

شبیه سازی و تحلیل کشش عمیق TWB

ابوالفضل معصومی

استادیار گروه مهندسی مکانیک - دانشکده فنی - دانشگاه تهران

کارن ابری نیا

استادیار گروه مهندسی مکانیک - دانشکده فنی - دانشگاه تهران

مسعود تائبی

فارغ التحصل کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک - دانشکده فنی - دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت ۸۲/۱۲/۵، تاریخ دریافت روایت اصلاح شده ۸۴/۱/۳۰، تاریخ تصویب ۸۴/۲/۳)

چکیده

با افزایش روز افزون مصرف قطعات TWB^۱ در صنعت خودرو سازی، درک رفتار شکل پذیری آنها برای بدست آوردن محصولاتی با کیفیت بالا از این نوع ورقهای مرکب در فرایندهای شکل دهی، به ویژه فرایند کشش عمیق نیز اهمیت بیشتری می یابد. به این منظور در این تحقیق، فرایند کشش عمیق بلنکهایی از نوع TWB که از ترکیبهای ضخامتی مختلف تشکیل شده اند و دارای موقعیتهای مختلف خط جوش اند و نیز بلنکههای ساده اجزای پایه آنها، برای ایجاد قطعه ای مربع شکل با ابعاد مشخص به کمک نرم افزار Autoform شبیه سازی شده است و وضعیت توزیع کرنش در TWB و اجزای آن و نیز حد اکثر نیروی لازم برای شکل دهی TWB با ترکیبهای مختلف ضخامتی با یکدیگر مقایسه شده است که به این وسیله به طور ضمنی حداکثر نسبت ضخامت دو بلنک برای شکل دهی ایمن قابل استخراج خواهد بود. همچنین چگونگی تاثیر بیدهای کشش^۲ دایره ای با شکلها و وضعیتهای مختلف قرارگیری آنها در بخش کم مقاومت بلنک، بر جابجایی خط جوش و توزیع کرنش و نیروی لازم برای شکل دهی این نوع بلنکهها مورد بررسی قرار گرفته است.

واژه های کلیدی: کشش عمیق، TWB، توزیع کرنش، جابجایی خط جوش، نیروی شکل دهی

مقدمه

است ولی به دلیل ضعفهایی که دارد هیچگاه به عنوان جایگزین کامل فولاد برای استفاده در بدنه خودرو مطرح نبوده است. ضعف اصلی آن قیمت زیاد آن است، نقطه جوش کردن آن نیاز به کنترل دقیق زمان و جریان جوشکاری دارد، استحکام، شکل پذیری و خاصیت جذب انرژی آن نسبت به فولاد در حد پایین تری قرار دارد و نسبت به آسیب های وارده به سطح آن در حمل و نقل حساس است و فقط به دلیل کمی وزن آن که مهمترین مزیت آن است در بعضی از بخشهای بیرونی بدنه خودرو به کار می رود. اخیراً پلاستیکها نیز به مواد خودرو اضافه شده اند، ولی برای استفاده در ساختار شاسی مناسب نیستند و نسبت به فولادهای کم کربن، کم استحکام اند، به طوریکه با استحکام ترین پلیمرهای موجود دارای استحکام غشائی به اندازه کم استحکام ترین فولادها است، مقاومت به فرورفتگی و استحکام برشی و جذب انرژی آنها نسبت به فولاد در حد پایین تری قرار دارد، هزینه

از زمان عرضه خودرو تاکنون مهندسان تلاش کرده اند تا بهترین و مناسب ترین مواد را برای تولید اجزای مختلف خودرو یافته و مورد استفاده قرار دهند. با وجود ابداع مواد جدید، این سؤال مطرح می شود که مناسب ترین ماده برای ساخت شاسی و بدنه خودرو چیست؟ معیارهای متعددی در تشخیص بهترین ماده وجود دارد که از میان آنها ایمنی، قابلیت استفاده مجدد، قابلیت بازیافت و نیز ظرفیتهای تولید معیارهای اصلی به شمار می روند. می توان ثابت کرد که فولاد هنوز بهترین ماده برای ساخت شاسی و بدنه خارجی خودرو است، هر چند مواد دیگر با آن به رقابت برخاسته اند. در ساخت بدنه خودرو مواد مختلفی می تواند به کار رود که فولاد، آلیاژهای آلومینیم، پلاستیک و کامپوزیت از آن جمله است. هنگامی که از آلیاژ آلومینیم در بدنه خودرو استفاده می شود، هدف کاهش وزن خودرو است زیرا آلومینیم دارای نسبت زیاد استحکام به وزن

در روش ابداعی جایگزین، ورقهای فلزی که از نظر شکل یا خواص متفاوتند به یکدیگر جوش داده می شوند (اغلب جوش پیوسته) تا بلنکی که آن را TWB نامیدیم بدست آید. این بلنک بوسیله پرس شکل گرفته و تبدیل به یکی از قطعات تشکیل دهنده بدنه می شود. نام TWB از آنجا گرفته شده که طراح قادرست شکل یا خواص اجزای بلنک را با توجه به ویژگیهایی که از قطعه نهایی انتظار دارد تعیین نماید.

مزایای TWB

استفاده از این نوع بلنکها مزیت‌های زیادی را به همراه دارد. از جمله آنها:

- بهبود تکران‌های بدنه به دلیل استفاده از جوش پیوسته به جای نقطه جوش در اتصال اجزای بلنک
- افزایش ایمنی در تصادف به دلیل توانایی در جذب انرژی بیشتر
- بهبود مقاومت به خوردگی به دلیل کم عرض بودن ناحیه متأثر از حرارت جوشکاری (HAZ)^۴ در جوش لیزر نسبت به دیگر فرایندهای جوشکاری
- توسعه پتانسیل طراحی برای مهندسان محصول
- کاهش تعداد قطعات به کار رفته در بدنه
- کاهش هزینه قالبها و ابزار تولید بدنه مثل جیگها و فیکسچرها
- کاهش هزینه های انبار داری و حمل و نقل قطعات
- کاهش هزینه های پرسنلی و تولیدی
- کاهش وزن خودرو و به دنبال آن کاهش مصرف سوخت

این موضوع از آنجا که دوره حاضر دوره توجه خاص به مسائل محیط زیست است، اهمیت بسیاری دارد. کاهش یک درصد از وزن خودرو به کاهش شش دهم تا یک درصد مصرف سوخت می انجامد.

محدودیت‌های TWB

در مقابل مزایای بیان شده، محدودیت‌هایی نیز در تولید و شکل دهی این نوع بلنکها نمایان می گردد. شکننده بودن ساختار مارتنزیتی جوش و کاهش استحکام در HAZ در مقایسه با نواحی جوشکاری نشده ورق و نیز تحمل قسمت عمده تغییر شکل توسط بخش کم ضخامت

مونتاژشان بالاست زیرا مثل فولادها قابل جوشکاری نیستند و تولیدشان به دلیل نوع ماشین آلات مورد استفاده گران است. پلاستیکها حتی اگر قابل بازیافت باشند قابل استفاده مجدد نیستند. اخیراً کامپوزیت‌های پیشرفته با استحکام و دوام بیشتر در مقایسه با موادی نظیر فولاد، آلیاژهای آلومینیم و پلاستیک تولید شده و خودروی کامپوزیتی با وزن و مصرف سوخت بسیار کم طراحی شده است ولی به دلیل گرانی مواد و روش ساخت آنها، به تولید انبوه نرسیده است.

در ساختار بدنه خودرو، فولاد دارای بیشترین کاربرد است و در ساخت اجزای شاسی از فولاد کم کربن نورد سرد شده استفاده می شود. خاصیت مکانیکی فولاد از دیگر فلزات نظیر آلومینیم و نیز پلیمر برتر است، از این رو ایمنی محصول نهایی با استفاده از آن بهبود می یابد. خاصیت جذب انرژی عالی فولاد به دلیل ویژگی سخت شونده و استحکام زیاد آن در خمش باعث کاهش جراحات بوجود آمده در تصادفها می شود. حتی جدیدترین آلیاژهای آلومینیم، استحکامی بسیار کمتر از فولادها دارند و پلیمرها در برخوردهای شدید خاصیت جذب انرژی ضعیفی دارند. هزینه تعمیر پس از تصادف نیز در پلاستیکها زیاد است. بر اساس این اطلاعات، فولاد بهترین انتخاب برای ساخت شاسی و بدنه خارجی خودرو است.

تلاش مهندسين برای بهره گیری بهتر از مزیت‌های فولاد به یک راه مبتکرانه یعنی استفاده از تکنولوژی TWB در ساخت قطعات بدنه خودرو منتهی شده و از این طریق مزایای بسیاری بدست آمده است.

معرفی TWB

TWB ورق فلزی مرکبی است که از جوش دادن ورقهای فلزی که از نظر جنس، پوشش یا ضخامت متفاوتند بدست می آید. فرایند جوشکاری برای اتصال اجزای این ورق می تواند مقاومتی نوردی، پرتو الکترونی، القایی با فرکانس زیاد یا لیزر باشد که اغلب از جوشکاری لیزر به دلیل ظاهر و کیفیت بهتر آن استفاده می شود. بطور مثال در صنعت خودرو سازی روش مرسوم برای ساخت بدنه آن است که قطعات آن که به طور جداگانه بوسیله پرسکاری تولید شده اند بوسیله نقطه جوش^۳ به یکدیگر اتصال داده می شوند تا بدنه ای با مقاومت مکانیکی لازم در بخشهای مختلف آن حاصل شود. ولی

کرنش در فرایند کشش عمیق TWB به قطعه ای مربع شکل با ابعاد معین تعیین گردد. در میان عوامل متعدد اثرگذار، تاثیر عواملی نظیر موقعیت اولیه جوش توسط چوئی [۲] و ابعاد کلی بیدهای کشش توسط موهو [۳] در مراکز تحقیقاتی مورد بررسی قرار گرفته است و در این پژوهش، علاوه بر تاثیر موقعیت اولیه خط جوش، تاثیر عواملی نظیر ابعاد بیدهای کشش دایره ای به تفکیک ارتفاع و شعاع و نیز موقعیت قرارگیری آنها مورد بررسی قرار گرفته اند و جهت انجام این بررسی اقدام به مدل سازی مناسب برای TWB و ابزار شکل دهی آن شده و فرایند کشش عمیق به کمک نرم افزار AUTOFORM بر اساس روش عددی المان محدود و با در نظر گرفتن اثر آنیزوتروپی در بلنک شده است و برای تایید نتایج محاسبات، نتایج بعضی از محاسبات قبلی توسط دیگران نیز آورده شده است.

شبه سازی عددی با روش المان محدود

در میان روشهای مختلف تحلیل شکل دهی فلزات، روش المان محدود انتخاب و مورد استفاده قرار گرفته است. روش المان محدود در مقایسه با روش هایی چون میدان خطوط لغزش و تکنیک های حد بالا و حد پایین، برای حل مسائلی با شرایط مرزی، اولیه و هندسه پیچیده روشی تواناست و از این نظر نسبت به روش های دیگر عددی همچون اختلاف محدود نیز برتری دارد.

