



دانشگاه آزاد اسلامی

واحد تهران جنوب

دانشکده تحصیلات تکمیلی

سمینار برای دریافت درجه کارشناسی ارشد “M.Sc”

مهندسی مواد – شناسایی و انتخاب مواد فلزی

عنوان :

خواص مکانیکی آلیاژهای پایه Sn-Ag

استاد راهنما :

نگارش:

فهرست مطالب

شماره صفحه	عنوان مطالب
۱	چکیده
۲	مقدمه
۳	۱- قلع
۳	۱-۱) خواص فیزیکی و شیمیایی قلع
۳	۱-۲) اثرات قلع بر سلامتی انسان و پیامدهای زیست محیطی آن
۴	۲- آلیاژ $Sn-Ag$
۶	۱-۲) بررسی ریزساختار یوتکتیک $Sn-Ag$
۶	۲-۲) بررسی خواص فیزیکی و مکانیکی آلیاژ $Sn-Ag$
۶	۱-۲-۲) خواص کششی
۹	۲-۲-۲) مدول یانگ
۱۰	۳-۲-۲) تنش تسلیم
۱۰	۴-۲-۲) اثر ریزساختار بر استحکام تسلیم
۱۲	۵-۲-۲) ضریب انبساط حرارتی (CTE)
۱۳	۶-۲-۲) رفتار خستگی
۱۵	۲-۲-۲) خواص خزشی
۱۶	۱-۷-۲-۲) خزش کششی بالک $Sn-Ag$
۱۹	۲-۷-۲-۲) خزش با فرورونده هرمی بالک $Sn-3.5Ag$
۱۸	۸-۲-۲) اثر انحلال مس بر ریزساختار
۱۹	۹-۲-۲) دمای ذوب
۱۹	۱۰-۲-۲) درشت دانه شدن موضعی ریز ساختار
۲۰	۱۱-۲-۲) پیرسازی
۲۰	۱۲-۲-۲) پایداری دمای بالا

۲۱	سیستم $Sn-Ag-Bi$ (۱-۳)
۲۱	تأثیر بر روی دمای ذوب (۲-۱-۳)
۲۲	خواص مکانیکی (۳-۱-۳)
۲۲	استحکام و انعطاف پذیری (۱-۳-۱-۳)
۲۳	خواص خزشی (۲-۳-۱-۳)
۲۳	مقاومت خستگی (۳-۳-۱-۳)
۲۳	سیستم $Sn-Ag-Bi-In$ (۴-۳)
۲۳	ریزساختار (۱-۴-۳)
۲۵	خواص مکانیکی (۲-۴-۳)
۲۵	سیستم $Sn-Ag-Cu$ (۵-۳)
۲۶	ساختارها (۱-۵-۳)
۲۶	ترکیب یوتکتیک سه تایی و دمای ذوب (۲-۵-۳)
۲۷	گوشه غنی از قلع در سیستم $Sn-Ag-Cu$ (۳-۵-۳)
۲۷	ریز ساختار (۴-۵-۳)
۳۰	انجماد آلیاژهای پایه $Sn-Ag-Cu$ (۱-۴-۵-۳)
۳۰	مورفولوژی (۲-۴-۵-۳)
۳۲	انجماد یوتکتیک شبه دوتایی (۳-۴-۵-۳)
۳۲	یوتکتیک سه تایی غایب (۴-۴-۵-۳)
۳۲	اثر سرعت سرد کردن (۵-۴-۵-۳)
۳۳	اثر میزان نقره بر تشکیل صفحه Ag_3Sn (۶-۴-۵-۳)
۳۳	سرعت و تاثیر حلالیت مس (۷-۴-۵-۳)
۳۵	اثر سرعت سرد کردن بر خواص آلیاژهای $Sn-Ag-Cu$ (۵-۵-۳)
۳۵	خواص استحکامی (۱-۵-۵-۳)
۳۵	انعطاف پذیری (۲-۵-۵-۳)
۳۶	اثر نرخ کرنش (۳-۵-۵-۳)

