

تعیین نرخ کرنش وابسته به خواص کششی از طریق ضخامت برای بافت های تقویت شده

کامپوزیت گرمانرم با استفاده از نمونه های پرتو به شکل L -

چکیده

کار ارائه شده بر یک روش برای مشخص کردن نرخ کرنش قدرت وابسته و الاستیک خواص نساجی و مواد مرکب از طریق ضخامت ورقه ورقه تقویت شده تمرکز می کند. در اینجا. توصیف نمونه پرتو L - شکل استفاده می شود. کامپوزیت مورد بررسی یک پارچه ترموپلاست تقویت شده ساخته از نخ های هیبریدی E - است. راه حل تحلیلی برای تعیین استحکام کششی از طریق ضخامت که توسط Lekhnitskii و Shivakumar پیشنهاد شده است با استفاده از تجزیه و تحلیل تغییر شکل های نوری تایید می شود و برای تعیین شناس ، از طریق ضخامت مدول الاستیک گسترش می یابد. در نهایت امکان خصوصیات نرخ کرنش وابسته بررسی می شود و رویکرد مبتنی بر مدل سازی جانسون کوک برای نشان دادن وابستگی نرخ آشکار کرنش از طریق شروع شکست ضخامت استفاده می شود. این روش با موفقیت برای تصرف خود اثرات نرخ کرنش مواد با ارزش بر اساس قدرت و پارامترهای مدل روی یک محدوده از نرخ کرنش J0-4 S - از شماره 1 تا 10، 1 - S و همچنین مدول الاستیک استفاده می شود.

TarjomeFa.Com

1. مقدمه

خواص مکانیکی بسیار عالی خاص واجد شرایط مواد مرکب نساجی تقویت شده برای توسعه و طراحی مواد و سازه های سبک وزن انرژی کارآمد به عنوان مثال در صنایع مهندسی مکانیک خودرو هستند [1]. با ظرفیت جذب انرژی بالا ، مواد بر اساس ماتریس گرمانرم برای استفاده در زمینه طراحی ضربه مقاوم در برابر از پیش طراحی می شوند [2]. تحقیقات اخیر از کلاس این مواد به طور عمده مقابله با خواص درون صفحه ای می نماید [3-5]. برای طراحی ساختاری قابل اعتماد با این حال فقدان دانش خوبی از رفتار طریق ضخامت (TT) مواد مرکب وجود دارد. توصیف حالت شکست TT مرتبط با لایه لایه شدگی به خصوص تحت شدت شرایط بارگذاری دینامیک [6] وجود دارد.

بنابراین هدف از تحقیقات ارائه شده استفاده نسبتاً پیچیده و در نتیجه آسان برای تولید نمونه‌ها در تعیین استحکام کششی و خواص الاستیک در جهت TT مواد مرکب گرمانرم تقویت شده نساجی تحت شرایط بسیار پویای بارگذاری است. برای توصیف خواص TT تنها تحقیقات پراکنده وجود دارد. مروری جامع بر شکل نمونه امکان پذیر است و روش تست مرتبط برای بارگذاری کششی TT در [7] داده می‌شود. این مورد نیز با تمرکز بر چهار نمونه پرتو نقطه هندسه منحنی در [8] مورد بحث قرار گرفته است. کارهای اخیر در مورد رفتار شبه استاتیک TT از مواد مبتنی بر ماتریس اپوکسی با استفاده از نمونه نسبتاً کوچک منتشر شده است [9,10]. تحقیقات دیگر به عنوان مثال به بررسی احتمالاتی از عملکرد شبه استاتیک TT با آن را با نمونه بلوک‌های کوتاه [11] عملکرد و دستگاه تست Arcan 12 صورت گرفته است [12].

با این حال، علاوه بر کوپن میانه دار و نمونه‌های بلوک کوتاه، که برای طراحی معرفی بار همیشه دشوار است، روش تست‌های مختلف بر اساس راه حل Lekhnitskii برای توزیع تنش در مقاطع استوانه‌ای دارای محور اصلی عمودی منحنی پرتو [13] مورد بررسی قرار گرفته‌اند [14] و حتی استاندارد شده‌اند [15]. با توجه به وابستگی نرخ کرنش به مواد تلاش کمتری برای بررسی رفتار مواد TT در نظر گرفته شده است. برخی از کارهای تجربی در این زمینه با استفاده از یک تقسیم Hopkinson بار دستگاه (نگاه کنید به عنوان مثال [19]) را با نمونه‌های بسیار کوچک انجام شده است. در [20] نرخ کرنش وابسته به TT رفتار برشی مورد مطالعه قرار گرفته است. در اینجا، با توجه به معماری نساجی درشت مواد مورد بررسی راه‌اندازی آزمون نمونه L - پرتو اتخاذ شده و روش با یک سیستم دوربین در سرعت بالا در تست سرعت بالا برای تعیین R قدرت TT : () در سطوح مختلف نرخ کرنش مورد استفاده قرار گرفته است.

