



مطالعه عددی و تجربی برگشت فنری یک کامپوزیت زیست تخریب پذیر
احمد سهیلی مهدی زاده^۱ - علی عادلخانی^{۲*}

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۰۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۲/۱۹

چکیده:

در ساخت مواد مرکب، از الیاف پلیمری مختلفی استفاده می‌شود که این الیاف صدها سال در محیط تجزیه نمی‌شوند لذا برای این منظور در این تحقیق از الیاف طبیعی و زیست تخریب پذیر کناف جهت ساخت کامپوزیت استفاده شد. الیاف کربن به صورت نخ تهیه شدند. به منظور ساخت کامپوزیت سه روش چیدمان مختلف برای الیاف کناف شامل روش عرضی، طولی و دو طرفه در نظر گرفته شد. با استفاده از روش لایه چینی دستی ابتدا نمونه‌های مختلف کامپوزیت ساخته شد. سپس تست کشش و خمش بر روی هر نمونه انجام شد. نتایج نشان داد که بهترین مدل برای داشتن بالاترین تنش تسلیم، حد نهایی خمش و مدول الاستیسیته، کامپوزیت ساخته شده با الیاف کناف دو جهته بود. سپس فرایند خمکاری ورق کامپوزیتی با الیاف دو طرفه کنفی در محیط آباکوس مدل‌سازی شد. شرایط خمکاری شامل شعاع گوشه سنبه، سرعت سنبه و نوع قالب بود. تجزیه و تحلیل نتایج مدل‌سازی عددی نشان داد که هر چه قدر سرعت خمکاری افزایش یابد و همچنین شعاع گوشه سنبه کاهش یابد میزان تنش بیشینه رخ داده در ورق خمکاری شده افزایش می‌یابد. از طرفی بررسی نتایج برگشت فنری ناشی از مدل‌سازی عددی نشان داد که کمینه برگشت فنری در قالب وی شکل به مقدار ۰/۹ درجه مشاهده شد که مربوط به سرعت ۵۰ میلی‌متر بر ثانیه و شعاع ۴ میلی‌متر بود. در شرایط مشابه برای قالب یو شکل میزان برگشت فنری ۱/۲۳ درجه به دست آمد. در نهایت فرایند برگشت فنری به صورت تجربی برای نمونه‌های کامپوزیتی در دو قالب یو و وی شکل انجام شد که نتایج نشان داد که میزان خطای میانگین دو روش عددی و آزمایشگاهی ۱۵/۱۶٪ بود.

واژگان کلیدی: خمکاری، کامپوزیت، الیاف طبیعی، برگشت فنری

مقدمه:

مورد نظر طراح در محصول نهایی و سادگی در مونتاژ، راهکار-هایی را جهت کاهش این پدیده در فرآیندهای شکل‌دهی باید مورد توجه قرار داد. ورق در فرآیند شکل‌دهی تحت تاثیر ترکیبی از بارگذاری خمشی، کششی و باربرداری می‌باشد. بنابراین این پدیده از پیچیدگی خاصی برخوردار است. در گذشته از تجربه طراح و روش سعی و خطا به منظور کاهش میزان برگشت‌پذیری و بالا بردن دقت ابعادی محصول استفاده می‌شد که باعث انجام آزمایشات وقت‌گیر و پرهزینه می‌گردید. در دهه‌های گذشته پیش‌بینی برگشت‌پذیری از تئوری ساده مبتنی بر اصول خمش خالص یک تیر ساده استفاده می‌شد. اوپاکدی و همکاران [Ouakadi et al., 2012] به بررسی برگشت فنری در فرآیند کشش-خمکاری V شکل پرداختند.

شکل‌دهی ورق‌ها یکی از پروسه‌های مهم تولید محصولات صنعتی است. به عنوان نمونه از این فرآیندهای پرکاربرد می‌توان به برش، خمکاری، کشش عمیق و کشش کم عمق اشاره کرد. در بین این فرآیندها کشش کم عمق به سبب تولید محصولات متنوع توسط آن از جایگاه ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. از جمله این محصولات می‌توان به ساخت بدنه اتومبیل، ظروف مختلف و قسمت‌های بدنه وسایل پرنده اشاره کرد. یکی از عیوب مهم در فرآیندهای شکل‌دهی ورق‌ها برگشت فنری می‌باشد. برگشت‌پذیری ناشی از بخش الاستیک کرنش-های قطعه کار پس از فرآیند باربرداری می‌تواند به طور نامناسبی شکل قطعه را تحت تاثیر قرار دهد. به منظور رسیدن به ابعاد

^۱ - گروه مهندسی مکانیک، دانشکده فنی و مهندسی، واحد کرمانشاه، دانشگاه آزاد اسلامی، کرمانشاه، ایران

