

بررسی ساخت تسمه‌های دولایه و سه‌لایه به وسیله

کشش از داخل قالبهای گوه‌ای

دکتر علی کریمی طاهری

دانشکده مهندسی متالورژی - دانشگاه صنعتی شریف

چکیده

قطعات ساخته شده از یک فلز و یا یک آلیاژ همیشه نمی‌توانند کلیه خواص فیزیکی و یا مکانیکی لازم برای شرایط کار را فراهم کنند. از این رو در سالهای اخیر توجه تولید کنندگان و پژوهشگران به سوی ساخت قطعاتی از مواد چندلایه فلزی جلب شده است. قطعات ساخته شده از این مواد در صنایع ساخت ظروف تحت فشار، انرژی هسته‌ای، تاسیسات ساحلی و صنایع هوا فضا، مصرف فراوان دارد.

وجود یک زاویه بهینه را نشان می‌دهد. که در آن نیروی لازم برای کشش، کمترین مقدار خود را دارا است.

برای ساخت تسمه‌های دولایه و سه لایه فلزی، روشهای مختلفی به کار می‌رود که هرچند تسمه دو لایه و یا سه لایه مرغوب تامین می‌کنند، اما هزینه بالا، تکنولوژی پیچیده و مشکلاتی که در تولید ظاهر می‌شوند، بیشتر آن روشها را نامناسب می‌سازد.

پیشگفتار

در سالهای اخیر، ساخت قطعات از مواد چندلایه فلزی، توجه صنایع مختلف راه خود جلب کرده است. این توجه به دلیل این است که در این مواد، به عنوان مثال یک فلز (یک لایه) ممکن است به علت داشتن استحکام با لایه کاررود و فلزات دیگر (لایه های دیگر) به علت توانایی خوب هدایت حرارتی و یا الکتریکی و یا مقاومت در برابر سایش و تشعشعات رادیواکتیو مورد استفاده قرار گیرد. قطعات ساخته شده از مواد چند لایه در صنایع متعددی کاربرد دارند. به عنوان مثال در صنایع شیمیایی ورقهای دولایه (دولایه) در ساخت ظروف شیمیایی و ظروف تحت فشار به کار می‌روند. در کاربردهای انرژی هسته‌ای، میله‌های سوخت از جنس اورانیم به وسیله آلومینیم و یا فولاد ضدزنگ و یا زیرکالوی پوشش می‌شوند و در صنعت اندازه‌گیری حرارت از تسمه‌های دولایه برای ساخت ترموستات استفاده می‌شود. روشهای مختلفی برای ساخت تسمه‌های دولایه و سه‌لایه فلزی به کار می‌رود. از جمله می‌توان از اتصال نفوذی (۶)

در این طرح، ساخت تسمه‌های دولایه و سه لایه فلزی، به وسیله یک روش ساده و کم هزینه، یعنی به وسیله فرآیند کشش سرد از داخل قالب گوه‌ای (۱) بررسی می‌شود. نمونه‌هایی از جنس $Al/M.S.$ (۲) و $Al/Cu/Al$ (۳) به‌ساز آماده سازی سطح از درون قالبهای بازوایی متفاوت کشیده می‌شوند و اثر زاویه قالب و کاهش سطح مقطع نسبی کل بر تنش کششی، مقدار تغییر شکل هر یک از تسمه‌ها در تسمه دولایه و یا سه لایه، و تشکیل جوش سرد بین تسمه‌ها مطالعه می‌شود. استحکام جوش سرد ایجاد شده به وسیله آزمایش پوست‌کنند (۴)، استاندارد (۵) ASTM [۸]، اندازه‌گیری می‌شود و مکانیزم ایجاد آن با توجه به مشاهدات میکروسکوپی و اطلاعات به دست آمده از تغییر شکل هر یک از تسمه‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرد.

نتایج آزمایشها مبین آن است که ساخت تسمه‌های دولایه و سه لایه به وسیله کشش سرد از داخل قالب گوه‌ای نیاز به یک تغییر شکل آستانه دارد. و تغییرات تنش کششی

(1) Wedge Shaped die

(۲) فولاد کم کربن / آلومینیم

(۳) آلومینیم / مس / آلومینیم

(4) Peeling

(۵) اعداد داخل کروشه شماره فهرست منبع است.

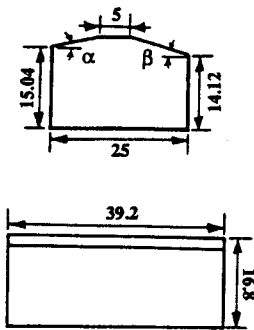
(6) diffusion bonding

مقدار n و C برای فلز تسمه‌ها چنین محاسبه شده است .

جنس، تسمه	C Kg/mm ²	n
آلومینیوم	21	0.3
مس	41.6	0.2
فولاد کم کربن	62	0.26

جدول ۱ - مقادیر C و n برای فلز تسمه‌های آزمایش شده

تسمه‌های دولایه و سه لایه با ترتیب $Al/M.S.$ و $Al/Cu/Al$ که در ابتدا هیچ اتصالی بین تسمه‌ها وجود نداشت، آماده سازی شده است و از درون قالب‌های گوه‌ای با ابعاد شکل ۱، به وسیله دستگاه کشش، کشیده شده است. مقدار کاهش نسبی سطح مقطع مورد نظر با دورو نزدیک کردن نیم قالبها، که به کمک یک پیچ انجام می‌شود، به دست آمده است. شکل ۲، نیم قالبها را در داخل نگهدارنده قالب نشان می‌دهد.



شکل ۱: ابعاد یک نیم قالب گوه‌ای کشش تسمه به میلی‌متر

نیم قالب‌های به کار رفته دارای نیم زاویه‌ای ورودی به شرح جدول زیر بوده‌اند .

α^0	5	10	15	20	25
β^0	2.5	7.5	12.5	17.5	22.5

جدول ۱

متالورژی پورد، ریخته‌گری، نورد داغ، اکستروژن، زینترکردن، رسوب دادن (۱)، پاشیدن فلز پلاسما (۲)، و جوشکاری انفجاری (۳)، نام برد. باید دانست که در روش‌های نامبرده، علی‌رغم اینکه یک تسمه دو لایه و یا سه لایه مرغوب به دست می‌آید، هزینه بالا، تکنولوژی پیچیده، و مشکلات تولید باعث نامناسب ساختن اکثر آنها می‌شود. از جمله مشکلات، ناسازگاری جنس فلز لایه‌ها با یکدیگر و در بعضی موارد تشکیل ترکیبات بین فلزی ترد و شکننده در سطح مشترک لایه‌ها است.

