

به نام خدا



مرکز دانلود رایگان
مهندسی متالورژی و مواد

www.Iran-mavad.com



سوپر پلاستیسته

مواد سوپر پلاستیک جامدات پلی کریستالی هستند که قابلیت تغییر فرم پلاستیکی بسیار زیادی بدون شکست یا گلویی شدن را دارند. معمولاً افزایش طول بالایی دارا می باشند و بیشترین مقدار آن در برنز - آلومینیوم با ۵۰۰ درصد افزایش طول گزارش شده است. بطور کلی شرایطی که برای یک آلیاژ سوپر پلاستیک لازم است، عبارتند از: ۱- ساختار دو فازی با فازهای انعطاف پذیر، ۲- اندازه دانه های ریز، ۳- دمای عملیات حدود $T_m/5$ و ۴- حساسیت به سرعت کرنش بالا.

دیباچه

سوپر پلاستیسته محیطی یا تحت شرایط ویژه

تعدادی از مواد بخصوص آلیاژهای یوتکتیک یا یوتکتوئیدی دو فازی، از خود ازدیاد طول زیادی (حدود ۱۰۰۰ درصد) بدون شکست و یا حتی گلویی شدن نشان داده اند و چنین رفتاری به سوپر پلاستیسته، موسوم گشته است. مواد سوپر پلاستیسته عمدتاً جامدات پلی کریستال هستند. در تغییر شکل با تنش تک محوری، بطور عادی ازدیاد طولی بالغ بر ۳۰۰ درصد در مواد سوپر پلاستیک مشاهده می شود، گرچه این مقدار در بعضی مواد مثل آلیاژ یوتکتیک $Pb - Sn$ به ۴۸۵۰ درصد و یا حتی بیشتر هم می رسد.

اعمال بار
شرایط ویژه ساختاری بدین معنی است که فلز سوپر پلاستیک باید از اندازه دانه خیلی ریز (معمولاً کمتر از $10 \mu m$) و ساختار دو فازی برخوردار باشد و اصولاً ثابت باقی ماندن اندازه دانه ها در طول کشش و تغییر شکل اهمیت ویژه ای دارد.

موادی که رفتار سوپر پلاستیک تحت شرایط محیطی ویژه دارند، موادی هستند که در آنها مرز دانه حین اعمال بار حرکت می کند و این حرکت بسته به محیط می باشد، مثلاً در دمای بالا (حدوداً بالاتر از $T_m/5$) برای نفوذ سریعت.

شرایط ایجاد سوپر پلاستیسته

رفتار سوپر پلاستیک ابتدا در دهه ۱۹۲۰ میلادی توسط هارگریوز^۱ و جنکینز^۲ مشاهده گردید، ولی مشاهدات جالبتری توسط پیرسون^۳ در سال ۱۹۳۴ میلادی هنگامی که روی آلیاژ یوتکتیک $Bi - Sn$ مطالعه

بطور کلی دو نوع رفتار سوپر پلاستیک وجود دارد: سوپر پلاستیسته ریز ساختاری یا تحت شرایط ساختاری ویژه

که در آن ، n نمای کرنش سختی، K یک ثابت برای دمای مفروض و m حساسیت آهنگ کرنش⁶ می باشد.

چون کرنش سختی، در طول سیلان سوپر پلاستیک زیاد محسوس و قابل توجه نیست، معادله فوق را می توان بصورت زیر بازنویسی نمود :

$$\sigma = K (\dot{\epsilon})^m$$

مهمترین مشخصه مواد سوپر پلاستیک، مقدار m بالای آنهاست که در شرایط اپتیم معمولاً بین ۰/۳ تا ۰/۸ می باشد. مقدار m در آلیاژهای عادی کمتر از ۰/۲ است.

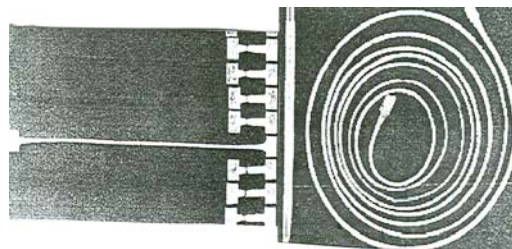
رابطه جامع تری بین تنش اعمالی و آهنگ کرنش، به کمک معادله زیربنایی تغییر شکل با ساز و کار نفوذی در دماهای بالا بدست می آید که عبارتست از :

$$(\dot{\epsilon}) = \frac{AGb}{kT} \left[\frac{b}{d} \right]^p \left[\frac{\sigma}{G} \right]^N \text{Dexp} \frac{-Q}{RT}$$

در این رابطه، A مقداری ثابت، G مدول برشی، k ثابت بولتزمن، T دمای مطلق، b بردار برگرز، d اندازه دانه ، P نمای اندازه دانه ، D ضریب دیفوزیون، Q انرژی اکتیواسیون برای پروسه دیفوزیونی، R ثابت گازها و $N = 1/m$ توان تنش می باشد. برای مواد سوپر پلاستیک، P معمولاً ۲ یا ۳ می باشد؛ بدین ترتیب کاهش در اندازه دانه، اثر مهمی بر آهنگ کرنش سوپر پلاستیک خواهد داشت.