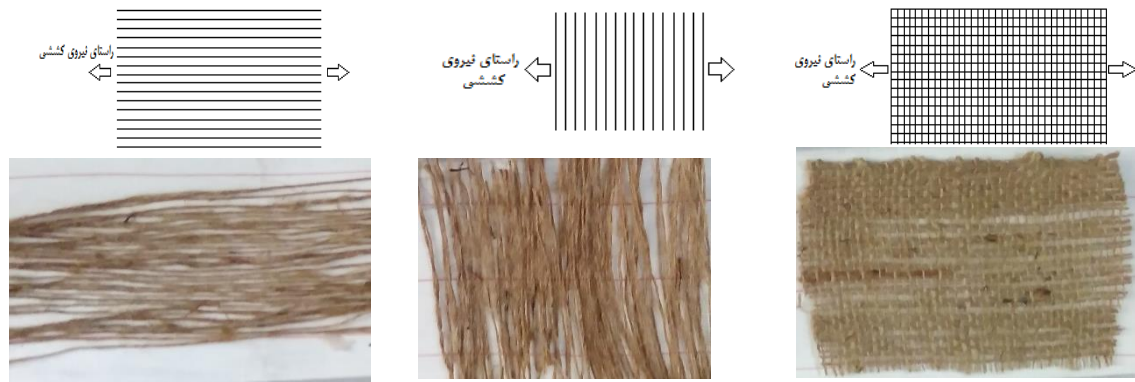
^۲ - گروه مهندسی مکانیک، دانشکده فنی و مهندسی، واحد کرمانشاه، دانشگاه آزاد اسلامی، کرمانشاه، ایران

* نویسنده مسؤول: a.adelkhani@iauksh.ac.ir

مواد و روش‌ها

الیاف استفاده شده در تحقیق

در این تحقیق هدف ساخت یک کامپوزیت بر مبنای الیاف تجزیه شونده کناف است. محققین زیادی اثرات چیدمان الیاف بر خواص مکانیکی الیاف پلیمری مانند شیشه *et Tseng* [2017, *al.*, کرین [Sharma *et al.*, 2009], کولار [Yahaya *et al.*, 2016] و ... را بررسی کرده‌اند و در نتایج خود گزارش کردند که انتخاب زوایه مناسب برای ساخت کامپوزیت، بر خواص مکانیکی مانند مقاومت خمشی، کششی و ضربه تاثیر معناداری دارد. لذا در این تحقیق سه چیدمان مختلف برای الیاف کناف در کامپوزیت در نظر گرفته شد. در شکل (۱) شماتیک قرارگیری الیاف در ساختار کامپوزیت نشان داده شده است. لازم به ذکر است وزن تمامی الیاف انتخابی برای هر مدل از الیاف برابر بود. به عنوان مثال مش بندی الیاف در مدل دو طرفه نصف سایر مدل‌ها بود. در مجموع برای هر سه مدل، برای هر نمونه کامپوزیت ساخته شده ۱۰ گرم الیاف استفاده شد. برای چیدمان الیاف در ماتریس کامپوزیت، الیاف به صورت دستی چیده شدند. طول هر لیف ۲۰۰ میلیمتر برای الیاف در راستای نیروی کششی و ۱۰ میلیمتر برای الیاف عمود بر راستای کشش در نظر گرفته شد.



شکل ۱- چیدمان الیاف در بدنه کامپوزیت (الف: فرم I، ب: فرم II، ج: فرم III)

توسط قیچی برش خوردند و جهت ساخت کامپوزیت در کنار هم چیده شدند. در شکل ۲، نمونه‌های مختلف ساخته شده نمایش داده شده است.

کدخدایان و همکاران [Kadkhodayan & Akbary, 2009] به بررسی پدیده برگشت فنری مواد چندلایه در فرآیند خمکاری U شکل پرداختند. پانسی و همکاران [Panthi *et al.*, 2010] و جیانگ و همکاران [Jiang *et al.*, 2010] و موری و همکاران [Mori *et al.*, 2007] با انجام پژوهش‌هایی برای ورق‌های با جنس مختلف نتیجه گرفتند که برگشت فنری ورق‌ها با افزایش تنش تسلیم افزایش می‌یابد و همچنین نشان دادند که افزایش مدول الاستیک و کرنش سختی باعث افزایش برگشت فنری می‌گردد. امکادن و سایندی [Mkadden & Saidane, 2007] با استفاده از آموزش خمش نشان دادند که شعاع کوچکتر ماتریس باعث کاهش برگشت فنری می‌شود. لی و یانگ [Lee & Yang, 1998] روی فولاد آلیاژ آلومینیوم نشان دادند که با افزایش نیروی نگهدارنده ورق، برگشت فنری کاهش می‌یابد ولی بعد از آن با هر چه بیشتر شدن نیروی نگهدارنده به علت افزایش کرنش سخت شوندگی، برگشت فنری افزایش می‌یابد. در مورد اثر ناهمسان گردی مواد، ورما و هالدار [Verma & Haldar, 2007] نشان دادند که مواد همسان گردی (۱=۱) برگشت فنری کمتری نسبت به مواد ناهمسان گردی دارد. بنابراین هدف اصلی تحقیق حاضر مطالعه تجربی برگشت فنری یک کامپوزیت زیست تخریب پذیر تحت خمش، در قالب‌های U و V شکل است.