در این مقاله، ساخت تسمه‌های دولایه و سه لایه فلزی، به وسیله یک روش ساده و کم هزینه، یعنی به وسیله کشش از داخل قالب گوه‌ای بررسی می‌شود. به این ترتیب که دو و یا سه تسمه از فلزات مورد نظر در شرایطی خاص با هم و توأم به صورت یک تسمه دو لایه و یا سه لایه (بدون اتصال) از داخل قالب گوه‌ای در حالت سرد کشیده می‌شوند. در اثر تغییر شکل تسمه‌ها، در سطح مشترکشان جوش سرد پدید می‌آید و بعد از خروج از قالب به صورت یک تسمه دو لایه و یا سه لایه متصل ظاهر می‌شوند.

بدیهی است که استحکام جوش سرد بین لایه‌ها به شرایط تغییر شکل از قبیل جنس تسمه‌ها، تاریخچه متالورژیکی تسمه‌ها پیش از کشش، زاویه قالب، مقدار تغییر شکل هر تسمه، شرایط اصطکاکی بین تسمه‌ها با یکدیگر و تسمه‌ها و قالب و ... بستگی دارد. عوامل بالا از لحاظ نظری و عملی بررسی شده‌اند. در این مقاله نتایج آزمایش آورده می‌شود و در مقاله دیگری که در دست تهیه است، نظریه ارائه شده، و مقایسه آن با نتایج آزمایش خواهد آمد.

مواد مصرفی و روش ساخت تسمه‌های دولایه و یا سه لایه

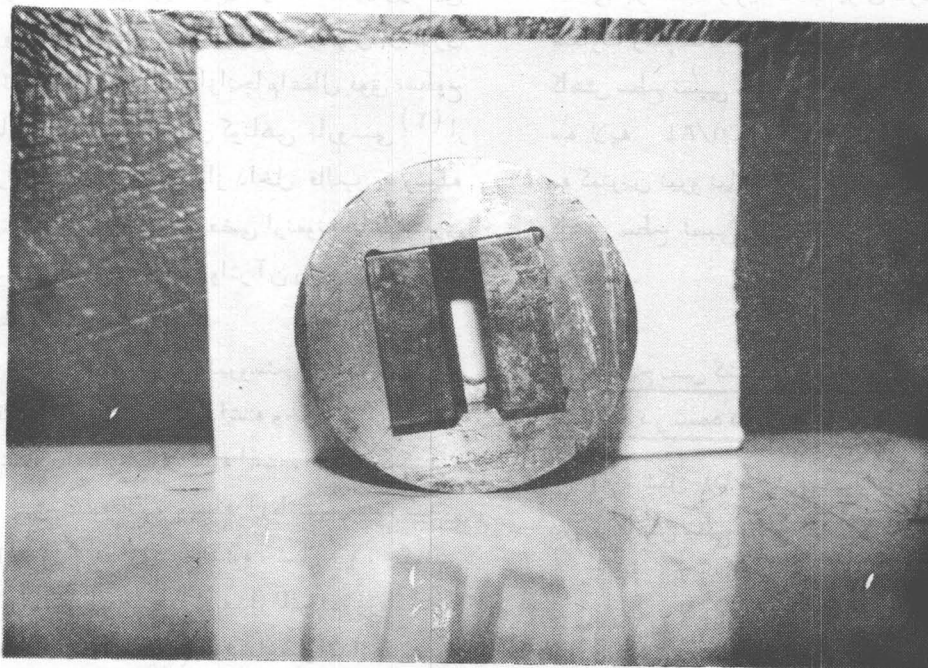
مواد مصرفی، تسمه‌های از جنس آلومینیوم (با خلوص تجارتي)، فولاد کم کربن (M.S.) و مس (با خلوص تجارتي) بوده است. پهنای همه تسمه‌ها ۲۵/۴ میلیمتر و ضخامت تسمه‌های Al برابر با ۱/۳ میلیمتر، تسمه‌های M.S. برابر با ۳ میلیمتر و تسمه‌های Cu برابر با یک میلیمتر بوده است. با در نظر گرفتن رابطه تنش بر حسب کرنش به صورت $\sigma = C \epsilon^n$ برای فلز کلیه تسمه‌ها و انجام آزمایش فشار تحت کرنش صفحه‌ای (۴)

(1) deposition

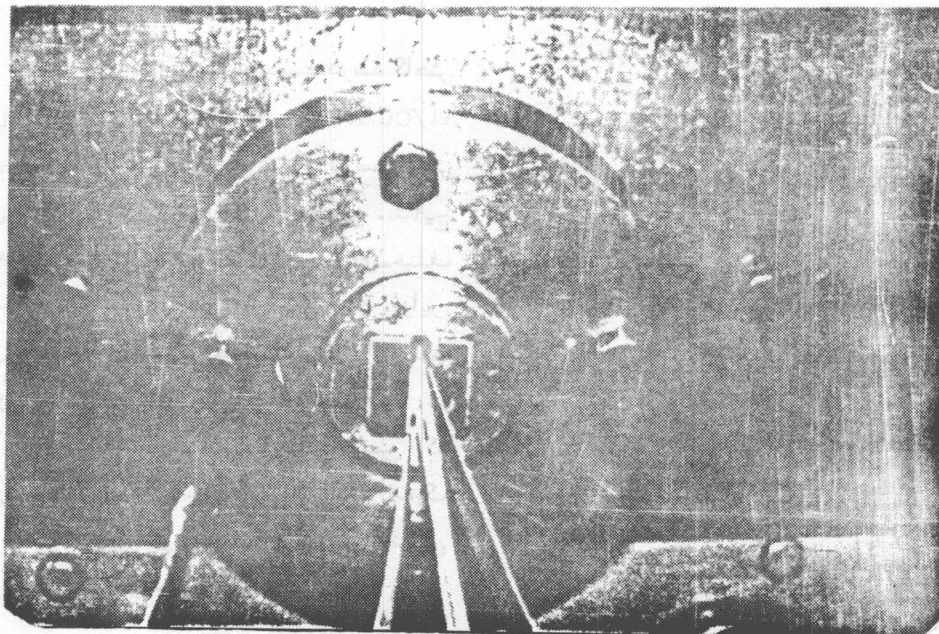
(2) plasma spraying

(3) Explosive welding

(4) plane strain compression test



شکل ۲: نگهدار قالب و قالبها در داخل آن



شکل ۳: ساخت تسمه سه لایه به وسیله کشش از داخل قالب گوه ای

مقاله (۱)