می کرد، با ازدیاد طول ۱۹۵۰ درصد گزارش شد و همین مشاهدات باعث شد که آزمایشگاههایی در غرب بطور جدی این مسأله را پیگیر شوند. همچنین در شوروی نیز تحقیقاتی در این مورد صورت گرفت، بطوریکه واژه «سوپر پلاستیسته» توسط بوخوار⁴ و سویدر سکایا⁵ در سال ۱۹۴۵ برای توجیه انعطاف پذیری بیش از حد آلیاژ Zn - Al مطابق شکل (۱) بر روی این پدیده گذاشته شد و این تحقیقات تا امروز نیز بر روی این مسأله ادامه پیدا کرده است.

لازم به ذکر است که برخلاف فلزات سوپرپلاستیک، مشاهده سیلان سوپرپلاستیک در مواد سرامیکی مربوط به سالیان اخیر است، در این بین بیشترین توجه به سیستم Y-TZP متمرکز گشته و گزارشاتی راجع به ازدیاد طول های تا ۸۰۰٪ در مورد این ماده منتشر گردیده یا حتی ازدیاد طولی به بزرگی ۱۰۲۸٪ در یک ماده Y-TZP شامل ۵ درصد وزنی SiO_2 به ثبت رسیده است.

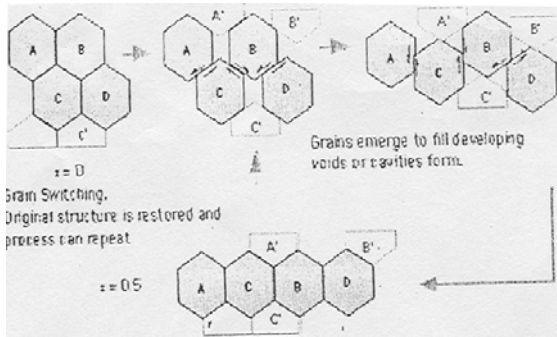


شکل ۱ - سوپر پلاستیسته استثنایی در آلیاژ Zn-Al که تحت کشش قرار و افزایش طولی برابر ۱۷۳۰ درصد از خود نشان داده است.

رابطه بین تنش سیلان (σ) ، کرنش (ϵ) و آهنگ کرنش ($\dot{\epsilon}$) را می توان بوسیله معادله خزش در دمای بالا بیان کرد :

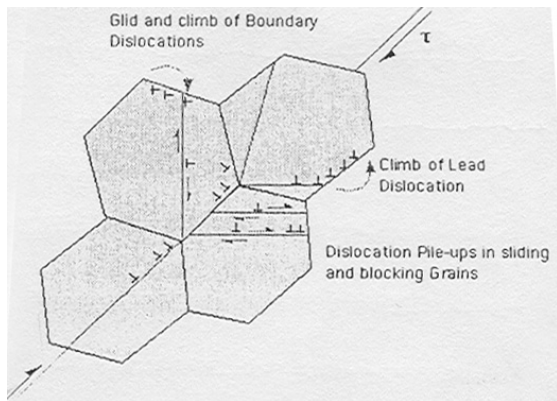
$$\sigma = K \epsilon^n \dot{\epsilon}^m$$

در دمای تغییر فرم، نابجائیهایی که در رأس توده انباشته شده مطابق شکل (۴) می توانند صعود کرده و در طول مرز دانه ها حرکت کنند تا به محل های خنثی کننده نابجائیها (احتمالاً جاهای خالی یا لبه ها) برسند. جابجائی پیوسته این نابجائیها لغزش مرز دانه ها را در سرعتی که توسط سرعت صعود نابجائیها کنترل می گردد، باعث می شود که این سرعت صعود نیز توسط دیفوزیون در مرز دانه ها کنترل گردد. نابجائیهایی که بوسیله تنشهای موضعی تولید می شوند می توانند از دانه های تسلیم شده بگذرند و این امر در صورتی امکان دارد که « بردار برگرز نابجائی » بزرگتر، یا به میزان ناچیزی بیشتر از اندازه دانه باشد، مثلاً چند میکرون.