روش ساخت کامپوزیت زیست تخریب پذیر

ماده لازم جهت ایجاد یک پیوند قوی بین الیاف کناف و رزین اپوکسی است. برای ایجاد و ساخت کامپوزیت از رزین اپوکسی استفاده شد. در این تحقیق از اپوکسی و هاردنر EPR 1080 و EH 1080 استفاده شد. در گام اول ۱۰ گرم الیاف برای هر نمونه از کامپوزیت توسط ترازو توزین شد. سپس الیاف در راستای طولی و عرضی به طول ۲۰ و ۱۰ سانتیمتر



شکل ۲- الیاف آغشته شده به اپوکسی

آزمون کشش و خمش

در این تحقیق بعد از ساخت نمونه‌های کامپوزیتی، از آنها آزمون کشش و خمش جهت انتخاب بهترین برای چیدمان الیاف در ماتریس کامپوزیت انجام شد. استانداردهای معمول مورد استفاده در آزمون خمش ASTM E290 و ASTM E858 هستند. سال هاست که از این تست مخرب برای ارزیابی خواص خمشی قطعات متالورژی پودر، بتن، سنگ، چوب، پلاستیک، شیشه و سرامیک در مقیاس صنعتی استفاده می‌شود. از نتایج این آزمون، مدول الاستیسیته خمشی، تنش خمشی و کرنش خمشی قطعات را می‌توان استخراج کرد. در این آزمون معمولاً نمونه تا مرز شکست پیش می‌رود تا تمام جزئیات مقاومتی آن در برابر نیروهای خمشی ارزیابی گردد [Curkovic et al., 2010]. در این تحقیق از دستگاه تست خمش سه نقطه‌ای اینسترون استفاده شد. استاندارد ASTM E8 / E8M توسط انجمن تست مواد آمریکا (ASTM) تهیه شده، استاندارد است که به طور خاص خواصی مانند مقاومت به عملکرد، کشیدگی نقطه عملکرد، مقاومت کششی، کشش و کاهش منطقه را توصیف می‌کند. در این تحقیق جهت بررسی خواص کششی نمونه‌های ساخته شده توسط دستگاه تست کشش اینسترون انجام شد. [Santos et al., 2009]

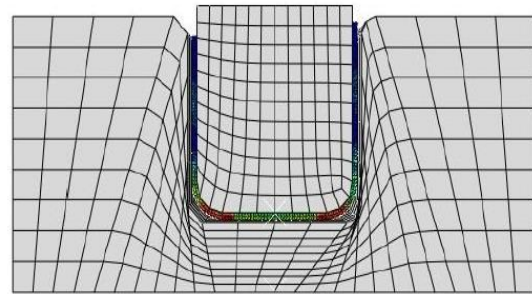
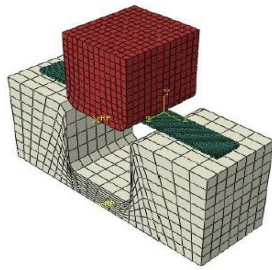
مدلسازی عددی

جهت مدلسازی خم کاری در دو قالب وی و یو شکل در محیط نرم افزاری آباکوس انجام شد. Abaqus حل‌کننده انتخابی FEA (تحلیل المان محدود) برای به چالش کشیدن تحلیل‌های ساختاری غیر خطی است. این نرم افزار دارای دو مدل مخلف حل مسئله، استاندارد و اکسپلیسیت است. به منظور مدلسازی فرایند خمکاری در قالب‌های مختلف از روش

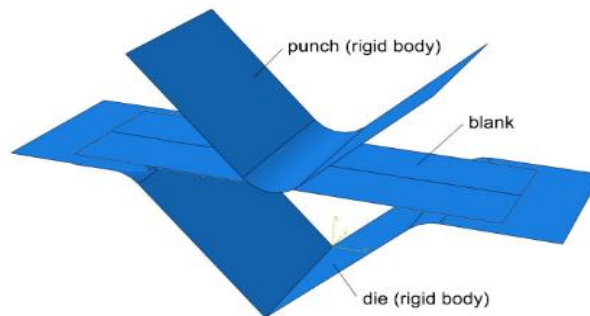
Abaqus/ Explicit استفاده شد که در ادامه مراحل مختلف مدل کردن این فرایند در آباکوس تشریح شده است.

مدلسازی فرایند خمکاری

هدف از مدلسازی فرایند خم کاری انتخاب پارامترهای بهینه جهت فرم‌دهی و خم کاری نمونه‌های ساخته شده است. بعد از اینکه بهترین پارامترهای خمکاری توسط نرم افزار تعیین شد، فرایند خمکاری به صورت تجربی توسط این پارامترها انجام شد. به منظور مدلسازی فرایند شکل‌دهی و خمکاری، اجزای اصلی قالب و سنبه باید طراحی شوند. مدل اولیه قالب و سنبه در محیط Part طراحی شدند. سپس کامپوزیت ساخته شده از الیاف کناف در آباکوس در ماژول کامپوزیت طراحی شد. قالب، سنبه و ورق کامپوزیتی در محیط Assembly مونتاژ شدند و مطابق شکل های ۳ خمکاری در قالب یو شکل و مطابق شکل ۴ فرایند خمکاری در قالب وی شکل در محیط آباکوس طراحی شد. به منظور مدل‌سازی فرایند خم کاری اثر سرعت بارگذاری (V) و خمکاری، شعاع گوشه پانچ در خمکاری یو شکل (Rp-U) و شعاع نوک پانچ در خمکاری وی شکل (Rp-V) بر برگشت فنری (Beta) و تنش ناحیه خم (Sigma) بررسی شدند. محدوده تغییرات متغیرهای مستقل در جدول ۱ نشان داده شده است.