(2) Lubricant

در شکل ۷ با استفاده از شکل ۴، تغییرات تنش کششی برحسب زاویه قالب برای درصد کاهش سطح نسبی متفاوت رسم شده است. با توجه به این شکل برای یک مقدار کاهش سطح نسبی معین، زاویه بهینه‌ای وجود که کشش تسمه سه لایه $Al/Cu/Al$ از داخل قالب دارای این زاویه، به کمترین نیرو نیاز دارد. نکته دیگر آنکه با افزایش درصد کاهش سطح نسبی کل، مقدار این زاویه بهینه نیز افزایش می‌یابد.

ب) نتایج تنش کششی و درصد کاهش سطح مقطع نسبی هر تسمه در تسمه دو لایه

شکل ۸، منحنی تغییرات تنش کششی را برحسب درصد کاهش سطح مقطع نسبی کل برای تسمه دو لایه $Al/M.S.$ نشان می‌دهد، و در آن مانند منحنی تنش کششی تسمه سه لایه، با افزایش درصد کاهش سطح مقطع نسبی کل، مقدار تنش کششی افزایش می‌یابد.

آماده سازی تسمه‌ها عبارت بوده است از ساخت دنباله‌چه^(۱) به وسیله ماشین نورد برای هر تسمه، گریس زدایی سطوح آنها به وسیله محلول تتراکلرورکربن و سپس برسکاری سطوح مشترک آنها قبل از کشش و بعد از انجام اعمال فوق، سطوح تسمه‌های در تماس با قالب در زمان کوتاهی باروغنی^(۲) از جنس گریس گرافیتی آغشته شده و از داخل قالب به وسیله ماشین کشش، کشیده شده است. در بعضی از نمونه‌ها برسکاری قبل از گریس زدایی انجام شده است و اثر آن روی ایجاد جوش سرد بین تسمه‌ها بررسی شده است.

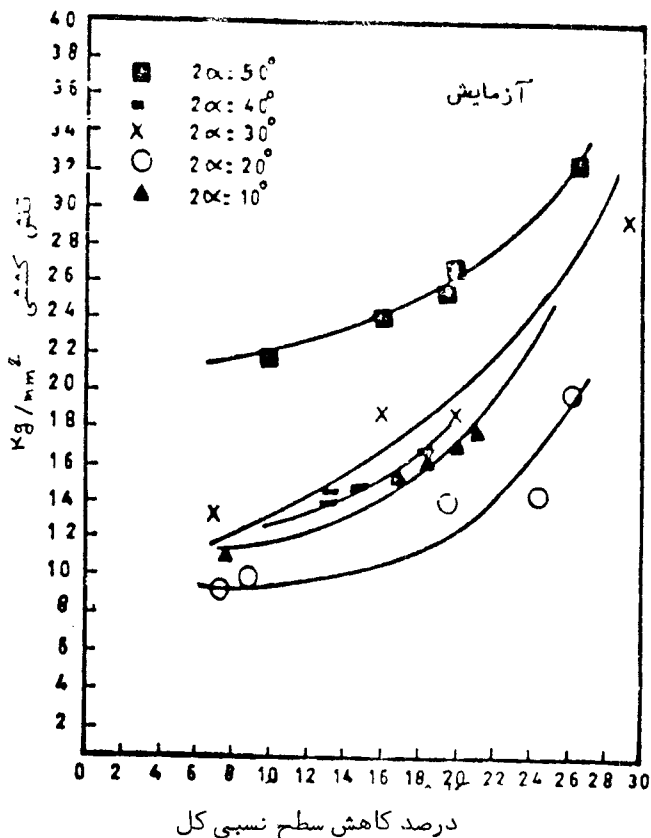
نیروی کشش به وسیله یک نیروسنج الکتریکی کالیبره شده که در بین قالب و میز کشش قرار داشته و خروجی آن بر روی یک ثبات رسم شده، اندازه‌گیری شده است. بعد از هر کشش، استحکام جوش بین تسمه‌ها به وسیله آزمایش پوست کندن استاندارد ASTM [A8] اندازه‌گیری شده. شکل ۱۰، چگونگی انجام آزمایش را نشان می‌دهد. بعد از انجام آزمایش، ضخامت هر تسمه با دقت $\frac{1}{100}$ میلی‌متر اندازه‌گیری شده شکل ۳، عمل کشش یک تسمه سه لایه را بدون اتصال از داخل قالب گوه‌ای نشان می‌دهد.