۳۷	۳-۵-۴) تغییر شکل خزشی
۳۸	۳-۶) سیستم <i>Sn-Ag-Cu-Bi</i>
۳۹	۳-۷) سیستم <i>Sn-Ag-Cu-In</i>
۳۹	۳-۷-۱) ریز ساختار
۳۹	۳-۷-۲) اثر اضافه کردن ایندیوم بر روی دمای ذوب
۴۰	۳-۷-۳) خواص مکانیکی
۴۰	۳-۸) سیستم <i>Sn-Ag-Cu-Sb</i>
۴۱	۳-۸-۱) سرعت رشد ترکیبات بین فلزی
۴۱	۳-۸-۲) خواص مکانیکی
۴۱	۳-۸-۲-۱) استحکام و پلاستیسیته
۴۳	۳-۸-۲-۲) خواص خستگی
۴۳	۳-۹) سیستم <i>Sn-Ag-Cu-B</i>
۴۳	۳-۹-۱) ریز ساختار
۴۴	۳-۹-۲) نقش بور به عنوان ریز کننده ساختار
۴۴	۳-۱۰) سیستم <i>Sn-Ag-Sb</i>
۴۴	۳-۱۰-۱) ریز ساختار
۴۴	۳-۱۰-۲) اثر آنتیموان بر دمای ذوب
۴۴	۳-۱۰-۳) خواص مکانیکی
۴۸	۳-۱۱) سیستم <i>Sn-Ag-Zn</i>
۴۸	۳-۱۱-۱) ریز ساختار
۴۸	۳-۱۱-۲) اثر روی بر کاهش دمای ذوب
۴۸	۳-۱۱-۳) فعال بودن روی
۴۹	۳-۱۱-۴) خواص مکانیکی
۴۹	۳-۱۱-۴-۱) اثر اضافه کردن روی بر استحکام و انعطاف پذیری
۵۱	منابع و مآخذ

۱	جدول ۱: خواص فیزیکی و شیمیایی قلع
۱۰	جدول ۲: مقادیر مختلف مدول یانگ گزارش شده برای آلیاژ $Sn-3.5Ag$
۲۲	جدول ۳: خواص آلیاژهای $Sn-3.5Ag$ حاوی بیسموت
۲۵	جدول ۴: خواص آلیاژهای $Sn-Ag-Bi$ حاوی ایندیوم
۳۴	جدول ۵: اثر سرعت سردکردن بر روی ریزساختار برخی آلیاژهای $Sn-Ag-Cu$
۳۶	جدول ۶: پارامتر حساسیت به نرخ کرنش برخی آلیاژهای عاری از سرب
۳۹	جدول ۷: مقایسه خواص مکانیکی $Sn-3.1Ag-0.5Cu-3.5Bi$ با یوتکتیک $Sn-Pb$ و بعضی آلیاژهای عاری از سرب
۴۰	جدول ۸: اثر متقابل ایندیوم و عناصر موجود در سیستم $Sn-Ag-Cu$
۴۱	جدول ۹: مقایسه خصوصیات و خواص مکانیکی $Sn-3.0Ag-0.5Cu-8.0In$ با یوتکتیک $Sn-Pb$ و بعضی آلیاژهای عاری از سرب
۴۲	جدول ۱۰: مقایسه خواص مکانیکی آلیاژ $Sn-Ag-Cu$ حاوی Sb با یوتکتیک $Sn-Pb$ به عنوان معیار
۴۵	جدول ۱۱: خواص آلیاژهای $Sn-3.5Ag$ حاوی آنتیموان

