CUPPING TEST

آزمون کشش فنجانی

هدف از این مقاله معرفی تست کشش ورق به روش Cupping Test (آزمون کشش فنجانی) و همچنین مکانیزم مراحل انجام آن و مزایا و معایب و محدودیت های استفاده از این روش در مقایسه با دیگر روشهای رایج تست کشش ورق و همچنین مقایسه اجمالی با نرم افزارهای شبیه سازی با المان های محدود ، خصوصا در صنعت ساخت قالب های کشش و تولید در بدنه خودرو، می‌باشد.

حمیدرضا کاظم پور
کارشناس تحقیقات مواد
شرکت قالبهای صنعتی ایران خودرو
KAZEMPOUR_HAMIDREZA@YAHOO.COM

وحید مجدی
مدیر سیستم ها و انفورماتیک
شرکت قالبهای صنعتی ایران خودرو
V.MAJDI@IKID.IR

مقدمه :

بشر از دیر باز بعد از کشف و استخراج آهن از سنگ آهن و با دستیابی به فرآیند ریخته گری توانست لوازم و ابزارهای مورد نیاز خود را (از جمله ابزار آلات جنگی، ظروف آشپزخانه، اشیای هنری و..) بسازد.

با پیشرفت جوامع بشری و میل به تنوع طلبی در آنها باعث گردید متدها و روشهای گوناگونی برای ساخت و شکل دهی لوازم و اشیای مختلف ابداع و اختراع گردد.

فرآیند کشش نیز یکی از این روشهای شکل دهی بوده که بشر توانست از آن استفاده بهینه ای برای رفع نیازهای خود در زمینه ساخت و تولید قطعات، داشته باشد.

البته می توان اذعان داشت که بکارگیری و استفاده اولیه از فرآیند کشش، محدود به ساخت لوازم و قطعات ساده از جمله ظروف آشپزخانه می شد که با گذشت زمان و سعی در تکمیل و بهسازی روش های ساخت و شکل دهی و مطرح شدن فاکتور سرعت در تولید به دلیل رشد جمعیت و همچنین صنعتی شدن جوامع در ۲۰۰ سال اخیر، بسیاری از صنایع بیش از پیش برای ساخت لوازم صنعتی مورد نیاز خود به سمت تولید و ساخت آنها با استفاده از فرآیند کشش قطعات، مورد توجه قرار دادند.

فرآیند کشش عمیق یکی از مهمترین فرآیندهای شکل دهی ورق های فلزی محسوب می شود، بطوری که در ۱۰۰ سال اخیر رشد فزاینده ای در بکارگیری از این روش درتغییر شکل ورق های فلزی و تبدیل آن به اشکال پیچیده مختلف بکار می رود.

به جرات می توان اذعان نمود با توجه به خصوصیات و ویژگی های منحصر به فرد شکلدهی و تولید قطعات با استفاده از فرآیند کشش عمیق،گستردگی و نفوذ این فرآیند در تمام صنایع دیده شده تا جایی که به ندرت ابزار و وسیله یا ماشین صنعتی را می توان یافت که این روش در تولید آن نقشی نداشته باشد.

خصوصیاتی چون انعطاف پذیری، کاهش وزن، قابلیت شکل پذیری زیاد، پرداخت سطحی خوب و هزینه تولید کاهش یافته برای قطعاتی که با این روش تولید می شوند، باعث توسعه و گسترش دامنه کاربرد این روش و تنوع تولیدات حاصل از آن می شود.

با استفاده از فرآیند تولید به روش کشش عمیق می توان قطعات با اشکال پیچیده را که ساخت آنها با روش های دیگر مشکل و پرهزینه

است را تولید نمود.

از نقطه نظر ساخت، یکی از دلایلی که کاربرد ورق های فولادی در صنعت را توجیه می نماید، قابلیت فرم پذیری و شکل پذیری آسان ورق ها است.

به طور کلی منظور از مفهوم قابلیت فرم پذیری در ورق ها، یعنی ایجاد شکل و فرم مناسب در ورق های فولادی توسط انواع فرآیندها و مکانیزم های شکل دهی (به خصوص فرآیند کشش)که محصول در مراحل نهایی و پایانی باید عاری از هرگونه عیوب شامل: کشیدگی ناقص، شکست، گلویی شدن، پارگی، دفرمگی و..... در اشکال پیچیده باشد.