نتایج آزمایش

الف) نتایج تنش کششی و درصد کاهش نسبی سطح مقطع هر تسمه در تسمه سه لایه

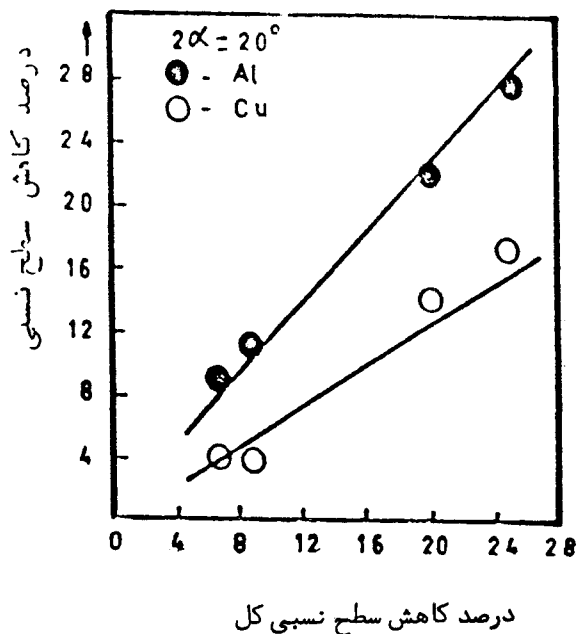
شکل ۴، تغییرات تنش کششی برحسب درصد کاهش سطح مقطع نسبی کل را برای تسمه سه لایه $Al/Cu/Al$ نشان می‌دهد. با توجه به این شکل، با ازدیاد درصد کاهش سطح مقطع نسبی، مقدار تنش کششی افزایش می‌یابد. نتایج آزمایش‌ها نشان دهنده آن است که تسمه‌های از جنس‌های مختلف بعد از عبور از قالب به یک اندازه تغییر شکل نمی‌یابند و از این رو درصد کاهش سطح مقطع نسبی متفاوتی دارند. این نکته در شکل‌های ۵ و ۶ به عنوان مثال نشان داده شده است. در این شکل‌ها چون ضخامت ابتدایی تسمه‌های آلومینیمی (که تسمه مسی را در بر گرفته‌اند) یکسان بوده اند بعد از کشش به یک اندازه تغییر شکل داده‌اند. و از این رو نتایج کاهش سطح نسبی یکی از تسمه‌های آلومینیمی در شکل‌ها آورده شده است.

(۱) دنباله‌چه (Tag) هر تسمه قسمتی از تسمه است که در داخل فک کششی قرار می‌گیرد.

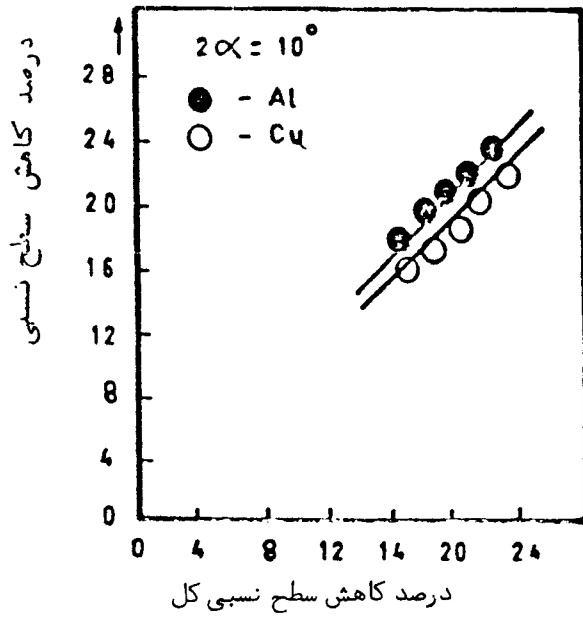


Al/Cu/Al

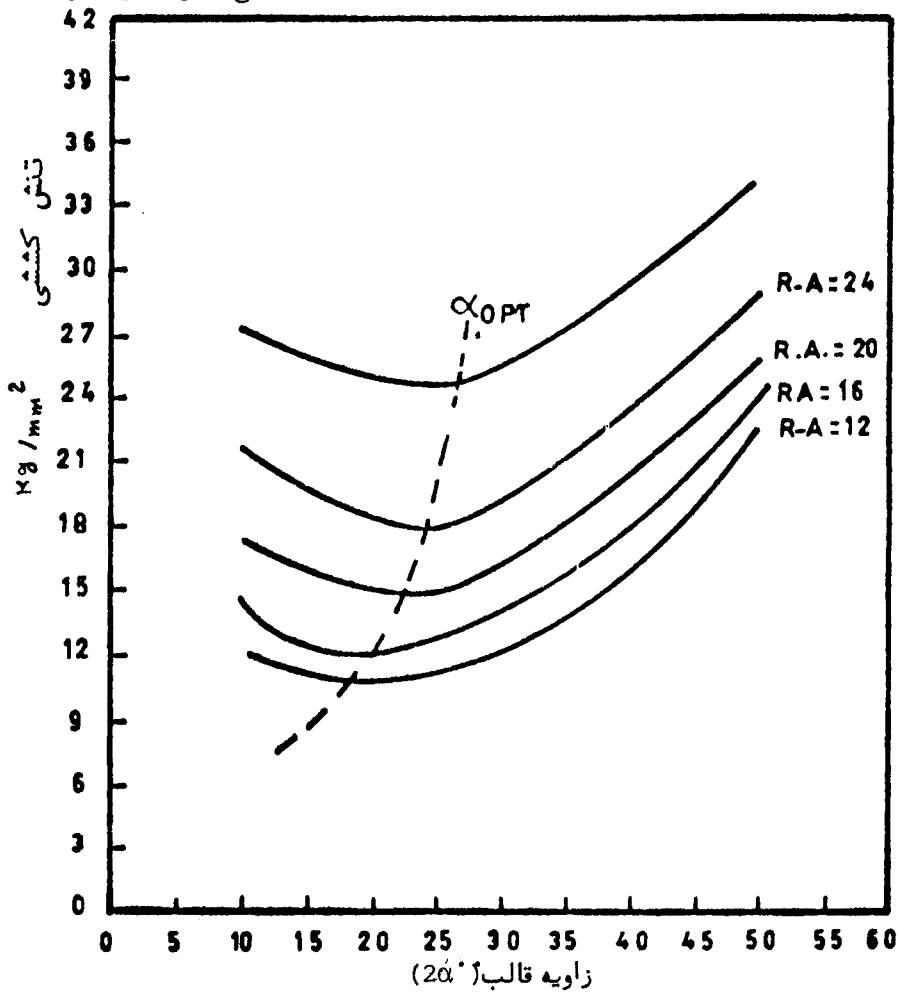
شکل ۴: تغییرات تنش کششی برحسب درصد کاهش سطح نسبی کل برای تسمه های سه لایه