- شکل ۱: دیاگرام فاز دوتایی $Ag-Sn$ ۵
- شکل ۲: ریزساختار ریختگی آلیاژ (الف) $Sn-3.5Ag$ و (ب) $Sn-37Pb$ ۶
- شکل ۳: نمونه ای از نمودارهای تنش-کرنش آلیاژ $Sn-3.5Ag$ (الف) در دمای ثابت (ب) در نرخ کرنش ثابت ۷
- شکل ۴: اثر (الف) دما و (ب) نرخ کرنش بر استحکام آلیاژ $Sn-3.5Ag$ ۷
- شکل ۵: اثر (الف) دما و (ب) نرخ کرنش بر انعطاف پذیری آلیاژ $Sn-3.5Ag$ ۸
- شکل ۶: تغییرات m بر حسب دمای همولوگ برای دو آلیاژ $Sn-3.5Ag$ و $Sn-37Pb$ ۹
- شکل ۷: منحنی تنش-کرنش آلیاژ $Sn-3.5Ag$ در شرایط عملیات حرارتی مختلف ۱۱
- شکل ۸: تصاویر میکروسکوپ نوری آلیاژ یوتکتیک $Sn-3.5Ag$ در شرایط مختلف عملیات حرارتی (الف) آنیل نشده (ب) آنیل شده در دمای $180^{\circ}C$ به مدت ۱۰ دقیقه (ج) آنیل شده در دمای $210^{\circ}C$ به مدت ۱۰ دقیقه ۱۱
- شکل ۹: تصویر SEM از سطح شکست آلیاژ $Sn-3.5Ag$ در دمای $25^{\circ}C$ و در نرخ کرنش $2/38 \times 10^{-3} s^{-1}$ که تحت آزمون کشش تک محوری قرار گرفته است ۱۲
- شکل ۱۰: ریزساختار سطح اتصالات لحیم بعد از آزمون برشی در نرخ کرنشهای مختلف (الف) $0/001 s^{-1}$ در دمای $25^{\circ}C$ ، (ب) $0/1 s^{-1}$ در دمای $25^{\circ}C$ ، (ج) s^{-1} ۱۴
- $0/001 s^{-1}$ در دمای $150^{\circ}C$ و (د) $0/001 s^{-1}$ در دمای $150^{\circ}C$
- شکل ۱۱: اثر دما و نرخ کرنش بر پیک تنش برش آلیاژ $Sn-3.5Ag$ ۱۴
- شکل ۱۲: نمودار داده های خزش کششی هم دما برای بالک $Sn-3.5Ag$ ۱۶
- شکل ۱۳: نمودار برازش شده خزش آلیاژ $Sn-3.5Ag$ از مدل سینوس هیپربولیک ۱۶
- شکل ۱۴: مقایسه نمودارهای خزش کششی و فرورونده هرمی آلیاژ $Sn-3.5Ag$ ۲۰
- شکل ۱۵: اثر دمای پیرسازی بر ریزساختار آلیاژ $Sn-3.5Ag$ (الف) $40^{\circ}C$ (ب) $90^{\circ}C$ (ج) $140^{\circ}C$ و (د) $190^{\circ}C$ ۲۱
- شکل ۱۶: اثر افزودن بیسموت بر رفتار خستگی آلیاژ $Sn-3.5Ag$ ۲۳
- شکل ۱۷: تصاویر SEM از آلیاژ ریختگی $Sn-3.5Ag-XBi$ (الف) $Sn-3.5Ag$ (ب) $Sn-3.5Ag-2Bi$ (ج) $Sn-3.5Ag-5Bi$ (د) $Sn-3.5Ag-10Bi$ ۲۸
- شکل ۱۸: مورفولوژی سطح آلیاژ $Sn-3.5Ag-5Bi-8In$ پس از قرار گرفتن در... ۲۴