مشاهده می شود که در مراحل ساخت قطعات با اشکال پیچیده به روش کشش عمیق، تولید بسیاری از قطعات با اشکالات و عیوب همراه می باشد که با توجه به فرآیندهای انجام شده برای رفع این نواقص، قیمت تمام شده کالا بسیار افزایش یافته و در برخی از موارد ساخت و تولید ان قطعه حتی پس از مدتها تلاش و کوشش، به نتیجه نمی رسد.

در بررسی های کارشناسی انجام گرفته در این گونه موارد مشاهده می شد که بسیاری از این نواقص و عیوب مربوط به نوع و جنس ورق های بکار رفته بوده که با تغییر نوع و جنس ورق، بسیاری از مشکلات رفع یا کاهش می یافت.

با پیشرفت تکنولوژی های طراحی - ساخت و مهندسی شدن بخش های ساخت و تولید، ضرورت تست اولیه بر روی مواد و قطعات قبل از استفاده در فرآیند ساخت و تولید، حس می شود.

یکی از روش های تست اولیه بر روی ورق ها، قابلیت شکل پذیری و فرم پذیری ورق بوده که با تست کشش مشخص می شود.

تست و آزمون کشش در ورق ها، از جمله ویژگی های کلیدی و خصوصیات منحصر به فرد در شناسایی و بکارگیری از انواع ورق ها می باشد.

اما به تجربه ثابت شده که انواع روش های متداول تست و آزمون کشش در ورقها نمی تواند در عمل نتیجه درست و کاملی را جهت تصمیم گیری ارائه نماید. دلیل این امر بررسی تک بعدی فاکتورها و المان های تست های کشش در ورق ها و همچنین اعمال نیرو به ورق در حالت استاتیکی می باشد نه به صورت دینامیکی (مد نظر نداشتن شرایط واقعی در کشش های عمیق)

با پیشرفت صنعت و نیاز به محصولات تولیدی جدید و همچنین به منظور جلوگیری از هدر رفت منابع و همچنین کاهش قیمت تمام شده محصولات، با بکارگیری نرم افزارهای شبیه سازی با المان های محدود همانند Auto Form و ABAQUSE و..... تا حدود زیادی مشکلات شکل دهی و فرم دهی پیچیده قبل از ساخت و تولید، برطرف گردید.

اما حتی این شبیه سازی ها نیز در کشیدگی عمیق ورق ها خصوصا قطعات با اشکال پیچیده در عمل نتوانست جوابگو کامل باشد. بدین منظور تست و آزمون Cupping Test (آزمون کشش فنجانی) با متد ها و روش های گوناگون مورد توجه قرار گرفت.

هدف از بکار گیری روش CUPPING TEST:

در بکارگیری از این روش شاهد کاهش چشمگیر دوباره کاری و حذف آزمون و خطا در مراحل اولیه Try Out در قالبهای کشش بوده و همچنین دیدگاه درست، صحیح و واقعی در مبحث تغییر رفتار ورق در حین فرآیند کشش در نقاط بحرانی به صورت محاسباتی و قابل ردیابی با مقادیر کمی خواهیم داشت. در پیاده سازی این روش می توان با بکارگیری از تحلیل ها و گزارشات خروجی و با بکارگیری اصول مهندسی در طراحی قالب ها، از دوباره کاری ها و ضایعات ورق برای تولید قطعات نمونه، جلوگیری کرد.