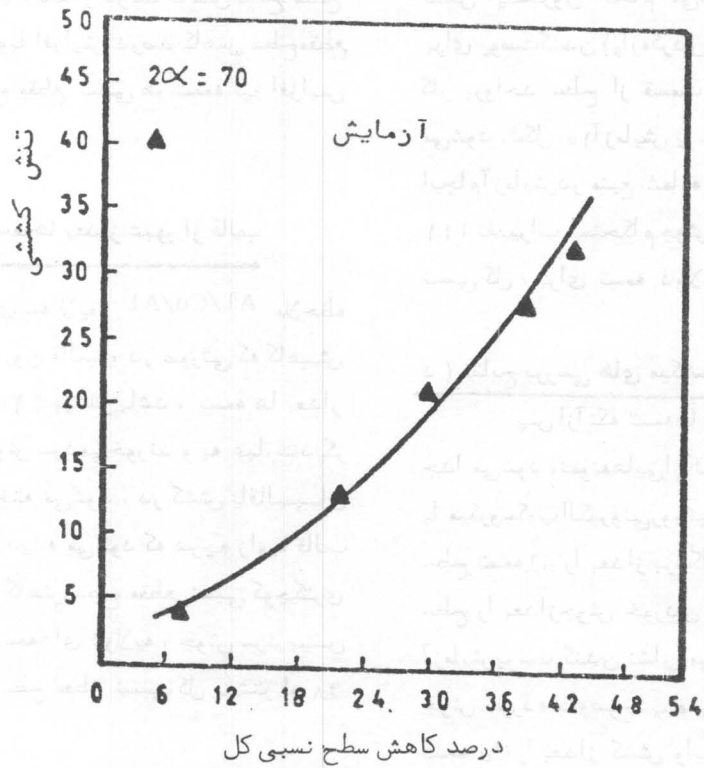
شکل ۵: منحنی تغییرات درصد کاهش سطح نسبی هر تسمه برحسب درصد کاهش سطح نسبی کل برای نمونه های Al/Cu/Al



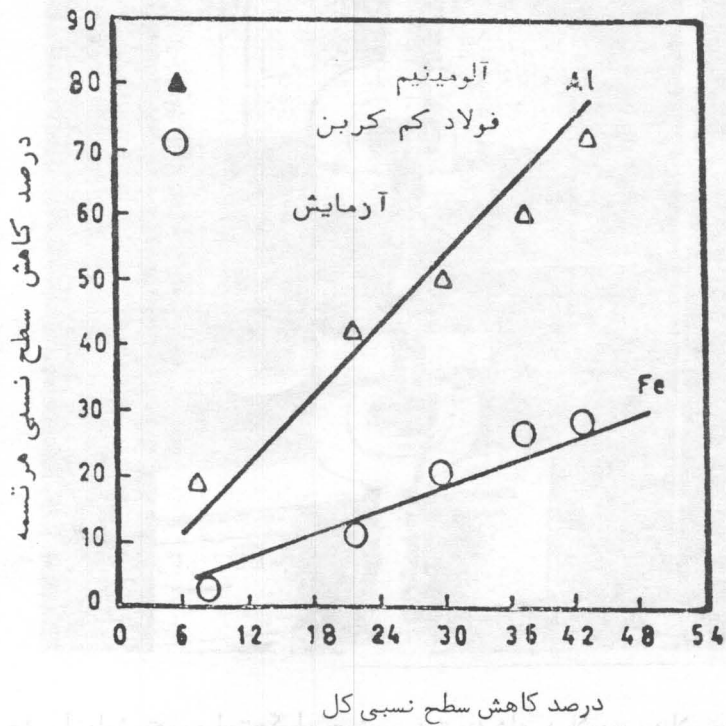
شکل ۶: منحنی تغییرات درصد کاهش سطح نسبی هر تسمه بر حسب درصد کاهش سطح نسبی کل برای نمونه‌های Al/Cu/Al



شکل ۷: تغییرات تنش کششی بر حسب زاویه قالب برای تسمه سه لایه Al/Cu/Al



شکل ۸: تغییرات تنش کششی برحسب درصد کاهش سطح نسبی کل برای تسمه دو لایه Al/M.S.



شکل ۹: تغییرات درصد کاهش سطح نسبی هر تسمه برحسب درصد کاهش سطح نسبی کل برای تسمه دو لایه Al/M.S.

کشش اینسترون انجام می‌شود به این ترتیب که انرژی لازم برای پوست‌کنند (پاره‌کردن جوش سرد بین تسمه‌ها) برحسب کار برواحد سطح از قسمت رشد یکنواخت ترک اندازه‌گیری می‌شود. شکل ۱۰ آزمایش پوست‌کنند را نشان می‌دهد و روش انجام آزمایش در منبع شماره ۸ به تفصیل آمده است. در شکل ۱۱، تغییرات استحکام جوش برحسب درصد کاهش سطح مقطع نسبی کل، برای تسمه دولایه Al/M.S. ارائه شده است.

د) نتایج بررسی‌های میکروسکوپی

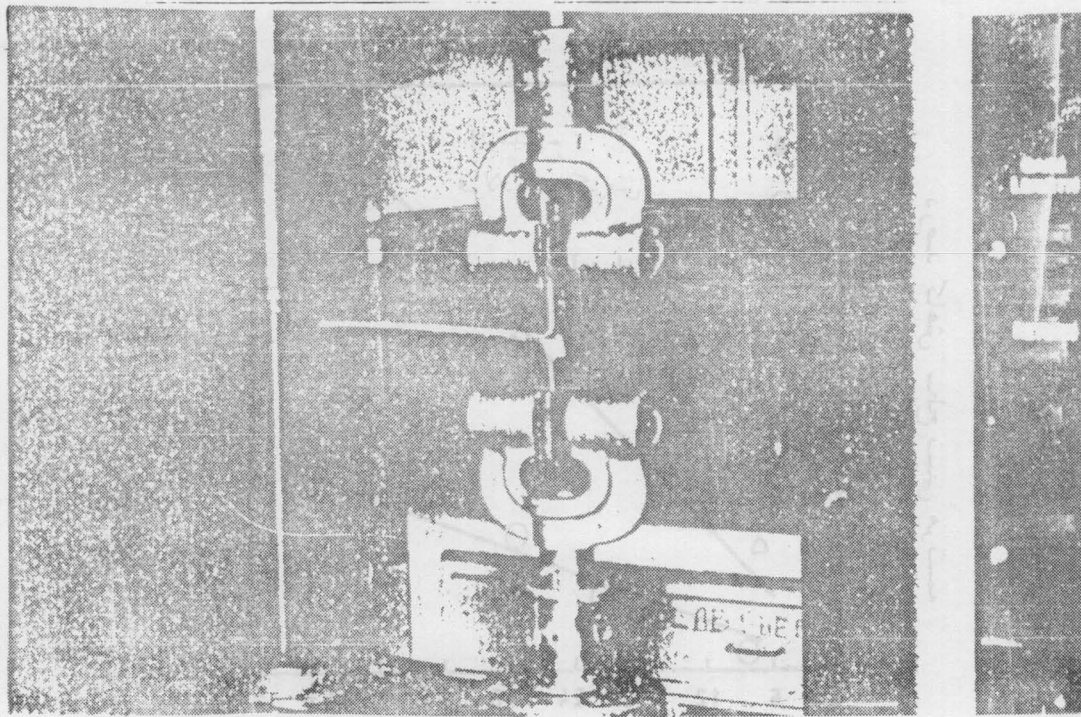
پس از آنکه تسمه‌ها با آزمایش پوست‌کنند از یکدیگر جدا می‌شود، نمونه‌هایی از آنها تهیه و سطح جوش پاره شده آنها با میکروسکوپ الکترونی روبشی (۱) بررسی می‌شود. شکل ۱۳، سطح تسمه Al را بعد از برسکاری و قبل از کشش و شکل ۱۴، آن سطح را بعد از جوش خوردن و سپس پاره کردن جوش به وسیله آزمایش پوست‌کنند نشان می‌دهد. در این شکل، مناطق جوش خورده به وضوح دیده می‌شود. شکل ۱۲، سطح نمونه تسمه Cu را بعد از کشش و ایجاد جوش سرد دارای استحکام کم و سپس پاره کردن جوش نشان می‌دهد.

