به نام ایزد
بخشنده و مهربان

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده مهندسی مکانیک

تحلیل المان محدود فرایند کشش عمیق با سیستم ترمز ضدقفل و بررسی اثر فرکانس ABS

پایان نامه کارشناسی ارشد طراحی کاربردی

محمد هدایتی

استاد راهنما

دکتر مهران مرادی

۱۳۹۰

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده مهندسی مکانیک

پایان نامه کارشناسی ارشد طراحی کاربردی آقای محمد هدایتی

تحت عنوان

تحلیل المان محدود فرایند کشش عمیق با سیستم ترمز ضدقفل و بررسی اثر فرکانس ABS

در تاریخ ۱۳۹۰/۱۲/۷ توسط کمیته تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت.

۱- اساتید راهنمای پایان نامه	دکتر مهران مرادی
۲- استاد مشاور پایان نامه	دکتر محمد مشایخی
۳- استاد داور	دکتر محمدرضا فروزان
٤- استاد داور	دکتر صالح اکبرزاده
سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده	دکتر محمدرضا سلیم‌پور

تشکر و قدردانی

در اینجا، برخود لازم می‌دانم از کلیه‌ی عزیزانی که اینجانب را به نحوی در انجام این پروژه یاری رساندند تشکر و قدردانی نمایم. از زحمات و راهنمایی‌های با ارزش استاد راهنمای خود آقای دکتر مهران مرادی و همچنین استاد مشاور گرانقدرم آقای دکتر محمد مشایخی کمال تشکر وسپاسگزاری را دارم. از دوست گرامیم آقای دکتر بهنام نکویی که در تمامی مراحل پروژه مرا یاری نمودند قدردانی می‌نمایم.

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات،
ابتکارات و نوآوری‌های ناشی از تحقیق موضوع
این پایان‌نامه متعلق به دانشگاه صنعتی اصفهان است.

