیرد:
$$\sigma = (B_0 + B_1 \epsilon + B_2 \epsilon^2)(1 + C_0 \ln \epsilon^*) \exp[-(\lambda_1 + \lambda_2 \ln \epsilon^*)T^*]$$
 مدل در شبیه سازی ناحیه سخت شوندگی اولیه، که معمولاً حساس ترین بخش منحنی است، عملکرد بسیار خوبی داشت و توانست مقدار پیک تنش جریان را به طور دقیق پیش بینی کند. همچنین در نواحی نرم شدگی حرارتی، مدل رفتاری پیشنهادی دقت بسیار بهتری نسبت به نسخه کلاسیک جانسون-کوک داشت و افت تدریجی تنش را بسیار نزدیک به رفتار واقعی ثبت کرد. افزودن ترم های اصلاحی مربوط به وابستگی دما و نرخ کرنش موجب شد که مدل جدید نه تنها نوسانات رفتاری نسخه پایه را اصلاح کند، بلکه منحنی های پیش بینی شده را بسیار هموارتر و قابل اتکا تر ارائه دهد. اختلاف میان نتایج مدل و داده های آزمون در اکثر نقاط کمتر از چند درصد بود که نشان می دهد مدل اصلاح شده قادر است رفتار آلیاژ آلومینیوم را در محدوده دمایی و نرخ کرنشی پژوهش با دقت بالا و پایداری مناسب توصیف کند.



شکل ۱. نمودار مقایسه ای (رفتار تنش-کرنش) نتایج پیش بینی مدل با داده های تجربی

راهنمای پیشنهادی

بررسی اثر ریزساختار (اندازه دانه، نابجایی ها، رسوبات) بر رفتار ماده توسعه مدل در نرخ کرنش های بسیار بالا برای کاربردهای ضربه ای و برخورد ترکیب مدل با شبیه سازی اجزای محدود برای تحلیل واقعی فرایندهای صنعتی مقایسه با مدل های (مانند، Arrhenius, Armstrong و...)

منابع

- [1] S. Wang, Y. Huang, Z. Xiao, Y. Liu, and H. Liu, "A Modified Johnson-Cook Model for Hot Deformation Behavior of 35CrMo Steel," *Metals*, vol. 7, no. 9, pp. 337, 23 August 2017, doi: 10.3390
- [2] V. Kumar Reddy Sirigiri, V. Yadav Gudiga, U. Shankar Gattu, G. Suneesh, and K. Mohan Buddaraju, "A review on Johnson Cook material model," *Mater Today Proc*, vol. 62, pp. 3450–3456, 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.04.279>.

تایید استاد راهنما

نام و امضا استاد راهنما :

تایید تحصیلات تکمیلی :

تایید امور پژوهشی: