



۵

۴

طراحی قالب در شکل دادن فلزات

عبدالعلی - فرزاد

استادیار دانشگاه سیستان و بلوچستان

چکیده:

نرخ کرنش و نرخ تغییر شکل در هر پروسه تغییر شکل بسته به شکل قالب آن متفاوت است. این تغییرات در خواص مکانیکی و کیفیت محصول اثر می گذارند. شکل قالب در مقدار و نوع ناپکنواختی تغییر شکل در مقطع محصول نیز موثر است، که باعث تغییر کیفیت و خواص آن می گردد. در این مقاله تأثیر شکل قالب بر روی خواص مکانیکی و متالورژیکی محصول مطالعه گردیده است.

کلمات کلیدی: طراحی قالب - اکستروژن - کرنش برشی اضافی.

۱- مقدمه:

با وجود پیشرفت های قابل ملاحظه ای که در تحلیل تئوری پلاستیته بوجود آمده است، هنوز طراحی قالب های تغییر شکل فلزات غالباً بر اساس روش های پرهزینه و طولانی سعی و خطا انجام می گیرد. در عمل، نیروی فوق العاده بالایی برای تغییر شکل فلزات لازم می آید. گاهی مقدار زیادی از این نیرو در مواردی صرف می شود که برای تغییر شکل پکنواخت فلز ضروری نیست. این نیروی بزرگ گاهی باعث بروز عیب در محصول و آسیب زدن ابزار می گردد. بدین دلیل، در طراحی ابزار سوالاتی نظیر سوالات زیر مطرح می گردد:

□ چگونه می توان مصرف انرژی تغییر شکل را کاهش داد؟

□ چگونه از عیوب محصولات می توان جلوگیری بعمل آورد؟

□ چگونه عمرا ابزار را می توان افزایش داد؟

بی گیری و جستجوی جواب برای هر یک از سوالات فوق زمینه تحقیق ویژه ای را بازمی کند. بی شک، طراحی صحیح قالب کلید اصلی تغییر شکل اقتصادی فلزات است.

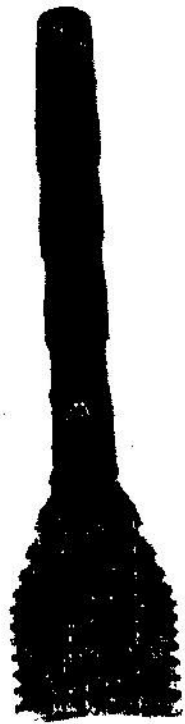
کرنش یک عامل ذاتی تغییر شکل است، که مقدار آن در جهت های مختلف شکل نهایی محصول را تعیین می کند. کرنش بکنواخت فقط در قطعه ای که بدون قالب تغییر شکل یافته باشد، مثلاً در یک آزمایش کشش، بدست می آید. ولی هر پروسه تغییر شکل باید از یک سری قالب عبور کند. در نتیجه، ممکن است کرنش های غیر بکنواختی در قطعه ایجاد شوند. بکنواخت نبودن کرنش ها هم در مقدار نیروهای لازم و هم در کیفیت محصول اثر می گذارد.

در تغییر شکل فلزات محصولی مطلوب است که بی عیب باشد، خواص مکانیکی و مثالورژیکی معینی داشته باشد، و ارزان تولید شده باشد. این خواسته ها با انتخاب یک قالب آرمانی که بتواند توزیع تنش، کرنش، دما و امکان کرپستال بندی مجدد مناسبی در ناحیه تغییر شکل ایجاد نماید برآورده می شود. اگر تنش نا کافی باشد، ممکن است مقداری از فلز در تغییر شکل بکنواخت شرکت نکند و محصولی با خواص غیر بکنواخت حاصل شود. همچنین تنش های غیر بکنواخت ممکن است باعث ایجاد ترک های داخلی و خارجی در قطعه گردند. از طرف دیگر، تنش های مناسب از سایش و شکستن زودرس ابزار جلوگیری کرده و دقت ابعاد محصول را تضمین خواهند نمود.

