AERO2010-3106

نهمین کنفرانس انجمن هوافضای ایران
تهران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، ۲۱- ۱۹ بهمن ماه ۱۳۸۸

بهینه‌سازی پارامترهای بارگذاری فرآیند هیدروفرمینگ اتصالات T شکل با روش الگوریتم تبرید تدریجی

مهران کدخدایان[۱]،احمد عرفانی مقدم[۲]،مهدی حیدری[۳]
دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده مهندسی، گروه مکانیک

چکیده

در این مقاله بهینه‌سازی پارامترهای بارگذاری در فرآیند هیدروفرمینگ مطالعه می‌شود. بعد از تعیین متغیرهای موثر بارگذاری، تغییر شکل لوله بر حسب متغیرهای بارگذاری مدل‌سازی می‌گردد. به منظور بهینه‌سازی شرایط بارگذاری بر اساس تغییر شکل لوله، از الگوریتم تبرید تدریجی استفاده می شود. با اعمال توابع مدل‌سازی شده در الگوریتم، پارامترهای بهینه بارگذاری محاسبه می‌شود. با استفاده از شبیه‌سازی اجزا محدود فرآیند، نتایج شرایط بارگذاری بهینه محاسبه می گردد. مقایسه نتایج تغییر شکل حاصل از اعمال شرایط بهینه با نتایج آزمایشگاهی کارائی این روش را تائید می نماید.

واژه‌های کلیدی: هیدروفرمینگ - بهینه‌سازی - مسیرهای بارگذاری - تبرید تدریجی

مقدمه

امروزه استفاده از فرآیند هیدروفرمینگ برای تولید قطعات، به عنوان روش پیشرو در صنایع شکل‌دهی بشمار می‌رود. کاربرد روزافزون قطعات تولید شده به وسیله این روش موجب شده‌است تا محققان بسیاری به مطالعه پارامترهای مختلف موجود در این فرآیند بپردازند. تولید قطعات با اشکال پیچیده و یکنواختی بالا از جمله مزایای این روش محسوب می‌شود. اتصالات T و X شکل و اتصالات زاویه‌دار مانند Y شکل، شفت‌های توخالی، اگزوزها، نگه‌دارنده موتور، تکیه‌گاه‌های رادیاتورها، نازل‌ها و کلاهک موشک از جمله قطعاتی هستند که با این روش تولید می‌گردند. علیرغم کاربرد گسترده قطعات هیدروفرم شده در صنایع مختلف، نقص دانش فنی برای تولید قطعات بهینه از معایب عمده این روش محسوب می‌شود. یکی از مهمترین پارامترهای تاثیر گذار در این روش تنظیم شرایط بارگذاری در طول فرآیند است. تعیین چگونگی تغییر شرایط بارگذاری در حین تغییر شکل، طراحی مسیرهای بارگذاری تعبیر می‌شود و محققان بسیاری به تعیین شرایط بهینه بارگذاری برای تولید قطعات مختلف پرداخته اند. چن [۱] رابطه فشار تغییر شکل با متغیرهای ابعادی لوله در فرآیند هیدروفرمینگ را تحلیل کرد و با استفاده از معادله تعادل رابطه بین فشار و شعاع نقاط مختلف لوله تغییر شکل یافته را محاسبه نمود. آلتان [۲] به تعیین مسیر بارگذاری بهینه برای فرآیند هیدروفرمینگ پرداخت. یوآن [۳] هیدروفرمینگ قطعات با مقاطع مستطیلی را مطالعه نمود و به طور عمده اثر مسیر بارگذاری بر روی مدهای مختلف شکست و توزیع ضخامت بررسی شد.

در این مطالعه، ابتدا رفتار لوله در انتهای تغییر شکل بر اساس پارامترهای بارگذاری مدل‌سازی شد. بر اساس توابع محاسبه شده به منظور جستجو میان تمام جواب‌های ممکن از روش الگوریتم تبرید تدریجی (Simulated Annealing) استفاده شده است. مقادیر بهینه پارامترهای بارگذاری بوسیله این الگوریتم محاسبه گردیدند. با شبیه‌سازی فرآیند با استفاده از روش اجزا محدود صحت نتایج حاصل بررسی گردید.

