A-PDF Watermark DEMO: Purchase from www.A-PDF.com to remove the watermark

موضوع:
هیدروفرمینگ در شکل دهی فلزات

http://mohandes-iran.com

http://mohandes-iran.com

فهرست مطالب

چکیده..... ۱

فصل اول: آشنایی با فرایند هیدروفرمینگ..... ۲

۱-۱ مقدمه..... ۳

۱-۲ شرح فرایند..... ۴

۱-۳ کاربردهای رایج..... ۶

۱-۴ مزایا و معایب..... ۷

۱-۵ برخی فاکتورهای موثر در فرایند هیدروفرمینگ لوله..... ۹

۱-۶ مواد لوله و قابلیت شکل پذیری..... ۱۱

۱-۷ اصطکاک..... ۱۵

۱-۷-۱ مدل اصطکاک کولام..... ۱۷

۱-۷-۲ مدل تنش برشی[1]..... ۱۷

۱-۷-۳ نواحی اصطکاکی و روغن ها..... ۱۸

۱-۸ خمکاری و پیشفرم دهی لوله..... ۲۱

۱-۹ هیدروفرمینگ بعنوان یکی از روشهای استفاده از فشار سیال در کشش عمیق..... ۲۵

۱-۱۰ تجهیزات..... ۲۶

۱-۱۱ جوشکاری لیزر به عنوان یک فرایند تکمیلی برای هیدروفرمینگ..... ۳۰

http://mohandes-iran.com

فصل دوم: شبیه سازی المان محدود فرایند هیدروفرمینگ لوله برای بررسی تاثیر فشار داخلی سیال

..... ۳۲

۲-۱ مقدمه..... ۳۳

۲-۲ مدلسازی..... ۳۴

۲-۳ نتایج شبیهسازیها ۳۶

۲-۳-۱ توزیع ضخامت دیواره لوله ۳۶

۲-۳-۲ ارتفاع قله در ناحیه تغییر شکل ۳۷

۲-۳-۳ نیروی محوری..... ۳۸

۲-۴ بررسی صحت نتایج ۳۹

۵- نتیجهگیری..... ۴۰

مراجع..... ۴۱

http://mohandes-iran.com

چکیده:

در این مقاله، فرایند هیدروفرمینگ لوله برای تولید یک سه‌راهی T-شکل با استفاده از روش المان محدود سه‌بعدی و با استفاده از نرم‌افزار تجاری ABAQUS/Explicit version ۶.۷ شبیه‌سازی شده است. سپس تاثیر فشار داخلی سیال بر توزیع ضخامت سطح مقطع و ارتفاع قله ناحیه تغییر شکل محصول هیدروفرم‌شده و نیز نیروی محوری مورد نیاز در فرایند مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته است. هدف از انجام این تحقیق، بررسی پاسخ فرایند به تغییر فشار داخلی سیال است. نتایج بدست آمده از مقاله با نتایج بدست آمده از سایر محققین مقایسه و تطبیق خوبی مشاهده شده است.

کلمات کلیدی: هیدروفرمینگ لوله - فشار داخلی – توزیع ضخامت دیواره – ارتفاع قله ناحیه تغییر شکل – نیروی محوری.

http://mohandes-iran.com

فصل اول

آشنایی با فرایند هیدروفرمینگ

http://mohandes-iran.com

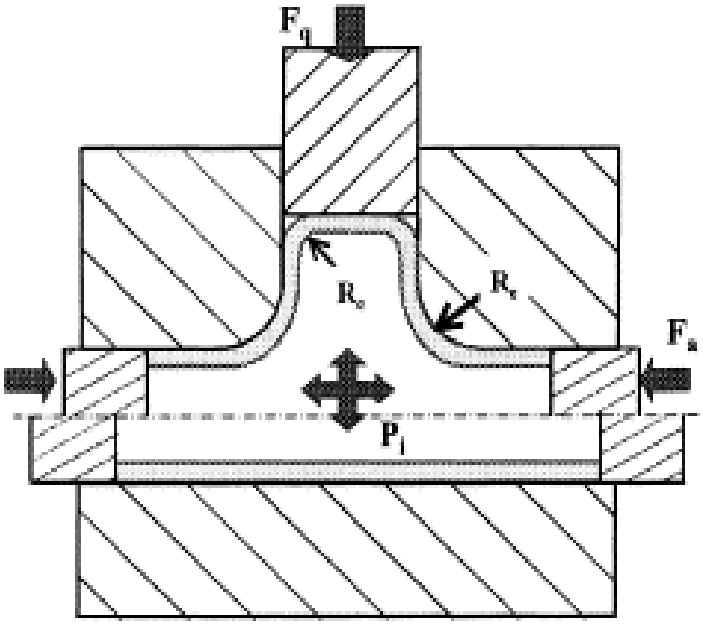
۱-۱ مقدمه :

با استفاده از ماشین های پیشرفته جهت طراحی و کنترل ، هیدروفرمینگ[۱] (شکل دهی بوسیله سیال) لوله به جریانی اقتصادی ، در راستای فرایند های مختلف ماتریس کاری ، تبدیل شده است .این تکنولوژی ، فرایندی نسبتاً جدید است ، بنابراین دانش و مطالعات وسیعی در مورد این فرایند وجود ندارد . هیدروفرمینگ لوله ،یک تکنولوژی شناخته شده است . با پیشرفتهایی که در کنترل فرایند و نیرو بوسیله کامپیوتر ، در سیستم هایی با فشار بالا صورت گرفته (بویژه با استفاده از فشار داخلی تا حد ۶۰۰۰ bar)، این فرایند به روشی مناسب و قابل قبول در تولید انبوه تبدیل گشته است .ماشین های مدرن برای پارامترهای اصلی فرایند (یعنی فشار داخلی[۲] ، نیروی متقابل[۳] و تغذیه محوری[۴]) ، کنترل مستقلی دارند (شکل۱-۱) . نکته قابل تاکید دیگر در مورد طراحی قطعات سبک وزن وسایل نقلیه است که استفاده از این تکنولوژی را برای تولید انبوه این قطعات افزایش میدهد . در این فصل ، تکنولوژی هیدروفرمینگ بصورت بنیادین مرور میشود و اینکه چگونه پارامترهای مختلفی از قبیل خواص مواد لوله ای شکل، هندسه پیشفرم دهی ، روغنکاری و فرایند های کنترل بر روی طراحی و کیفیت محصول تأثیر میگذارند، مورد بررسی واقع میشود . در ادامه روابط بین فرایند های متغیر و هندسه قطعه مطرح شده است و در پایان فصل ، وضعیت فعلی این تکنولوژی و پیامد های بحرانی آن برای پیشرفت های آتی مورد بررسی قرار گرفته است .

---

[۱]- Tube Hydroforming
[۲]- Internal Pressure
[۳]- Counter Force
[۴]- Axial Feeding

http://mohandes-iran.com

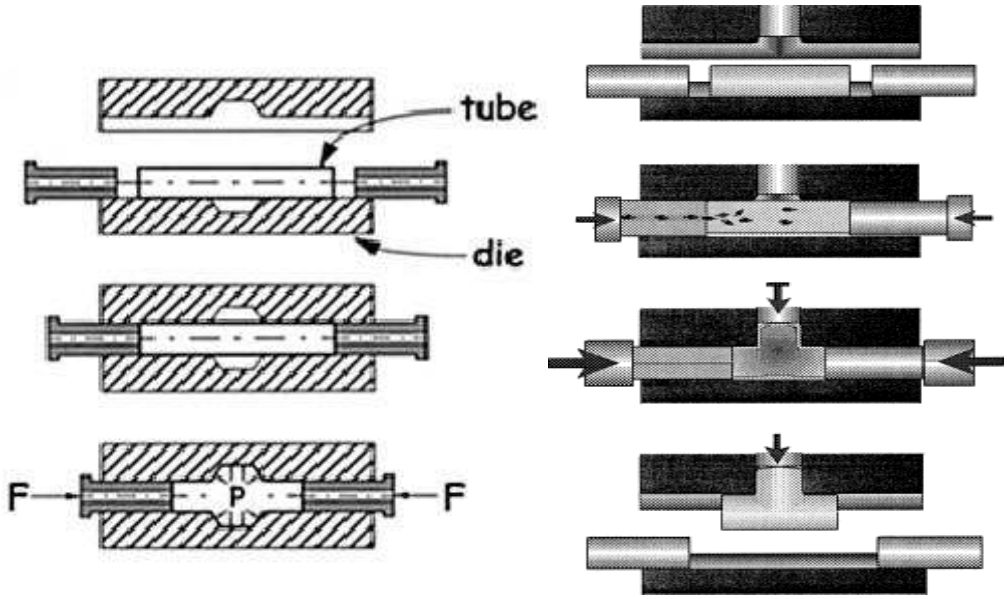


شکل ۱-۱: نیروهای موثر در هیدروفرمینگ

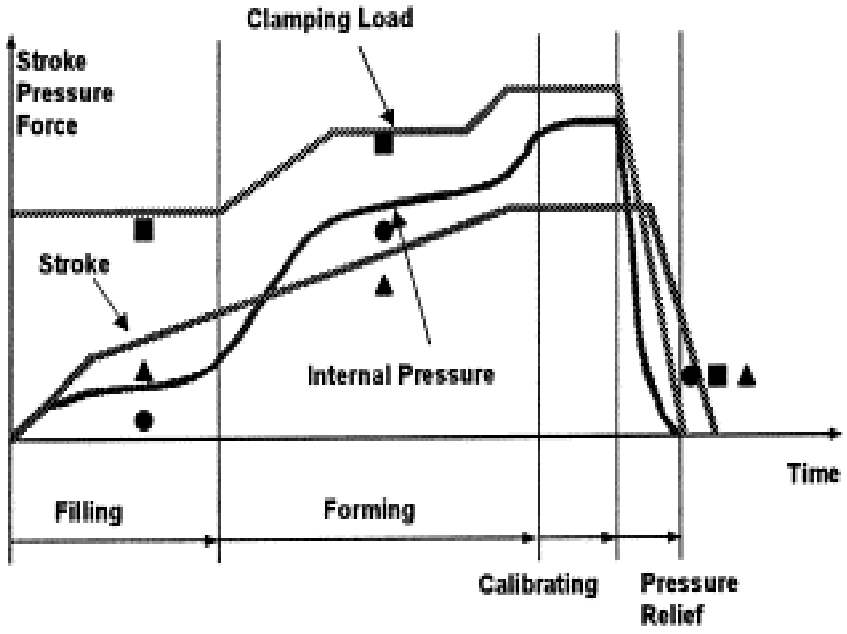
۱-۲ شرح فرایند

ترتیب فرایند برای یک نوع فرایند هیدروفرمینگ در شکل (۱-۲) نشان داده شده است . فشار داخلی سیال ،پس از بسته شدن قالب ها ، برای وارد کردن نیرو و فشار بر روی ماده ، در ناحیه تغییر شکل افزایش میابد . در طی این فرایند تغذیه محوری و فشار داخلی هم زمان با هم کنترل میشوند تا قالب شکل دهی ماده بهبود یابد (شکل ۱-۳) . با این وجود ممکن است برای فرم دادن یک گوشه کوچک ، نیاز به فشار بزرگی باشد . در پایان فرایند کالیبراسیون ، با کشیدن ماده در گوشه با افزایش فشار داخلی ، انجام میشود . در این مرحله هنگامیکه فشار داخلی خیلی زیاد است ، امکان وارد ساختن فشار بر ماده اضافی ، برای تغذیه به طرف منطقه تغییر شکل ، به دلیل بزرگ بودن نیروهای اصطکاکی وجود ندارد .