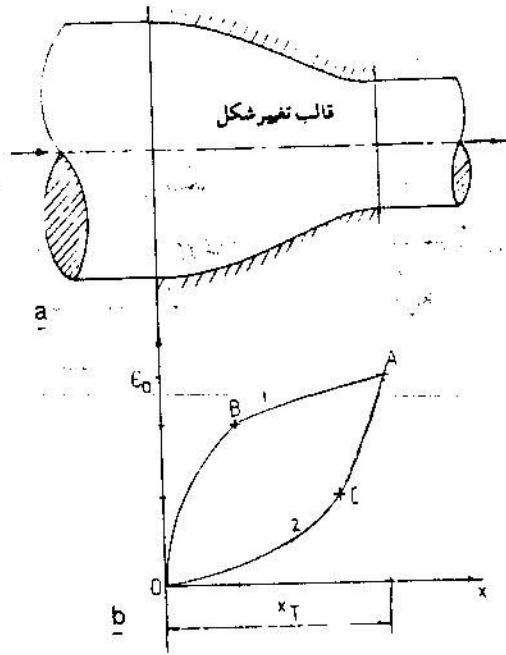
کیفیت یک محصول اگرچه در نتیجه کرنش های بکنواخت هم حاصل شده باشد، بستگی به مسیر کرنش خواهد داشت. فرض کنید که یک نمونه تغییر شکل داده شده در طول X_1 قالب، مطابق شکل ۱، در نهایت کرنشی معادل ϵ بدست آورده باشد. برای رسیدن از نقطه O به A بی نهایت مسیر گذر می توان تصور کرد. دو مسیر گذر در این شکل نشان داده شده است. در روی مسیر ۱ نرخ کرنش در طول OB زیاد و در طول BA اندک است. بنابراین محصول ممکن است قبل از ترک قالب و وارد شدن به یک محیط کاملاً متفاوت وقت کافی برای کرپستال بندی مجدد داشته باشد. در مقابل، در روی مسیر ۲ خروج محصول از قالب به CA ختم می شود که دارای نرخ کرنش زیاد بوده و ممکن است کار سختی قابل ملاحظه دریافت نماید. در نتیجه، خواص مکانیکی محصول در مسیرهای ۱ و ۲ کاملاً متفاوت خواهد بود.

۲- الگوی جریان تغییر شکل

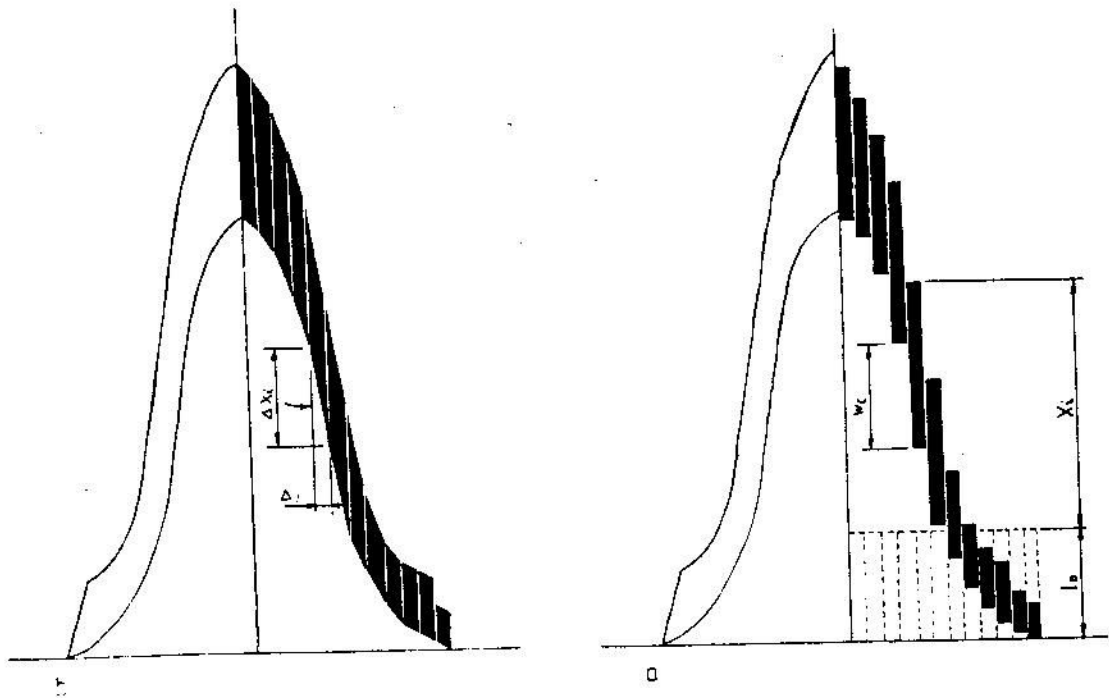
برای تحقیق اکستروژن مناسب تر از دیگر روشهای تغییر شکل فلزات است. زیرا، پروسه ای است ساده که تغییر شکل در آن به زودی به حالت پایدار می رسد، و اثرات تغییر شکل را می توان به وضوح