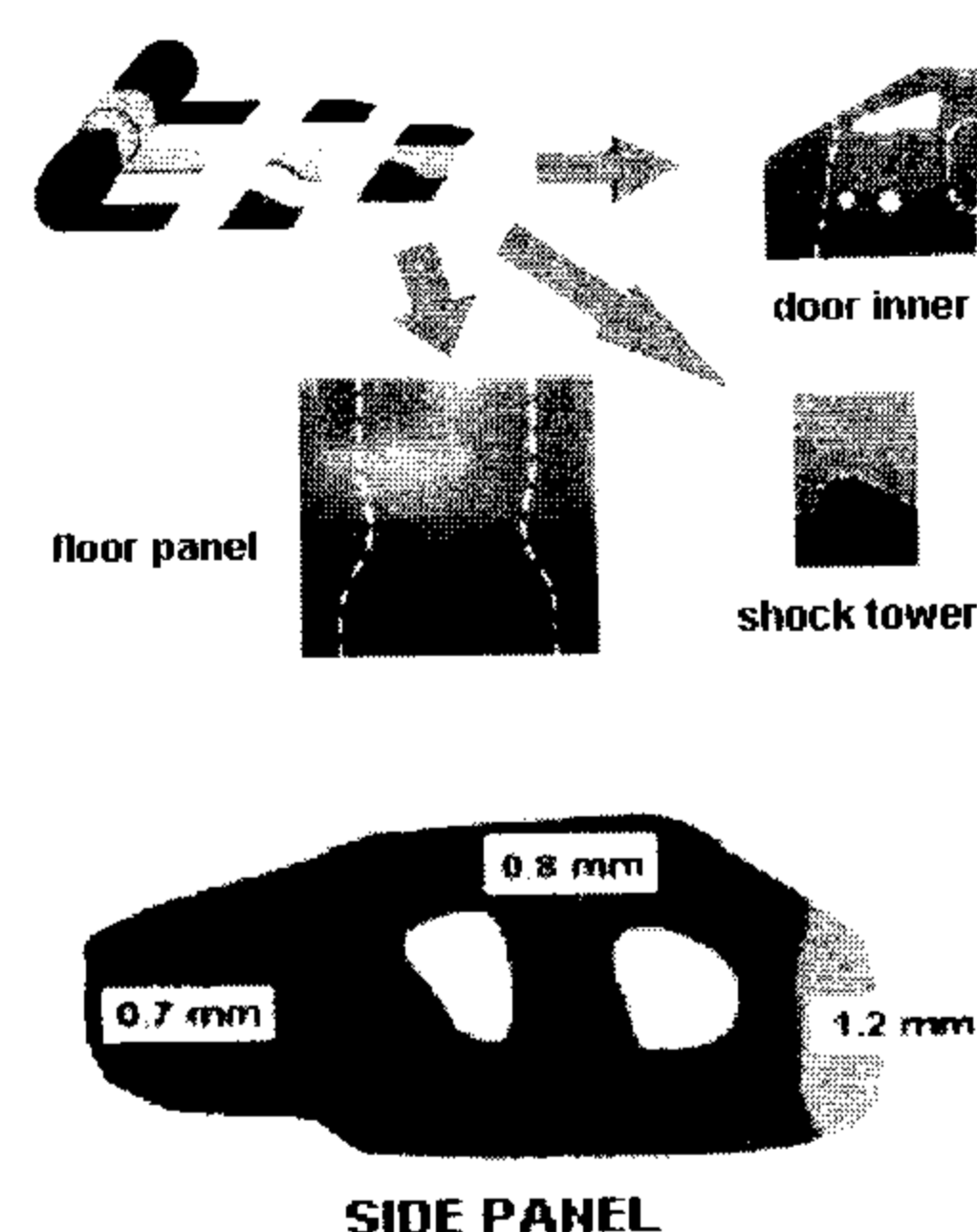
نرم افزار شبه سازی عددی به کار گرفته شده در این پژوهش AUTOFORM نام دارد. در این نرم افزار از قانون سخت شوندگی ایزوتروپیک هولومون^۶، اصطکاک کولومب^۷، معیار تسلیم آنیزوتروپیک درجه دوم هیل^۸ و قانون جریان مرتبط آن و رفتار ماده الاستیک - پلاستیک استفاده شده و بلنک با المانهای غشائی با تنش صفحه ای مش بندی می شود. مش بندی از نوع لاگرانژی بوده و از روش ضمنی برای حل استفاده می شود.

برای شبه سازی فرایند نیاز به مدل سازی هندسی، انتخاب المان مناسب، تعیین شرایط مرزی و بارگذاری است. مدل هندسی شامل ورق، ورقگیر، سمبه و قالب است. پس از طراحی سمبه در نرم افزار CAD و انتقال آن به AUTOFORM از بخش طراح قالب^۹ این نرم افزار استفاده شده و قالب طراحی شده است. برای مدل

بلنک باعث شده تا شکل پذیری TWB نسبت به بخشهای تشکیل دهنده آن در حد پایین تری قرار گیرد. جابجا شدن خط جوش در طی فرایند شکل دهی خود موضوعی دردسر آفرین است. جوشکاری لیزر که پرکاربردترین فرایند جوشکاری برای تولید TWB است خود فرایندی گران است.

با وجود این محدودیتها، از TWB در هر جا که مزایای آن از معایبش بیشتر باشد به طور گسترده استفاده می شود. پیش بینی می شود که در سال ۲۰۰۵ تعداد قطعات ساخته شده با TWB به ۹۰ میلیون عدد برسد. اکنون TWB توسط بسیاری از شرکتهای خودروسازی نظیر جنرال موتورز، آ- او - دی، بی - ام - و، تویوتا، فورد و پژو برای تولید قطعات ساده تا پیچیده به کار گرفته می شود.

گفته می شود که TWB برای اولین بار در اوایل دهه ۸۰ میلادی توسط شرکت معروف آلمانی تولید ورقهای فلزی - تیسن^۵ - به کار برده شده است [۱]. این شرکت برای رفع محدودیت عرضی کویلهای ورق، از این تکنولوژی برای تولید ورق مورد نیاز برای بخش زیرین بدنه آ - او - دی ۸۰ استفاده کرد که این خود تسریع کننده ای برای استفاده بیشتر از TWB و تکامل فرایند تولید بلنکهای پیشرفته برای ساخت خودروهای امروزی شد. بخشهایی از بدنه خودرو که از TWB برای ساخت آن استفاده می شود در شکل (۱) مشاهده می شود:



شکل ۱: استفاده از TWB در بدنه خودرو.

شرح پژوهش

در این پژوهش سعی شده است میزان تاثیر بعضی عوامل بر جابجایی خط جوش و وضعیت پخش

$$\frac{d\varepsilon_x}{(G+H)\nabla_x - H\nabla_y} = \frac{d\varepsilon_y}{(G+H)\nabla_y - H\nabla_x} = \frac{d\gamma_{xy}}{N\tau_{xy}} = d\lambda \quad (3)$$

رابطه سخت شوندگی هولومون مورد استفاده قرار گرفته که به صورت زیر است:

$$\bar{\nabla} = K\varepsilon^n \quad (4)$$

و $\bar{\nabla}$ و ε در آن با توجه به روابط (۵) و (۶) بدست می آیند:

$$\bar{\nabla} = \frac{1}{\sqrt{G+H}} [(F+G)\nabla_y^2 + (G+H)\nabla_x^2 - 2H\nabla_x\nabla_y + 2N\tau_{xy}^2]^{1/2} \quad (5)$$

$$\bar{\varepsilon} = \sqrt{\frac{G+H}{FG+FH+GH}} [(F+H)\varepsilon_x^2 + (G+H)\varepsilon_y^2 + 2H\varepsilon_x\varepsilon_y + 2\frac{(FG+FH+GH)}{N}\gamma_{xy}^2]^{1/2} \quad (6)$$

برای حل مسئله المان محدود به طریق ضمنی باید در هر گام تعادل برقرار بماند [۸]. معادله تعادل به صورت زیر است:

$$\{\varphi(\{d\delta\})\} = [B]^T \{\nabla\} FS - \{P\} = 0 \quad (7)$$

این معادله با روش نیوتن - رافسون قابل حل است. با فرض مقدار $\{d\delta\}_i$ که φ را صفر نکند مقدار $\{\Delta d\delta\}_{i+1}$ از رابطه زیر حاصل می گردد:

$$\{\Delta d\delta\}_{i+1} = \frac{-\varphi(\{d\delta\}_i)}{(d\varphi/d\delta)_i} = -[K]^{-1} \{\varphi\}_i \quad (8)$$

این تکرار تا زمانی که معیار همگرایی زیر برآورده شود ادامه می یابد:

$$\frac{\{\Delta d\delta\}^T \{\Delta d\delta\}}{\{d\delta\}^T \{d\delta\}} \leq \eta \quad (9)$$

در آن هنگام تنش ها و کرنش ها از روابط زیر بدست می آیند:

سازی TWB دو استراتژی وجود دارد، به حساب آوردن جوش و مش کردن آن با توجه به درصد مارتنزیت موجود در آن که در این صورت به مش بندی بسیار ظریف نیاز است و استراتژی دوم صرفنظر کردن از جوش و فقط به حساب آوردن موقعیت جوش است [۴]. هنگامیکه جوش در معرض کرنشهای موضعی بزرگ قرار ندارد و ابعاد HAZ در مقایسه با ابعاد ورق به قدر کافی کوچک است استراتژی دوم می تواند به طور ایمن مورد استفاده قرار گیرد [۵].

در این پژوهش از استراتژی دوم برای مدل سازی ورق استفاده شده است و به اصطلاح جوشکاری عددی^{۱۰} صورت گرفته است. پس از اطمینان از صحت عملکرد سینماتیکی ابزار، خواص ماده و معیارها را به برنامه وارد کرده و برنامه شروع به حل خواهد نمود به این صورت که سببه با گامهای زمانی تعیین شده به داخل قالب حرکت نموده به طوری که در هر گام آرایش و ابعاد المانهای ورق برای افزایش دقت و سرعت محاسبه تغییر می کند که به آن تکنیک شبکه بندی قابل تطبیق^{۱۱} می نامند و کرنش در هر مرحله با انتگرالگیری کرنشها در طی گامهای قبلی به دست می آید.

روابط و معیارها

در مسائل پلاستیستیه نیاز به روابطی است که تنش و نمو کرنش را به یکدیگر مرتبط سازد و از این رو از قانون جریان استفاده شده است [۶-۷]:

$$d\varepsilon_{ij} = \frac{\partial f(\nabla_{ij})}{\partial \nabla_{ij}} d\lambda \quad (1)$$

معیار تسلیم به کار برده شده معیار آنیزوتروپیک درجه دوم هیل است. این معیار به طور گسترده در برنامه های FEM به کار برده می شود. این معیار با فرض تنش صفحه ای به صورت زیر نوشته می شود:

$$2f(\nabla_{ij}) = (F+H)\nabla_y^2 + (G+H)\nabla_x^2 - 2H\nabla_x\nabla_y + 2N\tau_{xy}^2 = 1 \quad (2)$$

قانون جریان در اینجا با توجه به قانون کلی جریان (۱) و معیار تسلیم (۲) به صورت زیر بیان می شود:

آنها خط جوش در سه موقعیت متفاوت $L=0$ و $L=12$ و $L=24$ واقع شده و هر یک از بلنکهای تشکیل دهنده آن با همان ابعاد که در طی همان فرایند شکل گرفته، مورد بررسی قرار گرفته است.

مقایسه وضعیت توزیع کرنش در TWB با ترکیب ضخامتی 0.8×1.2 و اجزای آن در شکل (۳) و TWB با ترکیب 1.2×1.6 و اجزای آن در شکل (۴) و برای TWB با ترکیب 0.8×1.6 در شکل (۵) نمایش داده شده است. با توجه به شکل های (۳) و (۴) کرنش منفی ضخامتی در بخش کم ضخامت TWB در ناحیه زیر سمبه، نسبت به بلنکهای ساده آن که در آن ناحیه کرنشی منفی در حدود صفر داشته اند کاهش یافته است و این نشان دهنده توزیع بهتر کرنش در آن ناحیه برای TWB است. با افزایش فاصله اولیه خط جوش از خط وسط، کرنش منفی ضخامتی در زیر سمبه کاهش بیشتری یافته و در نتیجه توزیع کرنش نیز بهبود یافته است. به طور کلی در تمام تحلیل ها مشاهده میشود که در ناحیه ورقگیر به دلیل جریان ماده از محیط بیشتر به محیط کمتر تنش فشاری منجر به ضخیم شدگی ورق و در ناحیه دیواره و زیر سمبه به دلیل تنش کششی، نازک شدگی (کرنش منفی) در ورق وجود دارد که این نازک شدگی در ناحیه دیواره بیشتر است.

با توجه به شکل (۵)، کرنش منفی ضخامتی در اثر استفاده از TWB در ناحیه زیر سمبه و دیواره بخش کم ضخامت بلنک نسبت به هر دو بلنک ساده تشکیل دهنده آن کاهش یافته است. توزیع کرنش که در بعضی از نواحی زیر سمبه مقادیر منفی در حدود صفر داشته است با استفاده از TWB با موقعیتهای خط جوش گذرنده از مرکز و نیز با فاصله ۱۲ میلی متر از مرکز کاهش یافته و در نتیجه توزیع کرنش در آن ناحیه بهبود یافته است ولی در حالتی با بیشترین انحراف اولیه خط جوش یعنی با فاصله ۲۴ میلی متر از خط مرکز، کاهش بسیار زیاد در کرنش منفی ضخامتی در مجاور خط جوش در ناحیه برخورد خط قطری و خط جوش، شکل پذیری TWB را نسبت به اجزای تشکیل دهنده آن بسیار کاهش داده است. از این رو موقعیت اولیه خط جوش در TWB در تعیین وضعیت شکل پذیری آن بسیار اهمیت دارد.