http://mohandes-iran.com



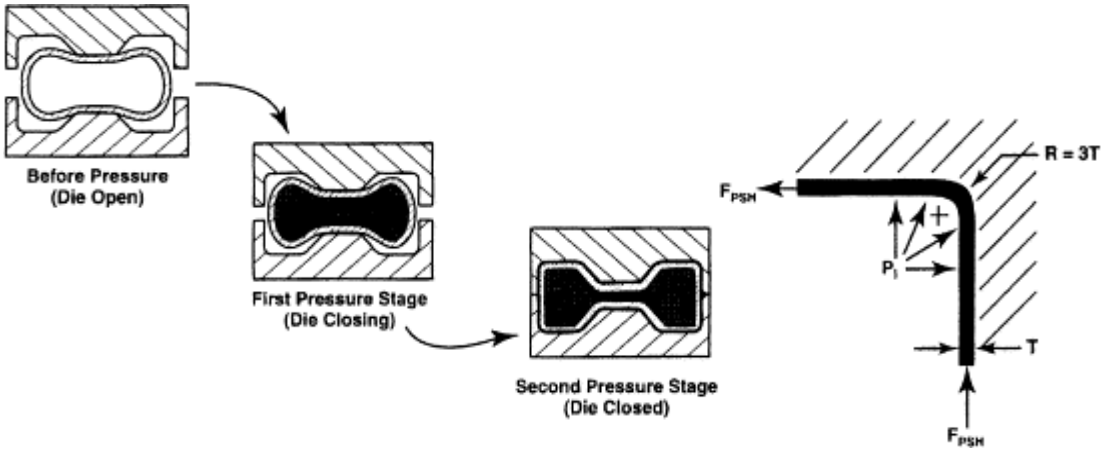
شکل ۱-۲ : ترتیب فرایند هیدروفرمینگ



شکل۱- ۳ : تغییرات فشار داخلی ، نیرو و تغذیه محوری و کورس در فرایند هیدروفرمینگ

http://mohandes-iran.com

در دیگر نسخه های فرایند هیدروفرمینگ (شکل ۱-۴) یک فشار کم سیال ، ممکن است در طی مدتی که قالب بسته است ، کافی باشد . بنابراین به قطعه لوله ای شکل ، توسط سیالی رقیقتر و فشار داخلی کمتر ، به طرف گوشه های قالب نیرو وارد میشود و فرم دهی میگردد .



شکل ۱-۴ : مراحل فشار در نسخه ای از فرایند هیدروفرمینگ

۱-۳ کاربردهای رایج

از مهمترین کاربرد های هیدروفرمینگ لوله میتوان به کاربرد آن در صنایع مربوط به خودروسازی و صنایع هواپیما اشاره کرد . در ساخت وسایل بهداشتی نیز این فرایند کاربرد دارد . شکل ۱-۵ برخی از کاربردهای هیدروفرمینگ را در یک خودرو نشان میدهد .

کاربردهای مهم در صنایع خودروسازی عبارتند از :

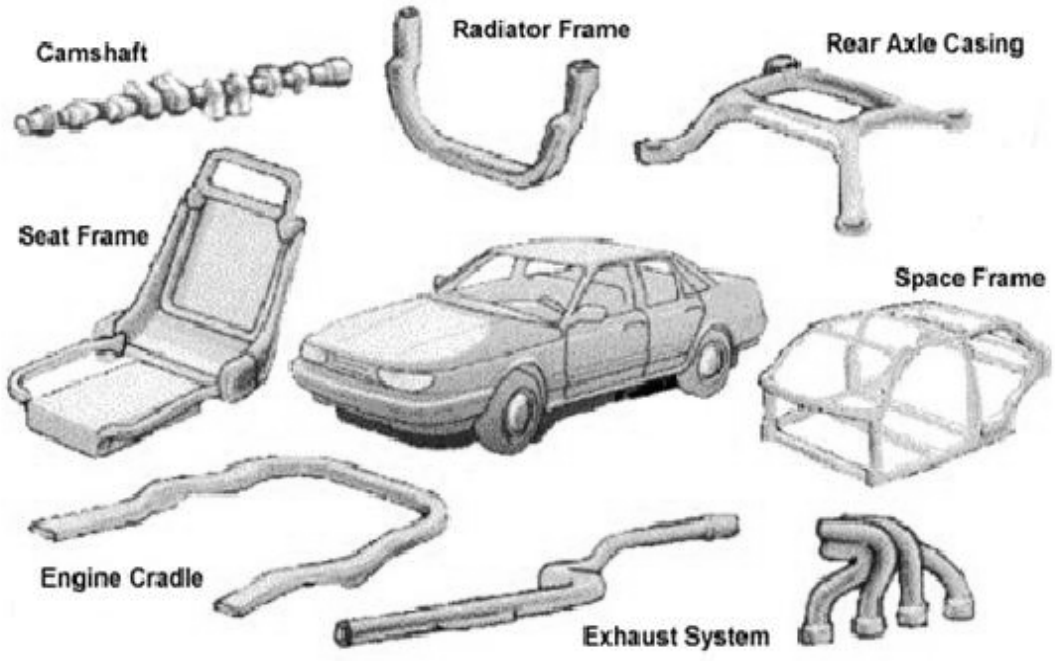
سیستم اگزوز – محور بادامک – قابهای رادیاتور – اکسل (محور) عقب و جلو – چارچوب موتور[۱] – میل لنگ ها – بدنه صندلی و بخش های دیگری از بدنه .

۱- Engine Cradles

http://mohandes-iran.com

برخی از کاربردهای مشهور هیدروفرمینگ عبارتند از :

اکسل عقب BMW در ۵۰۰ سری – اگزوز چند راهه مرسدس بنز – ریل داخلی سقف و چارچوب موتور بوییک پارک اونیو[۱]



شکل ۱-۵ : قطعاتی که بوسیله هیدروفرمینگ شکل دهی شده اند .

۱-٤ مزایا و معایب :

هیدروفرمینگ لوله در مقایسه با روشهای سنتی ساخت که توسط قالب گیری و جوشکاری انجام میشوند ، چندین مزیت دارد . این مزایا عبارتند از :

۱- Buick Park Avenue

http://mohandes-iran.com

۱. استحکام قطعه

۲. کاهش وزن

۳. کاهش هزینه تجهیزات و هزینه های ابزار پردازی بدلیل قطعات کمتر

۴. نیاز به عملیات ثانویه کمتر

۵. بسته بودن تلورانس ابعادی

۶. کاهش میزان دور ریز

۷. کاهش تعداد قطعات

۸. بهبود قدرت ساختاری و سفتی[۱] و چقرمگی

۹. پایین بودن میزان واجهش[۲]

۱۰. عدم احتیاج به ابزاری جهت حفاظت از قطعه در حین فرایند

۱۱. راندمان و بهره وری بالای فرایند

هیدروفرمینگ لوله معایبی را نیز در بر دارد که از آن جمله میتوان به موارد زیر اشاره کرد :

۱- آهسته بودن سیکل کاری

۲- گران بودن تجهیزات

۳- فقدان دانشی پایه ای و وسیع درباره فرایند و طراحی ابزار

---

[۱]- Stiffness
[۲]- Spring back

http://mohandes-iran.com

۴- برای مونتاژ کردن قطعاتی که تحت این روش شکل دهی میشوند ، نیاز به تکنیک های جدید جوشکاری است .

زمان ساخت یک قطعه در هیدروفرمینگ ممکن است تا ۴۰ ثانیه وقت بگیرد که البته این زمان بستگی به پیچیدگی قطعه دارد و تقریبا این زمان سه برابر زمانی است که در فرایند قالب زنی (استمپینگ) صرف میشود . عملیات ثانویه تکمیلی مانند هیدرو- سوراخکاری میتواند در کاهش زمان سیکل عملیاتی این فرایند بکار رود ، بنابراین بایستی برای کاهش زمان سیکل ، عملیات ثانویه (مانند سوراخکاری و خمکاری و...) با هیدروفرمینگ ترکیب گردد . لذا برای امکان پذیر بودن فرایند هیدروفرمینگ برای هر قطعه روشهای سنتی قالب گیری و جوشکاری ، بایستی به صورت جداگانه در نظر گرفته شوند (هم از نظر صرفه اقتصادی و هم از نظر مکانیکی) . شبیه سازی های کامپیوتری میتواند جهت بهینه سازی فرایند بصورت گسترده ای مورد استفاده قرار گیرد .