شکل ۳- قالب مدل شده در آباکوس جهت مدلسازی فرایند خم کاری یو شکل و مدل نهایی خمکاری شده در محیط آباکوس



شکل ۴- مدل خم کاری V شکل در آباکوس

جدول ۱- مقادیر متغیرهای مستقل تحقیق

AMOUNT

| | | | |
|-----------|----|----|-----------|
| V (mm/s) | 50 | 60 | 70 |
| Rp-V (mm) | 4 | 6 | 8 |
| Rp-U (mm) | 4 | 6 | 8 |

نظر برش داده شد. در شکل ۶ نتایج آزمون کشش برای

چند نمونه برای الیاف نوع I نشان داده شده است. میانگین مدول یانگ در این حالت ۱۳/۵ گیگاپاسکال، کرنش شکست نمونه ۱/۴۶٪ و استحکام تسلیم کامپوزیت ساخته شده با الیاف نوع I ۲۰۰/۲ مگاپاسکال بود. منحنی تنش کرنش برای آزمون کشش چند نمونه مختلف کامپوزیت ساخته شده با الیاف کنفی نوع II نشان داده شده است. اختلاف معناداری در مدول یانگ این حالت با حالت قبلی مشاهده نشد به طوری که در این حالت میانگین مدول یانگ ۱۳/۴ گیگاپاسکال بود. میزان میانگین تنش تسلیم برای کامپوزیت ساخته شده با الیاف نوع II برابر با ۱۵۳/۸ مگاپاسکال و میانگین کرنش شکست در این کامپوزیت ۱/۱۸٪ بود. در شکل ۶ منحنی تنش-کرنش برای نمونه‌های مختلف کامپوزیت اپوکسی کناف با الیاف دو جهته یا نوع III نشان داده شده است. در این حالت شیب خط نمودارها افزایش معناداری داشت که نشان دهنده تغییرات اساسی در مدول یانگ کامپوزیت است. میانگین

آزمون خمکاری

بعد از اینکه شرایط بهینه برای خم کاری انتخاب شد، سرعت مناسب و شعاع پانچ برای انجام خمکاری تنظیم شدند. قالب و سنبه بر روی دستگاه تست کشش اینسترون بسته شد. نمونه کامپوزیتی ساخته شده در محل داخل قالب نصب و با فشار سنبه، نمونه‌های ساخته شده خم شدند. سپس میزان برگشت فنری هر نمونه توسط گونیای دیجیتال اندازه گیری شد. به منظور اندازه گیری برگشت فنری از زاویه سنج دیجیتال Accud (آکاد) مدل ۸۲۱-۰۰۸-ساخت کشور چین و تحت لیسانس کشور اتریش انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج آزمون‌های مکانیکی

بعد از اینکه کامپوزیت‌های ساخته شده به طور کامل در دمای محیط پخته شدند، هر ورق کامپوزیتی ساخته شده به نمونه‌های مختلفی برش داده شد. در شکل ۵، یک نمونه ورق کامپوزیتی ساخته شده با الیاف دو جهته کناف نشان داده شده است. به منظور انجام آزمون کشش و خمش، ورق مورد



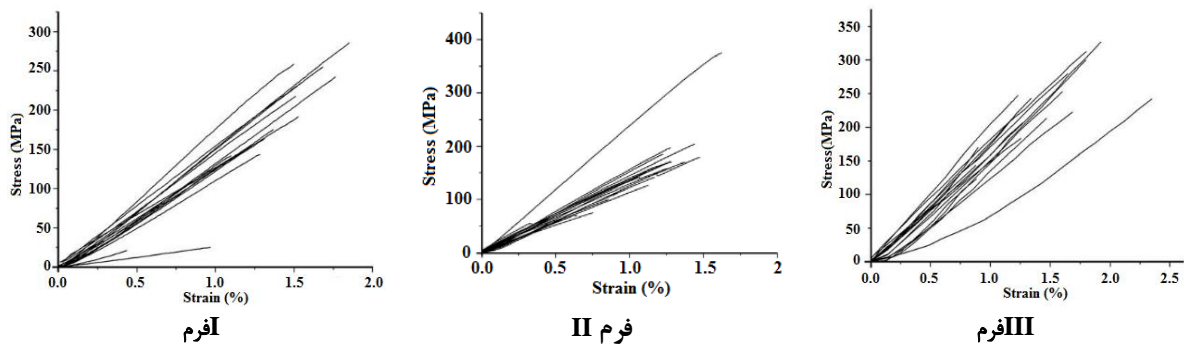
مجله مهندسی زیست سامانه

ساخته شده با الیاف نوع II به مقدار ۹/۹٪ افزایش یافت. در مجموع بررسی نتایج نشان داده شده در این بخش نشان داد که ساخت یک ورق کامپوزیتی با الیاف کناف دو جهته دارای بهترین خواص مکانیکی چه از لحاظ استحکام ماده و چه از لحاظ تغییر شکل در ماده است اما استفاده از الیاف دو جهته سبب کاهش کرنش شکست نمونه نسبت به الیاف تک جهته بود.