مدل‌سازی آماری تغییر شکل بر حسب پارامترهای بارگذاری

به منظور مطالعه شرایط بارگذاری در فرآیند، ابتدا یک نمونه آزمایشگاهی مطابق با شرایط مورد نظر بوسیله روش دینامیکی صریح (Abaqus/Explicit) شبیه‌سازی گردید. با انتخاب منحنی‌های بارگذاری برای فشار داخلی، جابجائی پانچ محوری و جابجائی پانچ متقابل متغیرهای بارگذاری طراحی شدند. منحنی جابجائی پانچ محوری به عنوان نمونه در شکل ۱ آورده شد. در مجموع ۱۰ متغیر بارگذاری انتخاب گردید. با تعیین یک بازه مشخص برای این متغیرها از روش طراحی آزمایشات (DOE) برای طراحی مسیرهای بارگذاری استفاده شد. سپس، ۳۲ مسیر بارگذاری بر اساس طرح تاگوچی و آزمایشات دو سطحی مینیمم و ماکزیمم طراحی گردید. با اعمال این مسیرهای بارگذاری بر روی فرآیند توسط روش اجزا محدود، نتایج تغییر شکل محاسبه گردید. با انجام تحلیل رگرسیون بر روی این نتایج، شرایط تغییر شکل بر اساس متغیرهای بارگذاری مدل‌سازی شد و نتایج مربوط به دو تابع ضخامت مینیمم و ارتفاع ماکزیمم شاخه به ترتیب در روابط ۱ و ۲ محاسبه گردید. بعد از تخمین صحت این توابع، تابع مورد نظر برای بهینه‌سازی انتخاب شد.

$$\text{Thickness} = 2.87 - 0.0217 \times P_f - 0.0354 \times \Delta p + 0.00848 \times T + 0.000437 \times AP_0 + 0.00448 \times AP_1 - 0.00134 \times Tap + 0.00052 \times CP_0 - 0.00490 \times CP_1 - 0.00088 \times T_{cp0} - 0.00106 \times T_{cp1} \quad (1)$$

$$\text{Height} = -13.6 + 0.650 \times P_f + 0.212 \times \Delta p - 0.042 \times T - 0.172 \times AP_0 + 0.578 \times AP_1 + 0.320 \times T_{ap} + 0.0531 \times CP_0 + 0.148 \times CP_1 - 0.121 \times T_{cp0} - 0.0850 \times T_{cp1} \quad (2)$$

در روابط بالا سه متغیر P_f، Δp و T مربوط به طراحی منحنی فشار نوسانی می‌باشند و سه متغیر AP_0، AP_1 و T_{ap} متغیرهای طراحی جابجائی پانچ‌های محوری را نشان می دهند. CP_0 موقعیت اولیه پانچ متقابل، CP_1 موقعیت نهائی پانچ متقابل، T_{cp0} زمان شروع حرکت پانچ متقابل و T_{cp1} زمان توقف پانچ متقابل هستند. با محاسبه این مقادیر منحنی جابجائی پانچ محوری طراحی می‌گردد. برای نمونه منحنی جابجائی پانچ محوری در شکل ۱ آورده شده است که با محاسبه سه متغیر می‌توان منحنی جابجائی پانچ محوری را طراحی نمود.

بهینه‌سازی

تنظیم همزمان ۱۰ متغیر بارگذاری فرآیند هیدروفرمینگ بصورتی که منجر به ایجاد یک تغییر شکل مطلوب در لوله شود، بسیار دشوار است

۱- دانشیار
۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، ۰۹۱۵۷۰۱۸۵۹۰، aerfani14@gmail.com
۳- دانشجوی کارشناسی ارشد

از اینرو مسئله اصلی در اکثر کاربردهای عملی آنست که چگونه می‌توان سطوح مناسب پارامترهای فرآیند را انتخاب نمود تا به مقادیر مطلوب ارتفاع و ضخامت دست یافت. بعبارت دیگر، باید بهترین ترکیب بین این پارامترها که منجر به خروجی دلخواه شود را پیدا نمود. پس مسئله یافتن روشی است که با دریافت مقادیر مطلوب ارتفاع شاخه و ضخامت، سطوح مناسب ۱۰ پارامتر ورودی را تعیین نماید. این امر مستلزم حل معکوس و همزمان دو معادله مربوط به خروجی‌ها است. در این مقاله با استفاده از الگوریتم تبرید تدریجی، مسئله بهینه سازی همزمان پارامترهای تنظیمی حل شده است.

اصول ریاضی الگوریتم تبریدتدریجی اولین بار توسط متروپولیس در ۱۹۵۳ مطرح شد [۴]. سپس کیرپاتریک و سرنی آن را بصورت یک الگوریتم بهینه سازی پیشنهاد کردند [۵] . الگوریتم تبرید تدریجی برگرفته از اصول آنیل‌کردن فلزات یعنی تبرید تدریجی یک مذاب تا حالت جامد (دمای محیط) می‌باشد، بطوریکه تمام ذرات آن در یک شبکه بلوری منظم و در پایین‌ترین سطح انرژی متبلور شوند. سطح انرژی هر ذره در هر دمای خاص یک تابع احتمالی است که طبق تابع احتمال بولتزمن (معادله ۳) تعیین می‌گردد. تابع بولتزمن با کاهش دما به حالت‌های کم انرژی‌تر متمایل می‌شود. در این الگوریتم وقتی دما به صفر میل می‌کند، تنها حالت‌هایی با کمترین سطح انرژی احتمال وقوع غیر صفر دارند. در رابطه ۳ Δc و ck مربوط به تابع سرمایش می‌باشند.

$$P_r\left(s_k \Rightarrow s_{k+1}\right) = \exp\left(-\frac{\Delta c}{c_k}\right) \qquad (۳)$$