مقایسه ای بین شکلهای (۳) و (۴) و (۵) نشان می دهد که با افزایش اختلاف ضخامت، کرنشها در ناحیه زیر

$$\{\Delta d\varepsilon\} = [B]\{\Delta d\delta\}$$

$$\{\Delta d\nabla\} = [D_{ep}]\{\Delta d\varepsilon\}$$

$$\{\nabla\}_{i+1} = \{\nabla\}_i + \{\Delta d\nabla\}$$

(۱۰)

نتایج حاصله و بحث

مشخصات ماده مورد استفاده و ابعاد ابزار بشرح:

$$\text{تنش تسلیم} = 150 \text{ Mpa}$$

$$\text{استحکام نهایی} = 284 \text{ Mpa}$$

$$\text{نمای کرنش سختی} = 0/21$$

$$\text{ضریب استحکام} = 510 \text{ Mpa}$$

$$\text{پارامترهای آنیزوتروپی} \quad r_0 = r_{45} = r_{90} = 1/7$$

$$\text{Fld}_0 = -0/35$$

$$\text{ابعاد سمبه} = 80 \times 80 \text{ mm}$$

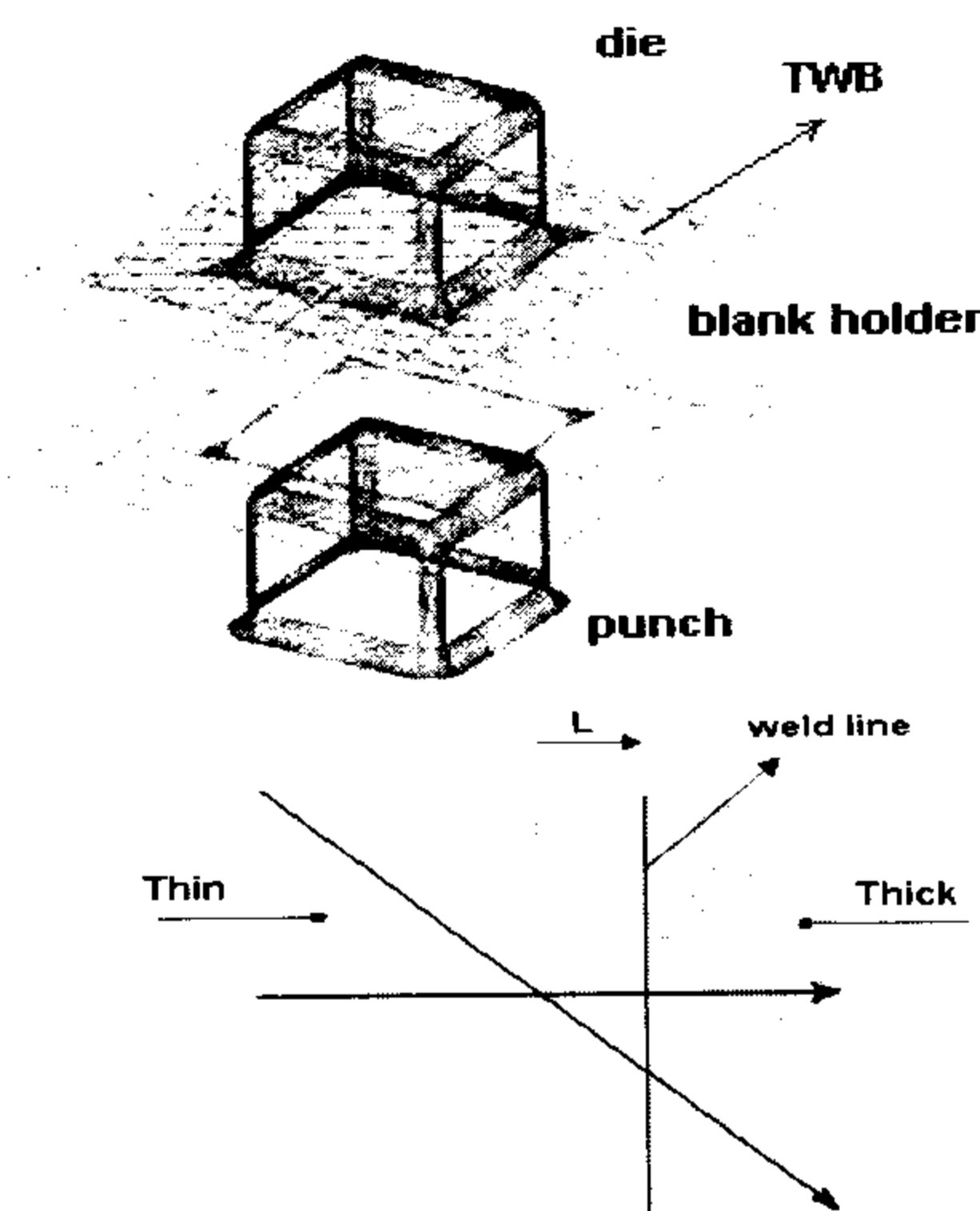
$$\text{شعاع گوشه سمبه و قالب} = 7/5 \text{ mm}$$

$$\text{ابعاد بلنک} = 160 \times 160$$

$$\text{ارتفاع کشش} = 40 \text{ mm}$$

$$\text{ضریب اصطکاک} = 0/1$$

می باشد. همچنین فرم ابزار و ورق در شکل (۲) ارائه شده است.

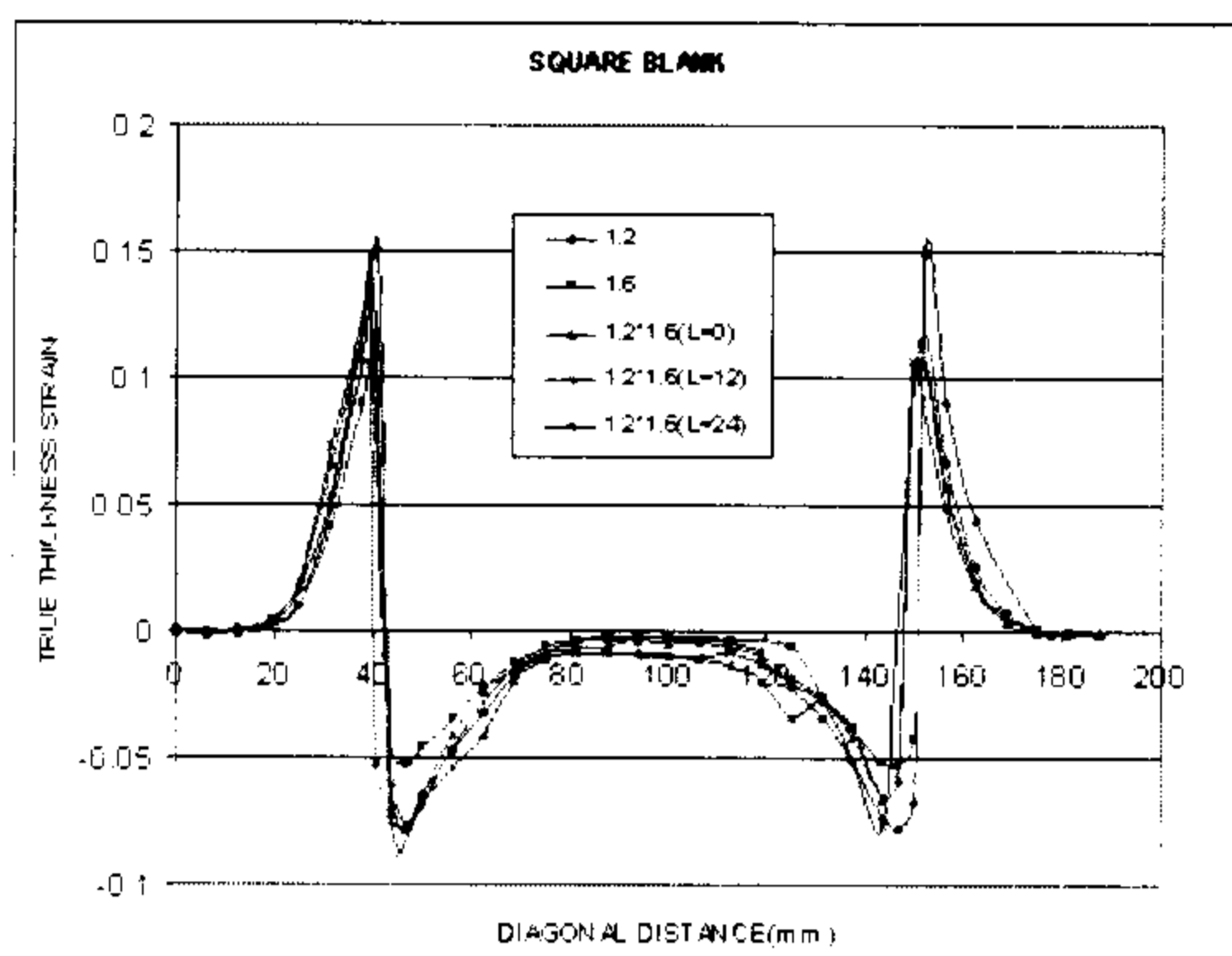


شکل ۲: نمایش مدل شبکه بندی شده ابزار شکل دهی و TWB.

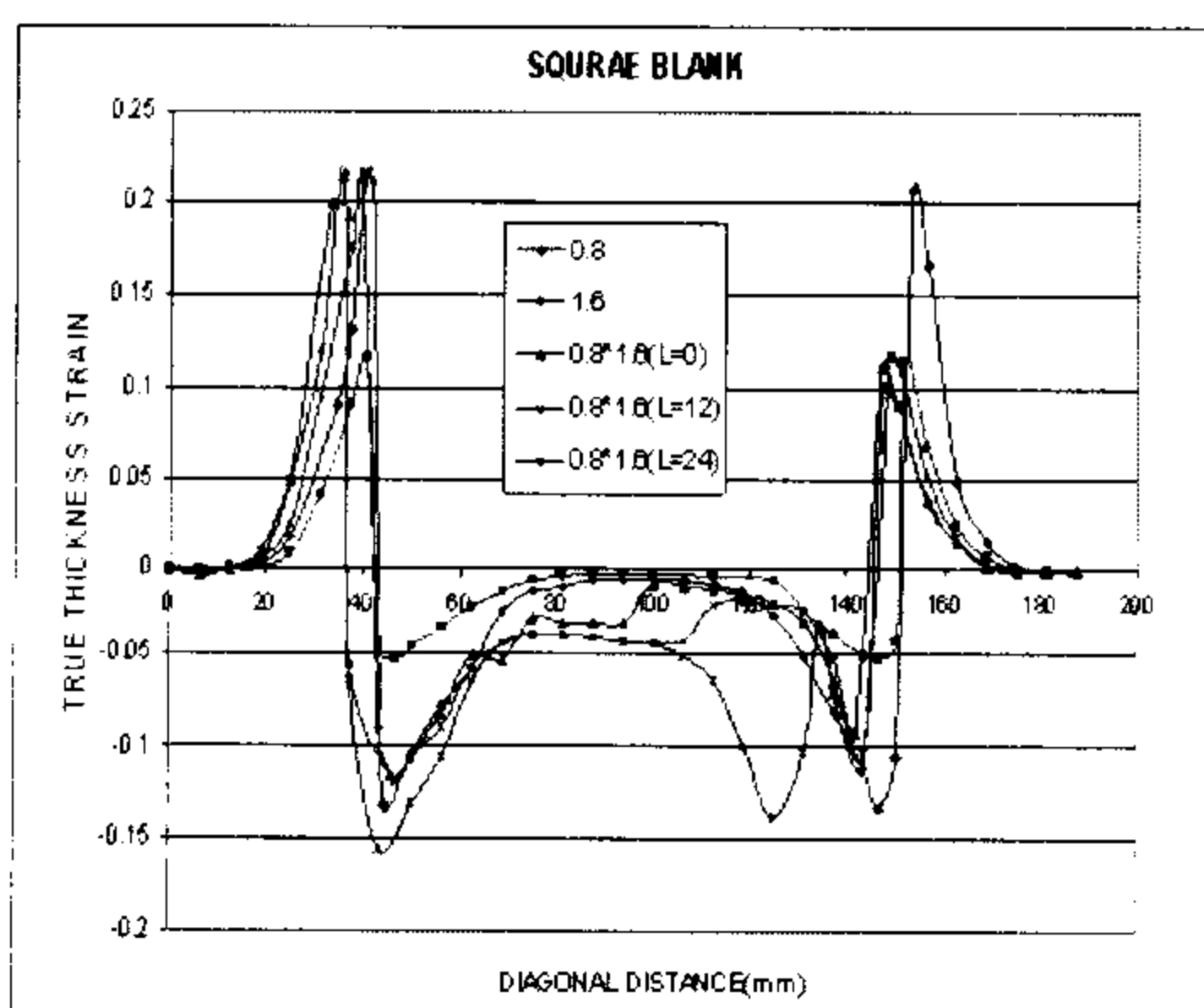
مقایسه وضعیت توزیع کرنش در TWB و اجزای پایه

جهت مقایسه وضعیت شکل پذیری و توزیع کرنش در TWB و اجزای تشکیل دهنده آن، وضعیت توزیع کرنش در سه نوع TWB با ترکیبهای مختلف ضخامتی 0.8×1.2 و 1.2×1.6 و 0.8×1.6 که در هر یک از