شکل ۲- تغییر شکل لایه های مسطح در اکستروژن موم سخت.



شکل ۱- مسیر کرنش های مختلف برای یک تغییر شکل معین.



شکل ۳- تحلیل تغییر شکل لایه های مسطح.

آشکار ساخت و به صورت قابل مشاهده در آورد. یک تغییر شکل آرمانی آن است که هر لایه مسطح عمود بر محور قطعه، پس از تغییر شکل نیز عمود و مسطح باقی بماند. ولی در اکستروژن، به علل متفاوتی از جمله عدم توزیع یکنواخت تنش و کرنش، لایه های مسطح عمود بر محور، مطابق شکل ۲، بصورت منحنی های سهموی درمی آیند [۱]. هر المان کوچک از فلز علاوه بر کرنش های ضروری، در معرض دوائر فیزیکی دیگر، مطابق شکل ۳، قرار می گیرد.

الف) تغییر مکانی در امتداد محور به اندازه Δx انجام می دهد.

ب) یک تغییر شکل برشی تحت زاویه β صورت می دهد.

اگر ϵ_x ، ϵ_y ، ϵ_z کرنش های اصلی باشند، در یک تغییر شکل همگن و آرمانی کرنش هر المان بصورت

زیر قابل محاسبه است:

$$\epsilon_H = \sqrt{\frac{2}{3}[\epsilon_x^2 + \epsilon_y^2 + \epsilon_z^2]} \quad \dots \dots \dots (1)$$

در صورت وجود کرنش های اضافی، کرنش نهایی بصورت رابطه زیر درمی آید [۲]:

$$\epsilon_T = \epsilon_H + \frac{1}{2}(\epsilon_1^2 + \epsilon_2^2 + \epsilon_3^2)^{\frac{1}{2}} \quad \dots \dots \dots (2)$$

که در آن، ϵ_1 کرنش طولی، ϵ_2 کرنش مماسی و ϵ_3 کرنش محیطی می باشند.

در یک قالب اکستروژن مخروطی، تغییر مکان المان در مجاورت دیواره قالب کم و در وسط بیشتر است. تغییر شکل برشی، تقریباً در میانه حد فاصل بین دیواره و مرکز قطعه حداکثر است. البته، بهنگام تغییر شکل هر دو پدیده همزمان بوقوع می پیوندند، ولی تجزیه آن به دو صورت نوبتی تحلیل مسئله را ساده تر می سازد. ترکیب این دو پدیده الگوی جریان تغییر شکل را تشکیل می دهد.

