



بررسی چروکیدگی در فرآیند کشش ورق های فلزی در شرکت فولاد گیلان

فرزاد سلیمانی* - هیئت علمی دانشگاه پیام نور، ایران-تهران

محمد احمدی لاکانی - دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مواد دانشگاه پیام نور سمنان

چکیده:

چروکیدگی چیست؟

چروکیدگی نوعی ناپایداری در فشار است که در ورق‌ها اتفاق می‌افتد. پیچیدگی و اهمیت این پدیده باعث شده تا تحقیقات فراوانی در این زمینه صورت بگیرد. تا کنون تئوری‌های زیادی برای توصیف این پدیده ارائه شده است. تئوری‌های ارائه شده در بسیاری موارد محدود به حالت‌های خاص می‌شوند و تنها قادر به تحلیل چروکیدگی در قطعات با هندسه ساده را دارند. از سوی دیگر تئوری نظیر تئوری دوشاخه شدن یک روش بسیار قدرتمند در تحلیل این پدیده در قطعات دارای شکل پیچیده به حساب می‌آید که به صورت گسترده توسط محققین مختلف و از زوایای گوناگون مورد استفاده قرار می‌گیرد. قدرتمندی این تئوری موجب شد تا الگوریتم این تئوری در نرم افزارهای معددی نظیر Abaqus و Dyna3d به کار گرفته شود.

همچنین ابداع آزمون‌های تجربی متعدد از یک سو باعث شناخت عوامل موثر بر چروکیدگی شده و از سوی دیگر ملاک خوبی برای سنجش صحت تئوری‌های ارائه شده به حساب می‌آیند. از این رو شناخت انواع آزمون‌ها و مزایا و محدودیت‌های هر کدام می‌تواند در انتخاب آزمون مناسب راه گشا باشد.



مقدمه:

چروکیدگی^۱ نوعی از ناپایداری تحت فشار محسوب شده که در موضوعات مربوط به کمانش^۲ بررسی می‌شود. وجود چروکیدگی در ورق نوعی عیب در قطعات شکل داده شده محسوب می‌شود که باعث رد شدن قطعات و تحمیل هزینه‌های هنگفت به تولید کننده می‌باشد. دو نوع چروکیدگی وجود دارد؛ چروکیدگی می‌تواند برگشت پذیر (الاستیک) یا دائمی (پلاستیک) باشد. مورد اول بیشتر در طراحی سازه‌ها اهمیت پیدا می‌کند و به صورت گسترده در کتاب‌های پایداری سازه تحت عنوان کمانش الاستیک^۳ مورد مطالعه قرار گرفته است. اما چروکیدگی دائمی (کمانش پلاستیک^۴) به علت پیچیدگی روابط کمتر مورد توجه قرار گرفته است. کمانش پلاستیک از گذشته مورد توجه قرار گرفته و پیشرفت تدریجی در اصل موضوع به صورت آهسته اما پیوسته در جریان بوده. ستون تحت بار فشاری محوری بیش از هر سازه دیگری مورد مطالعه قرار گرفته است و تاریخچه آن به خوبی شناخته می‌شود. نقطه عطف این تاریخچه مربوط به کار کنسیدره^۵ (۱۸۹۱) و وون کارمن^۶ (۱۹۱۰) می‌شود. آن‌ها باری را که در آن یک ستون ناپایدار می‌شود، به دست آوردند. در اواخر دهه ۱۹۴۰ و اوایل دهه ۱۹۵۰ آزمایش‌هایی در رابطه با ورقه‌ها و تعدادی از پوست‌ها انجام شد و راه حل‌هایی برای یافتن کمترین بار لازم برای کمانش پلاستیک ورقه‌ها پیدا شد. روابط ساده اولیه که بر مبنای تئوری‌های ساده سیلان و پلاستیسیته ارائه شده بود بار لازم برای کمانش ورق را بیش از اندازه واقعی برآورد می‌کرد. فردی بنام هیل^۷ در سال‌های ۱۹۵۸ تا ۱۹۶۱ در جریان مقالاتی معیار عمومی دوشاخگی^۸ را با مبنای ریاضیاتی قوی برای جامدهای الاستیک-پلاستیک ارائه کرد. فرمول‌بندی او نه تنها برای دو شاخه شدن تحت بارگذاری فشاری مورد استفاده بود بلکه برای مسائلی که کمتر به طور جامع به آن‌ها پرداخته شده (مثل گردنی شدن که می‌تواند به عنوان دو شاخه شدن در کشش در نظر گرفته شود) نیز کاربرد دارد (هاچینسون^۹ ۱۹۷۴). در سال ۱۹۷۴ معیار عمومی دو شاخگی هیل را به طور خاص برای ورق‌ها و پوسته‌ها ارائه کرد. یکی از اولین کارهایی که بر مبنای این معیار انجام شد، مطالعه بر روی چروکیدگی فلنج در آزمایش سوئیفت بوده است. به تدریج