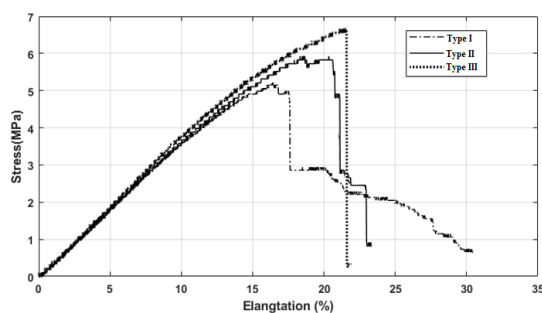
مدول یانگ، کرنش شکست و تنش تسلیم برای کامپوزیت ساخته شده با الیاف نوع III به ترتیب برابر با ۱۷/۲ گیگاپاسکال، ۱٪/۳۱ و ۲۳۳ مگاپاسکال بود. بررسی نتایج ارائه نشان داد که ضریب الاستیسیته کامپوزیت ساخته شده با الیاف نوع III نسبت به الیاف نوع I و II به ترتیب ۲۱/۵۱٪ و ۲۲/۰۹٪ افزایش یافت. همچنین میزان استحکام تسلیم آن نیز به ترتیب به مقدار ۱۰/۲۲٪ و ۳۱/۰۳٪ افزایش یافت اما میزان کرنش شکست کامپوزیت ساخته شده با الیاف نوع III نسبت به نوع I به مقدار ۱۰/۲۷٪ کاهش و نسبت به کامپوزیت



شکل ۵- نمونه‌های برش خورده جهت انجام آزمون کشش



شکل ۶- منحنی تنش کرنش برای نمونه‌های کامپوزیتی



شکل ۷- نتایج آزمون خمش سه نقطه‌ای

نتایج مدل‌سازی عددی

نتایج حاصل از آزمون‌های تجربی نشان داد که استفاده از الیاف دو جهته در راستای ساخت کامپوزیت زیست تخریب پذیر سبب بهبود خواص مکانیکی از قبیل تنش تسلیم و مدول الاستیسیته کامپوزیت خواهد شد بنابراین در ادامه عملیات شبیه‌سازی فرایند شکل‌دهی و خم کاری به ازای ورق کامپوزیتی ساخته شده با الیاف دو جهته انجام شد. شاخص‌های مورد

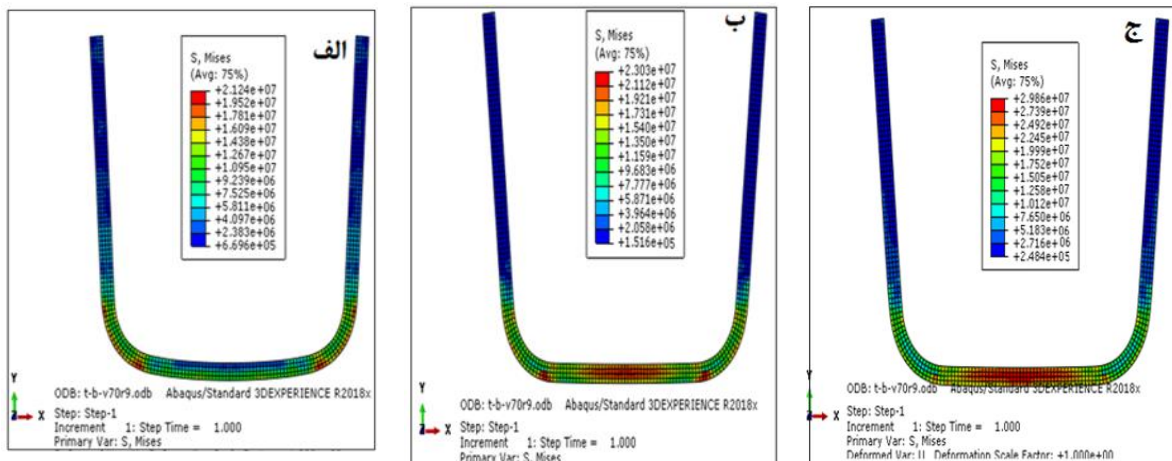
نتایج آزمون خمش در این بخش نتایج آزمون خمش سه نقطه‌ای برای کامپوزیت های زیست تخریب پذیر ساخته شده با الیاف کناف ارائه شده است. در شکل ۷، منحنی تنش کرنش برای سه نمونه مختلف کامپوزیت نشان داده شده است. بالاترین مقاومت خمشی به ازای کامپوزیت ساخته شده با الیاف دو جهته مشاهده شد. کمینه مقاومت خمشی نمونه‌های کامپوزیتی به ازای چیدمان الیاف نوع II مشاهده شد. بیشینه تنش خمشی برای نمونه ساخته شده با الیاف نوع III، نوع I و نوع II به ترتیب برابر با ۶،۷۸ مگاپاسکال، ۵،۹۶ مگاپاسکال و ۵،۰۸ مگاپاسکال مشاهده شد. ساخت کامپوزیت با الیاف دو جهته همزمان هم خواص الیاف با چیدمان عرضی و الیاف با چیدمان طولی را دارد لذا در این تحقیق خواص مکانیکی و بخصوص مقاومت خمشی نمونه‌های مورد بررسی در حالت استفاده از الیاف دو جهته نسبت به الیاف طولی و عرضی به ترتیب ۱۲/۰۹٪ و ۲۵/۰۷٪ بیشتر بود.