الگوی جریان تغییر شکل در داخل قالب مشخصه کیفیت تغییر شکل است. هر چه الگوی جریان یکنواخت تر باشد، کیفیت محصول یکدست تر و مقدار نیروی لازم کمتر خواهد بود.

در تغییر شکل برشی انحراف در امتداد محور برابر Δx_i است که در طول المان Δy_i صورت پذیرفته است. در نتیجه، در هر المان یک کرنش برشی برابر $\epsilon_s = \Delta x_i / \Delta y_i$ پدید می آید. این کرنش یک پدیده اضافی است که با وجود صرف انرژی اضافی در تغییر شکل نهایی اثری ندارد. لغزش نسبی المانها، W_i ، نیز یک پدیده اضافی است.

۲- روشهای طراحی ابزار در تغییر شکل فلزات

محققین طراحی قالب در تغییر شکل فلزات اکثراً هدف خود را کاهش انرژی تغییر شکل قرار داده‌اند [۴، ۳]. دستیابی به این هدف ممکن است دستیابی به محصول مرغوب و افزایش طول عمر ابزار را نیز میسر سازد. شاید کلید معما در مطالعه عواملی که باعث عدم یکنواختی کرنش‌ها می‌شوند باشد [۵]. عوامل اصلی بوجود آورنده ناهمگواختی هنوز کاملاً شناخته نشده‌اند، ولی ثابت گردیده است که شکل هندسی قالب نقش برجسته‌ای در تشکیل و رشد ناهمگواختی دارد [۶، ۷]. اکثر محققین شکل هندسی معینی را برای تحقیق خود انتخاب می‌کنند، به امید اینکه شاید بطور تصادفی به یک شکل هندسی بهینه دست یابند. در بین شکل‌های هندسی آشنا منحنی‌های کوسینوسی، بیضوی، هپربولیک، محدب، و مخروطی بارها مورد مطالعه قرار گرفته‌اند [۸، ۹، ۱۰، ۱۱].

نقش عمده شکل هندسی قالب در ناهمگواختی تغییر شکل شاید بعلت آن باشد که نرخ کرنش، مساحت تماس قالب و قطعه، توزیع تنش در قطعه، امکان کرپستال بندی مجدد و دیگر عواملی که بنظر می‌رسد در ناهمگواختی تغییر شکل دخیل باشند، وابسته به شکل هندسی هستند.

از میان عوامل یاد شده، اثر نرخ کرنش روی ناهمگواختی تغییر شکل به ثبوت رسیده است. در اکستروژن مقدار متوسط کرنش برشی طولی متناسب با نرخ کرنش می‌باشد [۱]. بنابراین، اگر قالبی بتوان یافت که عوامل مؤثر را به دلخواه کم و زیاد کند می‌توان امیدوار بود که محصولی با کیفیت و خواص دلخواه بدست آید.

۴- قالب‌های C.R.S.

قالب‌های منحنی بر مبنای تئوری "ثابت بودن نسبت اختلاف کرنش‌های یکنواخت متوالی" که توسط بلازینسکی [۱۲] معرفی گردیده است بصورت زیر تعریف می‌شود:

$$\frac{\epsilon_2 - \epsilon_1}{\epsilon_1 - \epsilon_0} = \frac{\epsilon_3 - \epsilon_2}{\epsilon_2 - \epsilon_1} = \dots = \frac{\epsilon_n - \epsilon_{n-1}}{\epsilon_{n-1} - \epsilon_{n-2}} = s \quad (3)$$