¹ Wrinkling

² Buckling

³ Elastic buckling

⁴ Plastic buckling

⁵ Considere

⁶ Von Karman

⁷ Hill

⁸ Bifurcation criterion

⁹ Hutchinson

تحقیقات متعددی بر مبنای این معیار و با کمک تئوری‌های سیلان و تغییر فرم متعدد نظیر معیار درجه دو و غیر درجه دو هیل و تئوری سیلان J2 انجام شد و تنش‌های بحرانی تنها بر حسب خواص ماده و هندسه قطعه به دست آمد. به وسیله این روش نمودارهای حد چروکیدگی^{۱۰} بر اساس محورهای تنش اصلی شبیه به نمودارهای حد کشش (که پیدایش گردنی شدن را بیان می‌کنند) به دست آمد است. با گسترش این معیار به تدریج الگوریتم مربوطه در نرم افزارهای المان محدود^{۱۱} نظیر Dyna3d و Abaqus وارد شد (کوریا و همکاران ۲۰۰۲).

از سوی دیگر معیارهای جدیدی مثل معیار انرژی ونگ^{۱۲} (ونگ ۲۰۰۰) و معیار تقلیل‌گرایی پویا^{۱۳} (ژانگ ۱۹۸۹)، چندین مدل دیگر از سوی محققین مختلف ارائه شد. این معیارها معمولاً برای هندسه‌های ساده و دارای تقارن کاربرد دارد و هنوز جامعیت تئوری دوشاخگی را پیدا نکرده است. به همین دلیل مورد توجه زیادی قرار نگرفته اند.

به همراه پیشرفت نظری معیارهای چروکیدگی آزمایش‌های متعددی نظیر آزمایش کمانش یوشیدا^{۱۴} و کشش عمیق فنجان مخروطی^{۱۵} و دیگر آزمایش‌ها ابداع شد تا شرایط مختلف تاثیر گذار بر چروکیدگی، همانند ویژگی‌های ماده، شرایط مرزی و غیره را بررسی کنند. در تحقیقات همراه با شبیه سازی سعی می‌شود تا نتایج حاصل از شبیه سازی توسط یکی از این آزمایش‌ها تایید شود.

نتیجه گیری: در پژوهشی با عنوان بررسی تجربی و عددی پارامترهای موثر در شکل پذیری ورق های فلزی دولایه آلومینیوم-فولاد که توسط سیدیسمنایی (۱۳۹۷) انجام شد به این نتیجه دست یافتند که، در فرآیند کشش عمیق هیدروپنمایی با فشار شعاعی با کاهش فاصله بین ورق گیر و قالب، چروکیدگی کاهش و نازک شدگی افزایش میابد.

در پژوهش دیگری با عنوان مقایسه عددی و تجربی فرآیند کشش عمیق نمونه مربعی با ماتریس لاستیکی و ماتریس فلزی که توسط گلمکانی (۱۴۰۱) انجام شد به این نتیجه دست یافتند که، قرار دادن یک ورقه فلزی به عنوان واسطه بین لاستیک و ورق سبب بهبود چشمگیر در قطعات تولیدی و کنترل بهتر رفتار ورق و لاستیک حین تغییر شکل میشود.