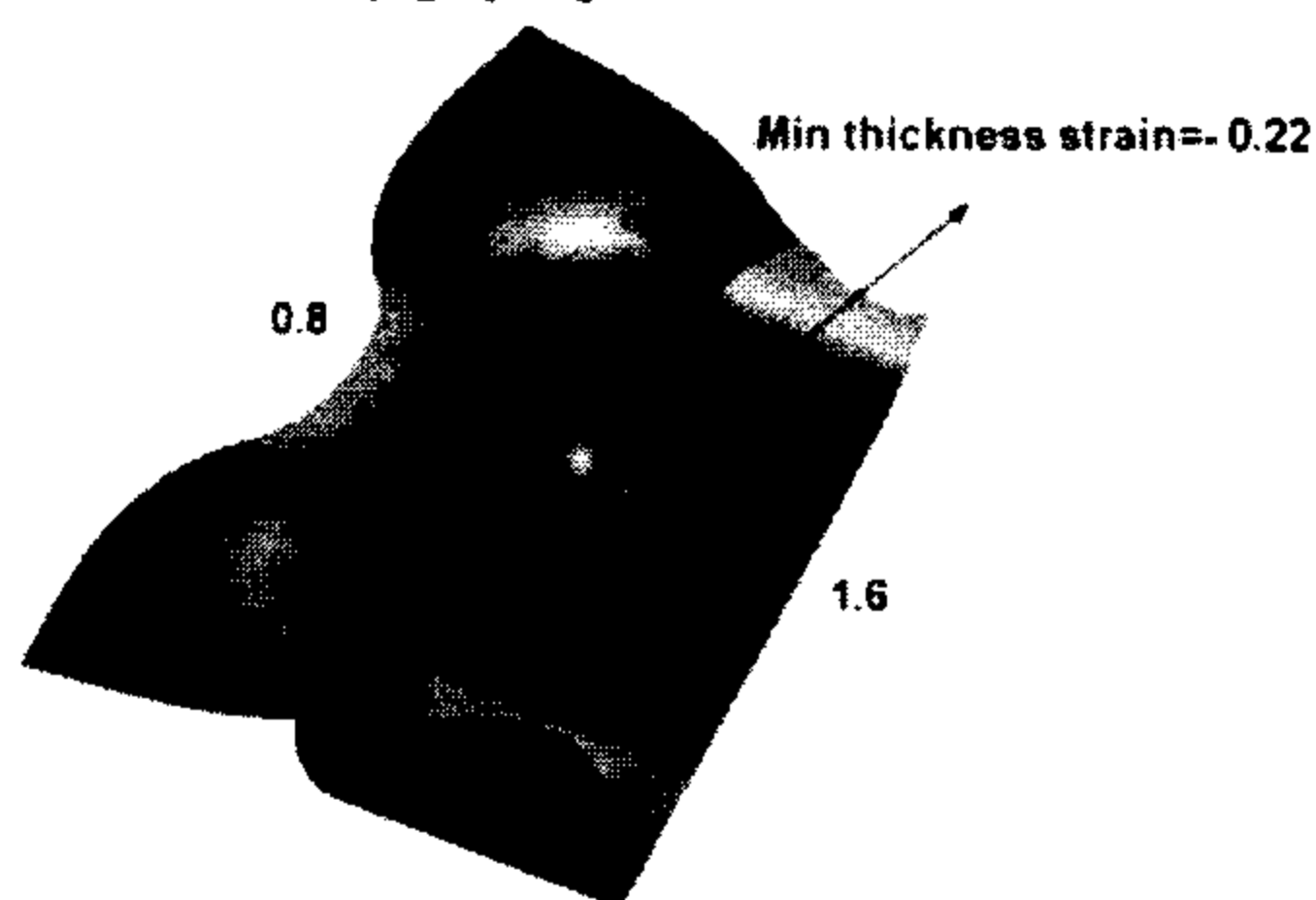
کشش عمیق قرار گرفته است. نحوه قرار گیری بید کشش در شکل (۷) نمایش داده شده است.



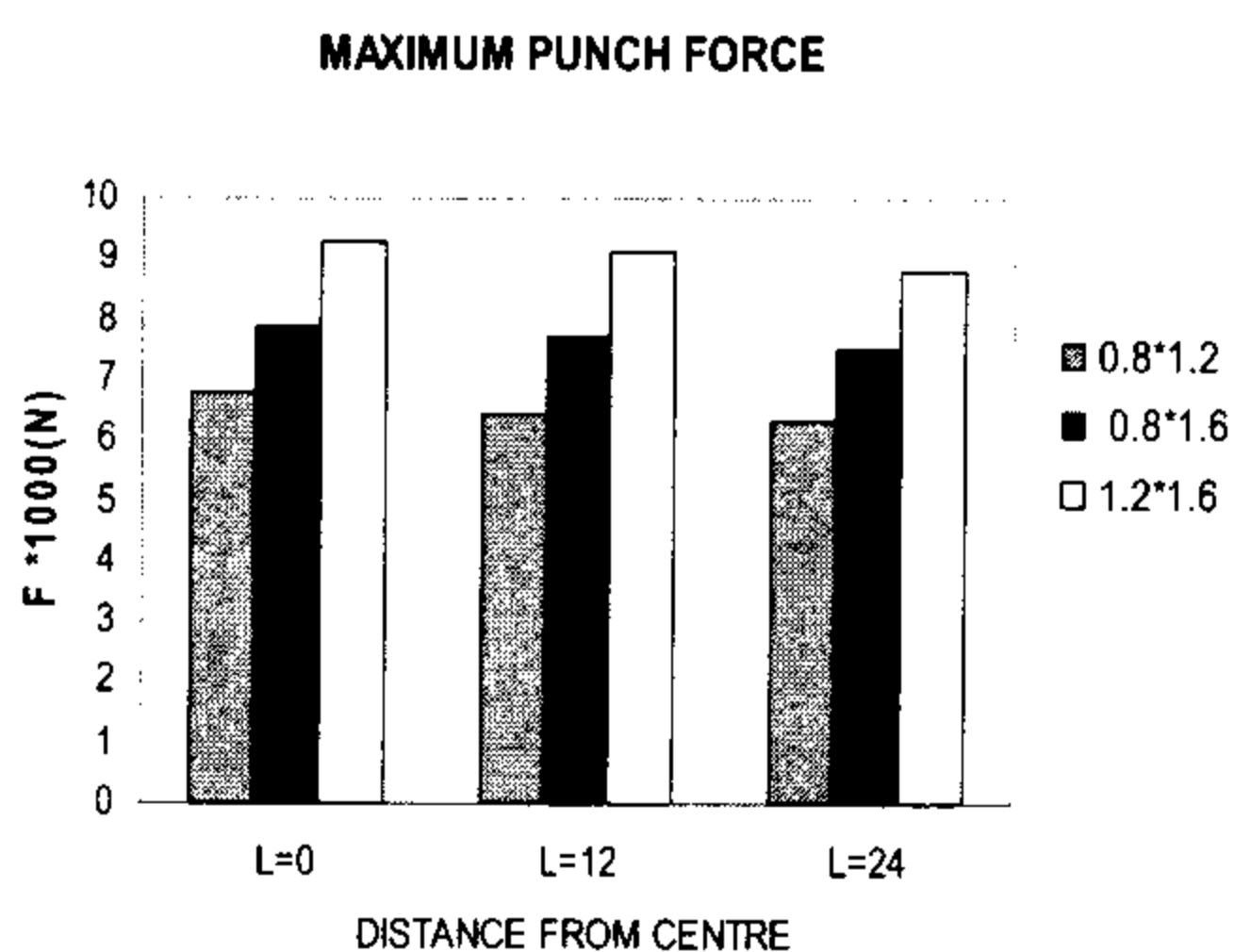
شکل ۴: مقایسه وضعیت توزیع کرنش در TWB(1/2*1/6) و اجزای پایه.



شکل ۵: مقایسه وضعیت توزیع کرنش در TWB(0/8*1/6) و اجزای پایه.



شکل ۶: نمایش ناحیه بحرانی در مجاورت خط جوش.

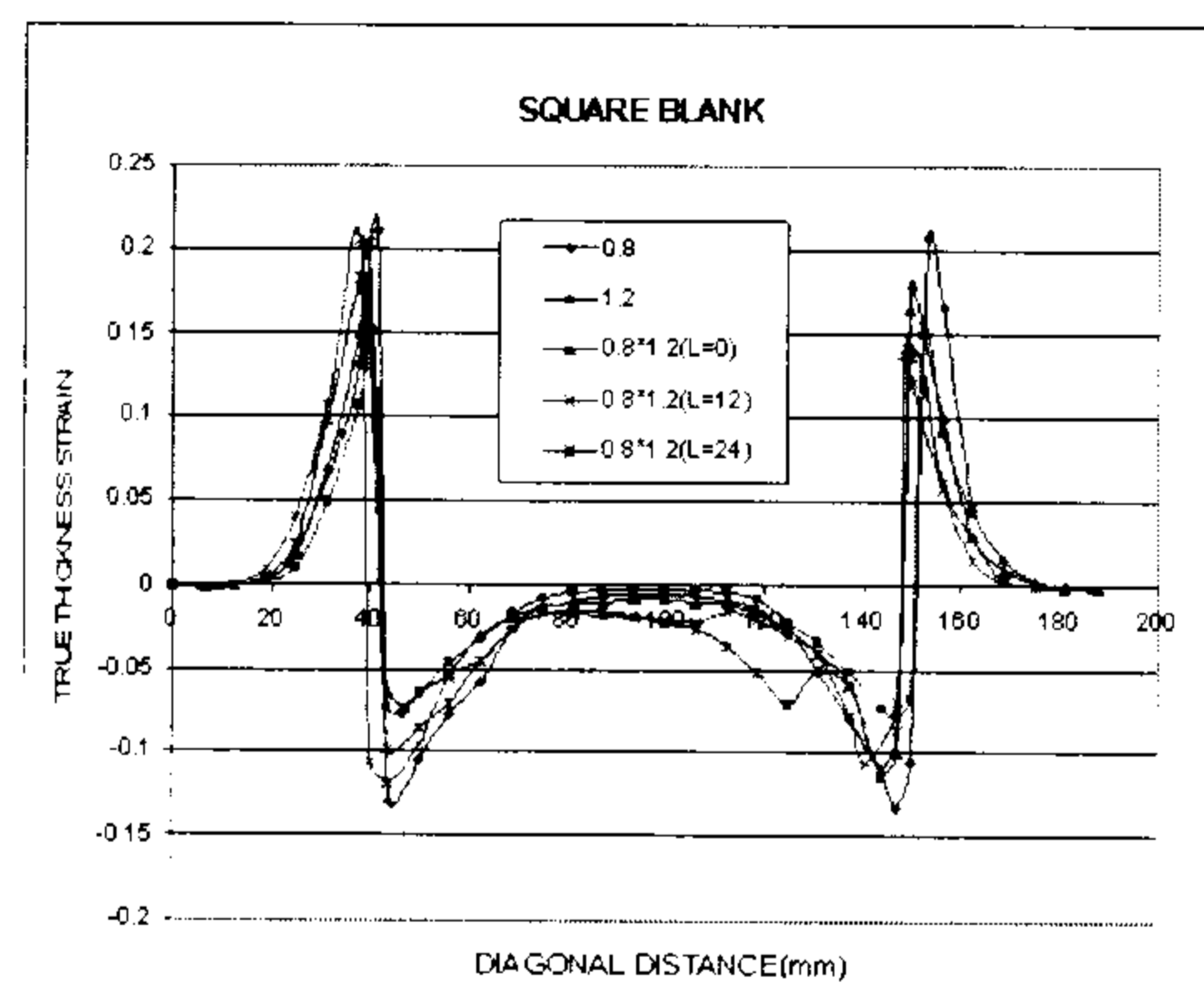


شکل ۷: مقایسه حداکثر نیروی لازم برای شکل دهی TWB.

سمبه در TWB نسبت به بلنکهای تشکیل دهنده آن در بخش کم ضخامت بلنک کاهش می یابد. در حالت استفاده از TWB با بیشترین اختلاف ضخامت یعنی ۰/۸*۱/۶ به ویژه در حالتی با بیشترین انحراف اولیه خط جوش از خط مرکز یعنی با فاصله ۲۴ میلی متر از خط مرکز، کرنش ضخامتی نه تنها در ناحیه کم کرنش زیر سمبه، بلکه در دیواره بخش کم ضخامت بلنک نیز کاهش قابل توجهی نسبت به اجزای تشکیل دهنده اش یافته و امکان گسیختگی زودرس را بوجود آورده است.

با توجه به شکل (۶)، حداقل کرنش ضخامتی منفی در ناحیه ای از مجاورت خط جوش و در بخش کم ضخامت بلنک اتفاق افتاده است.

با مقایسه نیروی لازم برای شکل دهی سه ترکیب ضخامتی ۰/۸*۱/۶ و ۱/۲*۱/۶ و ۰/۸*۱/۲ در شکل (۷) مشخص می گردد که برای ترکیب ضخامتی با اختلاف ضخامت بیشتر، مقدار نیروی شکل دهی بیشتری مورد نیاز است، همچنین برای ترکیب ضخامتی ۱/۲*۱/۶ به دلیل دارا بودن ضخامت بیشتر هر دو بخش آن، نیروی شکل دهی بیشتری در مقایسه با دو مورد دیگر مورد نیاز است.