اهداف مهم بکارگیری روش CUPPING TEST را می توان از چند نقطه نظر بررسی کرد :

- مقایسه دو یا چند قطعه با هم برای تولید قطعات کشش عمیق
- بررسی محدوده و بازه تاثیرگذاری عنصر یا عناصر در کشش ورق
- بررسی و آنالیز اعمال نیروی دینامیکی به قطعه به جای اعمال نیروی استاتیکی

محدوده کاربرد روش CUPPING TEST :

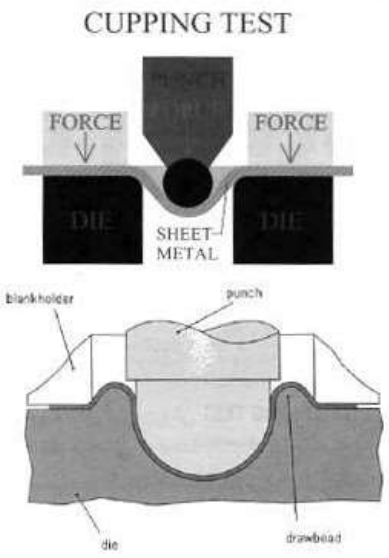
محدوده کاربرد این روش در طراحی و ساخت مکانیزم قالب های فلزی بدنه خودرو و تولید قطعات پرسی می باشد که تغییر رفتار ورق در این فرآیند مورد نظر بوده و با بررسی و تجزیه و تحلیل آن توسط روش CUPPING TEST، به اصول طراحی و ساخت با خطای کمتر منجر می گردد. در شرکت های قالبسازی نظیر شرکت IKID، در تمامی مراحل (قبل و بعد از طراحی قالبهای کشش) و همچنین در مراحل Try Out می توان از این روش سود جست. شایان ذکر است در اکثر شرکت های بزرگ قالبسازی دنیا این روش علاوه بر بکارگیری نرم افزارهای شبیه سازی، به صورت یک آزمایش مکمل، استفاده می شود.

تعریف مکانیزم CUPPING TEST :

در این حالت، ورق در شرایط واقعی کشش عمیق قرار گرفته و قطعه (پنل) کشش خورده به منظور بررسی واقعی کاهش ضخامت (بصورت Real) در مناطق بحرانی توسط نرم افزارها و حسگرها پردازش هندسی می شود و کاهش ضخامت توسط یک دستگاه به صورت نمودارهای تنش - کرنش و نمودار F L D (خصوصیات رفتار ورق در حین عملیات کشش) به منظور پیش بینی و تصمیم گیری

بهتر، ارائه می گردد.

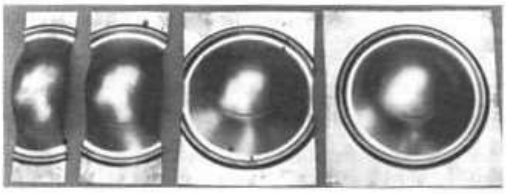
روش و نحوه عملکرد مکانیزم CUPPING TEST:



شکل۱- نمایی شماتیک از مکانیزم عملکرد دستگاه CUPPING TEST

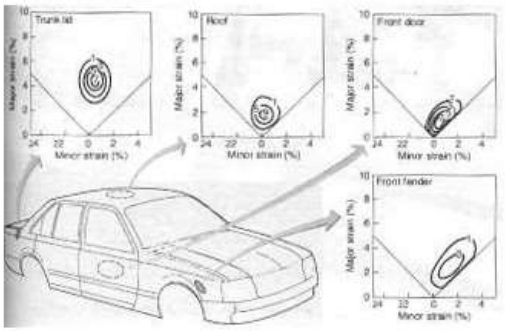
با اســـتفاده از این روش که به روش اریکسون مشهور است، یک نمونه از ورق مورد نظر در ابعاد کوچکتر آماده و سپس از آن این ورق توسط یک ورقگیر (**Blank Holder**) با یک فشار ثابت و مشخص، مهار و ســـپس با حرکت یک سنبه (Punch) با سطح مقطع گرد (تا باعث پارگی ورق نگردد) و زوایای مشـــخص در جهت ماتریس، حرکت می نماید تا تغییر شـــکل به صورت یک Cup (فنجان) و با پارگی ورق آزمایش کشش، متوقف می شود.

پس از پارگی ورق، قطعه از دستگاه خارج شده و توسط ابزارهای دقیق نقاط بحرانی ورق، اندازه گیری ابعادی (ضخامت) می شوند و افزایش طول ورق که همراه با کاهش ضخامت آن در بعضی از نقاط همراه می باشد مشخص می گردد.