تقدیم به

خانواده عزیزم

فهرست مطالب

عنوان | صفحه

فهرست مطالب ..... هشت

چکیده ۱

فصل اول: مقدمه ۲

۱-۱- مقدمه ۲

۱-۲- تاریخچه فعالیت‌های گذشته ۳

۱-۳- معرفی سیستم ترمز ضد قفل در کشش عمیق ۶

۱-۳-۱- تنظیم فاصله فشار ۸

۱-۳-۲- مزایای سیستم ضدقفل ۱۰

۱-۴- معرفی تحقیق حاضر ۱۰

۱-۴-۱- اثر شکل ورق و سطح مقطع سنبه ۱۰

۱-۴-۲- اثر نوع، دامنه و فرکانس نوسان ۱۰

۱-۴-۳- تأثیر سیستم ضدقفل بر ارتفاع گوشواره‌ها ۱۲

۱-۴-۴- نیروی سنبه ۱۲

۱-۴-۵- تغییرضخامت ورق ۱۲

۱-۵- محتوای فصل‌های بعد ۱۲

فصل دوم: کشش عمیق ۱۳

۲-۱- مقدمه ۱۳

۲-۲- عیوب رایج در کشش عمیق ۱۵

۲-۲-۱- پارگی ورق ۱۵

۲-۲-۲- چروک خوردن ورق ۱۶

۲-۲-۳- گوشواره‌ای شدن ۱۷

۲-۳- حد نسبت کشش ۱۹

۲-۳-۱- عوامل مؤثر در حد نسبت کشش ۲۰

۲-۴- ورق‌گیر ۲۳

۲-۴-۱- نظریه‌های مختلف اعمال نیرو (گپ) ورق‌گیر ۲۴

۲-۴-۲- انواع ورق‌گیر ۲۷

۲-۴-۳- روابط پیشنهادی برای فشار ورق‌گیر ۲۹

فصل سوم: حد شکل‌دهی ۳۰

۳-۱- روش‌های تئوری تعیین معیارهای شکل‌پذیری ۳۰

۳-۲- تعیین تجربی نمودار حد شکل‌دهی ۳۳

۳-۳- مقایسه‌ی نتایج تئوری و تجربی حد شکل‌دهی ۳۴
۳-۴- عوامل مؤثر بر نمودارهای حد شکل‌پذیری ۳۵
۳-۴-۱- اثر جهت گیری نسبت به جهت نورد ۳۵
۳-۴-۲- کرنش سختی ۳۶
۳-۴-۳- شکست شکل پذیر ۳۷
۳-۴-۴- ناهمگنی ۳۸
۳-۴-۵- نسبت کرنش پلاستیک ۳۸
۳-۴-۶- ملاحظات دیگر ۳۹
فصل چهارم: تحلیل فرایند کشش عمیق ۴۰
۴-۱- تحلیل فرایند کشش عمیق به روش انرژی ۴۰
۴-۲- تعیین تنش کششی شعاعی در فلنج به روش قاچی ۴۴
۴-۳- نیروها در حین فرآیند کشش عمیق ۴۶
۴-۴- محاسبه‌ی عمق کشش ۴۸
فصل پنجم: شبیه‌سازی ۴۹
۵-۱- مقدمه ۴۹
۵-۲- مدل‌سازی قطعات ۵۰
۵-۳- خواص ورق ۵۲
۵-۴- معیار تسلیم ۵۳
۵-۵- معیار آسیب ۵۵
۵-۵-۱- مکانیزم آسیب در آباکوس ۵۵
۵-۵-۲- معیارهای شروع آسیب در آباکوس ۵۶
۵-۵-۳- آسیب FLD ۵۶
۵-۵-۴- رشد آسیب ۵۸
۵-۶- سایر جنبه‌های شبیه‌سازی ۵۸
فصل ششم: نتایج ۵۹
۶-۱- روند تحقیق ۵۹
۶-۲- بررسی صحت نتایج ۶۰
۶-۲-۱- مقایسه‌ی نمودارهای انرژی ۶۰
۶-۲-۲- استقلال از مش ۶۳
۶-۲-۳- مقایسه با نتایج تجربی ۶۵
۶-۳- مقایسه‌ی عمق کشش در فرایندهای معمولی و ورق‌گیر نوسانی در مدل CB-CP ۶۸
۶-۳-۱- بررسی عمق کشش در فرایند معمولی ۶۸
۶-۳-۲- بررسی عمق کشش در فرایند ورق‌گیر نوسانی با پروفیل نوسان سینوسی ۷۲
۶-۳-۳- بررسی عمق کشش در فرایند ورق‌گیر نوسانی با پروفیل نوسان پله‌ای ۷۷

۶-۴- مقایسه‌ی نیروی سنبه در فرایندهای معمولی و نوسانی ۷۹
۶-۵- مقایسه‌ی توزیع ضخامت در فرایندهای معمولی و نوسانی ۸۴
۶-۵-۱- تغییر ضخامت در فرایند کشش عمیق معمولی ۸۴
۶-۵-۲- توزیع ضخامت در کشش عمیق با ورق‌گیر نوسانی ۸۵
۶-۶- بررسی ارتفاع گوشواره‌ها ۸۷
۶-۶-۱- ارتفاع گوشواره‌ها در کشش عمیق معمولی ۸۹
۶-۶-۲- اثر دامنه‌ی نوسانات بر ارتفاع گوشواره‌ها ۹۱
۶-۶-۳- اثر فرکانس نوسانات بر ارتفاع گوشواره‌ها ۹۳
۶-۶-۴- جمع‌بندی بحث ارتفاع گوشواره‌ها ۹۴
۶-۷- بررسی اثر استفاده از ورق‌گیر نوسانی در مدل‌های دیگر ۹۵
۶-۷-۱- تأثیر ورق‌گیر نوسانی بر عمق کشش در مدل‌های مختلف ۹۵
۶-۷-۲- تأثیر ورق‌گیر نوسانی بر توزیع ضخامت در مدل‌های مختلف ۹۸
۶-۸- تعیین حد نسبت کشش ۱۰۰
۶-۹- بررسی اثر فرکانس‌های پایین و بسیار پایین ۱۰۱
فصل هفتم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات ۱۰۷
۷-۱-نتیجه‌گیری از پژوهش ۱۰۷
۷-۲- پیشنهاداتی جهت ادامه‌ی پژوهش ۱۰۸
مراجع ۱۰۹

چکیده

کشش عمیق فرایندی است که بطور گسترده برای تولید ظروفی با عمق‌های مختلف استفاده می‌شود. پارامترهایی که بر میزان موفقیت این فرایند تأثیر می‌گذارند، شامل جنس و ابعاد ورق، شعاع سنبه و قالب، لقی سنبه و قالب، روانکاری، نیرو یا گپ ورق‌گیر می باشد.

حد نسبت کشش، برابر با نسبت قطر ورق به قطر سطح مقطع سنبه است و معمولاً، به‌عنوان مقیاسی برای میزان شکل‌پذیری ورق فلزی در نظر گرفته می‌شود. به‌علت محدودیت در حد نسبت کشش، ظروف عمیق نمی‌توانند با یک مرحله کشش ایجاد گردند. معایب بازکشش سبب شده است تا مطالعات زیادی برای افزایش حد نسبت کشش صورت گیرد. یکی از جدیدترین تحقیقات صورت گرفته، استفاده از سیستم ترمز ضد قفل در فرایند کشش عمیق است.

در این تحقیق قابلیت‌های سیستم ترمز ضدقفل در بهبود فرایند کشش عمیق مورد بررسی قرار گرفته است. در این روش ورق‌گیر بطور متوالی ورق را در حین مرحله شکل‌دهی، با فرکانس نسبتاً پایین نگه می‌دارد و رها می‌کند.

برای بررسی اثر این روش از تحلیل المان محدود به کمک نرم‌افزار Abaqus/Explicit استفاده شده است. شبیه‌سازی بر روی ورق آلومینیوم AA5754-O انجام شده است. مدل‌سازی شامل ورق به‌عنوان قطعه‌ی شکل‌پذیر و سه قطعه‌ی صلب قالب، ورق‌گیر و سنبه است. از اصطکاک کولمب بین قطعات صلب و رق استفاده شده است.