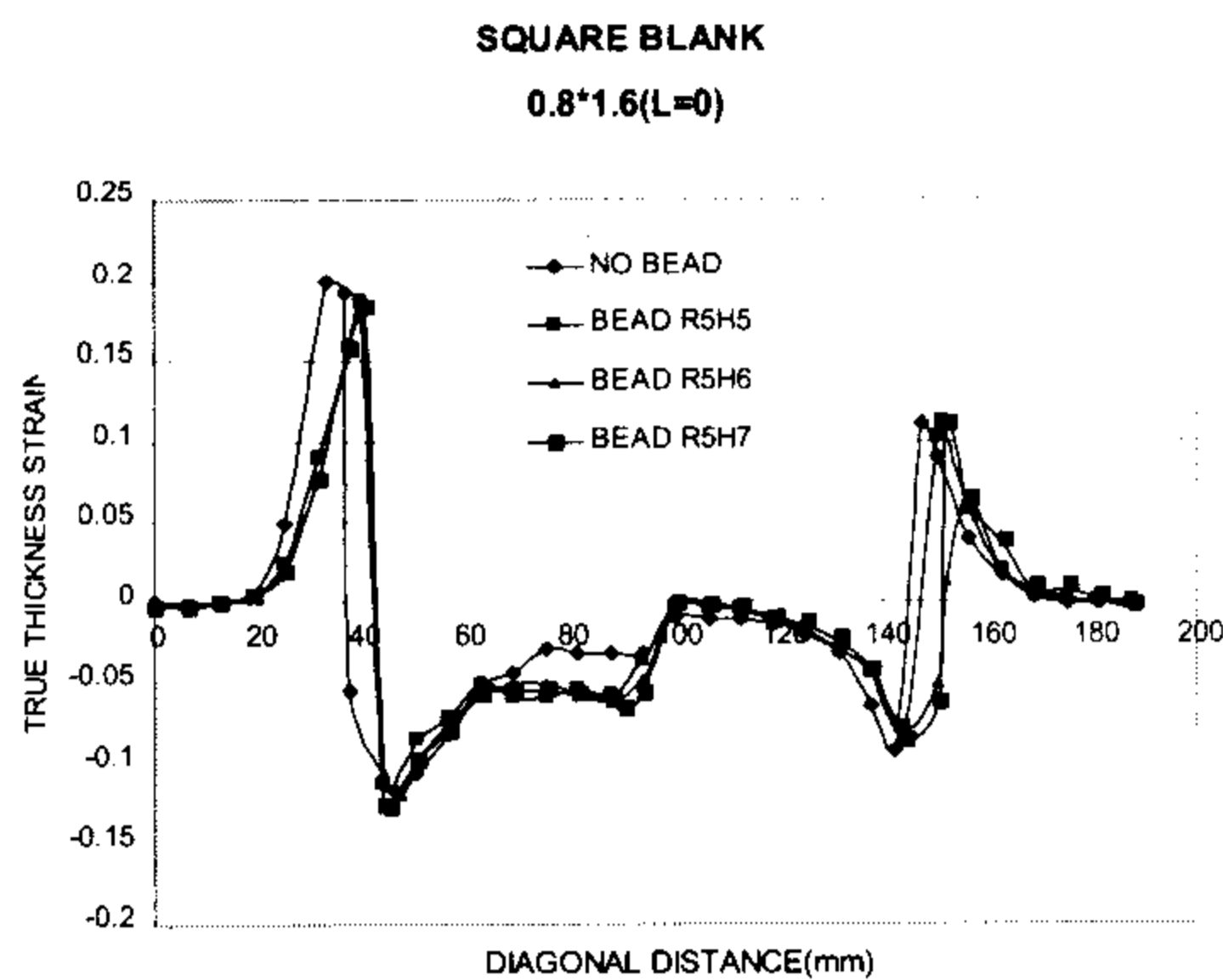


شکل ۳: مقایسه وضعیت توزیع کرنش در TWB (0/8*1/2) و اجزای پایه.

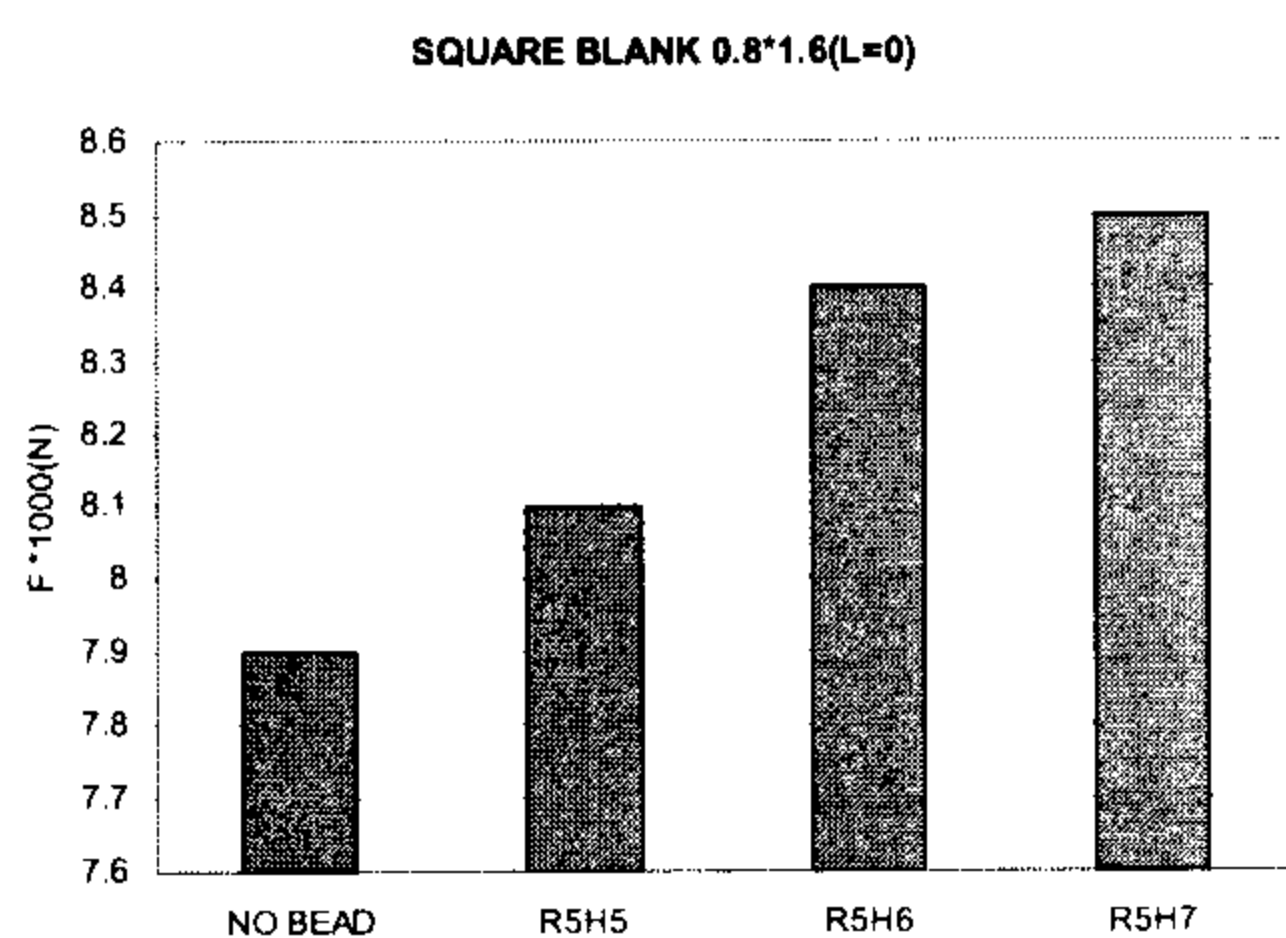
بررسی اثر ارتفاع بید کشش دایره ای

در این بررسی به منظور تعیین اثر ارتفاع بید کشش، TWB با ترکیب ضخامتی ۰/۸*۱/۶ با خط جوش گذرنده از خط مرکزی با سه بید کشش با طولها و موقعیت قرار گیری یکسان هر یک با مشخصه هندسی $R=5$ و $H=5$ ، $R=5$ و $H=6$ ، $R=5$ و $H=7$ واقع شده در بخش کم ضخامت TWB مورد آزمایش شبیه سازی

سازی عددی کشش عمیق قرار گرفته است. $H=8$ و $R=3$ ، $H=8$ و $R=5$ ، $H=8$ و $R=7$ مورد شبیه



شکل ۹: اثر ارتفاع بید کشش بر توزیع کرنش ضخامتی در جهت قطری.



شکل ۱۰: اثر ارتفاع بید کشش بر حداکثر نیروی سمبه.

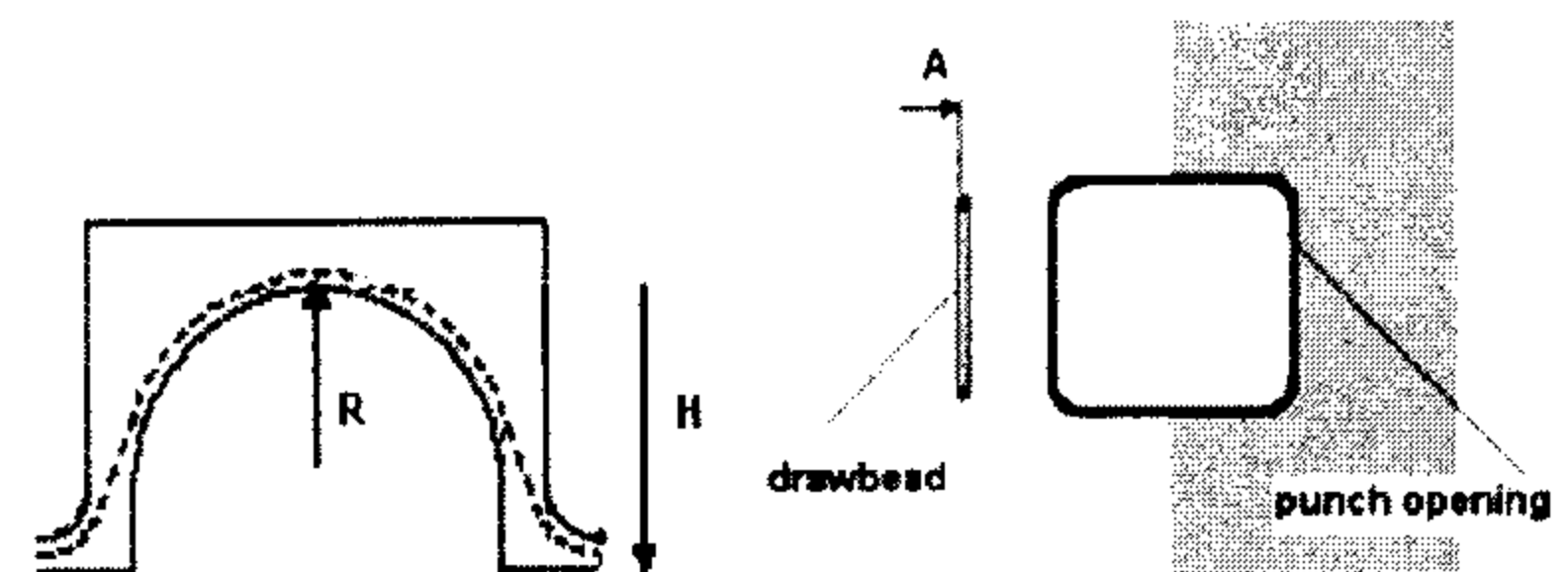
اطلاعات مربوط به وضعیت جابجایی خط جوش در این سه آزمایش عددی در شکل (۱۱) نشان داده شده است. با توجه به شکل ، با کاهش شعاع بید کشش به علت افزایش نیروی تماس عمودی بین سطح ورق و بید کشش ، نیروی اصطکاک افزایش یافته ، جابجایی ورق در ناحیه قرار گیری بید کشش در ورقگیر کاهش می یابد و منجر به کاهش جابجایی خط جوش می گردد . همان گونه که مشاهده می شود ایجاد نیروی مقید کننده در بخش کم ضخامت بلنک می تواند به کاهش جابجایی خط جوش بینجامد ، در حالی که ایجاد نیروی مقید کننده به طور مساوی در تمام اطراف ناحیه ورقگیر چنان که با افزایش ضریب اصطکاک و افزایش فشار ورقگیر مشاهده شد، باعث افزایش مقدار جابجایی خط جوش گردید .