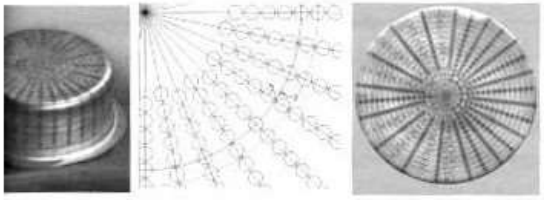
شکل ۲- عکس برداری از یک قطعه Cup شده

البته در شرکتهای خودروسازی این کاهش ضخامت قطعه، دارای یک استاندارد مشخص برای قطعات بدنه خودرو بوده که به شرکت سا: نده قالب، اطلاع رسانی می شود.



شکل ۳ - نمایش بیشترین و کمترین کشش در نواحی مختلف بدنه یک اتومبیل

برای آنالیز و بررســـی بهتر و دقیق تر قطعـــه، یکی از روش‌های متداول، ایجاد یکسری اشکال هندسی ساده همانند مربع و یا دایره با فواصل مشخص از یکدیگر بر روی ورق قبل از مرحله کشش ایجاد می شود که پس از پایان مرحله کشش تغییرات مراکز این اشکال (با استفاده از خط کشهای خاص) نسبت به مراکز نقاط همجوار خود اندازه گیری می شوند.



شکل ۴ - نمایش ورق مش بندی شده قبل و بعد از کشش عمیق

تفاوت داده های خروجی نرم افزارهای شـــبیه سازی با Cupping Test:

داده های خروجی نرم افزارهای شـــبیه سازی با المانهای محدود همانـــند Auto Form و ABAQUS و..... بیشـــتر بـــه صـــورت آزمایشـــگاهی بوده و در شـــرایط ایده آل مورد توجه قرار می گیرد و فقـــط می تواند یک دید اولیـــه و کلی در مورد رفتار ورق در حین کشـــش ارائه نماید. در این نوع بررسی ها شرایط ویژه و عیوب قالب کشـــش مدنظر نبوده و همه چیز در نهایت ایده آل بودن بررســـی می‌شـــود. به همین دلیل این داده های خروجی در عمل، واقعی و

جوابگو نمی باشد.

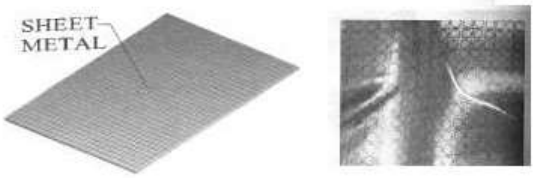
یکی از دلایل اصلی واقعی نبودن جواب در این شبیه سازی ها (کشیدگی عمیق ورق خصوصا قطعات با اشکال پیچیده) را می توان حذف بسیاری از تقریب های کوچک توسط نرم افزار (به دلیل جلوگیری از سنگین شدن برنامه نرم افزار شبیه ساز) که می توانست در بسیاری از موارد تاثیرات بسزایی داشته باشد و خود جزء المان های تاثیرگذار حساب آید، نام برد.

اما در آزمون و تست به روش Cupping Test، با در نظر گرفتن تغییرات واقعی در محدوده و قسمت کوچکی از نمونه ورق (با مقیاس کوچکتر ورق) و تعمیم دادن آن در اندازه واقعی و همچنین بررسی و مقایسه با تجربیات و آزمون های کشش از قبل انجام شده در شرایط کاری مشابه، می توان استفاده شایسته تری از این آزمایش داشت.

انواع مکانیزمهای پیاده سازی CUPPING TEST:

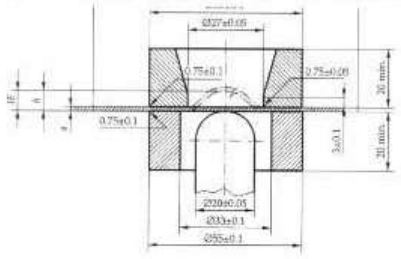
حالت دستی

ورق های نمونه کشش تهیه شده و در سه محور X و Y و ۴۵ درجه کشیده شده و پس از اتمام کار، نقاط بحرانی توسط یک اپراتور و با استفاده از ابزارهای دقیق، ضخامت نقاط بحرانی اندازه گیری شده و گزارش عملکرد آن تهیه می گردد.