نتایج حاصل از این تحلیل‌ها نشان می‌دهد که استفاده از سیستم ترمز ضدقفل باعث افزایش عمق کشش و کاهش چشمگیر ارتفاع گوشواره‌ها می‌گردد. نتایج نشان می‌دهد افزایش دامنه‌ی نوسان تأثیر مستقیم بر افزایش عمق کشش دارد. ولی این افزایش تا حدی می‌تواند مؤثر باشد. اثر فرکانس کاملاً وابسته به دامنه‌ی نوسانات است؛ هر چه دامنه افزایش یابد تأثیر تغییرات فرکانس بیشتر است. در یک دامنه‌ی ثابت افزایش فرکانس تا مقداری مشخص سبب افزایش عمق می‌شود و بعد از آن افزایش فرکانس اثر منفی دارد. بهترین فرکانس در هر دامنه با افزایش دامنه کاهش می‌یابد. افزایش دامنه و فرکانس سبب کاهش ارتفاع گوشواره‌ها می‌گردد. همچنین نشان داده شد که سیستم ضدقفل برای ورق‌ها و سنبه‌های مربعی تأثیر بیشتری دارد. اثر استفاده از سیستم بر روی نیروی سنبه و توزیع ضخامت بررسی شد. بررسی‌ها نشان می‌دهد نیروی نوسانی ورق‌گیر سبب القای نوسان به نیروی سنبه می‌گردد.

در پایان اثر فرکانس‌های بسیار پایین بررسی شده است. هنگامی‌که ورق‌گیر با فرکانس بسیار پایین نوسان کند فاز نوسان بر عمق کشش اثر می‌گذارد. با کنترل لحظه‌ی شروع نوسان با فرکانس‌های بسیار پایین می‌توان ورق‌گیر را به‌گونه‌ای به نوسان درآورد که هنگامی‌که نیروی سنبه به بیشینه‌ی مقدار خود برسد، گپ ورق‌گیر در ماکزیمم مقدار خود باشد. بدین ترتیب حد نسبت کشش افزایش می‌یابد.

کلمات کلیدی

کشش عمیق، ورق‌گیر نوسانی، سیستم ترمز ضدقفل، فرکانس بسیار پایین

فصل اول

مقدمه

۱-۱- مقدمه

کشش عمیق یکی از مهمترین عملیات شکل‌دهی ورق‌های فلزی است. در این فرایند سنبه که به ماشین پرس بسته شده است، بر روی ورقی با ابعاد از پیش تعیین‌شده، نیرو وارد می‌کند و آن‌را به داخل حفره قالب هدایت می‌کند. با جریان پلاستیکی مواد، نهایتاً ورق به شکل خارجی سنبه در می‌آید. در طول فرایند کشش عمیق باید از چروک خوردگی ورق جلوگیری شود. بدین منظور از ورق‌گیر برای نگه داشتن ورق استفاده می‌شود.

عوامل متعددی وجود دارند که روی فرایند کشش عمیق تأثیر می‌گذارند و مانع بدست آمدن عمق کشش موردنظر می‌شوند. خواص، شکل و ابعاد ورق، شکل سطح مقطع سنبه، اصطکاک و شرایط روغن‌کاری، نیرو یا گپ ورق‌گیر، شعاع انحنای سنبه و قالب، و لقی بین قالب و سنبه از مهمترین این عوامل هستند [۱].

یکی از مهمترین پارامترها در فرایند کشش عمیق حد نسبت کشش یا LDR[1] است. حد نسبت کشش ، برابر با نسبت قطر ورق به قطر سطح مقطع سنبه است و معمولاً، به‌عنوان مقیاسی برای میزان کشش پذیری ورق فلزی در نظر گرفته می‌شود. حد نسبت کشش بطور مستقیم با حداکثر عمق کشش تناسب دارد. بدیهی است که مطلوب آن است که حد کشش تا میزان ممکن بیشتر باشد.

[1] limit drawing ratio

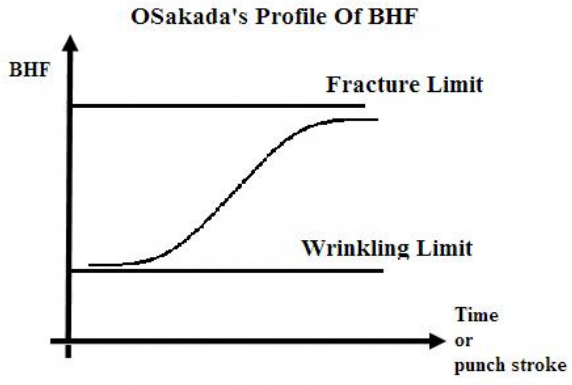
به علت محدودیت در حد نسبت کشش، فنجان‌های[1] عمیق نمی‌توانند با یک مرحله کشش ایجاد گردند. این بدان معناست که در این‌گونه موارد فرایند شکل‌دهی نیاز به چند مرحله کشش دارد تا شکل نهایی ایجاد شود. بنابراین یکی از دلایل چند مرحله‌ای شدن فرایند کشش عمیق، محدودیت در حد نسبت کشش است. پاره‌ای از معایب چند مرحله‌ای شدن این فرایند عبارتند از [۲]:

- افزایش هزینه‌های تولید
- افزایش قابل توجه زمان تولید
- امکان ایجاد تأثیر منفی بر روی خواص مکانیکی ورق

۱-۲- تاریخچه فعالیت‌های گذشته

همان‌طور که ذکر شد معایب بازکشش سبب شده است تا مطالعات زیادی برای افزایش LDR صورت گیرد. تاکنون برای افزایش LDR روش‌های مختلفی به‌کار رفته است. یک روش مناسب باید به‌گونه‌ای باشد که اولاً سبب تشدید معایب دیگر مانند چروکیدگی نگردد و ثانیاً هزینه‌ی اجرای طرح مقرون به‌صرفه باشد. در این بخش، تعدادی از روش‌هایی که برای افزایش LDR به‌کار رفته، بررسی و مزایا و معایب آنها بیان می‌شود.

در سال ۱۹۹۵ اساکادا[2] از یک سیستم حلقه باز جهت کنترل نیروی ورق‌گیر استفاده نمود. بدین ترتیب که نیروی ورق‌گیر توسط فشار کمپرسور با یک محرک[3] به ورق‌گیر اعمال می‌شود و در سر راه آن یک شیر کنترلی قرار دارد. وی نیروی ورق‌گیر را به‌گونه‌ای تنظیم کرد که بین دو حد چروکیدگی و پارگی باشد (شکل۱-۱). او بدین ترتیب توانست LDR را از ۱/۸۸ به ۱/۹۸ افزایش دهد [۳].



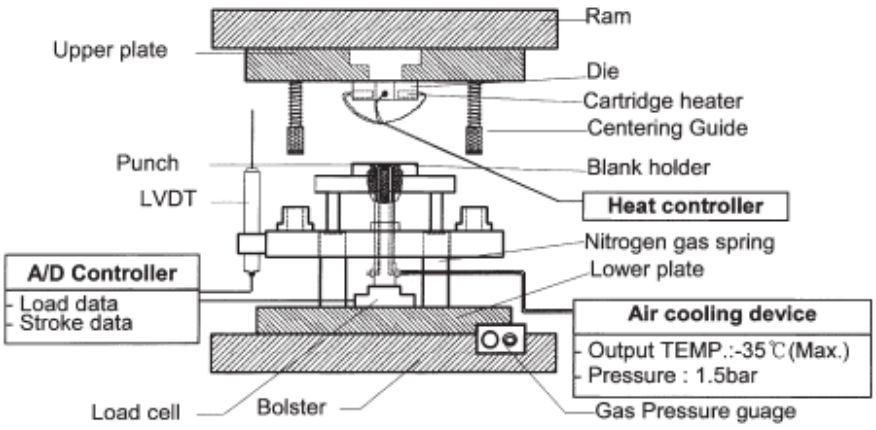
شکل۱-۱- پروفیل نیروی ورق‌گیر اساکادا [۳].

[1] Cups
[2] Osakada
[3] Actuator

در سال ۱۹۹۶ گانارسون[1] و همکاران با کنترل نیروی ورق‌گیر به کمک جک‌های پنوماتیکی بطوری‌که در طول فرایند نیروی ورق‌گیر کاهش می‌یافت موفق به افزایش LDR شدند [۴]. این روش هر چند اثر مثبت بر LDR داشت ولی در حین این فرایند چروکیدگی به‌ویژه برای ورق‌های نازک افزایش یافت.

در سال ۱۹۹۸ بیت[2] و همکاران روش عملیات حرارتی تفاضلی[3] را در ورق‌های آلومینیومی به‌کار بردند [۵]. آنها با استفاده از این روش عملیات حرارتی بر روی ورق AA2014 Al-Cu قابلیت کشش را تا حدی افزایش دادند.

در سال ۲۰۰۰ مون[4] و گروهش با کنترل دمای سنبه و قالب موفق شدند کشش‌پذیری آلومینیوم ۱۰۵۰ را تا حد قابل توجهی افزایش دهند [٦]. نتیجه‌ی تحقیق آنها حاکی از این بود که برای افزایش LDR باید دمای سر سنبه پایین نگه داشته شود و دمای قالب تا حدودی بالاتر از دمای محیط باشد. آنچه در مؤثر بودن این روش اهمیت دارد این است که دمای سنبه و قالب باید به‌دقت تنظیم گردند. شکل۱-۲ قالب و سیستم کنترل دما را نشان می‌دهد. آنچه می‌توان به عنوان عیب این روش بیان کرد هزینه‌ی بالای پیاده‌سازی آن و نیاز به ساخت قالب جدید است.

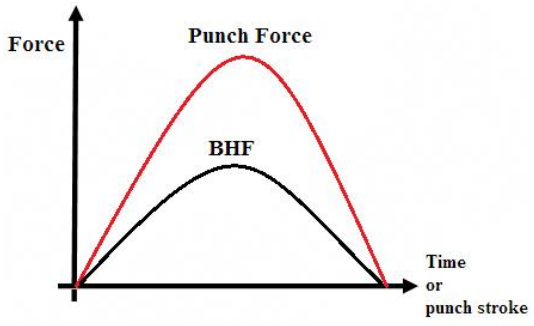


شکل۱-۲- قالب کشش عمیق با سیستم کنترل دمای ابزار [٦].