¹⁰ Wrinkling Limit Diagrams

¹¹ Finite element

¹² Wang

¹³ Dynamic relaxation

¹⁴ Youshida buckling test

¹⁵ Conical cup test



در پژوهش دیگری با عنوان بررسی چروکیدگی با استفاده از یک الگوریتم هندسی در فرآیند کشش عمیق هیدرودینامیکی با فشار شعاعی و جریان رو به داخل سیال که توسط خادمی (۱۳۹۶) انجام شد به این نتیجه دست یافتند که، افزایش فشار شعاعی یا کاهش فشار محفظه منجر به افزایش چروکیدگی میشود. همچنین افزایش ضخامت، کاهش موثر چروکیدگی را به دنبال دارد. علاوه بر این نشان داده شد که شبیه سازی چروکیدگی، وابستگی شدیدی به پارامتر های ورودی در مدل سازی هم چون سرعت سنبه و اندازه مناسب المان دارد.

پژوهش دیگری با عنوان ارتباط بین کرنش دوقلویی و پدیده ی چروکیدگی سطحی در تغییر شکل موم سان فولاد آستنیتی مگنزی که توسط عباسی (۱۳۹۳) انجام شد به این مهم دست یافتند که، چروکیدگی در فولاد های آستنیتی مگنزی با سازوکار کرنش دوقلویی در آنها مرتبط است. این سازوکار تغییر شکل به علت ایجاد کرنش حجمی و چرخش دانه ها، سبب چروکیدگی سطوح آزاد دانه ها و در ادامه آن، ترک دار شدن نمونه شدند. افزون بر این، مشاهده شد که این چروکیدگی و ترک دار شدن با افزایش کرنش، بیش تر و خشن تر میشود.

منابع:

- J. W. Hutchinson, *Plastic buckling*, Adv. Appl. Mech 14 (1974) 67-144
- J. P. Correia, G. Ferron, *Wrinkling prediction in the deep-drawing process of anisotropic metal sheets*, J. Mater. Proc. Tech. 128 (2002) 178-190.
- X. Wang, J. Cao, *On the prediction of side-wall wrinkling in sheet metal forming processes*, Int. J. Mech. Sci. 42 (2000) 2369-2394.
- L. Zhang, et. Al. *Investigation of sheet metal forming by bending. PartII: Plastic wrinkling of circular sheet pressed by cylindrical punch*, Int. J. Mech. Sci 31 (1989) 301-308.



خادمی، مازیار؛ بخشی جویباری، محمد؛ گرجی ولوکلا، عبدالحمید؛ صادق یزدی، میلاد. (۱۳۹۶). بررسی چروکیدگی با استفاده از یک الگوریتم هندسی در فرآیند کشش عمیق هیدرودینامیکی با فشار شعاعی و جریان رو به داخل سیال. ماهنامه مهندسی مکانیک مدرس، سال هفدهم، شماره ۵.

عباسی، مجید؛ خیراندیش، شهرام؛ حجازی، جلال؛ خرازی، یوسف. (۱۳۹۳). ارتباط بین کرنش دوقلویی و پدیده چروکیدگی سطحی در تغییر شکل موم سان فولاد آستینیتی منگنزی. نشریه مهندسی متالورژی مواد، سال بیست و پنجم، شماره ۲.

گلمکانی، حمید؛ مزدک، سیامک؛ مرادی بشلی، سامان؛ شریفی، ابراهیم. (۱۴۰۱). مقایسه عددی و تجربی فرآیند کشش عمیق نمونه مربعی با ماتریس لاستیکی و ماتریس فلزی. نشریه مکانیک مواد پیشرفته و هوشمند، سال دوم، شماره ۲، پیاپی ۴.

سید یسمنایی، سید عماد؛ گرجی، عبد الحمید؛ بخشی، محمد؛ محمد علی نژاد عمران، قربان. (۱۳۹۷). بررسی تجربی و عددی پارامترهای موثر در شکل پذیری ورق های فلزی دولایه آلومینیوم- فولاد. مجله مهندسی مکانیک امیرکبیر، سال پنجاهم، شماره ۳.