مجله مهندسی زیست سامانه

با افزایش سرعت سنبه در فرایند خم کاری تنش بیشینه رخ داده در ورق خم شده افزایش یافت. همچنین با کاهش شعاع گوشه سنبه، بیشینه تنش فون مایزس در گوشه‌های مجاور با شعاع سنبه افزایش معناداری پیدا کرد. نتایج نشان داد که با فرض ثابت بودن سرعت حرکت سنبه (50 mm/s) و با افزایش شعاع گوشه سنبه از ۴ میلیمتر به ۸ میلیمتر، میزان تنش فون مایزس نهایی رخ داده در ورق خم شده ۷/۷۷٪ کاهش یافت. همچنین با فرض ثابت بودن شعاع گوشه سنبه (4 mm)، تنش فون مایزس نهایی با افزایش سرعت از ۵۰ به ۷۰ میلیمتر بر ثانیه به مقدار ۲۲/۸۶٪ افزایش یافت. لذا نقش سرعت سنبه در تغییرات تنش بیشینه رخ داده در ورق کامپوزیتی خم شده بیشتر از شعاع سنبه بود.

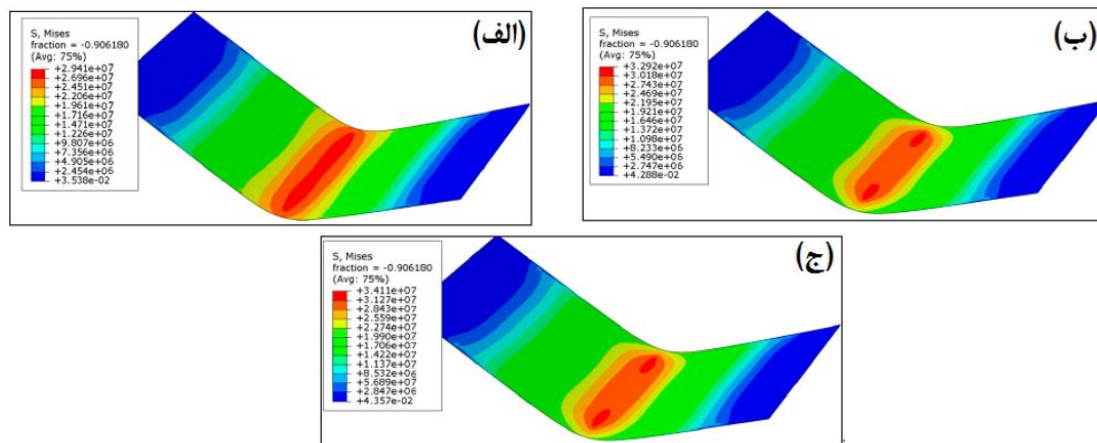
بررسی بر توزیع تنش در ورق خمکاری شده با دو قالب یو وی شکل شامل سرعت حرکت سنبه و شعاع گوشه سنبه بود. در شکل ۸ توزیع تنش در ورق کامپوزیتی خمکاری شده به ازای پارامترهای مختلف خم کاری به ازای $V=50$ mm/s، $R_p=8$ mm، $R_p=4$ mm و $V=70$ mm/s، $R_p=4$ mm نشان داده شده است که به ترتیب بیشینه تنش فون مایزس رخ داده در ورق خمکاری شده به ترتیب برابر با ۲۱/۲۴ مگاپاسکال، ۲۳/۰۳ مگاپاسکال و ۲۹/۸۶ مگاپاسکال بود. بررسی توزیع تنش در ورق‌های خم کاری شده نشان داد که بالاترین تنش بحرانی در محل خم شده همچوار با شعاع گوشه سنبه رخ داده است. از طرفی بررسی نتایج نشان داده شده در شکل ۸ نشان می‌دهد که



شکل ۸- توزیع تنش در ورق کامپوزیتی خم کاری شده با قالب U شکل (الف): $V=50$ mm/s، $R_p=8$ mm؛ (ب): $V=50$ mm/s، $R_p=4$ mm؛ (ج): $V=70$ mm/s، $R_p=4$ mm

سنبه ثابت است با افزایش شعاع از ۴ میلیمتر به ۸ میلیمتر، میزان تنش بیشینه رخ داده در ورق کامپوزیتی خم شده به میزان ۱۰/۶۶٪ کاهش یافت. لذا مطابق حالت قبل با افزایش سرعت حرکت سنبه و کاهش شعاع سنبه، میزان تنش نهایی فون مایزس رخ داده در ورق خم شده افزایش معناداری یافت. مقایسه توزیع تنش رخ داده در دو حالت خم کاری یو وی شکل نشان داد که بیینه تنش رخ داده در خم کاری وی شکل بیشتر از خم کاری یو شکل بود.

در شکل ۹ نیز توزیع تنش بیشینه در ورق کامپوزیتی خمکاری شده با قالب V-shape برای سه حالت مختلف خمکاری نشان داده شده است. توزیع تنش نشان داده شده شکل الف تاج به ترتیب مربوط به خمکاری در شرایط ازای $V=50$ mm/s، $R_p=8$ mm، $V=50$ mm/s، $R_p=4$ mm و $V=70$ mm/s، $R_p=4$ mm بود که به ترتیب ماکزیمم تنش فون مایزس رخ داده در هر نمونه خمکاری شده به ترتیب برابر با ۲۹/۴۱ مگاپاسکال، ۳۲/۹۲ مگاپاسکال و ۳۴/۱۱ مگاپاسکال بود. بررسی تصاویر نشان داده شده نشان داد که ماکزیمم تنش رخ داده در محل تماس انحنای سنبه با ورق کامپوزیتی خم شده مشاهده شد. بررسی شکل نشان می‌دهد که با افزایش سرعت سنبه و کاهش شعاع آن محل اثر تنش بیشینه کاهش یافت. در کل نتایج این بخش نشان داد که با افزایش سرعت حرکت سنبه از ۵۰ mm/s به ۷۰ mm/s میزان ۳/۴۹٪ افزایش یافت. از طرفی در شرایطی که سرعت