در فرآیند بهینه سازی، از یک تابع خطا به عنوان معیار شایستگی استفاده شده است. این معیار بر اساس نتایج تغییر شکل و بر مبنای دو تابع تغییر شکل نوشته شده است. این تابع مجموع مربعات خطاها مطابق رابطه ۴ تعریف می‌شود:

$$F = \frac{\left(T_{exp} - T\right)^2}{T_{exp}} + \frac{\left(H_{exp} - H\right)^2}{H_{exp}} = 0 \qquad (۴)$$

در تابع فوق، پارامترهایی که با اندیس (exp) مشخص شده‌اند مقدار محاسبه شده از روابط ۱ و ۲ و پارامترهای بدون اندیس در هر جمله بیانگر مقادیر مطلوب می‌باشند. الگوریتم پیشنهادی در محیط نرم افزار MATLAB کد نویسی شده است. نمودار همگرائی این روش در شکل ۲ آورده شده است. به این ترتیب مقادیر بهینه برای پارامترهای ورودی محاسبه گردید و نتایج حاصل از بهینه‌سازی بوسیله شبیه‌سازی اجزا محدود بررسی شد. جدول ۱ نتایج تغییر شکل برای دو روش بهینه-سازی و اجزا محدود را نشان می دهد.

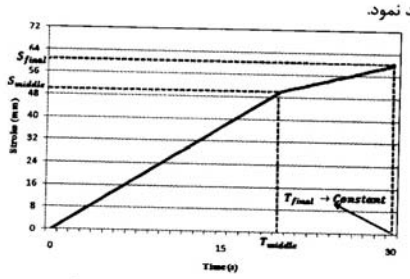
جدول ۱- مقادیر بهینه برای ضخامت و ارتفاع

بهینه‌سازی SA		Abaqus	
T (mm)	H (mm)	T (mm)	H (mm)
۲.۵۶	۴۱.۹۱	۲.۵۷	۴۱.۷۴

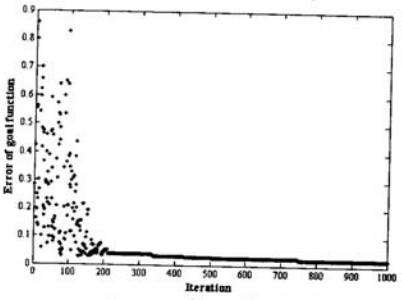
به علت محدودیت از ترسیم منحنی‌های بارگذاری طراحی شده خودداری شده است. با توجه به منحنی‌های طراحی شده توزیع ضخامت لوله علیرغم بالا بودن ارتفاع شاخه بهبود یافته است. مطابق با نمونه آزمایشگاهی مینیمم ضخامت از ۲,۴۱ به ۲,۵۷ افزایش یافته است و به این ترتیب با اینکه فشار داخلی ۳۷٪ کاهش یافته است توزیع ضخامت ۷٪ بهبود را نشان می هد که این نتایج کارائی این روش بهینه‌سازی را روشن می کند.

نتیجه گیری

در این مقاله شرایط بهینه برای پارامترهای بارگذاری محاسبه گردید و یک روش سیستماتیک برای بهینه‌سازی پارامترهای بارگذاری و همچنین سایر پارامترهای موثر در فرآیند ارائه گردید. با تعیین متغیرهای موثر در تغییر شکل لوله در فرآیند هیدروفرمینگ، یک محدوده مناسب برای هر متغیر در نظر گرفته شد. با استفاده از روش طراحی آزمایشات، شرایط مختلف برای هر متغیر طراحی گردید. با شبیه‌سازی آزمایشات طراحی شده، نتایج مورد نظر محاسبه شده است. با انجام تحلیل‌های آماری بر روی نتایج، توابع تغییر شکل بر اساس متغیرهای بارگذاری بدست آمد. از الگوریتم تبرید تدریجی برای بهینه-سازی متغیرهای بارگذاری بر اساس نتایج خروجی استفاده گردید. مقایسه نتایج حاصل از الگوریتم با موارد آزمایشگاهی کارائی روش را تائید نمود.



شکل ۱- جابجائی پانچ محوری بر حسب زمان



شکل ۲- همگرایی در الگوریتم تبرید تدریجی

مراجع

1. Fuh-Kuo C. , Shao-Jun W. , Ray-Hau L. , A study of forming pressure in the tube-hydroforming process, Journal of Materials Processing Technology, v. 192, 2007, pp. 404-409.
2. Yingyot A. U. L., Gracious N. , Taylan A. , Optimizing tube hydroforming using process simulation and experimental verification, Journal of Materials Processing Technology, v. 146, n. 1, 2004, pp. 137-143.
3. Yuan S.J., Han C., Wang X.S., Hydroforming of automotive structural components with rectangular-sections, International Journal of Machine Tools and Manufacture, v. 46, n. 11, 2006, pp. 1201-1206.
4. Metropolis M.C., Simulated Annealing and I.E.T. Algorithm: Theory and Experiments, Lmens-96-21, 1996.
5. Kirkpatrick, Cerny., Transportation Planning and Technology, Science, 1029-0354, v.16, n. 4, pp. 261 – 273, 1992.