با توجه به شکل ۹، مقدار درصد کاهش سطح مقطع نسبی تسمه‌های یکسان نیست و با افزایش درصد کاهش سطح مقطع نسبی کل، مقدار کاهش سطح مقطع نسبی هر تسمه نیز افزایش می‌یابد.

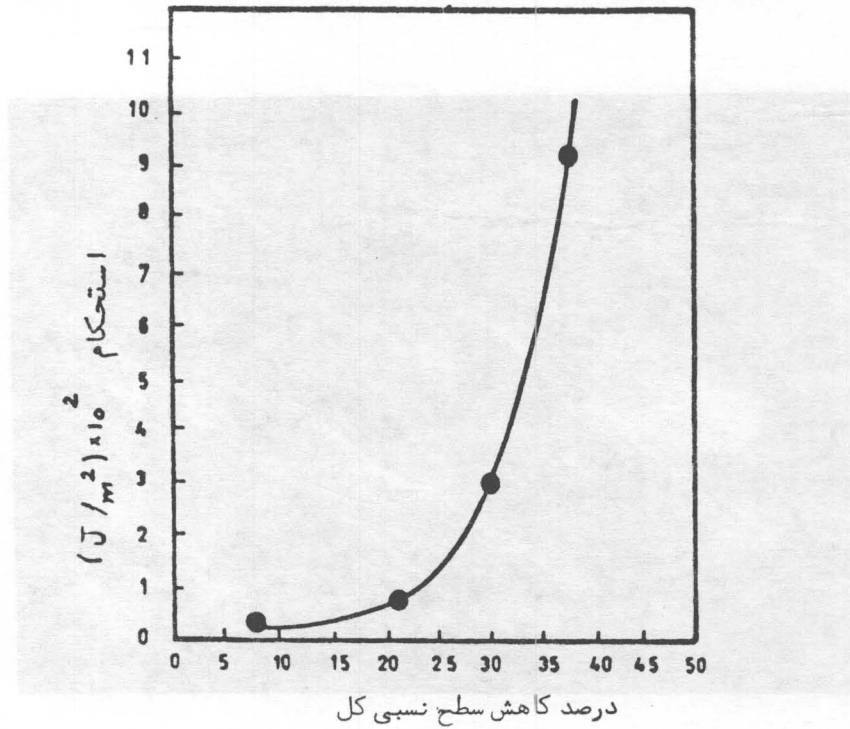
ج) نتایج جوش سرد بین تسمه‌ها بعد از عبور از قالب

در مورد تسمه‌های سه لایه Al/Cu/Al ملاحظه می‌شود که بعد از کشش از درون قالب، در صورتی که کاهش سطح مقطع نسبی کل از ۲۰٪ بیشتر باشد، تسمه‌ها بعد از عبور از قالب به یکدیگر جوش سرد می‌خورند و به عبارت دیگر تسمه‌ها سه لایه متصل ساخته می‌شود. در کشش با قالب‌های دارای زاویه‌های متفاوت، دیده می‌شود که هرچه زاویه قالب بیشتر شود، جوش سرد در کاهش سطح مقطع نسبی کوچکتری به وجود می‌آید. در مورد تسمه‌های دولایه، جوش سرد بین تسمه‌ها در مقادیر کاهش سطح مقطع نسبی کل بیشتر از ۸٪ پدید می‌آید.

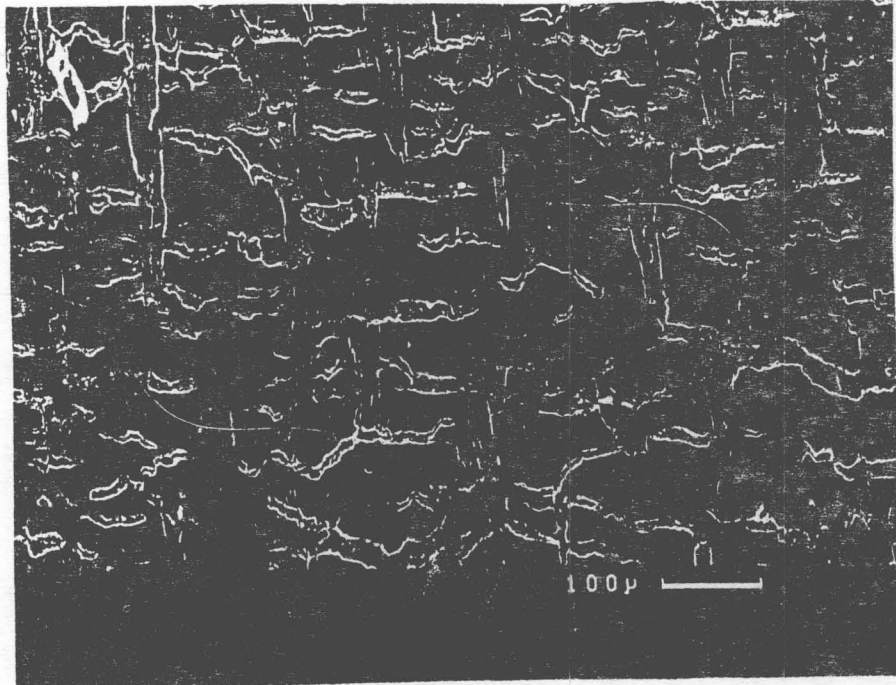
تعیین استحکام جوش سرد بین تسمه‌ها به وسیله آزمایش پوست‌کنند استاندارد ASTM [۸] و به کمک ماشین