در همان سال کاوایی یک معادله‌ی نیمه تجربی برای نیروی بحرانی ورق‌گیر بر اساس دامنه‌ی مجاز موج چروک بدست آورد. پروفیل نیروی ورق‌گیر به‌کار رفته در شکل۱-۳ نشان داده شده است. سپس یک آزمایش تجربی با یک سیستم حلقه باز انجام داد و بدین وسیله مشخص شد که با اعمال این نوع نیروی ورق‌گیر، نیروی اصطکاکی روی ورق کم شده و حد کشش به میزان ٪۵ در مقایسه با حالت نیروی ثابت ورق‌گیر بهبود می‌یابد [۷].

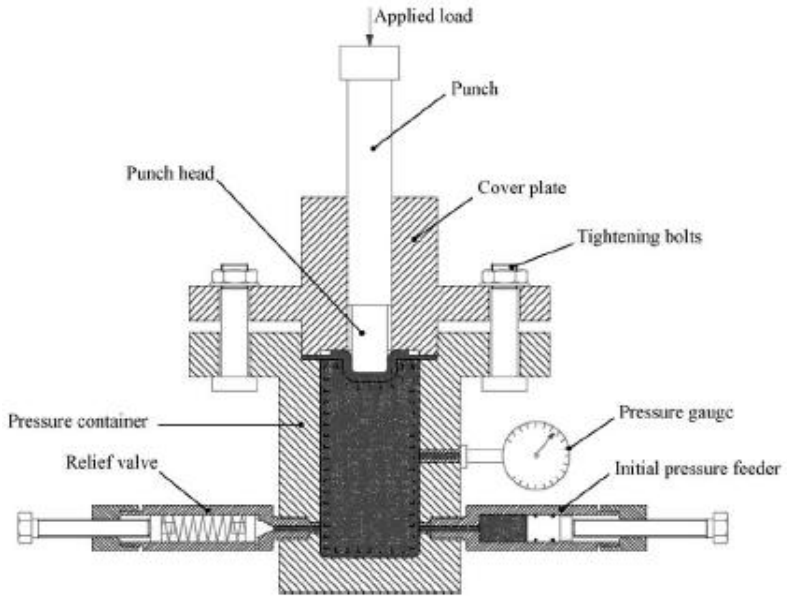
---

[1] L.Gunnarsson
[2] P.S.Bate
[3] Differential heat treatment
[4] Y.H.Moon



شکل۱-۳- پروفیل نیروی ورق‌گیر کاوایی

در سال ۲۰۰۲، کندیل[1] روش کشش عمیق با هیدروفرمینگ را بررسی کرد [۸]. در این روش برای جلوگیری از ایجاد پارگی در ورق در ناحیه‌ی سر سنبه ورق با فشار سیال به سنبه فشرده می‌شود (شکل ۱-٤). وی مؤثر بودن این روش را بطور تجربی نشان داد. هر چند استفاده از این روش سبب می‌شود پارگی از سر سنبه به ناحیه‌ی نزدیک به شعاع قالب منتقل شود.

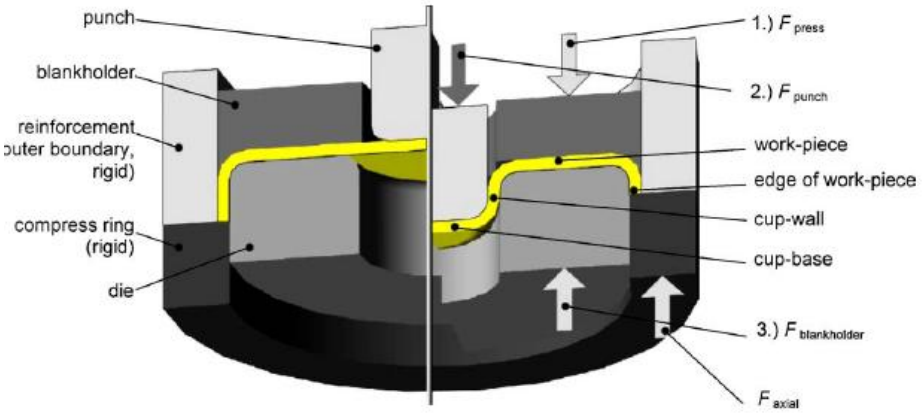


شکل۱-٤- استفاده از سیستم هیدروفرم در قالب کشش عمیق [۸].

در سال ۲۰۰٤ مناب[2] و گروهش سیستم کنترل فازی ورق‌گیر و سرعت سنبه را بررسی کردند [۹]. گزارش آنها حاکی از این است که احتمال افزایش LDR با به‌کارگیری این روش وجود دارد.