۱-۵ برخی فاکتورهای موثر در فرایند هیدروفرمینگ لوله :

شکل ۱-۶ اجزای یک نوع سیستم هیدروفرمینگ را نشان میدهد . این اجزاء هندسه لوله و ویژگی های ماده را از لحظه شروع تا کیفیت قطعه پایانی تغییر میدهند (مانند توزیع ضخامت و دقت ابعادی) .

http://mohandes-iran.com

هر یک از این اجزا نقش مهمی را در موفقیت فرایند بازی میکنند . بـا افـزایش گسـتره کاربردهای هیدروفرمینگ چندین موضوع اهمیت یافته و بایـد در نظـر گرفتـه شـوند ، برخی از این موضوعات عبارتند از :

۱- آماده سازی لوله ها (انتخاب مواد ، کیفیت لوله وارد شونده در قالب)

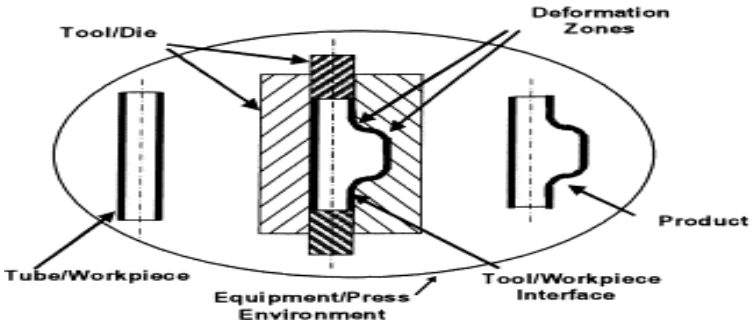
۲- طراحی پیشفرم دهی[۱] و روش تولید

۳- جوشکاری و مونتاژ کردن اجزای هیدروفرم شده

۴- عملکرد لهیدگی[۲] و سفتی توام

۵- انتخاب روغن مناسب در فشارهای بالا

۶- سرعت بخشیدن به توسعه فرایند



شکل ۱-۶ : اجزای یک نوع سیستم هیدروفرمینگ

۱- Pre-Forming
۲- crush performance

http://mohandes-iran.com

۱-٦ مواد لوله و قابلیت شکل پذیری

چندین فاکتور در انتخاب مواد برای هیدروفرمینگ لوله نقش مهمی ایفا میکنند . این فاکتورها شامل ویژگیهای نهایی قطعه ، فرایند شکل دهی ، قابلیت تغییر شکل ماده ، در دسترس بودن و هزینه میباشند.

برای انتخاب مواد پارامتر های مختلفی ممکن است تاثیر داشته باشند . برای مثال فولاد HSLA میتواند برای کاهش وزن ، بدون از دست دادن سفتی در ساختار قطعات بکار رود ، از طرف دیگر ماده ای گران قیمت است و شکل دهی آن نیز نسبتا مشکل است . با این وجود ممکن است در برخی کاربرد های خاص برای تحقق خصوصیات طراحی یک قطعه ، این ماده تنها انتخاب باشد .

آلومینیوم ، هنوز به عنوان ماده ای مناسب برای تولید قطعات خودرو در فرایند هیدروفرمینگ مطرح است . این فلز سبک وزن کاربرد های فراوانی در صنعت خودرو داشته و باعث میشود وزن کلی خودرو بطور قابل توجهی کاهش پیدا کرده و مصرف سوخت نیز کاهش یابد .

برخی مواد مورد استفاده در هیدروفرمینگ عبارتند از :

- فولادهای کم کربن(SAE۱۰۰۶/۱۰۰۸/۱۰۱۰) و HSLA برای شاسی و بدنه
- فولادهای سختی سطحی شده (SAE۱۰۱۵ وSAB۱۰۴۵) برای میل بادامکها و میل گاردنها
- فولادهای ضد زنگ (AISI۳۰۹ و AISI۳۰۴) برای اجزای سیستم اگزوز

http://mohandes-iran.com

- فولاد های کربنی
- آلیاژهـای آلومینیـوم (AA۶۲۶۰ و AA۵۰۱۹ و AA۱۰۵۰) بـرای کاربردهـای بدنـه وشاسی
- مس برای اتاقک ها و اتصالات T شکل

کیفیت لوله وارد شونده در موفقیت فرایند هیدروفرمینگ ، نقشی بحرانی دارد . خصوصیات مواد (مانند ساختار ماده و عناصر متشـکله – نـوع جـوش – اسـتحکام تسـلیم – اسـتحکام کششی نهایی – استحکام شکست - درصد کشیدگی و خصوصیات سیال) و ابعـاد (ماننـد قطر و ضخامت) لوله باید بر اساس انتظارات قطعه نهایی تعیـین شـوند و در طـی فراینـد ساخت به دقت کنترل گردند .دقت داده های مواد نیز برای طراحی قطعه و توسعه فراینـد ضروری است .

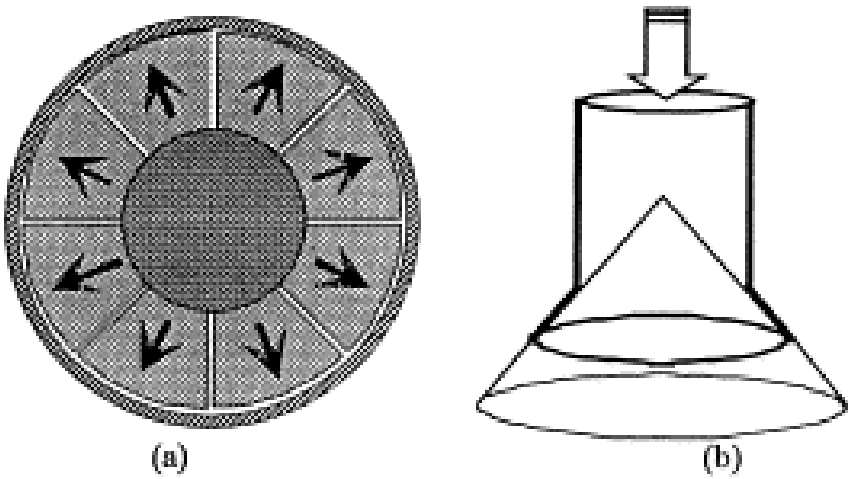
محدودیت ها و معایبی که ممکن است در شکل دهی بوجود آینـد ، در آزمایشـگاه تخمـین زده میشوند . این آزمایشات در شبیه سازی های کامپیوتری ، جهت شناسایی مناطق مساله ساز در هیدروفرمینگ و تصحیح آنها ، قبل از ، ازدست رفتن هزینه و زمان ، بطـور مـوثری استفاده میشوند .

در صنعت آزمایشات زیادی جهت تعیین ویژگی هـای مـاده اسـتفاده میشـود. آزمایشـات زیادی جهت تعیین ویژگی های لوله وجود دارند ، مانند تست مخـروط[۱] و تسـت انبسـاط[۲] (شکل ۱-۷) ، گرچه این آزمایشات ممکن است برخی از مفروضات را در مـورد کشـیدگی

[۱]- cone test
[۲]- expansion test

http://mohandes-iran.com

لوله تحت پوشش قرار دهند ولی آنها در کاربردشان محدودند .زیرا اصطکاک در حد فاصل بین لوله و ابزار بوجود میاید .



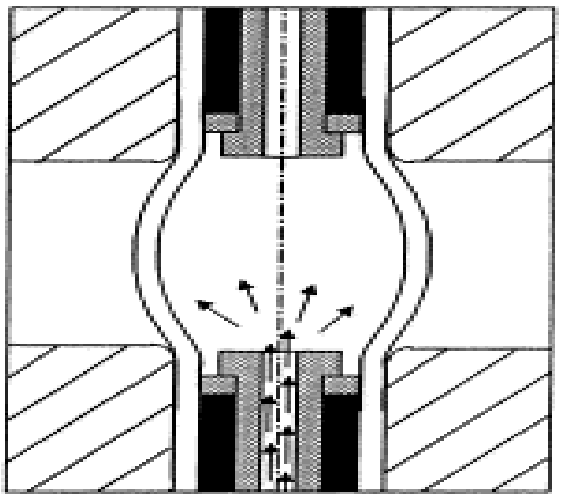
شکل ۱-۷ : (a) تست انبساط لوله ، (b) تست مخروط

برای بدست آوردن اطلاعات واقع بینانه بیشتر درباره خصوصیات ماده مربوط به لوله ، نیاز به آزمایش دیگری در فرایند هیدروفرمینگ است . شکل ۱-۸ نقشه ساده ای از تست انبساط هیدرولیکی[۱] را نشان میدهد . در این آزمایش لوله از دو انتها بسته میشود و با استفاده از فشار هیدرولیکی داخلی ، آزادانه منبسط میشود .چندین قطعه (فولاد ۳۰۴) که تحت فشارهای داخلی متفاوتی منبسط شده اند ، در شکل ۱-۹ دیده میشوند . این آزمایش جهت تعیین خصوصیات ماده تحت شرایط دوبعدی مطلق استفاده میشود که ممکن است قسمتی وجود داشته باشد که فقط بوسیله فشار داخلی (و نه تغذیه محوری) شکل داده شده است . تست های دیگری نیز جهت شبیه سازی دیگر شرایط مورد نیاز است (مانند

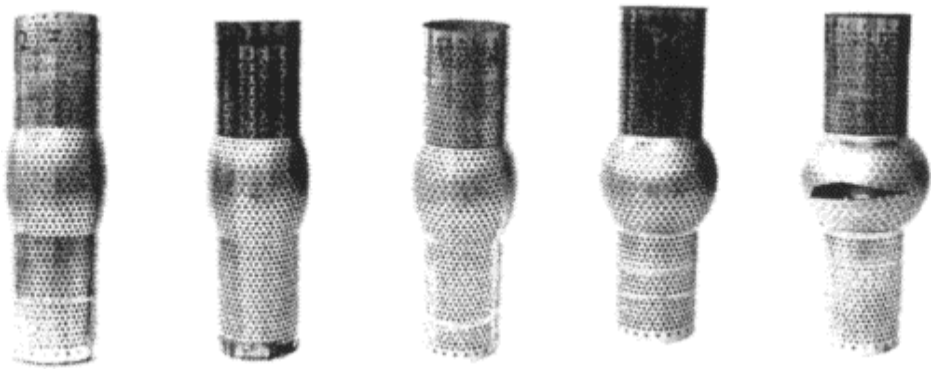
۱- hydrolic bulge test

http://mohandes-iran.com

عمل همزمان فشار داخلی و تغذیه محوری و شرایطی با انتهای آزاد) .در فصل آینده تست انبساط هیدرولیکی بطور مفصل مورد بررسی قرار خواهد گرفت .