که در آن s یک ثابت اختیاری است. در این تئوری، فرض شده است که طول X_T قالب به N قسمت مساوی بطول ΔX ، مطابق شکل ۴، تقسیم گردیده و کرنش یکنواخت قسمت‌ها به $\epsilon_1, \epsilon_2, \epsilon_3, \dots, \epsilon_n$ نشان داده شده‌اند. ϵ_n عبارت است از کرنش کلی بین مقطع صفر و مقطع n . با استفاده از روابط ریاضی می‌توان ثابت کرد که ϵ_n برابر است با:

$$\epsilon_n = \text{Ln}(Z_n) \quad (4)$$

Z_n تابعی است که به ابعاد قطعه در مقطع n بستگی دارد. اگر رابطه (۴) را در رابطه (۳) قرار دهیم،

خواهیم داشت:

$$\frac{Z_s}{Z_{s-1}} = Z_1^{s(s-1)} \dots \dots \dots (5)$$

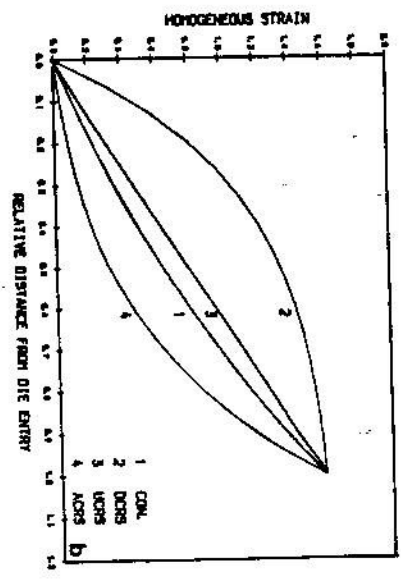
حل این معادله ابعاد قطعه را در مقاطع مختلف خواهد داد که همان شکل هندسی قالب خواهد بود. ثابت s هر عدد دلخواه مثبت می تواند باشد. اگر $s=1$ باشد، یک نرخ تغییر یکنواخت حاصل خواهد گردید. با $s > 1$ یک نرخ تند شونده و با $s < 1$ یک نرخ کند شونده خواهیم داشت. تعداد مقاطع N فقط یک نماد ریاضی نیست. بلکه طول قالب از N قطعه و شکل پیوسته بهم تشکیل خواهد گردید. در شکل ۵ نیمرخ قالب مخروطی با اختصار CON، قالب تند شونده با A.C.R.S، قالب کند شونده با D.C.R.S، و قالب یکنواخت با U.C.R.S. نمایش داده شده اند. این قالب ها با $N=10$ ، و برای سه حالت ۱ و ۲ و ۳، برای نسبت اکستروژن $9:20$ ؛ $R_0:R_m$ رسم گردیده اند. مسیر کرنش این قالب ها در شکل ۶ نشان داده شده اند. می توان با تغییر s مسیر کرنش های متفاوتی بدست آورد.

چنانکه در شکل ۶ ملاحظه می شود، مسیر کرنش در قالب های مختلف متفاوت است، که در نتیجه کیفیت و خواص مکانیکی محصول خروجی نیز متفاوت خواهد بود. در قالب D.C.R.S. نرخ کرنش در ابتدای مسیر زیاد و در انتهای مسیر ناچیز است. این روند کرنش به فلز امکان کریستال بندی مجدد در محیط قالب را خواهد داد. در مقابل، در قالب A.C.R.S. نرخ کرنش در ابتدای مسیر ناچیز و در انتهای مسیر زیاد است. این روند کرنش ممکن است موجب کار سختی فلز در محیط قالب گردد. در قالب U.C.R.S. یک نرخ کرنش یکنواخت حاصل می گردد.