- شکل ۱۹: دیاگرام فاز دوتایی (الف) قلع-نقره (ب) قلع-مس (ج) نقره-مس ۲۶
- شکل ۲۰: مناطق همدمای محاسبه شده در سیستم $Sn-Ag-Cu$ در دماهای مختلف ۲۷
- شکل ۲۱: نمایش شماتیک منطقه دوتایی برای یک سیستم دوتایی با فازهای زبر ۲۸
- شکل ۲۲: نمایش شماتیک منطقه دوتایی آریب برای یک سیستم دوتایی با فازهای نرم و زبر ۲۹
- شکل ۲۳: نمایش شماتیک اثر نرم بودن فاز بر روی ترکیب مورد نیاز برای رشد دوتایی سیستم یوتکتیک دوتایی نرم-زبر ۲۹
- شکل ۲۴: تصویر شماتیک رشد فازهای نرم مانند Ag_3Sn و Cu_6Sn_5 در مایع که به شکل هایی منجر می شود که رشد طولی آنها بسیار سریعتر از رشد عرضی است ۳۰
- شکل ۲۵: نمودار محل تلاقی سه خط واکنش یوتکتیک در ترکیب یوتکتیک سه تایی سیستم $Sn-Ag-Cu$ آلیاژهای مورد بررسی توسط $Moon$ و همکاران در راستای دو خط نقطه چین A و B انجام شده است ۳۱
- شکل ۲۶: مرز فازهای بخش A در نمودار شکل ۲۵ که به صورت تجربی به دست آمده است ۳۱
- شکل ۲۷: مرز فازهای بخش B در نمودار شکل ۲۵ که به صورت تجربی به دست آمده است ۳۱
- شکل ۲۸: تصاویر میکروسکوپی الکترونی از اثر سرعت سردکردن و میزان نقره بر روی ریزساختار آلیاژهای $Sn-Ag-Cu$: سرد کردن آرام با مقادیر: (الف) ۰/۳ (ب) ۳/۵ (ج) ۳/۹ درصد وزنی Ag ، سرد کردن با سرعت متوسط با مقادیر: (د) ۰/۳ (ه) ۳/۵ (و) ۳/۹ درصد وزنی Ag و سرد کردن سریع با مقادیر: (ز) ۳/۰ (ح) ۳/۵ (ت) ۳/۹ درصد وزنی Ag ۳۳
- شکل ۲۹: اثر کسر سطحی شبکه یوتکتیک بر تنش تسلیم قراردادی سه آلیاژ از سیستم $Sn-Ag-Cu$ ۳۵
- شکل ۳۰: اثر نرخ کرنش بر تنش آلیاژ $Sn-3.5Ag-0.7Cu$ در دو حالت سردکردن سریع و آهسته ۳۷
- شکل ۳۱: خواص خزشی چند آلیاژ عاری از سرب در مقایسه با آلیاژ معیار $Sn-40Pb$ در دمای (الف) $25^\circ C$ (ب) $100^\circ C$ ۳۸
- شکل ۳۲: اثر بور بر روی ریز ساختار $Sn-3.5Ag-0.5Cu$ (الف) آلیاژ بدون بور ساختار انجمادی درشت دانه و غیریکنواخت دارد. (ب) آلیاژ حاوی ۰/۵٪ بور ساختار ریزتر و یکنواختی از خود نشان می دهد ۴۳
- شکل ۳۳: تصاویر SEM از آلیاژ $Sn-3.5Ag-XSb$ (الف) $X = 0$ (ب) $X = 1/73$ ۴۴
- $X = 10/05$ (ه) $X = 1/12$ (د) $X = 3/85$ (ج) =