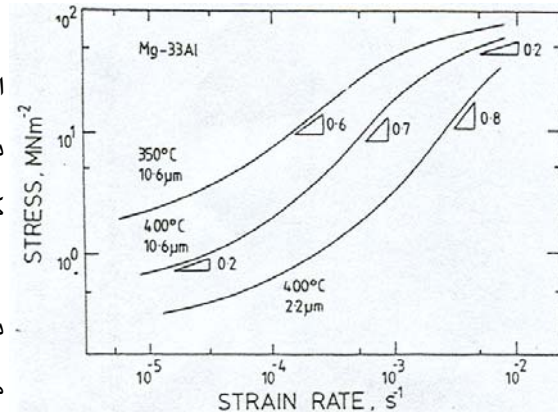


شکل ۳- مکانیزم شماتیک لغزش مرز دانه ها بعنوان فرآیند

اصلی سوپرپلاستیسیته.



شکل ۴- طرح شماتیک مدل نابجایی ها در لغزش مرز دانه.



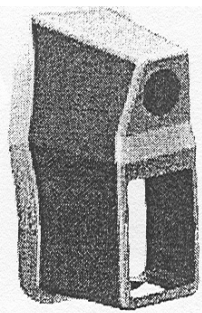
شکل ۲- تعیین مقدار m (شیب منحنی) بوسیله نمودار تغییرات تنش سیلان برحسب سرعت کرنش برای آلیاژ یوتکتیک سوپر پلاستیک Al-Mg در دما و اندازه دانه های مختلف.

مکانیزم پلاستیسیته

در پلی کریستالها همچنانکه در شکل (۳) ملاحظه می شود، اتصالات مرز دانه ها (اتصالات سه تایی با زاویه ۱۲۰ درجه) مانع فرآیند لغزش می شوند و مقدار m را کاهش می دهند. بنابراین برای افزایش حساسیت سرعت برش مرز، کاهش مقاومت به لغزش مرزها لازم است که به ویسکوزیته حرکتی مرز دانه ها بستگی دارد. این امر می تواند توسط مهاجرت مرز دانه ها صورت گیرد. در عمل، مشاهده شده که سوپر پلاستیسیته توسط دیفوزیون در مرز دانه ها کنترل می شود و تقریباً واضح است که در طی تغییر فرم، دانه ها یا گروههای ویژه ای از دانه ها با مرزهایی موازی تمایل به لغزش دارند و لغزش تا هنگامی ادامه می یابد که تنش موضعی، نابجائیهایی را تولید کند که در طول دانه های بلوکه شده لغزیده اند و در مرزهای مخالف جمع شده اند تا که تنش وارده باعث تجمع بیشتر نابجائیها و لغزش بیشتر شود و این توده در مرز دانه ها مانعی برای لغزش گردد.

سبک، با خواص سرویس خوب (مانند چقرمگی بالا و مقاومت به خوردگی تنش‌ی زیاد می‌باشند. چنین خصوصیتی در آلیاژ سوپرپلاستیک ۷۴۷۵ بخوبی وجود دارد و از اینرو قطعات بسیاری از قسمتهای بدنه هواپیما از این آلیاژ ساخته می‌شود.

برای کاربردهای کم‌استعمال‌تر، نوع عملیات حرارتی شده آلیاژ سوپرپلاستیک ۲۰۰۴ موارد مصرف فراوانی در ساختارهای ثانویه هوایی دارد (شکل ۵). این آلیاژ دارای خواص مکانیکی عالی برای ساخت قطعات داخلی بوده و از خود خواص سوپرپلاستیکی بی‌نظیری نشان می‌دهد. برای طراحی و ساخت قطعات با اشکال پیچیده این آلیاژ مناسبترین ماده می‌باشد و علاوه بر کاربردهای هوافضا، در صنایع الکترونیک نیز مورد استفاده فراوان دارد.



شکل ۵ - یکی از قطعات هلیکوپتر Sea King Mk ساخته شده از آلیاژ سوپرپلاستیک ۲۰۰۴.

خارج از صنایع هوافضا و الکترونیک آلیاژ سوپرپلاستیک ۵۰۸۳ (Al-Mg-Mn) بطور وسیع در اکثر زمینه‌ها کاربرد دارد. این آلیاژ دارای مقاومت خوردگی بالا، به‌مراه خواص عالی پس از شکل‌دهی و جوشکاری می‌باشد و همین خصوصیات، این ماده را تبدیل به یک انتخاب ایده‌آل برای کاربری‌های اتومبیل‌سازی و نیز ساختمانی و معماری نموده است (شکل ۶).