اطلاعات مربوط به وضعیت توزیع کرنش ضخامتی در جهت قطری در این سه حالت آزمایش عددی در شکل (۱۲) نشان داده شده است . با توجه به شکل، با کاهش شعاع بید کشش به دلیل افزایش نیروی اصطکاک

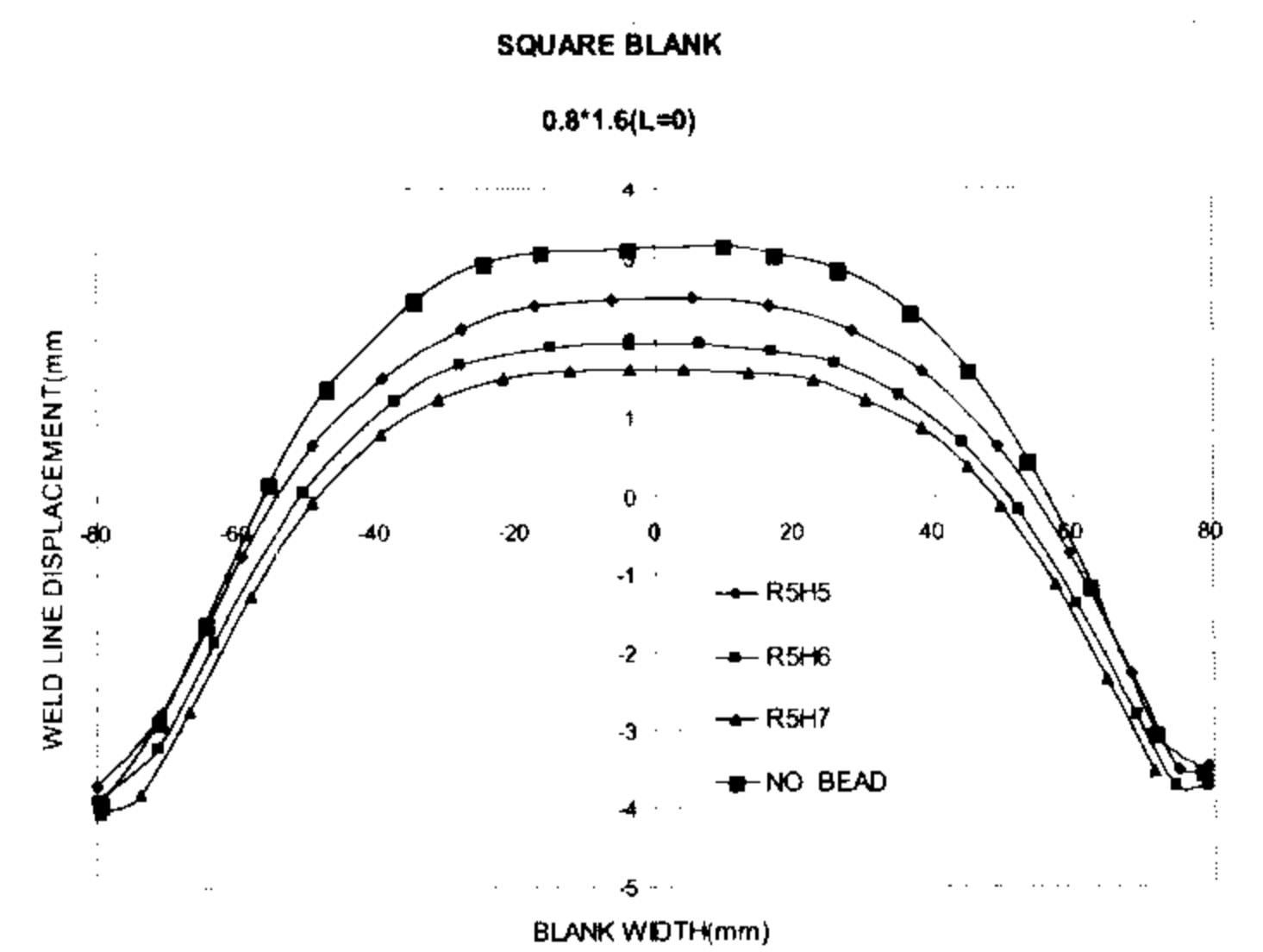
اطلاعات مربوط به وضعیت جابجایی خط جوش در این سه حالت در شکل (۸) نشان داده شده است با توجه به شکل ، با افزایش ارتفاع بید کشش به علت افزایش نیروی بازدارنده در بخش کم ضخامت بلنک در ناحیه قرارگیری آن ، جابجایی خط جوش کاهش یافته است .

اطلاعات مربوط به وضعیت توزیع کرنش ضخامتی در جهت قطری مربوط به هر سه آزمایش در شکل (۹) نشان داده شده است . با توجه به شکل با افزایش ارتفاع بید کشش به علت افزایش نیروی بازدارنده در ناحیه قرار گیری بید کشش ، جابجایی ورق در ناحیه ورقگیر کاهش یافته و از اینرو تنش کششی در ناحیه دیواره و زیر سمبه افزایش یافته و کرنش منفی ضخامتی را در این دو ناحیه کاهش داده است .

با توجه به شکل (۱۰) نیز با افزایش ارتفاع بید کشش که به کاهش جابجایی بلنک در ناحیه ورقگیر می انجامد حداکثر نیروی شکل دهی توسط سمبه نیز افزایش می یابد .



شکل ۷: نمایش بید کشش و وضعیت قرارگیری آن در بلنک.



شکل ۸: اثر ارتفاع بید کشش بر جابجایی خط جوش.

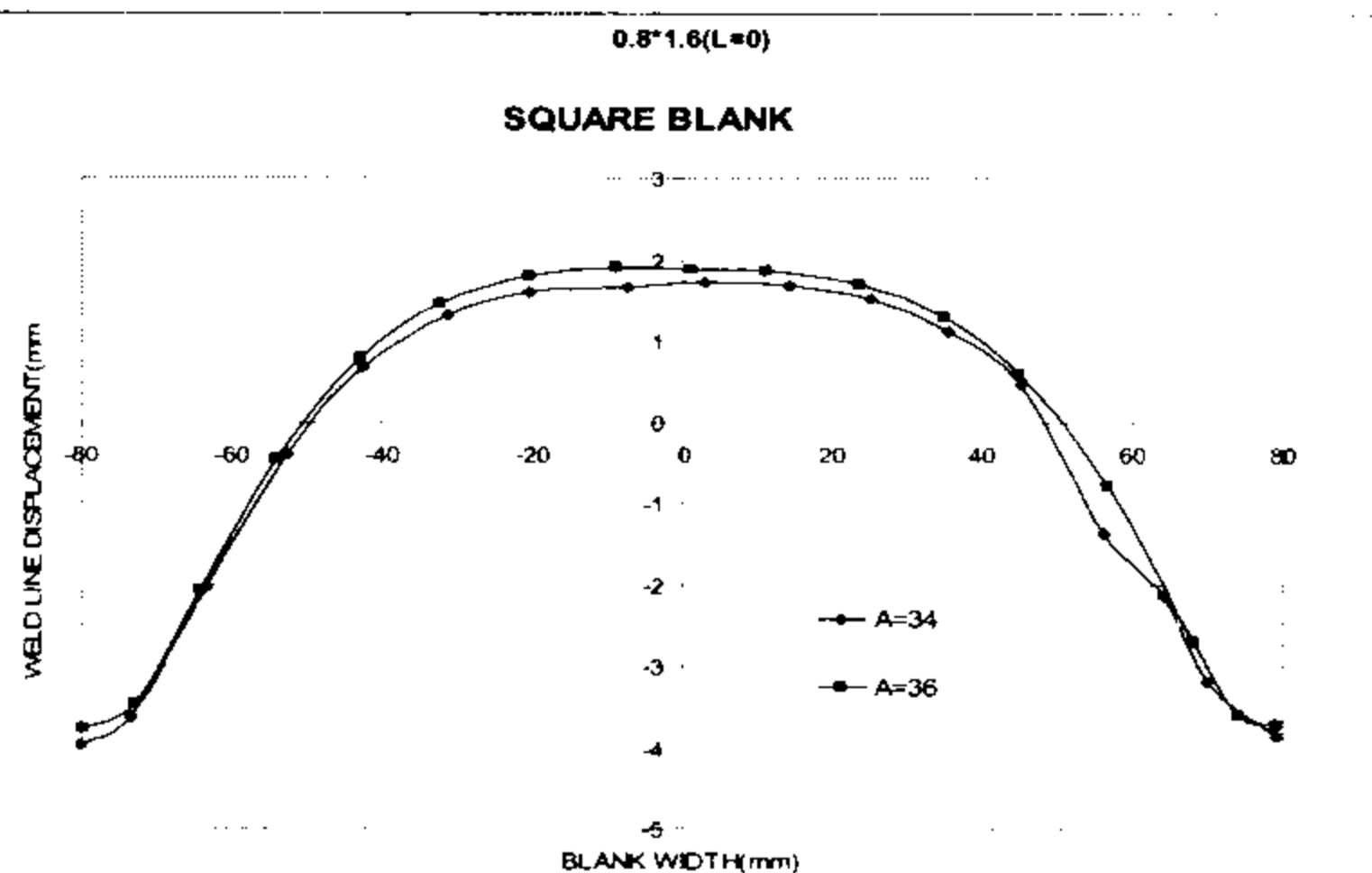
بررسی اثر شعاع بید کشش دایره ای

در این بررسی جهت تعیین اثر شعاع بید کشش ، TWB با ترکیب ضخامتی $0.8/1.6$ با خط جوش گذرنده از وسط طی سه آزمایش با بیدهای کشش با طول یکسان وموقعیت قرار گیری یکسان هر یک با مشخصات هندسی

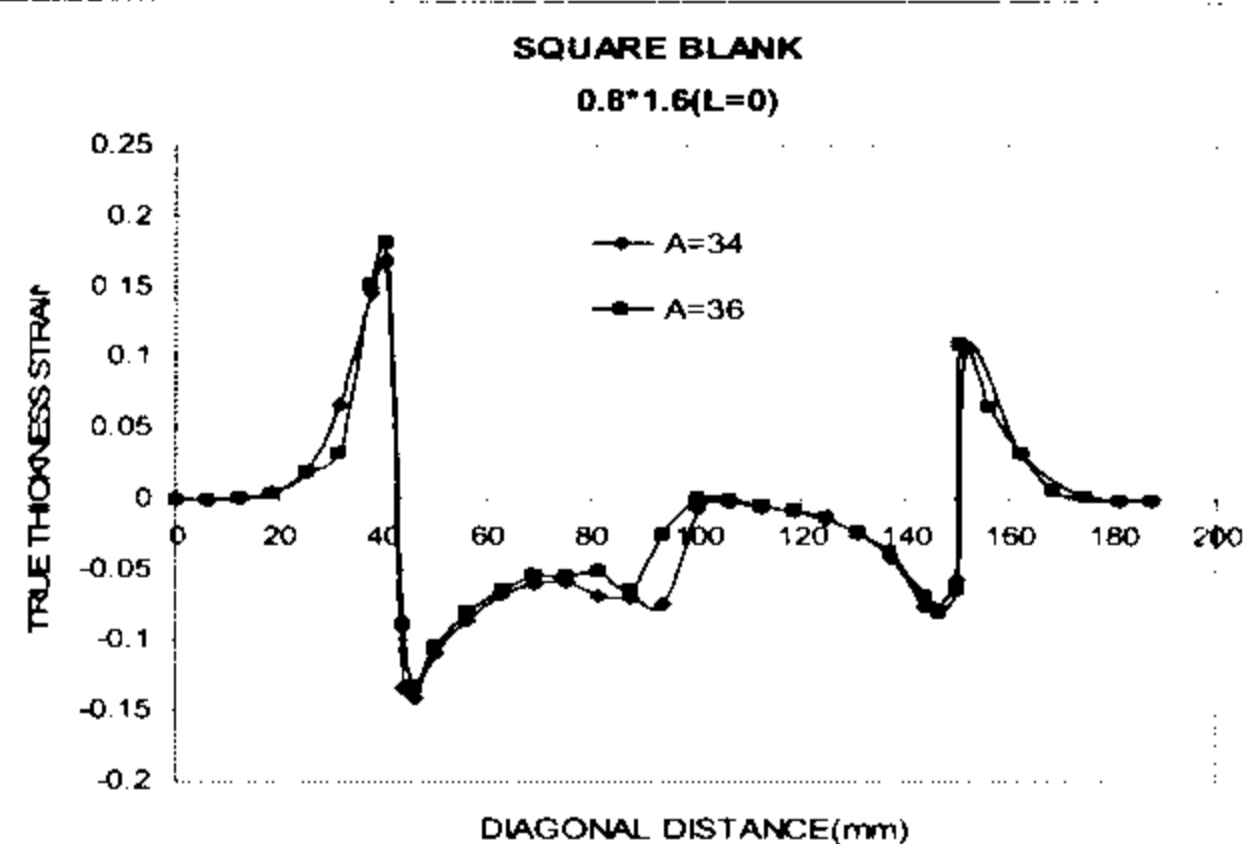
بررسی اثر موقعیت قرار گیری بیدکشش

در این بررسی جهت تعیین تأثیر موقعیت قرار گیری بیدکشش، TWB با ترکیب ضخامتی 0.8×1.6 با خط جوش گذرنده از خط وسط با وجود بیدکشش با مشخصات هندسی $H=5$ و $R=5$ که یک بار در فاصله ۳۴ و بار دیگر در فاصله ۳۶ میلی متر از لبه بخش کم ضخامت بلنک واقع شده مورد آزمایش شبیه سازی عددی کشش عمیق قرار گرفته است.

اطلاعات مربوط به وضعیت جابجایی خط جوش در این دو مورد در شکل (۱۴) نشان داده شده است. با توجه به شکل، جابجایی خط جوش با کاهش فاصله قرار گیری بیدکشش از لبه بلنک کاهش یافته است. با توجه به این موضوع که برای جبران ماده وارد شده به حفره قالب از فلنج، مواد از محیط بزرگتر فلنج به محیط کمتر جریان می یابند، قرار گیری بیدکشش مانعی برای این جابجایی خواهد شد و اثر بازدارندگی آن با نزدیک شدن بیدکشش به محیط بیرونی افزایش خواهد یافت و این دلیلی برای کاهش جابجایی خط جوش است.