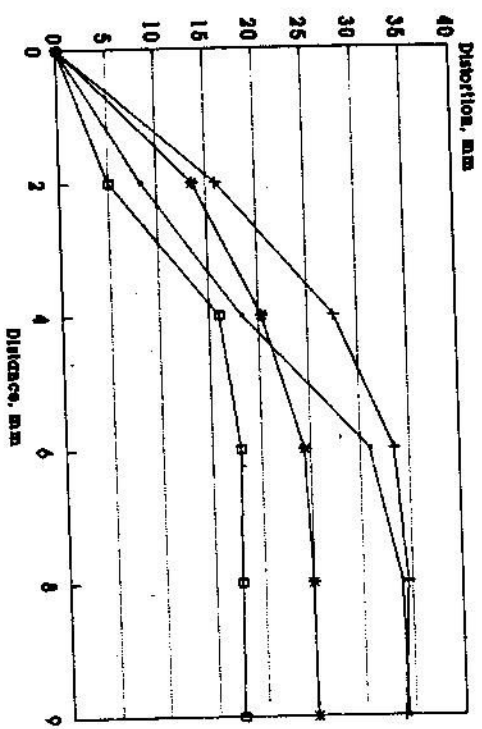
۵- بحث و نتیجه گیری

تحقیقات بر روی موم صنعتی، بعنوان ماده مدل، با استفاده از قالب های فولادی ساخته شده بر اساس تئوری C.R.S. انجام گرفته و نتایج حاصله بطور رضایت بخشی با آنچه پیش بینی می شده است مطابقت دارد. هدف اصلی این تحقیقات ارزیابی کرنش مازاد و بررسی میزان انرژی لازم و تأثیر قالب ها در ایجاد عیوب اکستروژن بوده است [۲].

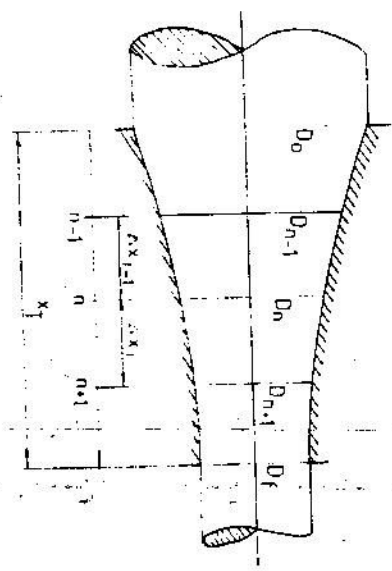
انحراف لایه های عمود بر محور در شکل ۷ و توزیع تغییر شکل برشی مازاد ϵ_s در سطح مقطع قطعه در شکل ۸ نشان داده شده اند. این توزیع در همگنی محصول در امتداد شعاع تأثیر خواهد گذاشت. بدین طریق، انتظار می رود که محصول تولید شده در قالب A.C.R.S. دارای پوسته سفت تر و هسته نرم تر از دیگر قالب ها باشد. از طرف دیگر، همگنی محصول تولید شده در قالب U.C.R.S. بیشتر از قالب های دیگر خواهد بود. این تئوری برای روش های دیگر تغییر شکل فلزات از جمله، نورد، کشش و سوراخ کردن نیز قابل کاربرد است.



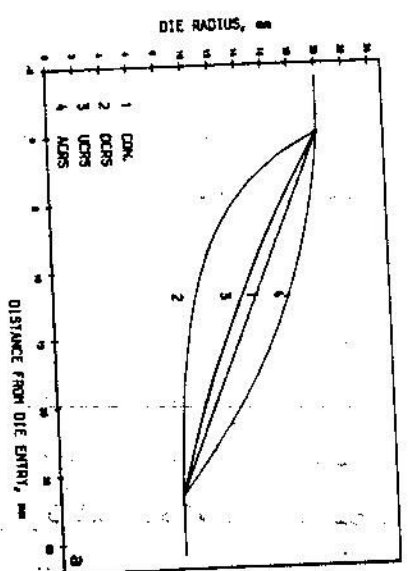
شکل ۱- مسیر کرنش در قالب های CRS و تغییر آن با قالب مخروطی.