شکل ۱۰: آزمایش تعیین استحکام جوش سرد تسمه‌های دولایه و سه لایه

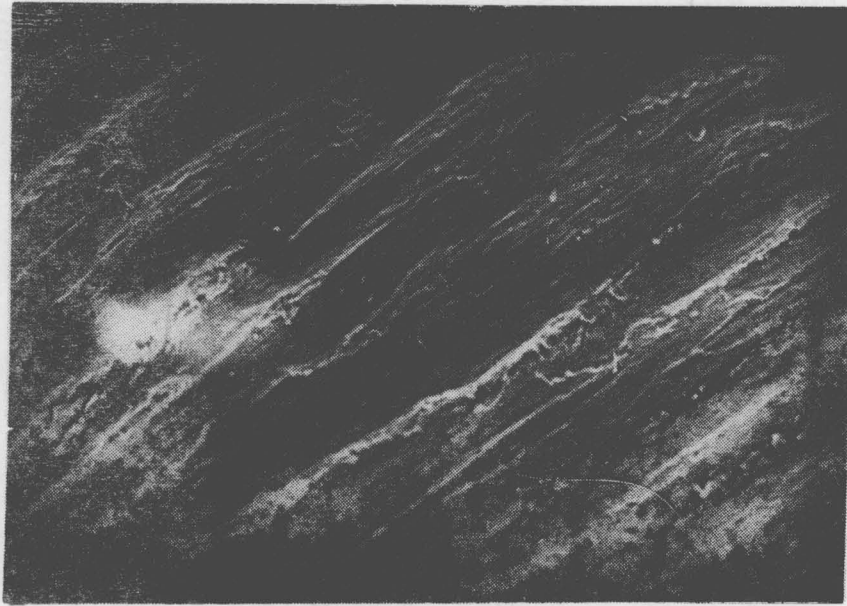


شکل ۱۱: تغییرات استحکام جوش سرد تسمه دو لایه Al/M.S. برحسب درصد کاهش سطح نسبی کل



شکل ۱۲: عکس میکروسکوپی سطح تسمه Cu بعد از کشش، نشان دهنده ترکهای ایجاد شده در حین کشش جهت ایجاد جوش سرد (بزرگنمایی ۱۲۱)

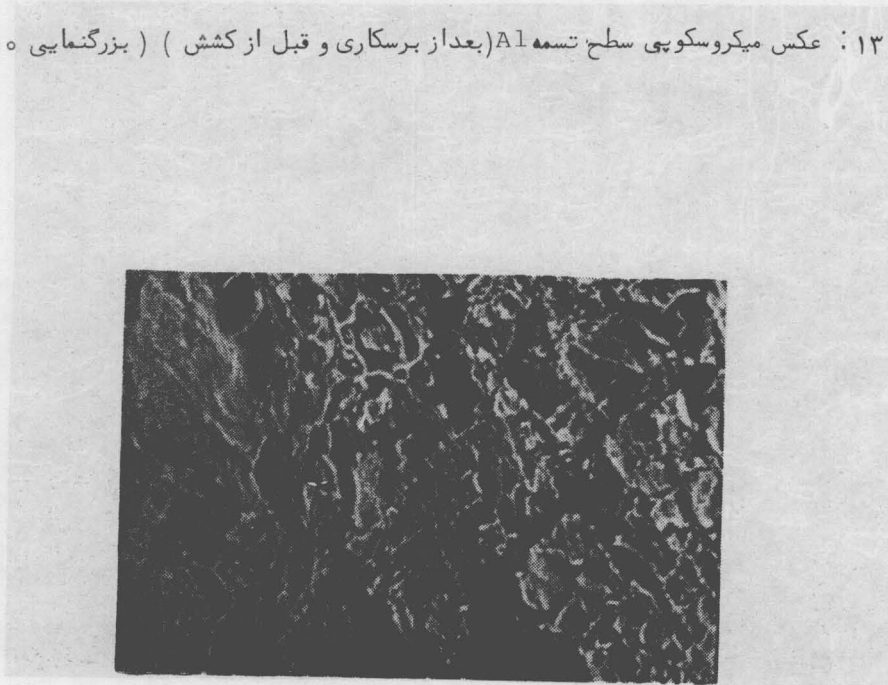
کمی استحکام جوش به علت کم بودن کاهش سطح نسبی کل بوده است. ترک های روی سطح این نمونه قابل توجه است. این ترکها پیش از کشش وجود نداشته اند.



رنگ رویت و بعد از کشش

رنگ رویت و بعد از کشش در تست بر اساس استاندارد ASTM ۲۱۱-۷۰

شکل ۱۳: عکس میکروسکوپی سطح تسمه A1 (بعد از برسکاری و قبل از کشش) (بزرگنمایی ۲۰۰)



تسمه رشته ریبند با مشخصات از استاندارد ASTM ۲۱۱-۷۰، رشته (تسمه) در تست و بعد از کشش در تست: ۲۱۱-۷۰

(۲۱۱-۷۰) (بزرگنمایی ۵۰۰)

شکل ۱۴: عکس میکروسکوپی سطح تسمه A1 بعد از کشش و ایجاد جوش سرد و سپس انجام آزمایش پوست کندن

استاندارد ASTM (بزرگنمایی ۵۰۰)

تسمه رشته ریبند با مشخصات از استاندارد ASTM ۲۱۱-۷۰، رشته (تسمه) در تست و بعد از کشش در تست: ۲۱۱-۷۰

بحث و نتیجه گیری

توجه به اینکه هرچه زاویه قالب بزرگتر می شود ، اختلاف بین تغییر شکل فلز نرم و سخت بیشتر می شود بنابراین حرکت نسبی بین دو تسمه در زوایای بزرگتر ، افزایش می یابد و در نتیجه امکان جوش سرد بین آنها بیشتر می شود .