شکل ۱۴: اثر موقعیت بیدکشش بر جابجایی خط جوش.

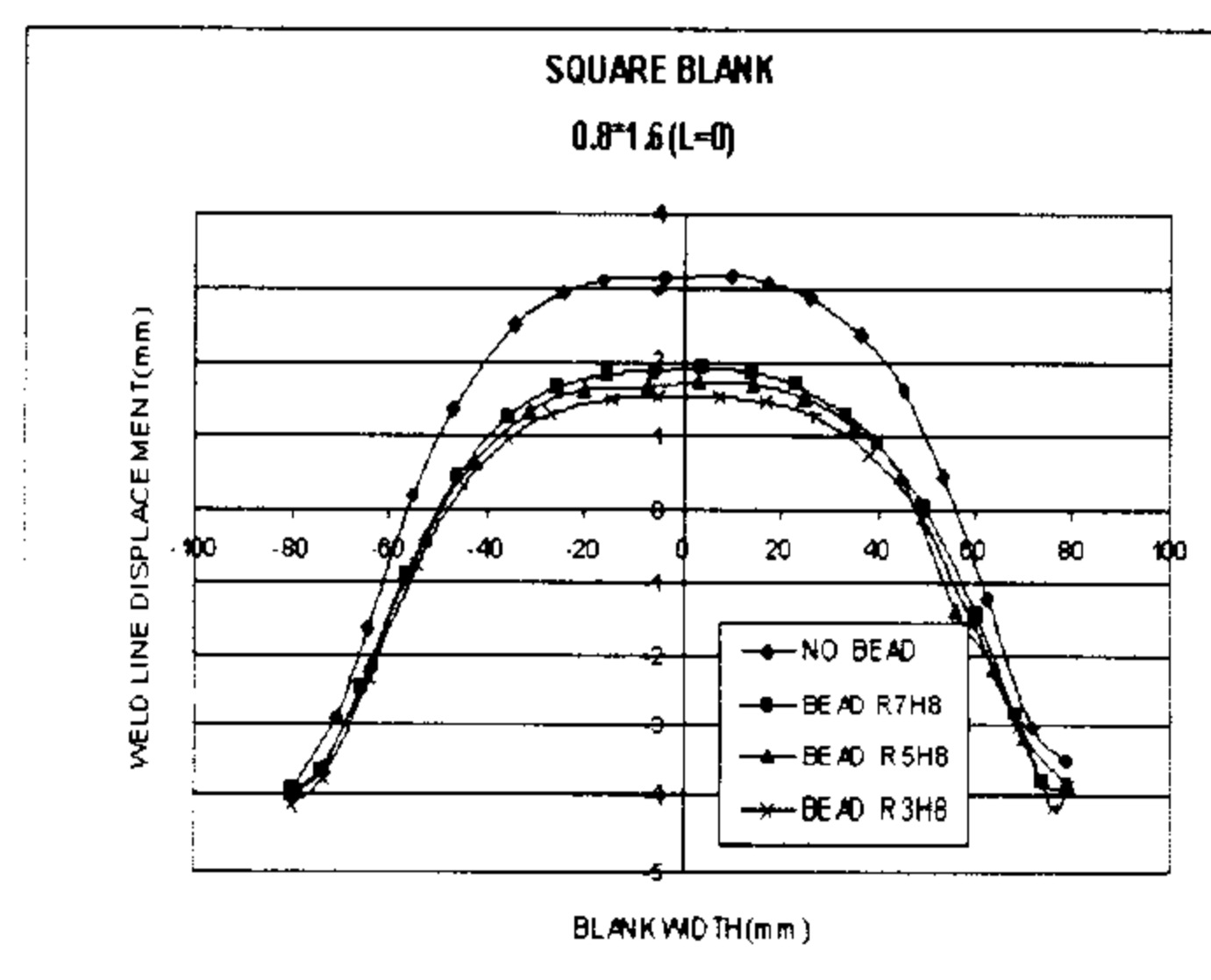


شکل ۱۵: اثر موقعیت بیدکشش بر جابجایی خط جوش.

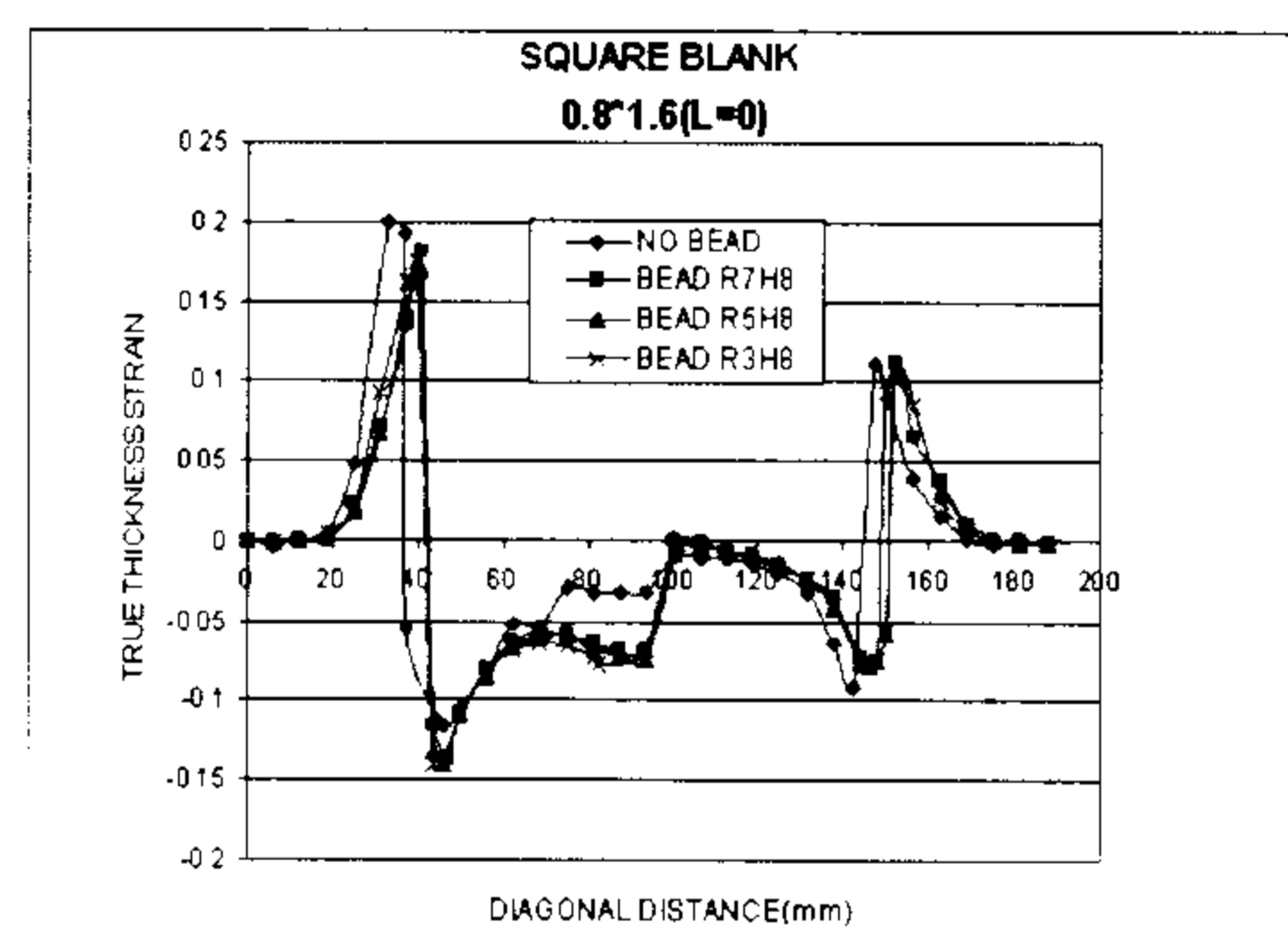
اطلاعات مربوط به وضعیت توزیع کرنش ضخامتی در جهت قطری مربوط به این دو آزمایش در شکل (۱۵) نشان داده شده است. با توجه به شکل، کاهش فاصله بیدکشش از لبه بلنک اثر بازدارندگی آن را افزایش داده و

در ورق و بیدکشش، جابجایی ورق در بخش کم ضخامت بلنک در ناحیه بیدکشش در ورقگیر کاهش یافته از این رو تنش کششی در دیواره و ناحیه زیرسمبه در بخش کم ضخامت بلنک افزایش یافته و کرنش منفی ضخامتی را در این نواحی کاهش داده است.

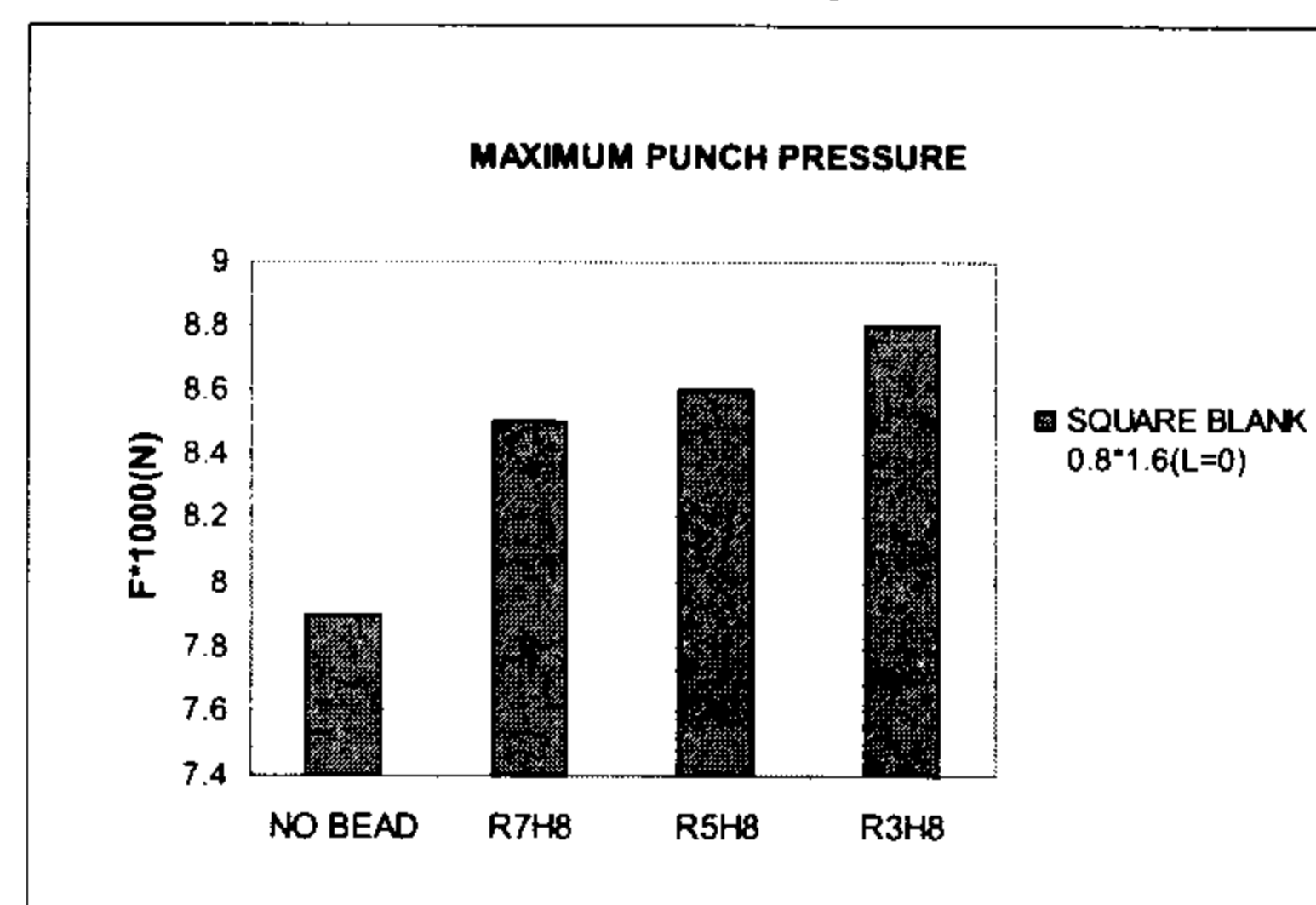
اثر شعاع بیدکشش بر حداکثر نیروی سمبه در شکل (۱۳) نمایش داده شده است. با توجه به شکل با کاهش شعاع بیدکشش که به افزایش خاصیت بازدارندگی آن و کاهش جابجایی بلنک در ناحیه ورقگیر می انجامد، حد اکثر نیروی لازم برای شکل دهی توسط سمبه نیز افزایش می یابد.



شکل ۱۱: اثر شعاع بیدکشش بر جابجایی خط جوش.



شکل ۱۲: اثر شعاع بیدکشش بر توزیع کرنش ضخامتی در جهت قطری.



شکل ۱۳: اثر شعاع بیدکشش بر حداکثر نیروی سمبه.