شکل ۵ - انواع ورقهای مش بندی شده

از این روش بیشتر برای مقایسه رفتار ورق در حین عملکرد کشش بین دو یا چند نمونه از جنس و یا انواع ورق ها، متفاوت است.



شکل ۶- ابعاد و اندازه های سنبه و ماتریس براساس ISO 20482 در دستگاه Erichsen cupping test

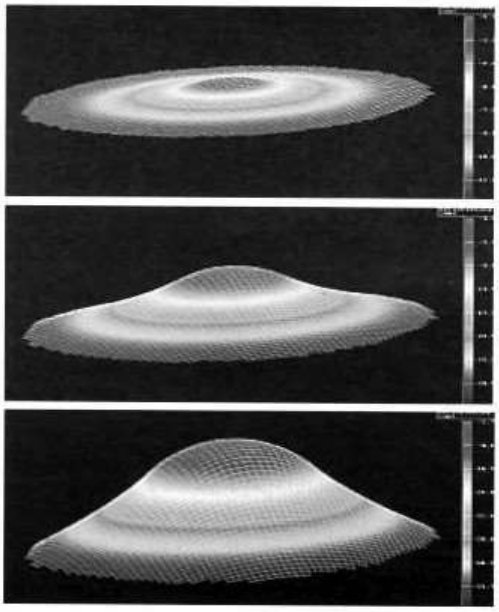
از مزایای این روش ارزان بودن این روش و قابلیت ساخت آن در اکثر شرکت ها و کارگاه های صنعتی می باشد.

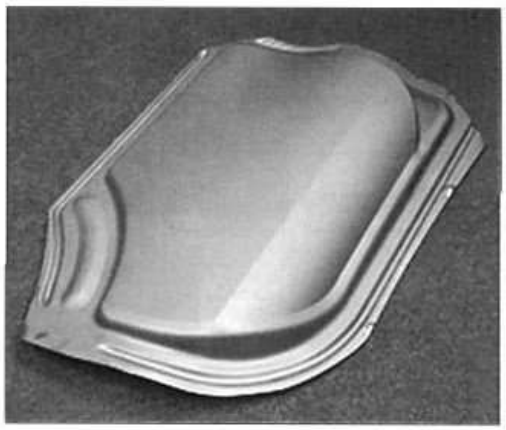
از معایب این روش احتمال خطا اپراتور و ابزار می باشد.

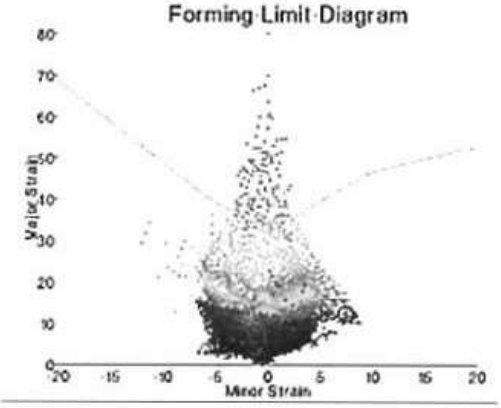
حالت اتوماتیک

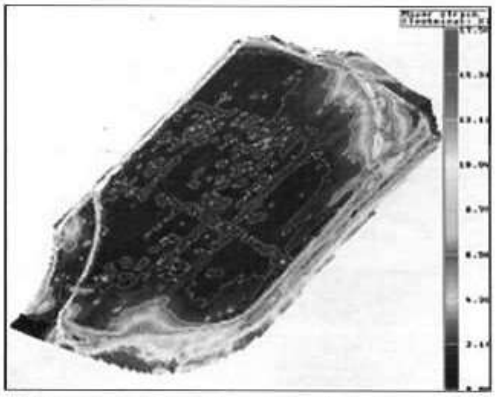
در این روش قبل از عمل کشش ورق را توسط خطوط مش بندی نموده و قطعه پس از کشیده شدن در دستگاه توسط چند دوربین و حسگر، مورد بررسی قرار گرفته و پس از آن، دستگاه داده ها را توسط نرم افزار تحلیلی بصورت نمودارهای تنش – کرنش و همچنین نمودارهای F L D آنالیز می نماید.