شکل ۹- توزیع تنش در ورق کامپوزیتی خم کاری شده با قالب V شکل (الف): $V=50 \text{ mm/s}$, $Rp=8 \text{ mm}$; (ب): $V=50 \text{ mm/s}$, $Rp=4 \text{ mm}$; (ج): $V=70 \text{ mm/s}$, $Rp=4 \text{ mm}$

شده بر مبنای سرعت کمینه یعنی ۵۰ میلیمتر بر ثانیه و شعاع سنبه کمینه یعنی ۴ میلیمتر است. میزان برگشت فنری در این حالت برای ورق کامپوزیتی خمکاری شده در قلب یو و وی شکل در جدول ۲ ارائه شده است. در هر دو حالت کمینه برگشت فنری به ازای کمینه سرعت سنبه و کمینه شعاع سنبه محاسبه شد.

جدول ۲- مقادیر برگشت فنری برای نمونه‌های مدلسازی شده در قالب‌های یو و وی شکل

| RP (MM) | V (MM/S) | SB (DEGREE) | |
|---------|----------|-------------|------------|
| | | U-Shaped | V-SHAPED |
| 1 | <u>4</u> | <u>1.23</u> | <u>0.9</u> |
| 2 | 4 | 3.1 | 1.8 |
| 3 | 4 | 4.3 | 2.03 |
| 4 | 6 | 3.5 | 2.44 |
| 5 | 6 | 5.7 | 2.53 |
| 6 | 6 | 6.3 | 3.65 |
| 7 | 8 | 5.43 | 3.81 |
| 8 | 8 | 6.11 | 3.9 |
| 9 | 8 | 6.89 | 4.1 |

U-Shaped و V-Shaped به ترتیب برابر با ۱، ۱ و ۱/۴ درجه بود. مقایسه مقادیر به دست آمده از آزمون تجربی با نتایج مدلسازی عددی نشان داد که خطای بین مدل عددی و تجربی به طور متوسط برابر با ۱۵/۱۶٪ بود. میزان خطای بین مدل-سازی عددی و تجربی در حالت خمکاری با قالب یو شکل ۱۴/۱۲٪ و در حالت قالب وی شکل ۱۸/۱۸٪ بود. در کل بررسی نتایج این تحقیق نشان داد که بین مقادیر عددی و تجربی اختلاف معناداری وجود دارد اما با استفاده از کنترل بیشتر پارامترهای شکل‌دهی در مدلسازی عددی می‌توان مقدار این

نتایج آزمون تجربی خمکاری

در بخش‌های قبلی نشان داده شده که برای داشتن کمینه برگشت فنری باید سرعت کمینه و شعاع سنبه نیز کمینه باشد. بنابراین در این بخش نتایج حاصل از خمکاری کامپوزیتی ساخته شده با الیاف طبیعی کنفی ارائه شده است. سرعت حرکت سنبه ۵ میلیمتر بر ثانیه و شعاع آن ۴ میلیمتر در نظر گرفته شد. نتایج خمکاری ورق کامپوزیتی در شکل ۱۰ نشان داده شده است. میزان برگشت فنری برای هر دو ورق خمکاری شده محاسبه شد که مقدار آن برای ورق خم کاری شده در قالب



خطا را کاهش داد.



شکل ۱۰- مدل نهایی خمکاری شده توسط قالب‌های مختلف (راست: U-Shape چپ: V-Shape)

برگشت فنری برای قالب یو شکل برابر با $1/23$ درجه به دست ۵- معیار انجام آزمون‌های تجربی جهت محاسبه برگشت فنری ورق کامپوزیتی با الیاف کناف دو طرفه سرعت ۵۰ میلیمتر بر ثانیه و شعاع سنبه ۴ میلیمتر بود. نتایج اندازه‌گیری برگشت فنری برای آزمون تجربی در قالب‌های وی شکل و یو شکل نشان داد که میانگین خطای مقادیر اندازه‌گیری شده توسط روش عددی و تجربی حدود ۱۲٪ است.

References

- Ouakdi, E., et al., Evaluation of springback under the effect of holding force and die radius in a stretch bending test. *Materials & Design*, 2012. 35: p. 106-112.
- Kadkhodayan, M. and R. Akbary, An Investigation into the Effect of Friction and Blank Hold Force on the Springback of U-bending of an Isotropic Plates. 2009.
- Panthi, S., et al., Finite element analysis of sheet metal bending process to predict the springback. *Materials & Design*, 2010. 31(2): p. 657-662.
- Jiang, Z., et al., Coupling effects of material properties and the bending angle on the springback angle of a titanium alloy tube during numerically controlled bending. *Materials & Design*, 2010. 31(4): p. 2001-2010.
- Mori, K., K. Akita, and Y. Abe, Springback behaviour in bending of ultra-high-strength steel sheets using CNC servo press. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 2007. 47(2): p. 321-325.
- Mkaddem, A. and D. Saidane, Experimental approach and RSM procedure on the examination of springback in wiping-die bending processes. *Journal of Materials Processing Technology*, 2007. 189(1-3): p. 325-333.
- Lee, S. and D.-Y. Yang, An assessment of numerical parameters influencing springback in explicit finite element analysis of sheet metal forming process. *Journal of Materials Processing Technology*, 1998. 80: p. 60-67.