شکل ۱-۸ : تست انبساط هیدرولیکی



شکل ۱-۹ : لوله های فولادی ضد زنگ منبسط شده

http://mohandes-iran.com

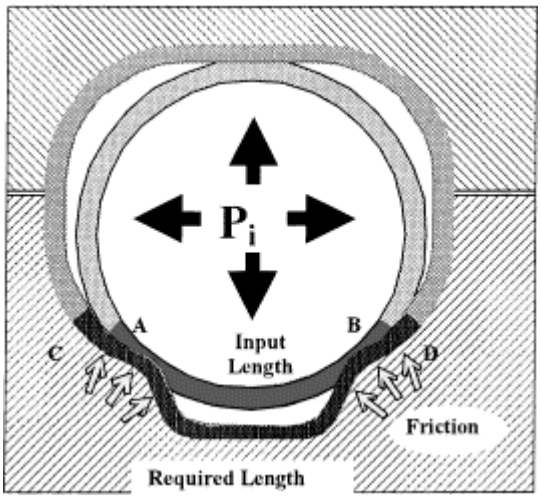
۱-۷ اصطکاک

شرایط روغنکاری و اصطکاک در قطعاتی که تغذیه محوری در شکل دهی آنها نقش دارد ، از اهمیت بالایی برخوردار است .در خیلی از موارد روغن (روانساز) جهت کاهش اصطکاک لغزشی و جلوگیری از چسبندگی و سایش جهت کاهش فرسایش ابزار و همچنین کاهش نیروهای محوری و کمانش ، بکار میرود . روغنکاری همچنین در طی مراحل کالیبره کردن لوله از هنگامی که مقطع عرضی آن بسط داده میشود تا هنگامی که به ابعاد نهایی برسد ، نقشی حیاتی در فرایند هیدروفرمینگ ایفا میکند .

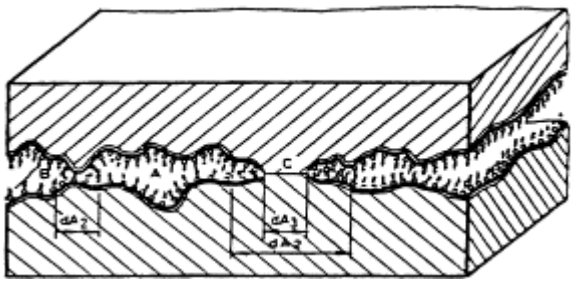
به محض اینکه لوله با سطح قالب تماس پیدا کند اصطکاکی بین آنها ایجاد خواهد شد که بسته به میزان اصطکاک ، توزیع کرنش یکنواخت نخواهد بود .(شکل ۱-۱۰)

در هیدروفرمینگ روغنکاری مرزی ، شرایط اصطکاک را کنترل میکند . روغن بین سطوح خشن لوله و قالب قرار میگیرد و روانسازی را فراهم میکند (شکل۱- ۱۱) . هنگامی که فشار داخلی افزایش پیدا میکند ، سطح تماس بین آنها افزایش میابد و اصطکاک لغزشی ممکن است اتفاق افتد . بنابراین تحت شرایط متفاوت فشار ، قانون های اصطکاک متفاوتی جهت مدل کردن شرایط اصطکاک بایستی استفاده گردد .

http://mohandes-iran.com



شکل ۱-۱۰ : اصطکاک در سطح تماس لوله و قالب ، بخش AB از لوله اولیه باید بشکل منحنی CD از قالب کشیده شود .



شکل ۱-۱۱ : سطوح تماس در هیدروفرمینگ

http://mohandes-iran.com

۱-۷-۱ مدل اصطکاک کولام[۱]

در فشارهای پایین اصطکاک کولام میتواند مورد استفاده قرار گیرد . بر طبق قانون اصطکاک کولام ، تنش مماسی (τ) نسبت به تنش عمودی (σ) در نظر گرفته میشود (معادله ۱-۱)

$$\mu = \frac{F_t}{F_n} = \frac{\tau}{\sigma} \qquad (۱-۱)$$

مقدار ثابت این تناسب ضریب اصطکاک (μ) نامیده میشود .

۱-۷-۲ مدل تنش برشی

اگر فشار تماسی[۲] به تنش جاری[۳] مواد لوله تبدیل شود ، آنگاه مدل اصطکاک کولام دیگر جوابگو نخواهد بود و مدل تنش برشی بکار گرفته خواهد شد .

بر طبق مدل تنش برشی ، نسبت تنش مماسی (τ) به تنش جاری ($\bar{\sigma}$) در نظر گرفته میشود (معادله ۱-۲)

$$f = \frac{\tau}{\bar{\sigma}} = \frac{m}{\sqrt{۳}} \qquad (۲)$$

مقدار ثابت این تناسب فاکتور اصطکاک (f) نامیده میشود .

۱- Coulomb Friction Model
۲- Contact Pressure
۳- Flow Stress

http://mohandes-iran.com

۱-۷-۳ نواحی اصطکاکی و روغن ها

در فرایند هیدروفرمینگ ، از دیدگاه اصطکاک، سه منطقه قابل شناسایی هستند. (شکل ۱-۱۲) این مناطق عبارتند از :

- منطقه هدایت[۱] - منطقه تبدیل[۲] - منطقه انبساط[۳]

هر یک از این مناطق دارای دیفرمیشن و خصوصیات اصطکاکی متفاوتی هستند . مواد در منطقه هدایت تغییر شکل میدهند ، با این وجود ، تحت فشار داخلی بوسیله نیروی محوری سیلندرها ، به طرف ناحیه تغییر شکل فشار داده میشوند . منطقه تبدیل ، جایی است که تغییر شکل رخ میدهد و ناحیه انبساط جایی است که مواد شکل هندسی قالب را به خود میگیرند . برای تعیین ویژگی های اصطکاک ، این نواحی بایستی بطور جداگانه مورد بررسی و ارزیابی قرار گیرند .

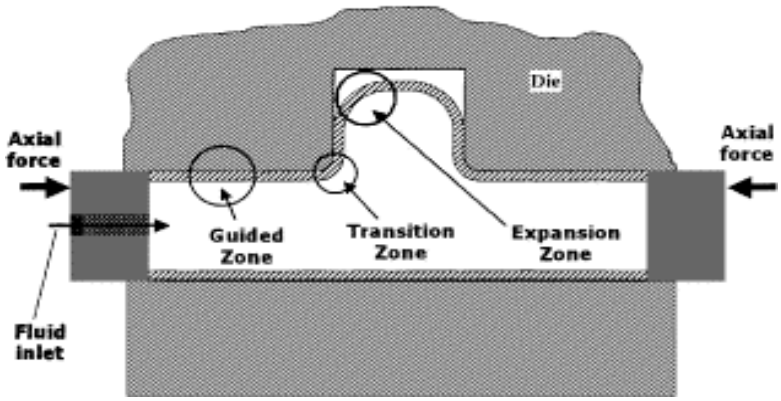
مهمترین پارامترهایی که در هیدروفرمینگ لوله بر روی اصطکاک تاثیر میگذارند ، عبارتند از :

- روغن (روانکار)
- مواد لوله (مانند بافت سطحی و استحکام تسلیم)
- سطح قالب (مانند سطح پرداخت – سختی – رفتار سطح و روکش)

---

[۱]- Guided Zone
[۲]- Transition Zone
[۳]- Expansion Zone

http://mohandes-iran.com



شکل ۱-۱۲ : نواحی اصطکاک در هیدروفرمینگ لوله

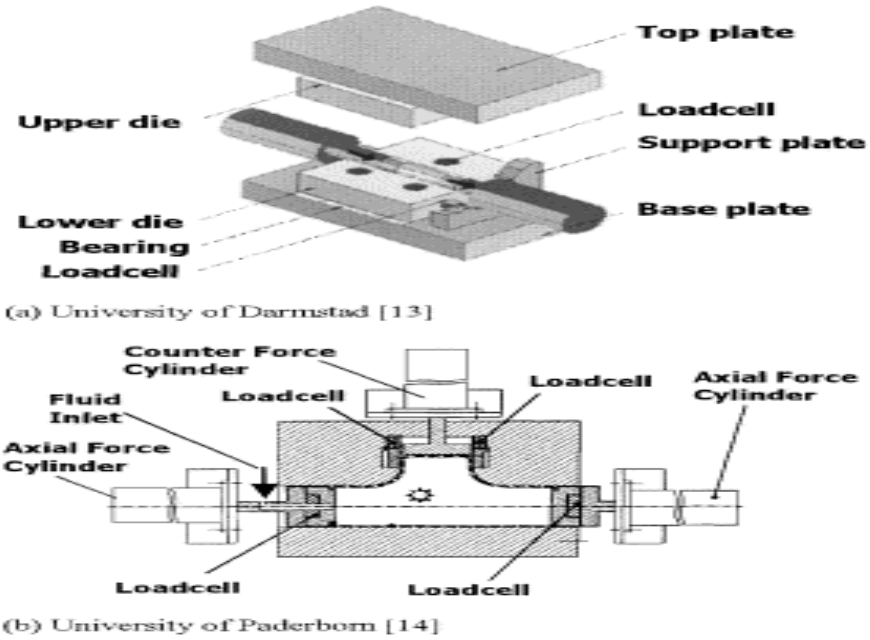
انواع مختلفی از روغن ها برای هیدروفرمینگ در دسترس هستند که شامل روانکارهای جامد که اغلب گرافیت یا پایه MoS_2 ، پایه پلیمر ، واکس ها ، مواد نفتی و امولسیون ها میباشند .

روغن ها در طول فرایند باید بسادگی قابلیت بکارگیری و نیز برطرف شدن را داشته باشند و نباید هیچگونه آلودگی در اجزاء ایجاد کنند .