شکل ۷ - نمایی از شکل دوربین و سیستم پردازشگر دستگاه CUPPING TEST



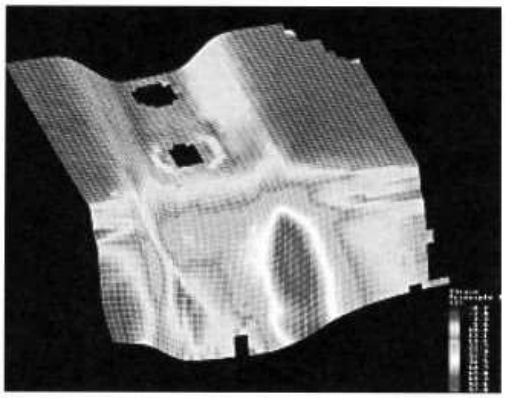


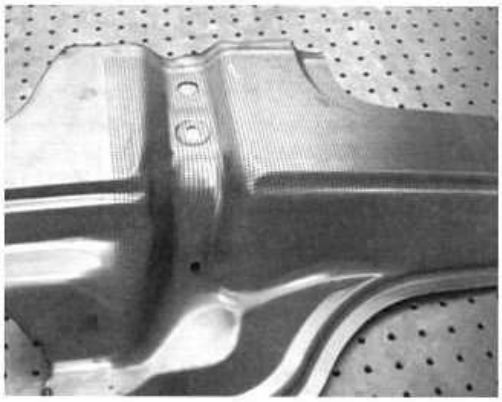




شـــکل ۸ - نمایی از داده های خروجی (دیاگرام F L D) دستگاه CUP-PING TEST

از مزایا این روش، دقت بســـیار بالای نتیجه های بدســـت آمده و همچنین بررسی و آنالیز قطعات تولیدی (در اندازه واقعی) که نیاز به تغییرات دارند، می باشد.





شکل ۹ - قطعه مش خورده و کشش شده به همراه نمایی از آنالیز آن

در هر دو حالت دستی و اتوماتیک، استفاده از یک تیم کارشناسی فنی و مهندســـی بعد از بررســـی پردازش داده ها توسط دستگاه و تحلیل نتایج حاصله توســـط تیم تخصصی کارامد و قابلیت تعمیم پذیری آن نکات حایز اهمیت بوده و از مسائل کلیدی طرح می باشد.

سابقه فعالیتهای انجام شده در شرکت IKID :

از شروع فعالیت شرکت قالب های صنعتی ایران خودرو، تست های کشش در قالب های فلزی با عملکرد کشش(OP10) بیشتر توسط قالبســـاز با آزمون سعی و خطا انجام می شـــد. با گذشت و تجهیز شـــرکت به نرم افزارهای شبیه ســـازی AUTO FORM، بسیاری از مشـــکلات برطرف گردید اما با توجه به موارد فوق الذکر، استفاده از آزمون و تست کشش ورق به روش Cupping Test به نوعی می تواند کمک بسیار شایانی به واحد طراحی و مهندسی به منظور انتخاب و مقایسه ورق داشته باشد.

Cupping and Deep-Drawing Cup Test Machine, Model 212

شکل۱۰ – تصاویری از دستگاه (CUPPING TEST) موجود در بازار

شایان ذکر است که اقدامات اولیه در شرکت قالبهای صنعتی ایران خودرو جهت خرید / ساخت دستگاه Cupping Test انجام شده است.

نتیجه گیری:

به منظور آنالیز واقعی و دقیق تر برای استفاده از ورق ها در کشش عمیق، استفاده از روش CUPPING TEST پیشنهاد می گردد.

از مزایای استفاده از این روش کاهش ضایعات ورق و جلوگیری از اتلاف وقت، انرژی، منابع و مواد را می توان نام برد.

منابع:

ASM HANDBOOK VOL.8
سایت انجمن متالورژی ایران
SHEET METAL FORMING