- شکل ۳۳: چرخه هیستریزیس جابجایی برشی بر حسب بار اعمالی برای آلیاژ (الف) $Sn-3.5Ag$ و (ب) $Sn-3.5Ag-XSb$ ۴۵
- شکل ۳۴: منحنی های تنش-کرنش مهندسی در نرخ کرنش های مختلف برای آلیاژ $Sn-3.5Ag-1.5Sb$ در دماهای (الف) $298\ K$ ، (ب) $320\ K$ ، (ج) $340\ K$ ، (د) $370\ K$ و (ه) $400\ K$ ۴۵
- شکل ۳۵: (الف) اتصال $Sn-3.5Ag$ قبل از آزمون خستگی (ب) ترک ماکرو در اتصال $Sn-3.5Ag$ بعد از 50% افت بار (ج) ترک خستگی در نمونه حاوی $3/85\%$ آنتیموان بعد از 50% افت بار (د) ترک ماکرو در نمونه حاوی $3/85\%$ آنتیموان بعد از 50% افت بار در بزرگنمایی بالاتر (ه) ترک خستگی در نمونه حاوی $10/05\%$ آنتیموان بعد از 50% افت بار در بزرگنمایی بالاتر ۴۷
- شکل ۳۶: نوع شکست آلیاژ $Sn-3.5Ag-XSb$ به ازای مقادیر مختلف Sb ۴۷
- شکل ۳۷: اثر اضافه کردن Zn بر خواص کششی آلیاژ $Sn-3.5Ag-XZn$ ۴۹
- شکل ۳۸: اثر اضافه کردن 1% روی بر تغییر شکل خزشی آلیاژ $Sn-3.5Ag$ در $125^\circ C$ ۵۰

چکیده:

در گزارش حاضر به بررسی خواص مکانیکی آلیاژهای پایه قلع-نقره پرداخته شده است. سیستم $Sn-Ag$ جزء اولین دسته لحیم های عاری از سرب است که برای بسته بندی الکترونیکی مورد استفاده قرار گرفته و خواص مکانیکی مطلوبی از خود نشان داده است. به دلیل کاربرد این آلیاژ در اتصالات الکترونیکی رفتار تغییر شکل این آلیاژ ها (از قبیل خزش، خستگی، کشش و...) بسیار حائز اهمیت است. در آلیاژهای پایه قلع-نقره، نقره خواص استحکامی بالاتری را نسبت به آلیاژ $Sn-Pb$ فراهم می آورد و در غیاب سرب مقاومت به خستگی حرارتی این آلیاژ را افزایش می دهد. همچنین نقره هدایت حرارتی و الکتریکی را در این سیستم بهبود می بخشد

مقدمه

سیستم آلیاژی $Sn-Ag$ از جمله مواد زود ذوب هستند که با توجه به خواص مکانیکی مناسب، هدایت الکتریکی خوب و سازگاری با محیط زیست، به عنوان یکی از رایجترین سیستم های جایگزین برای سیستم آلیاژی مرسوم $Sn-Pb$ توسعه یافته و جهت استفاده در بسته بندی های الکترونیکی و اتصالات اجزاء، در مدارهای چاپی کاربرد گسترده ای یافته اند.

نقره خواص استحکامی بالاتری را نسبت به آلیاژ مرسوم $Sn-Pb$ فراهم می آورد اما انعطاف پذیری پایین تری نسبت به سرب دارد و در غیاب سرب مقاومت به خستگی حرارتی این آلیاژ را افزایش می دهد. همچنین نقره هدایت حرارتی و الکتریکی را در این سیستم بهبود می بخشد. با این حال دمای ذوب بالاتر سیستم $Sn-Ag$ و ترشوندگی کمتر آن نسبت به سیستم $Sn-Pb$ و همچنین وجود متغیرهای متعدد حاکم بر رفتار مکانیکی و تغییرشکلی اتصالات لحیمی محققین را به سمت بهبود خواص و کارایی سیستم $Sn-Ag$ به روشهای مختلف از جمله افزودن عناصر آلیاژی از قبیل Cu ، Zn ، Sb و Bi و همچنین استفاده از عملیات حرارتی و مکانیکی جهت ریزکردن و جلوگیری از رشد دانه قلع زمینه و... سوق داده است.

در این سمینار سیستم آلیاژی $Sn-Ag$ معرفی گردیده، کاربردها و خواص مکانیکی به خصوص خواص خزشی این آلیاژ ها تشریح شده و به صورت خلاصه تأثیر عناصر مختلف آلیاژی و عملیات حرارتی بر این خواص بیان می گردد.