[1] A.Kandil
[2] K.Manabe

در سال ۲۰۰۵ پتزولد[1] و اتو[2] ، LDR را با استفاده از تنش فشاری شعاعی اضافه افزایش دادند [۱۰]. این روش سبب می‌شود که جریانی از فلز از بخش بیرونی فلنج (ناحیه‌ی بین ورق‌گیر و قالب) به سمت ظرف در حال ساخت حرکت نماید. در شکل ۱-۵ قالب به‌کار رفته در این روش نشان داده شده است.



شکل ۱-۵- ابزار شکل‌دهی برای کشش عمیق با تنش فشاری شعاعی [۱۰].

در سال ۲۰۰۸ نارایاناسامی[3] و همکاران به بررسی اثر حساسیت به نرخ کرنش بر روی LDR پرداختند [۱۱]. آنها با بنا نهادن معادله‌ی دقیق LDR که تابعی از ناهمسانگردی عمودی، توان کرنش سختی، حساسیت به نرخ کرنش، ضریب اصطکاک، استحکام تسلیم، شعاع انحنای قالب و سنبه است نشان دادند که ناهمسانگردی عمودی، توان کرنش سختی و ضریب اصطکاک اثرات مشخص بر LDR دارند. همچنین نشان دادند با افزایش حساسیت به نرخ کرنش حدنسبت کشش افزایش می‌یابد.

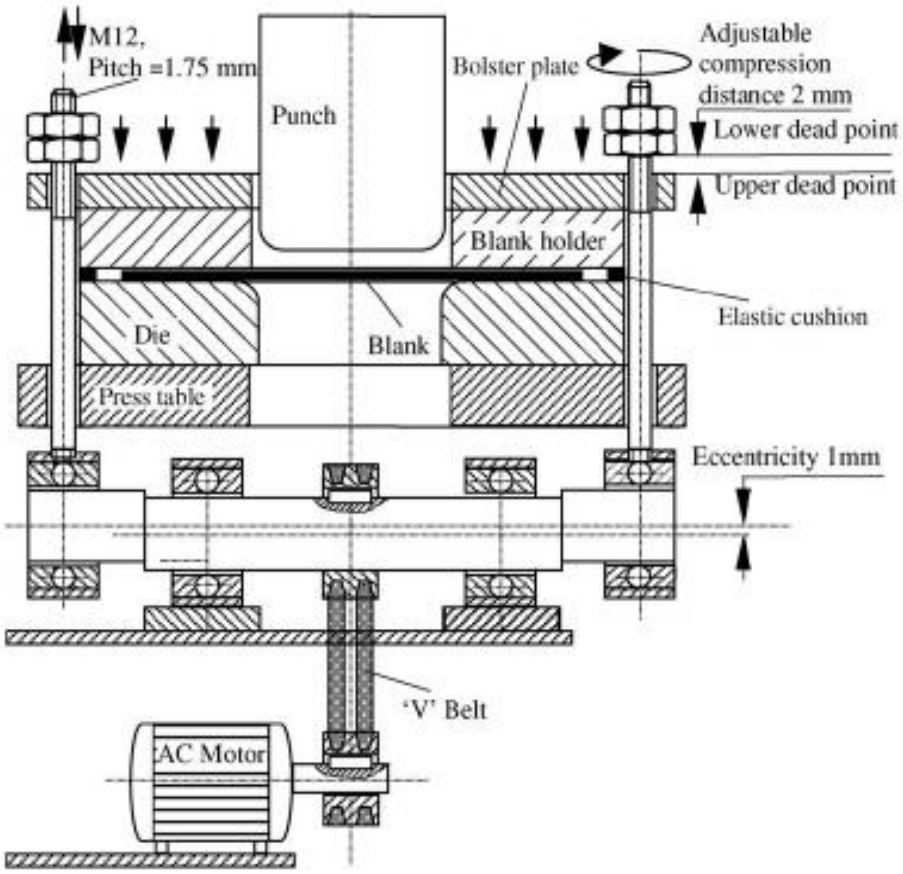
۱-۳- معرفی سیستم ترمز ضد قفل در کشش عمیق

در سال ۲۰۰۶ گواس[4] و همکارش طرحی را برای به‌کارگیری سیستم ترمز ضد قفل در ورق‌گیر قالب کشش عمیق پیشنهاد کردند [۲]. آنها با انجام مجموعه‌ای از آزمایشات به مقایسه‌ی حد نسبت کشش و همچنین ارتفاع کشش در دو حالت با ABS و بدون آن پرداختند. نتیجه‌ی این عمل، حاکی از افزایش چشمگیر حد نسبت کشش و عمق کشش در ورق آلومینیوم AL1050 در فرایند همراه با سیستم ABS بود. آنها موفق شدند LDR را از ۲/۱ به ۲/۳ افزایش دهند. همچنین افزایش عمق کشش حدود ۲۴٪ گزارش گردید [۲].

---
[1] W.Petzold
[2] M.Otto
[3] R.Narayanasamy
[4] M.Gavas

کشش عمیق با ABS اصولاً شامل لوازم کشش معمولی است که یک سیستم ABS ساده در آن قرار گرفته است، که باعث می‌شود ورق‌گیر بطور متوالی ورق را در حین مرحله شکل‌دهی، با فرکانس بالا نگه دارد و رها کند.