برای دست‌یافتن به یک ساختار ریزدانه پایدار، طرق مختلفی ارائه شده است: پردازش ترمومکانیکی - متالورژی پودر - آلیاژسازی مکانیکی^۷ و ...

در پردازش ترمومکانیکی، ریز ساختار سوپرپلاستیک در آلیاژها را یا بوسیله تبلور مجدد ایستا^۸ پیش از شکل‌دهی سوپرپلاستیک، و یا توسط تبلور مجدد پویا^۹ در مراحل اولیه شکل‌دهی، می‌توان بدست آورد. آلیاژهای سری ۷۰۰۰ که در ساختمان هواپیما بکار می‌روند. بخصوص (Al - ۷۴۷۵ - Zn - Mg - Cu) بطور ایستا تبلور مجدد می‌یابد؛ درحالی‌که آلیاژهای سوپرآل (Al - Cu - Zr) تبلور مجدد پویا را در مراحل اولیه شکل‌دهی سوپرپلاستیک متحمل گشته و ریز ساختار سوپرپلاستیک بدست می‌آورند. آلیاژهای Al - Li که در سالیان اخیر به آنها توجه زیادی در صنایع سوپرپلاستیک شده است را می‌توان طوری پردازش نمود که ریز ساختار سوپرپلاستیک را از هر یک از دو طریق فوق بدست آورند.

پروسه تولید اولیه آلیاژ نیز در شدت یا ضعف خاصیت سوپرپلاستیسیته این مواد نقش بسیار مهمی دارد. مثلاً آلیاژهای تهیه شده بروش DC casting معمولاً سوپرپلاستیسیته کمتری نسبت به آلیاژهای تولید شده از طریق متالورژی پودر و یا آلیاژسازی مکانیکی با ترکیب شیمیایی کاملاً یکسان، از خود نشان می‌دهند؛ حتی اگر عملیات پردازش ترمومکانیکی کاملاً یکسانی روی آنها اعمال گردد

کاربردها

کاربری‌های ساختاری اولیه و اصلی صنایع هوافضا، نیازمند آلیاژهای پراستحکام در عین حال

Hamilton), 27; 1982. The Metallurgical Society of AIME, Warrendale, PA, U.S.A.

6. T.G. Langdon and J. Wadsworth in "Superplasticity in Advanced Materials" (Ed. S. Hori, M. Tokizane and N. Furushiro), 847, 1991. The Japan Society for Research on Superplasticity, Osaka, Japan.

7. Y. Ma and T.G. Langdon, Metall. Trans. 25 A, 1994, 2309.

8. A.H. Cholshi, A.K. Mukherjee and T.G. Langdon, Mater. Sci. Eng. P10, 1993, 237.

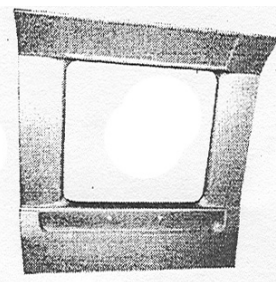
9. O.D. Sherby and J. Wadsworth, Mater. Sci. 33, 1989, 169.

10. O.D. Sherby and J. Wadsworth, Mater. Res Soc. Symp. Proc. 196, 1990, 3.

11. G.D. Bengough, J. Inst. Metals 7, 1912, 123.

12. C.E. Pearson, J. Inst. Metals 54, 1934, 111.

13. J. Pilling & N. Ridley, Superplasticity in Crystalline Solids, 1989, The Institute of Metals.



شکل ۶- چارچوب یک پنجره بزرگ قطار، ساخته شده از سوپر پلاستیک ۵۰۸۳.

مراجع

1. I.I. Novikov, in "Superplasticity in Advanced Materials: ICSAM-94" (Ed. T.G. Langdon), 3; 1994. Trans Tech Publications, Aedermansdorf, Switzerland.

2. F.A. Mohamed, M.M.I. Ahmed and T.G. Langdon, metal. Trans. 8A, 1977, 933.

3. D.A. Woodford, Trans. ASM 62, 1969, 291.

4. T.G. Langdon, Metall, Trans. 13A, 1982, 689.

5. T.G. Langdon, in "Superplastic Forming of Structural Alloys" (Ed. N.E. Paton and C.H.

:

-
- 1-Hargreaves
 - 2-Jenkins
 - 3-Pearson
 - 4-Bochvar
 - 5-Sviderskaya
 - 6-Rate sensitivity strain
 - 7-Mechanical alloying
 - 8-Static recrystallization
 - 9-Dynamic recrystallization