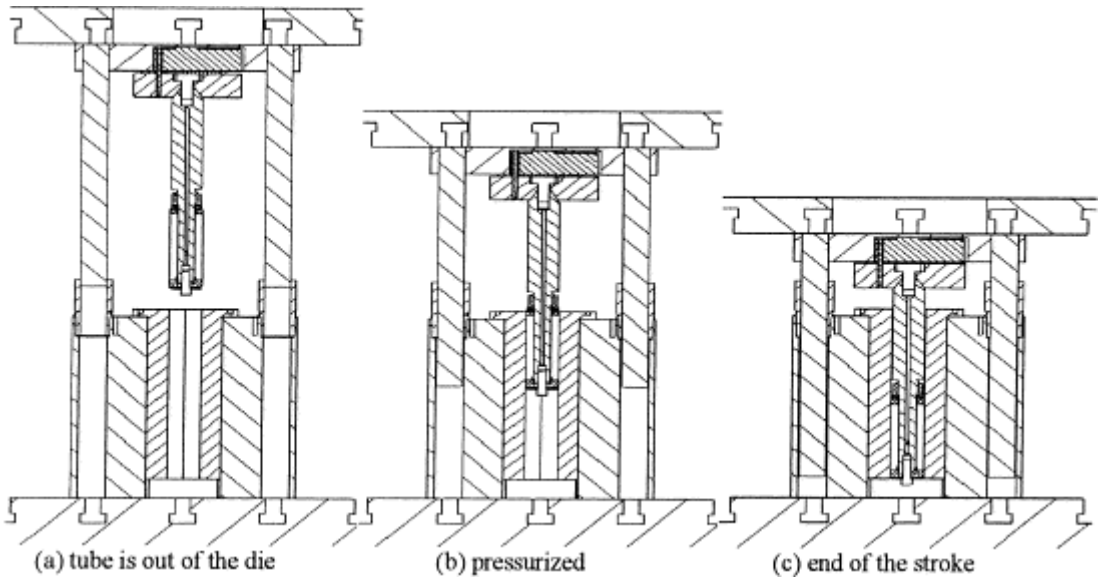
پروژه های تحقیقاتی که در چندین انجمن علمی در آلمان و در ERC/NSM صورت گرفته منجر به تعیین ویژگی های اصطکاک برای انواع مختلف مواد لوله – روغن – سطح قالب و نیز ترکیبی از این شرایط شده است .طرح و نقشه هایی از ابزارهایی که در دانشگاه دارمستات[۱] و دانشگاه پادربورن[۲] استفاده میشوند ، در شکل (۱-۱۳) بترتیب در قسمت‌های a و b نشان داده شده است .طرحی از ابزاری که در ERC/NSM برای آزمایشات اصطکاک بکار گرفته شده ، در شکل (۱-۱۴) نشان داده شده است .

[۱]- Darmstadt
[۲]- Paderborn

http://mohandes-iran.com



شکل۱- ۱۳ : طرحی از ابزار بکار رفته در آزمایشات اصطکاک



شکل۱-۱۴ : نمونه ای از طراحی ابزار برای تست اصطکاک در ERC/NSM

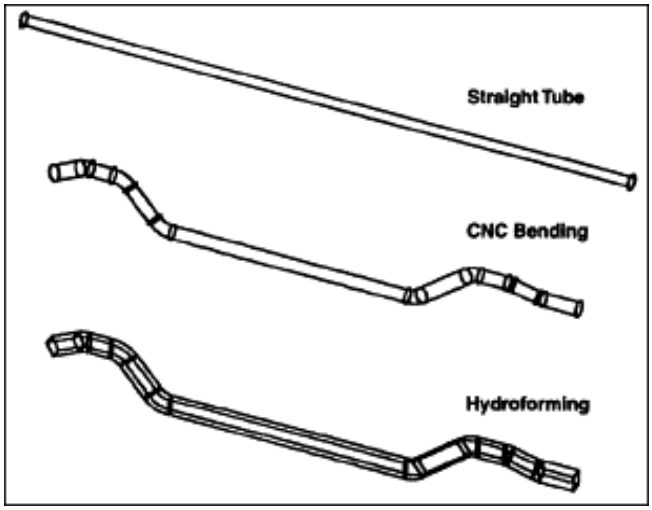
http://mohandes-iran.com

۱-۸ خمکاری و پیشفرم دهی لوله

هندسه اولیه لوله برای هیدروفرمینگ ممکن است راست و مستقیم باشد و یا بسته به پیچیدگی محصول نهایی ، خمکاری یا پیشفرم دهی داشته باشد .(شکل ۱-۱۵)

در بسیاری از کاربردها ، به لوله خمکاری اولیه ای میدهند که حدود تقریبی قطعه را قبل از عملیات هیدروفرمینگ داشته باشد که بستگی به شکل نهایی قطعه دارد . قطعاتی که دارای خم های خیلی بسته و زیاد و کوتاه هستند و نیز قسمت های مستقیم بین خمها در آنها وجود دارد و نیز قطعاتی که چندین خم با شعاع های مختلف دارند ، افزایش هزینه را در ابزار و تجهیزات در پی خواهند داشت ، بنابراین محدودیت های خمکاری در طی مراحل طراحی محصول ، مورد بررسی قرار خواهد گرفت . البته باید به این نکته نیز توجه کرد که خمکاری اولیه و پیشفرم دهی قبل از انجام عملیات هیدروفرمینگ باعث ایجاد کارسختی و کاهش قابلیت شکل پذیری در قطعه میگردد .برای جبران این نقیصه باید قطعه را پس از پیشفرم دهی و قبل از هیدروفرمینگ لوله ، آنیل کرد . همچنین میتوان ماده ای انتخاب کرد که قابلیت چکش خواری و شکل پذیری بالایی داشته باشد تا انبساط مورد نیاز حین هیدروفرمینگ بخوبی تامین گردد . آلومینیوم در مقایسه با فولاد قابلیت شکل پذیری کمتری دارد . اکثرا ، قطعات آلومینیومی پس از اینکه عملیات خمکاری روی آنها انجام شد ، برای بدست آوردن تلورانس ابعادی نیاز به کالیبراسیون پیدا میکنند .

http://mohandes-iran.com



شکل ۱-۱۵ : ترتیب عملیات در ساخت قطعات لوله ای شکل

روش های زیادی در خمکاری لوله میتوانند مورد استفاده قرار گیرند . برخی از این روش ها عبارتند از :

- خمکاری همفشردگی[۱]
- خمکاری پرس[۲]
- خمکاری سه غلطکی[۳]
- هیدروخمکاری[۴]
- خمکاری کششی گردان[۵]

۱- compression bending
۲- press bending
۳- three-roll bending
۴- hydrobending
۵- rotary draw bending

http://mohandes-iran.com

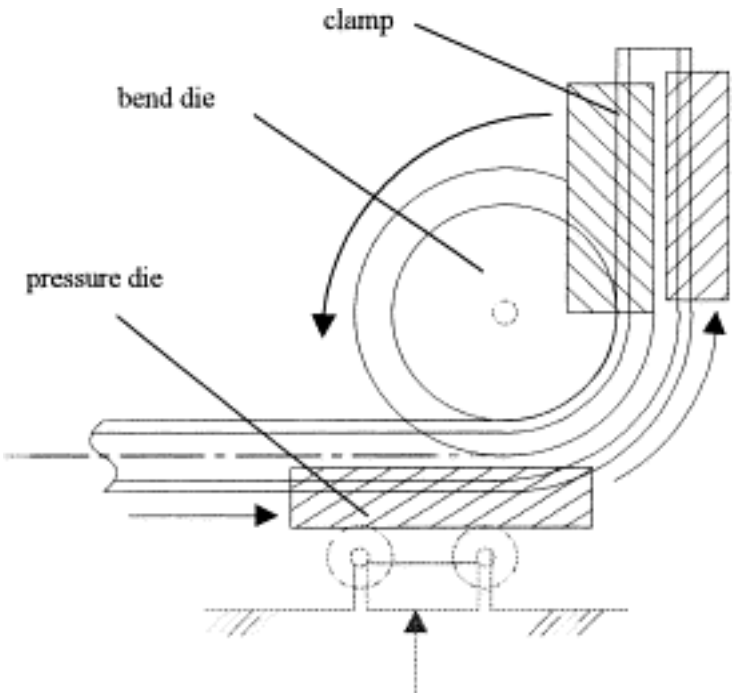
در خمکاری کششی گردان (شکل ۱۶) ، لوله در قالب توسط کلمپ قفل میشود و در حالیکه قالب خم میچرخد ، فشار قالب لوله را پیش میراند . در این فرایند ممکن است از یک سنبه یا میله استفاده شود (که بستگی به هندسه لوله و قالب خم دارد) که باعث میشود از تخریب و چین خوردگی زیاد در ناحیه خم جلوگیری کند . خم کششی دوار بوسیله خم کننده هایی که با CNC کنترل میشوند ، شکل داده میشود . در خمکاری پارامتر های زیر باید در نظر گرفته شوند:

- زاویه خم برای جبران واجهش(برگشت فنری) و رسیدن به ابعادی با دقت بالا ، بایستی بسادگی تنظیم شود .
- در کاربرد های خمکاری هیدروفرمینگ نباید چروکیدگی و یا کمانشی در منطقه خم بوجود آید .
- نازک بودن جداره خارجی خم و بیضوی بودن بایستی بصورت حداقل نگه داشته شود .
- از خط افتادن و خراشیدگی روی سطح باید جلوگیری کرد .
- ابزار های خمکاری باید انعطاف پذیر و وفق پذیر با تغییرات کوچکی باشند که در هندسه خم بوجود میاید.
- خمش های کشسانی در ابزار و لغزش بین لوله و قالب باید تا یک حد مینیمم ، کاهش یابد .

http://mohandes-iran.com

- موقعیت خط جوش نسبت به محصول نهایی باید تعریف شده و در طول عملیـات ، در آن موقعیت نگه داشته شود .