شکل۱-٦ طرحی از این سیستم ضدقفل را نشان می‌دهد. یک موتور AC روی کفشک پایین قالب مونتاژ شده است و مجموعه‌ی قالب و الکتروموتور روی میز پرس سوار می‌شوند. موتور توسط یک جفت تسمه V شکل حرکت دورانی را به محور گریز از مرکز[1] منتقل می‌کند. سپس حرکت دورانی محور، توسط دو میله که نزدیک دو انتهای این محور قرار دارد به حرکت خطی به سمت بالا و پایین صفحه‌ی تکیه‌گاه[2] که روی ورق‌گیر قرار دارد منتقل می‌شود. به علت تناوب در قفل کردن و رها ساختن، این سیستم شبیه به سیستم ABS است که بر روی ترمز اتومبیل‌ها به‌کار می‌رود.



شکل۱-٦- نمونه‌ای از قالب کشش عمیق با سیستم ABS برای ورق‌گیر [۲].

[1] eccentric axle
[2] bolster plate

۱-۳-۱- تنظیم فاصله فشار[1]

فاصله‌ی بین ورق‌گیر و قالب بیانگر حداکثر ارتفاع چروک است [۱۲]. برای فرایند معمولی این فاصله ثابت است و معمولاً ۱۱۰٪ ضخامت ورق در نظر گرفته می‌شود [۱۲]. بنابراین برای ورقی به ضخامت یک میلی‌متر این مقدار برابر ۱/۱ میلی‌متر است. در حالت استفاده از ABS گواس مقدار ماکزیمم فاصله بین ورق‌گیر و ماتریس را ۲/۷۰۹ میلی‌متر در نظر گرفت، که یک میلی‌متر آن مربوط به ضخامت ورق و ۱/۷۰۹ میلی‌متر فاصله‌ی فشار است. که بدین معناست که از یک طرف در هنگام کشش، فاصله‌ی بین ورق‌گیر و قالب برای بهبود جریان فلز و از طرف دیگر در حین فشار ABS به‌عنوان نیروی بین ورق‌گیر و قالب برای کنترل جریان فلز به‌کار می‌رود.

برای تنظیم فاصله‌ی فشار به شیوه‌ی زیر عمل می‌شود:

۱ -محور گریز از مرکز به نقطه‌ی مرگ پایین انتقال داده می‌شود و مهره‌ی تنظیم به پایین حرکت داده می‌شود تا بر روی صفحه‌ی تکیه‌گاه قرار گیرد (شکل۱-۷).

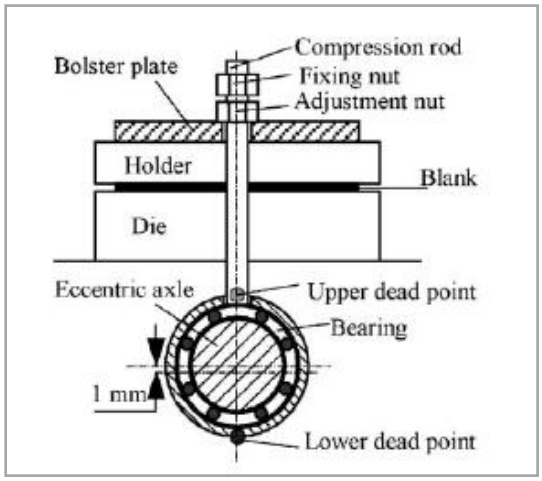
۲ -محور به نقطه‌ی مرگ بالا منتقل می‌شود. چون گریز از مرکزی محور یک میلی‌متر است، پس از اجرای مراحل یک و دو فاصله‌ی مهره‌ی تنظیم از صفحه‌ی تکیه‌گاه دو میلی‌متر خواهد بود (شکل۱-۸).

۳ +کنون باید فاصله‌ی فشار انتخاب شود. در آزمایش گواس، پیچ سر میله‌ها از نوع M12 با گام ۱/۷۵ میلی‌متر است. با چرخاندن مهره به اندازه‌ی $\frac{1}{6}$ دور، فاصله‌ی مهره‌ی تنظیم تا صفحه‌ی تکیه‌گاه ۱/۷۰۹ میلی‌متر خواهد بود (شکل۱-۹).

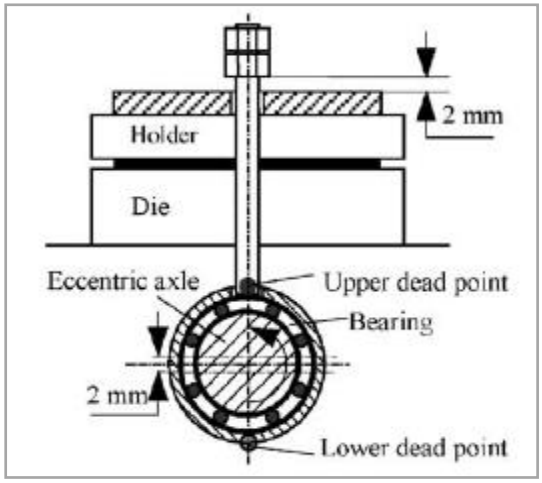
$$\frac{1.75}{6} = 0.291$$

فاصله‌ی ۰/۲۹۱ برای متوقف ساختن ورق توسط سیستم ترمز ضدقفل به‌کار می‌رود. این فشار باعث می‌شود ورق بطور متوالی نگه داشته شود و رها گردد. حرکت یک دور محور در زمان ۰۳۷/. ثانیه انجام می‌شود. بنابراین این نوسان ۱۶۲۱ بار در دقیقه صورت می‌گیرد. در طول این زمان بخشی از فاصله‌ی فشار، توسط تغییر شکل الاستیک جذب می‌شود.