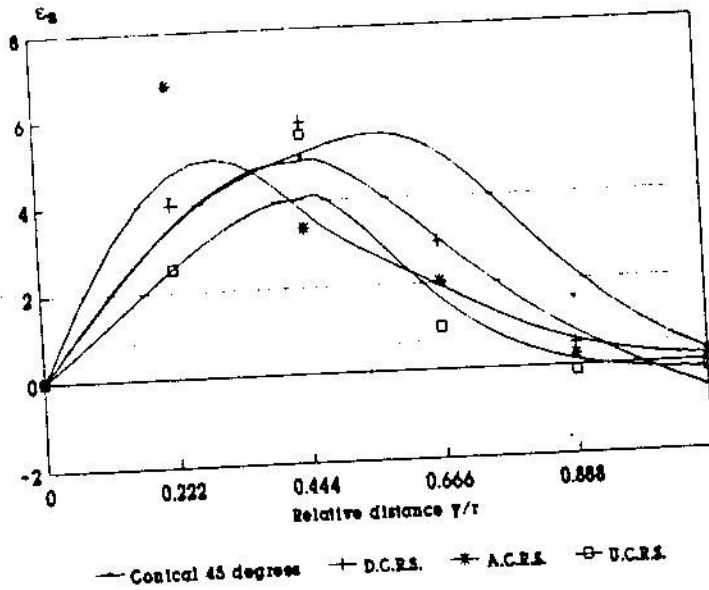
شکل ۷- تغییر شکل لوله های مسطح در قالب های CRS و مخروطی.



شکل ۴- تقسیم بندی طول قالب بر اساس کرنش CRS.



شکل ۵- تغییر شکل لوله های مسطح در قالب CRS و تغییر آن با قالب مخروطی.



شکل ۸- توزیع کرنش برشی اضافی در قالب های C.R.S. و مخروطی.

خلاصه اینکه، نظر به اینکه با تغییر S می توان منحنی دلخواهی برای قالب تولید نمود می توان کیفیت و خواص مکانیکی و متالورژیکی محصول را از قبل پیش بینی و در صورت لزوم بطور دلخواه انتخاب کرد.

مراجع

- 1- A. Farzad, and T.Z. Blazynski, "Geometry factor and redundancy effects in extrusion of rod", J. Mech. Work. Tech., 19(1989), PP. 357-372.
- 2- A. Farzad, "Ph.D. Thesis", University of Leeds, England, 1988.
- 3- C.E. Pearson, and R.N. Parkins, "The extrusion of metals", Chapman and Hall, London, 1960.
- 4- N. Nagpal, "Analysis of plane strain extrusion through arbitrarily shaped dies using flow functions", J. Eng., Ind., Vol. 99, No. 3, 1977, PP. 754-759.
- 5- B. B. Hundy, and A. R. E. Singer, "Inhomogeneous deformation in rolling and wire drawing", J. Inst. Met., Vol. 83, 1954-55, PP. 401-407.
- 6- T. Z. Blazynski, (ed.), "Design of tools for deformation processes", Elsevier Pub., 1986.
- 7- A. G. Atkins, and R. M. Caddel, "The incorporation of work-hardening and redundant work in rod-drawing analyses", Int. J. Mech. Sci., Vol. 10, 1968, PP. 15-28.
- 8- Mata-Piarti, and F. Frisch, "Metal flow through various mathematically contoured extrusion dies", Proc. 5th N. A. M. R. Conf., 1977, PP. 99-113.
- 9- C. T. Chen, and F. F. Ling, "Upper bound solution to axisymmetric extrusion problems", Int. J. Mech. Sci., Vol. 10, 1968, PP. 863-879.

- 10- S. K. Samanta, *"A new die profile with high process efficiency"*, Appl. Sci. Res., Vol. 25, 1971, PP. 54-64.
- 11- M. Farzin, *"Sheet metal forming by a pressure medium"*, International Conference of Engineering Applications, Sharif University, Iran, 1992, PP. 514-521.
- 12- T. Z. Biazynski, *"The theoretical method of designing tools for metal forming processes"*, Metal Forming, Vol. 34, No. 5, 1967, PP. 143-150.