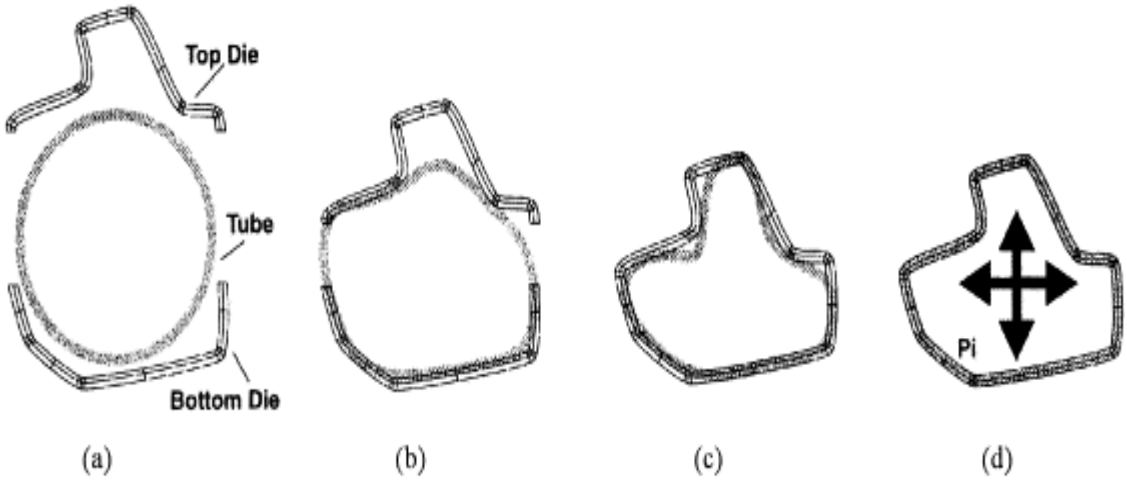
همانطور که در شکل ۱-۱۷ نشان داده شده ، ابتدا قالب باز است ، پس از بسـته شـدن قالب ، کالیبراسیون نهایی ابعاد لوله انجـام میگیـرد (ایـن عمـل کرشـفرمینگ[۱] نامیـده میشود). برای رسیدن به تغییر شکل کـاملا پلاسـتیک در تمـام قطعـه کـه نتیجـه آن کاهش واجهش خواهد بود ، پیرامون لوله در هر مقطع عرضی ، باید انـدکی کـوچکتر از هندسه قالب ساخته شده باشد .



شکل ۱-۱۶ : خمکاری کششی گردان

[۱]- Crash Forming

http://mohandes-iran.com



شکل ۱-۱۷ : crash forming ، (a) قالب باز است ، (b) قسمتی از قالب بسته است ، (c) قالب کاملا بسته است ،(d) لوله تا ابعاد نهایی مربوطه ، کالیبره شده است .

۹-۱ هیدروفرمینگ بعنوان یکی از روشهای استفاده از فشار سیال در کشش عمیق

روشهای مختلفی وجود دارند که با استفاده از فشار سیال در کشش عمیق ، به قطعه شکل میدهند . اصل عمل این روشها در حقیقت تفاوت چندانی با هم ندارند ولی نحوه استفاده از سیال و برخی مسائل تکنیکی دیگر ممکن است این روشها را از هم متمایز سازد .

هیدروفرمینگ نیز یکی از این روشها است که در آن ماتریس قالب حذف شده و بجای آن از یک محفظه فشار سیال استفاده شده است که توسط یک دیافراگم لاستیکی پوشیده شده است . برای جلوگیری از سایش این دیافراگم انعطاف پذیر ، سطح بالای آن را بوسیله یک صفحه سایش میپوشانند تا پس از ساییده شدن فقط این صفحه تعویض گردد . دیافراگم مذکور نقش مهمی در این روش ایفا میکنند ، بعنوان مثال از تماس مستقیم سیال با سنبه و

http://mohandes-iran.com

ورق جلوگیری میکند ، همچنین از نشتی سیال به خارج ممانعت بعمل میآورد . علاوه بر این این امکان را فراهم میسازد که بتوان با وارونه ساختن محفظه سیال ، دستگاه هیدروفرمینگ ساده تری داشت . در این روش فشار سیال نیروی ورقگیر را فراهم میکند . نحوه عمل به این صورت است که پس از بالا آمدن محفظه ورق روی ورقگیر قرار میگیرد و سپس محفظه پایین آمده و فشار اولیه ای به ورق وارد میشود . سپس سنبه به طرف بالا حرکت کرده و به ورق شکل میدهد . در نهایت با قطع فشار ، محفظه بطرف بالا وسنبه بطرف پایین حرکت میکنند و قطعه از سنبه جدا میشود .

۱۰-۱ تجهیزات

مهمترین توابعی که در یک فرایند هیدروفرمینگ وجود دارند عبارتند از باز و بسته کردن قالب و فراهم ساختن یک نیروی کلمپینگ در طول فرایند شکل دهی که از خمش کشسانی و جدا شدن قالبها جلوگیری کند . واحدهای دیگری نیز هستند که در این فرایند شکل دهی مورد نیاز میباشند این واحدها شامل نیروی محوری سیلندرها و یک فشار تشدید کننده هستند .

در طول فرایند برای تامین نیروهای بزرگ کلمپینگ ، معمولا از یک فشار هیدرولیکی استفاده میشود . این فشار معمولا خیلی پر هزینه است ، بنابراین چندین انجمن علمی-تحقیقاتی در تلاشند تا تجهیزاتی با هزینه کمتر فراهم سازند تا علاوه بر تامین نیروی لازم برای کلمپینگ ، عملکرد جداگانه ای را برای باز کردن و بستن قالبها دارا باشند .

http://mohandes-iran.com

شکل (۱-۱۸) طرحی از تجهیزات هیدروفرمینگ را نشان میدهد که در دانشگاه اشتوتگارت توسعه یافته است .بر اساس این طرح ، قالب بالایی تحت فشار کمتر و بـا کـورس حرکتـی طولانی سیلندر بکار گرفته میشود . وقتی قالب بالایی ، پایین آورده میشود سیلندرها آنرا در موقعیت مناسب قفل میکنند ، سپس قالب پایینی تحت یک فشار زیاد و با کـورس حرکتـی کوتاه سیلندر ، بالا رفته و ضمن بستن قالب ، نیروی لازم را جهت کلمپینگ فـراهم میکنـد .سپس سیلندرهای محوری بکار گرفته شده و فشار داخلی جهت شکل دهی قطعـه افـزایش پیدا میکند .این سیلندرها بین قاب پرس[۱] و میز پرس[۲] ساخته میشوند.حالت پیشـرفته ایـن سیستم آنست که با به حداقل رساندن میزان هیدرولیک بتوان نتایج را در زمان کوتاه تری بدست آورد .

جابجایی حجم بزرگی از سیال برای باز کردن و بستن قالبها ، جابجا کردن قطعه به داخل یا خارج قالب ، تجهیزات پر کردن لوله از سیال و تحت فشار قرار دادن آن ، چنـدین فـاکتور برای کاهش زمان سیکل بشمار میروند .با این وجود یکی از مهمترین فاکتورهایی کـه نـرخ تولید را محدود میسازد ، عملیات خمکاری و پیشفرم دهی است . بنابراین استفاده از چندین ماشین خمکاری برای آماده کردن قطعه برای فرایند هیدروفرمینگ ، و یا شکل دهی چندین قطعه در یک زمان در هیدروفرمینگ ، روشهایی هستند که برای افزایش نـرخ تولیـد بکـار میروند . نمونه های یکسانی از نرخ تولید در جدول ۱ آورده شده است .

---

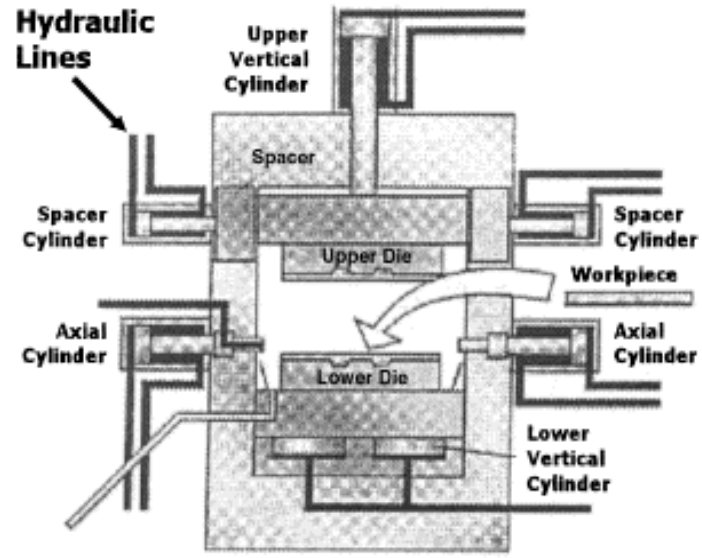
[۱]- press frame
[۲]- press table

http://mohandes-iran.com

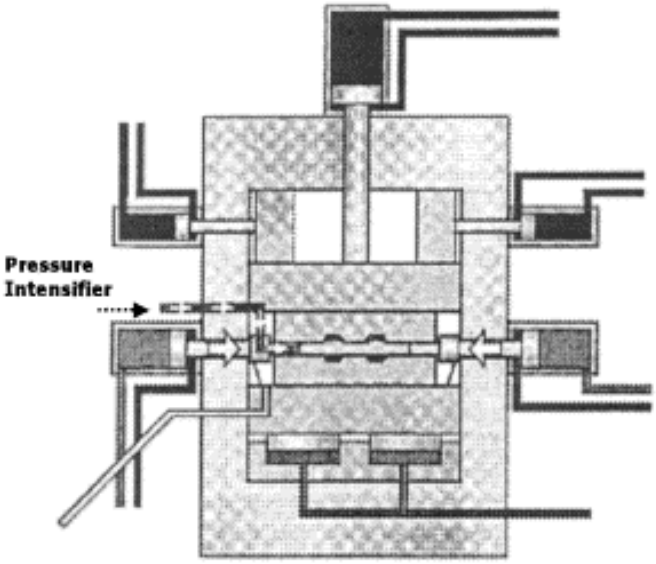
Component	Part/stroke	Cycle time
Exhaust manifolds	2–4	15–20 s
Side-rail for pick-up truck	2	40 s
Instrument panel beam	1	35 s
T-shapes	Up to 25	13 s

جدول ۱: زمانهای سیکل برای قطعات مختلف

http://mohandes-iran.com



(a) Dies are open



(b) Dies are closed and part is being formed

شکل ۱۸: نمایی از یک پرس هیدروفرمینگ کم هزینه

http://mohandes-iran.com

۱-۱۱ جوشکاری لیزر به عنوان یک فرایند تکمیلی برای هیدروفرمینگ

برای مونتاژ کردن قطعات هیدروفرم شده جهت ساخت یک سازه کامل ، میتوان از جوشکاری به روش MIG استفاده شود . این روش دارای انعطاف پذیری بالایی است و یک مزیت برای آن بحساب می آید ، ولی در عوض سرعت نسبی آن پایین است (تقریبا کمتر از یک متر بر دقیقه) و این یک ضعف بزرگ برای این روش جوشکاری است .