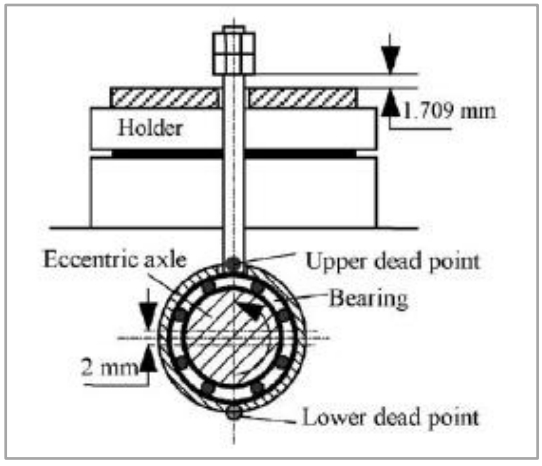
[1] Compression distance



شکل۱-۷- انتقال محور گریز از مرکز به نقطه‌ی مرگ پایین [۲].



شکل۱-۸- انتقال محور گریز از مرکز به نقطه‌ی مرگ بالا [۲].



شکل۱-۹- تنظیم فاصله‌ی فشار [۲].

۱-۳-۲- مزایای سیستم ضدقفل

برای سیستم ترمز ضدقفل به‌کار رفته در فرایند کشش عمیق با توجه به شیوه‌ی عمل آن می‌توان مزایای زیر را در نظر گرفت.

۱ -هزینه‌ی پایین اجرای طرح: همان‌طور که ملاحظه گردید سیستم به‌کار رفته در این فرایند هزینه‌ی ناچیزی دارد. بنابراین استفاده از آن برای افزایش LDR مقرون به‌صرفه است.

۲ -قابلیت نصب بر روی قالب‌های معمولی: برای استفاده از این سیستم نیازی به ساخت دستگاه جدید نیست و می‌توان این روش را بر روی قالب‌های معمولی به‌کار برد.

۱-۴- معرفی تحقیق حاضر

همان‌طور که گفته شد بطور کلی می‌توان اثر به‌کار گیری سیستم ABS را در بهبود جریان فلز از زیر ورق‌گیر ملاحظه نمود. بنابراین می‌توان انتظار داشت اثر استفاده از این سیستم برای مقاطع مختلف متفاوت باشد. همچنین نوع فرکانس اعمالی و دامنه‌ی نوسانات نیز اثر زیادی در اثر این سیستم دارد. برای بررسی این موارد از شبیه‌سازی فرایند کشش عمیق به کمک نرم‌افزار آباکوس[1] استفاده می‌شود. با توجه به موارد گفته شده به بررسی اثر پارامترهای زیر بر میزان اثرگذاری این سیستم پرداخته می‌شود.

۱-۴-۱- اثر شکل ورق و سطح مقطع سنبه

با توجه به اینکه نحوه‌ی جریان فلز برای مقاطع مختلف متفاوت است دو مقطع متداول برای ظرف مورد نظر به شکل مربعی و دایره‌ای را در نظر گرفته می‌شود. با استفاده از نرم‌افزار آباکوس مقایسه‌ای بین فرایند معمولی و فرایند نوسانی صورت می‌گیرد تا مشخص شود در چه مقطعی استفاده از سیستم ABS مؤثرتر است.

۱-۴-۲- اثر نوع، دامنه و فرکانس نوسان

سیستم ضدقفلی که گواس به‌کار برد قادر به ایجاد فرکانس سینوسی است. در این تحقیق علاوه بر فرکانس سیسنوسی نوع فرکانس پله‌ای نیز بررسی می‌گردد. همچنین اثر میزان فرکانس، دامنه‌ی نوسانات و فاصله‌ی فشار در نظر گرفته می‌شود. همچنین بررسی می‌شود که در حالتی‌که فاصله‌ی فشار وجود نداشته باشد و ورق‌گیر بین دو فاصله (گپ) نسبت به ورق نوسان کند چه تأثیری بر عمق کشش خواهد داشت. شکل۱-۱۰ حالت استفاده از فرکانس سینوسی با در نظر گرفتن فاصله‌ی فشار منفی نشان داده شده است. در حالی‌که شکل۱-۱۱ فرکانس سیسنوسی را با فاصله‌ی فشار مثبت نشان می‌دهد. در شکل۱-۱۲ نوع فرکانس پله‌ای به صورت نمونه نشان داده شده است.

---

[1] ABAQUS