باید دانست که استحکام جوش سرد تنها به شکسته شدن اکسیدها و ایجاد فلز تازه بستگی ندارد بلکه یک جوش سرد با استحکام بالا نیاز به مقدار تغییر شکل قابل توجه در هر دو فلز نرم و سخت دارد [۱۳ - ۱۵] . مطلب بالا را نیز نتایج آزمایشهای این پژوهش تایید می کند زیرا همان طور که در شکل ۱۱ نشان داده شده است با افزایش مقدار درصد کاهش سطح مقطع نسبی کل ، سرعت افزایش استحکام جوش بسیار سریع می شود و جوش با استحکام قابل توجه در کاهش سطح نسبی کل حدود ۳۷ درصد به وجود می آید . با توجه به شکل ۹ به ازای این مقدار کاهش سطح نسبی کل ، هر دو فلز نرم و سخت به مقدار قابل ملاحظه ای تغییر شکل یافته اند .

سپاسگزاری

در پایان باید از مسئولان دفتر معاونت پژوهشی دانشگاه صنعتی شریف ، برای فراهم کردن هزینه های پروژه ، و از مسئولان آزمایشگاههای دانشکده مهندسی متالورژی آن دانشگاه ، برای آماده ساختن وسایل آزمایش تشکر کنم .

با توجه به نتایج آزمایش ، ساخت تسمه های دو لایه و سه لایه به وسیله کشش از داخل قالب گوه ای امکان پذیر است و این ساخت نیاز به یک تغییر شکل آستانه دارد که در کمتر از آن تسمه ها به یکدیگر جوش نمی خورند و مقدار این تغییر شکل با ازدیاد زاویه قالب کم می شود . شکل ۱۱ ، تغییر شکل آستانه را برای ساخت یک تسمه دو لایه $Al/M.S.$ به خوبی نشان می دهد . همان طور که از این شکل برمی آید در تغییر شکل کمتر از ۸٪ ، جوش سرد بین تسمه ها به وجود نمی آید ولی با افزایش مقدار تغییر شکل ، استحکام جوش سرد به سرعت افزایش می یابد .

پژوهشگران برای مکانیزم جوش سرد ، نظریه های گوناگونی ارائه کرده اند که اکثر آنها شکسته شدن اکسیدهای سطح فلز و ترک برداشتن سطوح مشترک و ظاهر شدن فلز تازه (۱) داخل ترک را دلیل ایجاد جوش سرد دانسته اند [۷ - ۱] . بررسیهای میکروسکوپی این پژوهش نیز این موضوع را تایید می کند . همان طور که در شکل ۱۲ دیده می شود ، در اثر کشش از درون قالب ، در سطح مشترک تسمه ها ترکیبایی پدید می آید . برسکاری سطح که خود باعث ایجاد یک لایه کارسخت شده در سطوح مشترک تسمه ها می شود به ایجاد این ترکیب کمک می کند . در اثر پیدایش این ترکیب ، سطح تازه ای که دارای فلز بدون اکسید است به وجود می آید سطوح نامبرده در اثر تماس با یکدیگر و تحت فشار قالب باهم ایجاد اتصال می کنند و در نتیجه جوش سرد حاصل می شود (شکل ۱۴) . با توجه به این مطالب ، می توان انتظار داشت که هر عاملی که باعث تسریع در پیدایش ترکها شود به ایجاد جوش سرد کمک کند . به عنوان مثال گزارش شده است که حرکت سطوح مشترک در هنگام تغییر شکل ، نسبت به یکدیگر ، باعث شکسته شدن اکسیدهای سطح می شود و به عبارت دیگر به پیدایش فلز تازه و در نتیجه به ایجاد جوش سرد کمک می کند [۹] . نتایج این پژوهش نیز این موضوع را تایید می کند . زیرا همان طور که از شکل های ۵ ، ۶ ، ۹ برمی آید ، تسمه های تشکیل دهنده یک تسمه سه لایه و یا دو لایه در حین عبور از قالب به اندازه های متفاوت تغییر شکل می یابند و بنابراین نسبت به هم ، حرکت دارند . با

فهرست منابع :

- 1- "New developnent in the cold welding of ductile metals", wire 31, (5), 234-235, Sept/Oct. 1981
- 2- R.C. Pendrous "The cold pressure welding of Metals" Ph.D. thesis, The University of leeds, England, 1980
- 3- R.F. Tylcote "Investigation on pressure welding", Brit-Weld.J., 117-135, 1954
- 4- H. Kudo, K.Nakamura, M.Tsubouchi, y Matsumoto, Yokohama National University, Proc.Conf .Advanced Technology of Plasticity, 1987
- 5- N.Bay "Cold pressure welding process; characteristics, Bonding Mechanisms and Surface Treatment Methods", Denmark Tekinske Hojskole, Srejsning 15, (1), 4-8 Jan.1988
- 6- R.Clernik "Cold welding of AL+AL and AL+cu conductors used in powerdistribution systems"., 35, (6), 185-188, June 1986
- 7- T.Nakamura, k Kondo, "Effect of plastic deformation and temperature on solid state bonding" J.Jpn. Soc. Technol. Plast., 28, (302), 1150-1157, Nov, 1987
- 8- ASTM D1876-72 (Reapproved 1978), 22, 1980
- 9- A.Praks Investigation and practical experience in cold pressure welding with displacement" Latvian State University Proc, Conf. Jom3int, Conf. of Metals, Helsingor, Denmark, 19-22 Dec. 1986
- 10- M.G. Nicholas and D.R. Milner "Roll Bonding of Aluminium", Brit Weld.J., 9, 469-475 , 1962
- 11- T.Tabata, S, Nasaki, K.Azekura Bond criterion in cold pressure welding of Aluminium" J.Jpn. Soc. Technol. Plast., 27, (303) , 521-525 Apr. 1988.
- 12- D. Malamkovic, "The Welding of Aluminium to Steel and Copper", Zis Mitt, 30, (3) 269-275, March 1988
- 13- I.Knan "Cold pressure welding when Joining contact wires", Wire World Int., 29, (3), 63-65, May-June 1987