جوشکاری لیزر یک روش جایگزین سریعتر ، بویژه در تولیدات سری میباشد . در این روش جوشکاری ، انرژی مورد نیاز برای فرایند جوشکاری به صورت کنترل دقیق و روش تمرکزی به قطعه کار القاء میشود . لذا ناحیه تمرکز میتواند به حداقل برسد که در نتیجه پیچیدگی و تغییر در ابعاد سازه به حداقل خواهد رسید . محل جوش در جوشکاری لیزر صاف و تمیز است و درز جوشکاری بصورت جوشهای پیوسته و گرد میباشد . برای عملیات برشکاری نیز میتوان از برش لیزر استفاده کرد . برشکاری با لیزر مزایای قابل توجهی نسبت به دیگر روش های ساخت دارد که برخی از آنها عبارتند از :

- قابلیت انعطاف پذیری بالا
- قدرت تولید خوب و مناسب
- کیفیت فوق العاده بالای برش
- کاهش زبری سطح
- حذف نیروهای معمول برش بر روی قطعه و دستگاه برشکاری
- عدم ایجاد پلیسه

http://mohandes-iran.com

- توازی لبه ها

لیزر مورد استفاده میتواند لیزر یاگ و CO_2 باشد . با استفاده از لیزر های پرقدرت که امروزه بکار گرفته میشوند ، سرعت برش در برشکاری سه بعدی و فضایی خیلی بالا میباشد .

http://mohandes-iran.com

فصل دوم

شبیه‌سازی المان محدود فرایند

هیدروفرمینگ لوله برای بررسی تاثیر

فشار داخلی سیال

http://mohandes-iran.com

۲-۱ مقدمه

فرایند هیدروفرمینگ یک تکنولوژی نسبتا پیشرفته و جدید در عرصه ساخت و تولید است که در آن یک سیال باعث شکل‌دهی ورق یا یک قطعه لوله‌ای‌شکل می‌گردد. با ظهور این فرایند شکل‌دهی، صنایع خودروسازی، هواپیمایی، هوافضا و نیز صنایع بهداشتی با تحول چشمگیری مواجه شده است. از مزایای این روش می‌توان به وزن کم، استحکام بالای قطعه، یکپارچگی قطعه، دقت ابعادی، هزینه ابزارپردازی پایین، کاهش واجهش، عملیات ثانویه کمتر، کاهش دورریز و ... اشاره کرد [۱-۳].

در سال‌های اخیر تلاش‌های گسترده‌ای در جهت توسعه این فرایند انجام شده است. لین و کوان با استفاده از روش المان محدود و یک مدل شبکه‌ای، به پیشگویی تولید محصولات قابل قبول T-شکل پرداختند [۴]. دومن و هارتل به تشریح تکنیک‌های کامپیوتری شامل روش‌های شبیه‌سازی فرایند هیدروفرمینگ پرداختند و با ارائه مثال‌هایی نشان دادند که این تکنیک‌ها می‌تواند در جهت کاهش هزینه و زمان و نیز در بهبود کیفیت محصول موثر باشد [۵]. در مطالعه‌ای دیگر، فرایند هیدروفرمینگ قطعات Y-شکل توسط روش المان محدود مورد بررسی قرار گرفت [۶]. فرایند هیدروفرمینگ لوله در قالب مستطیلی‌شکل تحت شرایط مختلف بارگذاری، توسط هاما شبیه‌سازی شد و تاثیر مسیرهای بارگذاری، در بدست آمدن قابلیت شکل‌پذیری خوب، مورد بحث و بررسی قرار گرفت [۷].

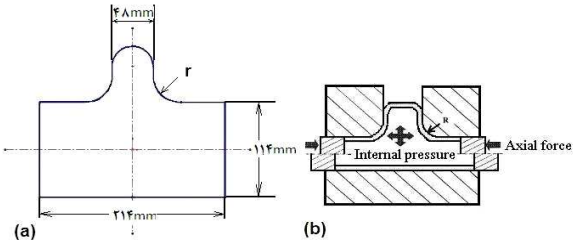
برای ایجاد یک محصول با کیفیت و دقت بالا و عیوب کم، بایستی پارامترهای فرایند بدقت کنترل شوند. لذا شناخت تاثیر پارامترها بر کیفیت محصول، از اهمیت بالایی برخوردار است.

http://mohandes-iran.com

در این مقاله، فرایند هیدروفرمینگ لوله، برای تولید یک سه‌راهی بکمک روش المان محدود سه‌بعدی در ABAQUS/Explicit ۶.۷ شبیه‌سازی شده و تاثیر فشار داخلی سیال بر توزیع ضخامت دیواره و ارتفاع قله ناحیه تغییر شکل محصول هیدروفرم‌شده و نیز نیروی محوری مورد نیاز در فرایند مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته است.

۲-۲ مدلسازی

در شکل۱-a قسمت (a) محصول فرایند قبل از تریم و در قسمت (b) نمونه قطعه درون قالب قبل و بعد از عملیات هیدروفرمینگ بصورت شماتیک نمایش داده شده است. طول اولیه بلانک لوله‌ای شکل ۳۰۰ و ضخامت اولیه دیواره آن ۶/۰۲ میلی‌متر است. برای مش-بندی قالب و سیلندر از المان R۳D۴ و برای مش‌بندی لوله از المان R۳D۸R استفاده شده است.



شکل۱- (a)محصول فرایند قبل از تریم و (b) قطعه درون قالب قبل و بعد از عملیات هیدروفرمینگ

در طول شبیه‌سازی‌ها، قالب و سیلندر صلب و لوله شکل‌پذیر فرض شده‌اند. رابطه تنش جریان مواد لوله در محدوده پلاستیک تحت معادله هولومون تعریف می‌شود:

$$\bar{\sigma} = K\bar{\varepsilon}^{n} \qquad (۱)$$

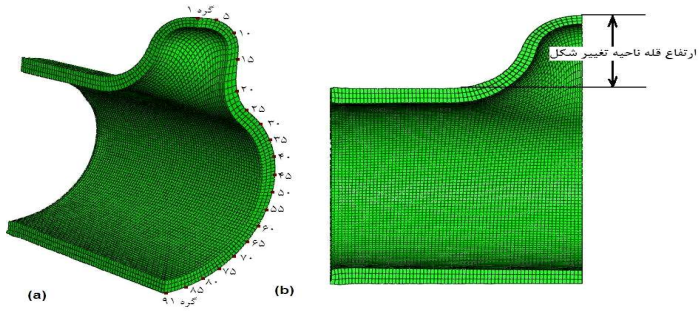
http://mohandes-iran.com

که در آن $K=۹۰۰MPa$ و $n=۰/۴$ است. جدول۲ خواص مکانیکی مواد لوله را نشان می‌دهد.

جدول۲- خصوصیات مکانیکی مواد لوله

چگالی، ρ (kg/m۳)	۷۸۰۰
مدول الاستیسیته، E GPa)	۲۱۰
ضریب پواسون، υ	۰/۳
ضریب اصطکاک، μ	۰/۱

شکل۲ یک‌چهارم مدل محصول هیدروفرم‌شده را نشان می‌دهد که برای مش‌بندی آن از ۷۰ المان در راستای طول، ۳ المان در راستای ضخامت و ۹۰ المان در راستای محیطی استفاده شده است. در قسمت (a) شماره‌گذاری گره‌های سطح مقطع ناحیه تغییر شکل از گره ۱ تا گره ۹۱ مشخص شده است. چگونگی توزیع ضخامت این سطح مقطع در بدست آوردن یک محصول مرغوب از اهمیت زیادی برخوردار است. در قسمت (b) نیز موقعیت ارتفاع قله ناحیه تغییر شکل نشان داده شده است.

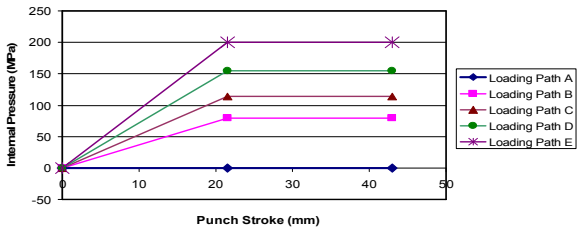


شکل۲- شماره‌گذاری گره‌ها در یک‌چهارم مدل محصول موقعیت ارتفاع قله در ناحیه تغییر شکل

http://mohandes-iran.com

۲-۳ نتایج شبیه‌سازی‌ها

نمودار۱ پنج نوع مسیر بارگذاری را نشان می‌دهد که بمنظور بررسی اثر فشار داخلی سیال در این مقاله انتخاب شده‌اند. مقدار کورس نهایی سیلندر در این فرایند، با توجه به ابعاد محصول، ۴۳ میلیمتر در نظر گرفته شده است.