نتایج بررسی

۱. مقدار کرنش ضخامتی در جهت قطری در مجاورت خط جوش کاهش می یابد و این کاهش با وجود فاصله بیشتر خط جوش از خط مرکزی یا اختلاف ضخامت بیشتر در اجزای بلنک به مقدار قابل توجهی بیشتر خواهد شد، از این رو موقعیت خط جوش در شکل پذیری TWB اهمیت بسیاری دارد.

۲. حداکثر نیروی لازم برای شکل دهی با افزایش فاصله اولیه خط جوش از مرکز کاهش می یابد.

۳. با توجه به حد اقل کرنش ضخامتی در حدود 0.2 - که برای ترکیب ضخامتی 0.8×1.6 در ناحیه کم ضخامت مجاور خط جوش بدست می آید و مقدار F_{ld0} در حدود 0.35 - برای نوع جنس بکار رفته در این بررسی و این موضوع که FLD در TWB نسبت به بلنکهای پایه آن در سطح پایینتری قرار دارد [۹] و [۱۰]، حداکثرنسبت ضخامت برای شکل دهی ایمن در فرایند کشش عمیق TWB مقدار ۲ بدست می آید.

۴. با استفاده از بید کشش در بخش کم مقاومت بلنک میتوان جابجایی خط جوش را کنترل نمود و اثر بیدهای کشش مختلف بر جابجایی خط جوش به طور مقداری قابل تعیین است.

۵. افزایش در ارتفاع و کاهش در شعاع بید کشش دایره ای به افزایش مقدار بازدارندگی و کاهش جابجایی خط جوش می انجامد و باعث کاهش کرنش منفی ضخامتی در بخش کم ضخامت بلنک می شود، از این رو جابجایی خط جوش را می توان با استفاده از بیدهای کشش کنترل نمود که با توجه به این موضوع ابعاد بید کشش باید با در نظر گرفتن فرایند کشش و شکل سمبه طراحی گردد.

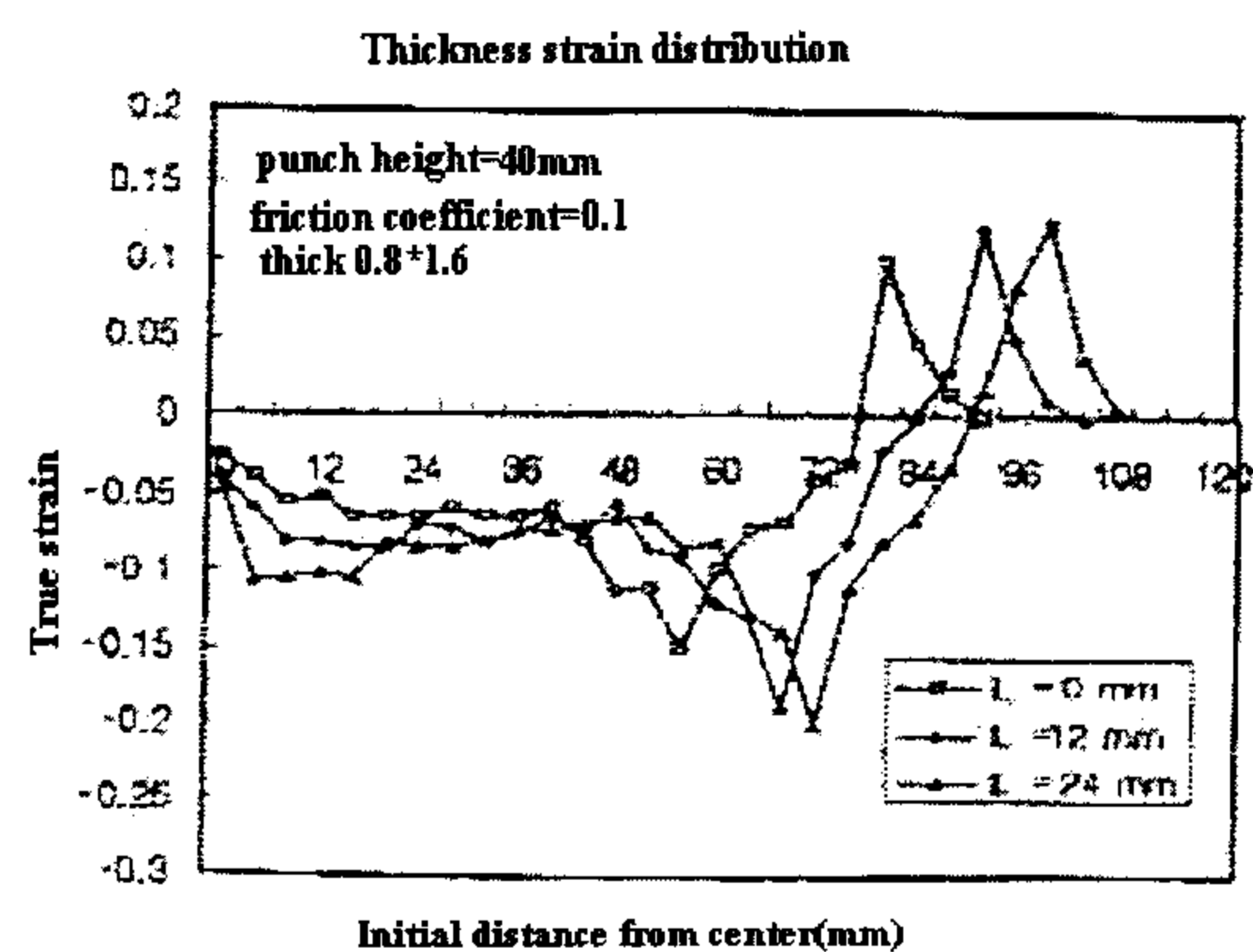
۶. با افزایش ارتفاع بید کشش یا کاهش شعاع آن، حداکثر نیروی سمبه افزایش می یابد.

۷. با کاهش فاصله بید کشش از لبه بلنک، جابجایی خط جوش کاهش یافته و کرنش منفی ضخامتی در بخش کم ضخامت بلنک کاهش می یابد. از این رو موقعیت قرارگیری بید کشش نیز در کنترل جابجایی خط جوش دارای اهمیت است.

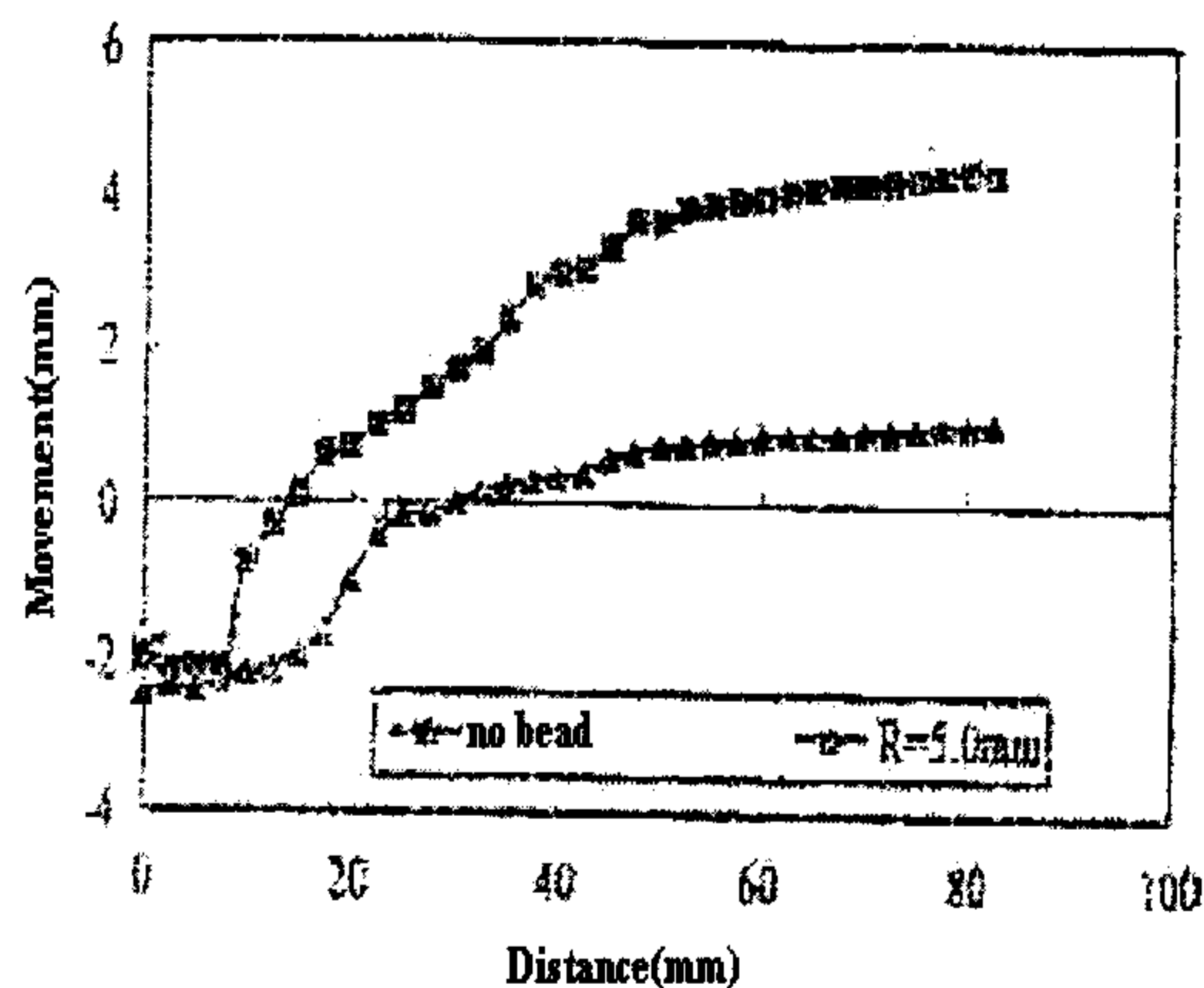
جابجایی ورق را در ناحیه ورقگیر در بخش قرار گیری بیدکشش کاهش می دهد، از اینرو تنشهای کششی در ناحیه دیواره و زیر سمبه افزایش یافته و کرنش منفی ضخامتی را در این دو ناحیه کاهش داده است.

مقایسه نتایج تحلیلی با نتایج تجربی

با مقایسه نتایج بدست آمده از روش عددی مربوط به بررسی اثر موقعیت اولیه خط جوش و اندازه کلی بید کشش بر توزیع کرنش در این بررسی و روش های تجربی [۲۳] می توان گفت که همخوانی خوبی بین نتایج وجود دارد؛ مقایسه شکل (۵) با (۱۶) و شکل (۸) با (۱۷). از این موضوع برای تایید صحت نتایج عددی بدست آمده در بررسی های مربوط به دیگر عوامل اثر گذار که امکان آزمایش تجربی نداشته است، استفاده شده است. اختلافات قابل اغماض موجود می تواند ناشی از عدم قطعیت موجود در استخراج پارامترهای فرایند نظیر ضریب اصطکاک باشد.



شکل ۱۶: توزیع کرنش ضخامتی در جهت قطری حاصل از آزمایش تجربی در جهت مرکز تا گوشه [۲].



شکل ۱۷: جابجایی خط جوش بدون بید کشش و با بید کشش حاصل از آزمایش تجربی [۳]. $H=5$ $R=5$

مراجع

- 1 - Pallet, R. J. and Lark, R. J. (2001). "The use of tailored blanks in the manufacture of construction components." *Journal of Material Processing Technology*, Vol. 117, PP. 249-254.
- 2 - Youho choi, (2000). "Investigation of weld line movement for the deep drawing of tailor welded blanks." *Journal of Material Processing technology*, Vol. 108, PP. 1-7.
- 3 - Young moo Heo, (2001). "Characteristics of weld line movements for the deep drawing with draw beads of Tailor-Welded Blanks." *Journal of Material Processing Technology*, Vol. 111, PP. 164-169.
- 4 - Meinders, T. (2000). "Deep drawing simulations of tailored blanks and experimental verifications." *Journal of Material Processing Technology*.
- 5 - Zhao, K.M. (2000). *Numerical modeling technique for tailor welded blanks SAE technical paper*. PP. 01-0410
- 6 - Kobayashi , S., Kobayshi , S. and Atlan, T. (1989). *Metal forming and the Finite-Element Method* .
- 7 - Hill, R. (1990). *Mathematical theory of plasticity*.
- 8 - Zharkov, V.A. (1995). *Theory and practice of deep drawing* .
- 9 - Rich Davies. Glenn Grant. and Mark Smith. (2002). "Describing the formability of tailor welded blanks." *SAE Technical paper*, PP. 01-2085.
- 10 - Chan, S. M., Chan, L. C. and Lee, T.C. (2001). "Deformation mode analysis of forming limit diagrams for tailor welded blanks." *SAE Technical Paper*, PP. 01-0092.

واژه های انگلیسی به ترتیب استفاده در متن

1 – Tallor Welded Blank
 4 – Heat Affected Zone
 7 – Coulomb
 10 – Numerical Welding

2 – Draw Bead
 5 – Thyssen
 8 – Hill
 11 – Adaptive Remeshing

3 – Spot Weld
 6 – Holomon
 9 – Die Designer