نتیجه‌گیری

- در پژوهش حاضر نتایج زیر به دست آمدند:
- ۱- بررسی مدول یانگ و تنش تسلیم کامپوزیت‌های مختلف ساخته شده براساس چیدمان مختلف الیاف نشان داد که بالاترین میزان این خواص مکانیکی مربوط به کامپوزیت با الیاف دو جهته یا الیاف نوع III بود. با تغییر راستای الیاف میزان مقاومت کششی یا تنش تسلیم نمونه به طور معناداری تغییر کرد به طوری که کمینه این مقدار برای کامپوزیت با الیاف کناف عرضی مشاهده شد. میانگین تنش تسلیم برای کامپوزیت با الیاف دو جهته در این تحقیق حدود ۲۲۰ مگاپاسکال و مدول الاستیسیته آن $17/2$ گیگاپاسکال بود.
 - ۲- نتایج آزمون خمش سه محوری نیز نشان داد بالاترین میزان مقاومت خمشی در نمونه کامپوزیتی ساخته شده با الیاف دو جهته مشاهده شد. میزان مقاومت خمشی ورق‌های کامپوزیتی ساخته شده با الیاف نوع I، II و III به ترتیب برابر با ۵,۰۸، ۵,۹۶ و ۶,۷۸ مگاپاسکال بودند.
 - ۳- مدل عددی به منظور شبیه سازی فرایند خمکاری ورق کامپوزیتی با الیاف دو جهته پیاده سازی شد. نتایج نشان دادند که در تمامی مدل‌های بررسی شده، میزان تنش فون مایزس رخ داده در محل تماس شعاع گوشه سنبه با ورق بیشینه مقدار را داشته و با افزایش شعاع سنبه میزان تنش نهایی فون مایزس کاهش یافت. همچنین بررسی نتایج عددی توزیع تنش در ورق خم شده نشان داد که با افزایش سرعت خمکاری یا حرکت سنبه، میزان تنش رخ داده در ورق خم کاری شده نیز افزایش یافت.
 - ۴- بررسی نتایج برگشت فنری محاسبه شده از مدلسازی عددی نشان داد که کمینه برگشت فنری در قالب وی شکل و در سرعت ۵۰ میلیمتر بر ثانیه و شعاع ۴ میلیمتر مشاهده شد که مقدار آن $1/9$ درجه بود. در شرایط مشابه نیز کمینه آمد.



Verma, R.K. and A. Haldar, Effect of normal anisotropy on springback. *Journal of Materials Processing Technology*, 2007. 190(1-3): p. 300-304.

Tseng, H.-C., R.-Y. Chang, and C.-H. Hsu, Numerical prediction of fiber orientation and mechanical performance for short/long glass and carbon fiber-reinforced composites. *Composites Science and Technology*, 2017. 144: p. 51-56.

Sharma, M., I. Rao, and J. Bijwe, Influence of orientation of long fibers in carbon fiber-polyetherimide composites on mechanical and tribological properties. *Wear*, 2009. 267(5-8): p. 839-845.

Yahaya, R., et al., Effect of fibre orientations on the mechanical properties of kenaf-aramid hybrid composites for spall-liner application. *Defence Technology*, 2016. 12(1): p. 52-58.

Ćurković, L., et al., Flexural strength of alumina ceramics: Weibull analysis. *Transactions of FAMENA*, 2010. 34(1): p. 13-18.

Santos, I., et al. Machine-learning-based mechanical properties prediction in foundry production. in 2009 Iccas-Sice. 2009. IEEE.

Numerical and experimental study of spring return of a biodegradable composite

Ahmad Soheili Mehdizadeh¹, Ali Adelhkan^{2*}

1-2- Department of Mechanical Engineering, Technical and Engineering Faculty, Kermanshah Branch, Islamic Azad University, Kermanshah, Iran

*Corresponding author: a.adelkhani@iauaksh.ac.ir

Received: 22 May 2023

Accept: 01 Aug 2023

Abstract

In the construction of composite materials, different polymer fibers are used, which do not decompose in the environment for hundreds of years, so for this purpose, in this research, natural and biodegradable kenaf fibers were used to make composites. Carbon fibers were prepared as strings. In order to make the composite, three different arrangement methods were considered for kenaf fibers, including transverse, longitudinal and two-way methods. Different composite samples were first made by using manual layer-laying method. Then tensile and bending tests were performed on each sample. The results showed that the best model for having the highest yield stress, ultimate bending limit and modulus of elasticity was the composite made with bidirectional kenaf fibers. Then the bending process of the composite sheet with two-way kenaf fibers was modeled in the Abaqus software. Bending conditions included punch corner radius, punch speed and die type. The analysis of numerical modeling results showed that as the bending speed increases and also the punch corner radius decreases, the maximum stress in the bent sheet increases. On the other hand, the analysis of the results of the spring back due to numerical modeling showed that the minimum spring back in V-shaped was found to be 0.9, which corresponded to a speed of 50 mm/s and a radius of 4 mm. In the same conditions, for the U-shaped die, the spring back was 1.23 degrees. Finally, the spring back process was experimentally performed for composite samples in two U-shaped and V-shaped molds, and the results showed that the average error rate of both numerical and laboratory methods was 15.16%.

Keywords: Bending, Composite, Natural Fibers, Spring Back