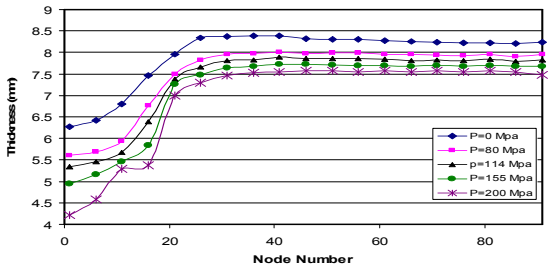


نمودار ۱- مسیرهای بارگذاری

۲-۳-۱ توزیع ضخامت دیواره لوله

نمودار۲ تاثیر فشار داخلی سیال را بر توزیع ضخامت دیواره لوله در ناحیه تغییر شکل نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود، با افزایش فشار داخلی ضخامت کاهش پیدا می‌کند. با افزایش فشار داخلی، تنش‌های فشاری ناشی از آن افزایش یافته و در ناحیه تغییر شکل باعث افزایش ارتفاع برامدگی می‌شود، در نتیجه ضخامت در این ناحیه کاهش می‌یابد. همانطور که از نمودار مشخص است، در ناحیه تغییر شکل و در قسمت برامدگی، تاثیر افزایش فشار داخلی بیشتر است و این ناحیه بیشتر در معرض باریک‌شدگی قرار دارد.

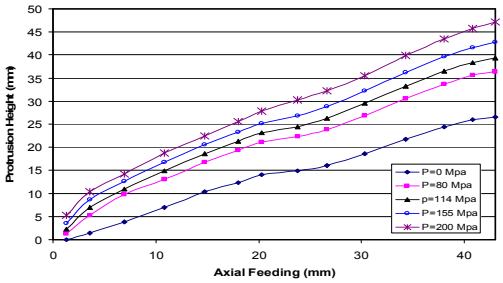
http://mohandes-iran.com



نمودار۲- تاثیر فشار داخلی سیال بر توزیع ضخامت دیواره

۲-۳-۲ ارتفاع قله در ناحیه تغییر شکل

نمودار۵ ارتفاع قله ناحیه تغییر شکل را در طول فرایند بـه‌ازای فشـارهای داخلـی مختلـف نشان می‌دهد. در اینجا دیگر متغیرهای فرایند ثابتند و تنها فشـار داخلـی تغییـر مـی‌کنـد. ضریب اصطکاک ۰/۱ و شعاع گوشه قالب ۳۲ میلی‌متر است. با توجه به نمودار، با افزایش فشار داخلی ارتفاع برامدگی بطور محسوسی افزایش پیدا می‌کند. با افـزایش فشـار داخلـی تنش‌های فشاری در منطقه تغییر شکل افزایش می‌یابد. این تـنش‌هـا انبسـاط بزرگتـری را باعث می‌گردند که در نتیجه ارتفاع برامدگی افزایش خواهد یافت.

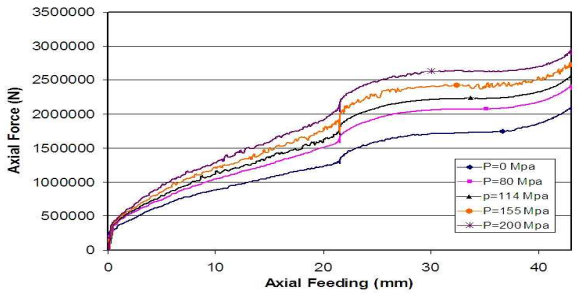


نمودار۵- تاثیر فشار داخلی سیال بر ارتفاع قله ناحیه تغییر شکل در طول کورس سیلندر محوری

http://mohandes-iran.com

۲-۳-۳ نیروی محوری

نیروی محوری تغذیه محوری را فراهم می‌سازد که از نازک‌شدگی دیـواره لولـه در منطقـه تغییر شکل که توسط فشار بالای داخلی سیال اتفاق می‌افتـد جلـوگیری مـی‌کنـد. همچنـین شرایطی را فراهم می‌سازد که بتوان منطقه انبساطی بزرگتری را ایجاد نمود. تاثیر تغییـرات فشار داخلی سیال بر نیروی محوری مورد نیاز فرایند، در نمودار۸ نشـان داده شـده اسـت. محور افقی تغذیه محوری است که معرف کورس سیلندرهای محوری می‌باشد. با توجه بـه شکل با افزایش فشار داخلی نیروی محوری نیز افزایش پیدا کرده است. وقتی فشار داخلی سیال افزایش پیدا می‌کند، سیلندر تحت فشار بیشتری به عقب رانده مـی‌شـود. لـذا بـرای غلبه بر این نیروی برگرداننده بایستی نیروی محوری بیشتری اعمال کرد تا بتوان علاوه بـر حفظ آب‌بندی، تغذیه محوری لازم را فراهم ساخت.

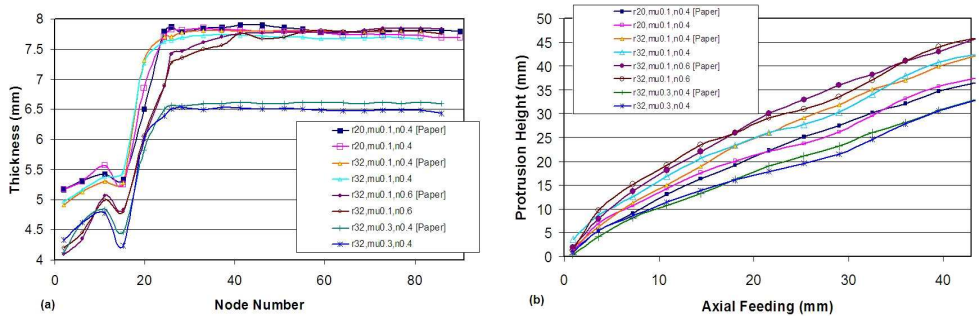


نمودار۸- مقایسه نیروی محوری مسیرهای بارگذاری مختلف

http://mohandes-iran.com

۴-۲ بررسی صحت نتایج

کاشانی‌زاده و موسوی فرایند هیدروفرمینگ را برای سه نوع قطعه شبیه‌سازی و مسیرهای بارگذاری را برای آنها تعیین کردند. سپس برای بررسی پاسخ فرایند به تغییر برخی پارامترها و نیز تعیین مقادیر فشار و تغذیه محوری مورد نیاز برای تولید محصول قابل قبول، شرایط مختلفی را در نظر گرفته و شبیه‌سازی نمودند و نتایج را با نتایج تجربی مقایسه کرده و به تطبیق خوبی رسیدند [۸]. در این مقاله، بمنظور مقایسه نتایج حاصله با نتایج بدست آمده از مقاله آنها، شرایط یکسانی در نظر گرفته شده است. نمودارهای ۱۱ (a و b) مقایسه‌ای بین نتایج بدست آمده از این مقاله با مقاله کاشانی‌زاده و موسوی است. نمودار ۱۱-a توزیع ضخامت لوله و نمودار ۱۱-b تغییرات ارتفاع برامدگی را بازای تغییر برخی پارامترها نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود، نتایج بدست آمده از این مقاله مشابهت زیادی با نتایج آنها داشته و درصد خطا بین نتایج بسیار کم است.



نمودار ۱۱- مقایسه نتایج با مقاله کاشانی‌زاده و موسوی برای (a) توزیع ضخامت دیواره لوله و (b) قله برامدگی به‌ازای پارامترهای مختلف

http://mohandes-iran.com

۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله، فرایند هیدروفرمینگ لوله بمنظور بررسی تاثیر فشار داخلی سیال بر توزیع ضخامت دیواره لوله، ارتفاع قله منطقه تغییر شکل و نیروی محوری مورد نیاز فرایند برای تولید یک محصول T-شکل با استفاده از روش المان محدود شبیه‌سازی شده و این نتایج حاصل شده است: با افزایش فشار داخلی؛ ضخامت در سطح مقطع ناحیه ۱ کاهش می‌یابد، ارتفاع قله در ناحیه تغییر شکل افزایش پیدا می‌کند و نیروی محوری مورد نیاز در فرایند افزایش می‌یابد. با افزایش فشار داخلی، تنش‌های فشاری ناشی از آن افزایش می‌یابند. این تنش‌ها انبساط بزرگتری را باعث می‌گردند که در نتیجه ارتفاع برامدگی افزایش و ضخامت کاهش می‌یابد. همچنین با افزایش فشار، سیلندر تحت فشار بیشتری به عقب رانده شده و برای غلبه بر آن بایستی نیروی محوری بیشتری اعمال کرد. نتایج بدست آمده از مقاله با نتایج بدست آمده از سایر محققین مقایسه و تطبیق خوبی مشاهده شده است.

http://mohandes-iran.com

مراجع

۱- Ahmetoglu M. and Altan T., “Tube hydroforming: state-of-the-art and future trends”, Journal of Materials Processing Technology ۹۸, ۲۵-۳۳, ۲۰۰۰.

۲- Hwang Y.M. and Chen W.C., “Analysis of tube hydroforming in a square cross-sectional die”, International Journal of Plasticity ۲۱, ۱۸۱۵–۱۸۳۳, ۲۰۰۵.

۳- Lang L., Yuan S., Wang X., Wang Z.R., Zhuang Fu, Danckert J. and Nielsen K.B., “A study on numerical simulation of hydroforming of aluminum alloy tube”, Journal of Materials Processing Technology ۱٤٦, ۳۷۷–۳۸۸, ۲۰۰٤.

٤- Lin F.C. and Kwan C.T., “Application of abductive network and FEM to predict an acceptable product on T-shape tube hydroforming process”, Computers and Structures ۸۲, ۱۱۸۹–۱۲۰۰, ۲۰۰٤.

٥- Dohmann F. and Hartl Ch., “Hydroforming-applications of coherent FE-simulations to the development of products and processes”, Journal of Materials Processing Technology ۱٥۰, ۱۸–۲٤, ۲۰۰٤.

٦- Jirathearanat S., Hartl Ch. and Altan T., “Hydroforming of Y-shapes—product and process design using FEA simulation and experiments”, Journal of Materials Processing Technology ۱٤٦, ۱۲٤–۱۲۹, ۲۰۰٤.

۷- Hama T., Ohkubo T., Kurisu K., Fujimoto H. and Takuda H., “Formability of tube hydroforming under various loading paths”, Journal of Materials Processing Technology ۱۷۷, ٦۷٦–٦۷۹, ۲۰۰٦.

http://mohandes-iran.com

٨- Kashani Zadeh H. and Mashhadi, M.M., “Finite element simulation and experiment in tube hydroforming of unequal T shapes”, Journal of Materials Processing Technology ١٧٧, ٦٨٤–٦٨٧, ٢٠٠٦.

http://mohandes-iran.com