با هدف آزمون‌های بارگذاری شدت پویا، یک دکل آزمایش مناسب طراحی و ارائه شده است [16]، که بر اساس تعیین درون ورقه‌های نازک تنش در نمونه‌های پرتوی شکل - I پیشنهاد شده توسط [17] Shivakumar است. با استفاده از تجزیه و تحلیل تغییر شکل نوری. این رویکرد را می‌توان برای مدول الاستیک TT علاوه بر استحکام کششی گسترش داد.

مشی پیشنهادی برای نمونه پرتو L - منحنی تحت تنش تک محوره بارگذاری توضیح داده شده است. در مرحله اول ، توضیحات مفصل از نصب تجربی ارائه شده است. بر اساس IT الاستیک و پارامترهای درون صفحه ای، یک ارزیابی از کششی IT مقاومت $R \sim (= R)$ انجام می شود. برای این کار ، تنش بر اساس کرنش اندازه گیری های میدان در آزمایش محاسبه شده است. در مقابل ، استرس های TT نیز می تواند بر اساس راه حل Lekhnitskii برای مواد اتوتروپیک استوانه ای و پاسخ نیروی تحت نظر گرفتن تجربی و پیکربندی هندسی تعیین شود. بعلاوه روش برای تعیین الاستیک IT مدول $E3 (= ER)$ پیشنهاد شده است . مدل سازی بر اساس رویکرد جانسون کوک [18] برای نشان دادن وابستگی به نرخ کرنش ظاهری از قدرت TT استفاده شده است.

2. مشخصات مواد و ساخت نمونه

مواد کامپوزیت بررسی بر اساس پارچه بافته شده است: TWINTEX TPP 60 745 توسط SAINTGOBAIN - VETROITtEisXa تامین می شود. این twill-2/2 بافتن نخ های هیبریدی (Evglassjpolypropylene) ساخته شده است. تکنولوژی فشار داغ برای تولید پانل های نمونه پرتو L - در اتوکلاو استفاده شد. پس از انباشته نمودن پارچه غیرمحکم بین قالب پایین و بالا، پشم گوسفند و جانوران دیگر قالب ریزی و اضافه می شود. پس از آن، ماده با 6 بار در 200 درجه سانتی گراد فرآوری می شود. هیچ اثر قابل توجه جانبی در روند از قابل درآوردن ثبت نشده است. این پانل به بخش $B = 25$ میلی متر برای نشان دادن نمونه نهایی عرض برش داده می شود (شکل 1).

در سفتی صفحه $E < P$ قبل از آزمایش های تنش درون صفحه ای تعیین شد [4]. نفوذ کمی از متفاوت بودن خواص الاستیک در جهت تار و پود توسط تغییر جهت تار و پود تحت سلطه در دنباله انباشته کاهش می یابد که ارائه کننده سهم به طور مساوی توزیع شده است. ضخامت لایه پارچه تثبیت شده واحد برابر است با 0.5 میلی متر و در نتیجه به 24 پارچه و لباس لایه های روی ضخامت نمونه $T = 12$ میلی متر میرسد (b90/0). اطمینان حاصل می شود که یکی از تقویت های مربوطه نساجی اصلی جهت (تار / پود یا $0^\circ / 90^\circ$ درجه) برابر جهت مماسی در بخش منحنی (CP اول، شکل 2) برای اطمینان از اروتروپی در تمام جهات است. خواص برشی TT با استفاده از روش

تست IOSIPESCU مورد ارزیابی قرار گرفت [20]. خواص مواد و نمونه هندسه که در سراسر این مطالعه استفاده می شود عبارتند از :

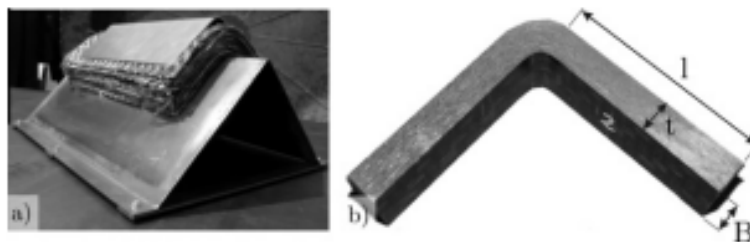
3. روش تجربی

3.1. راه اندازی آزمایشی

3.1.1. دکل تست

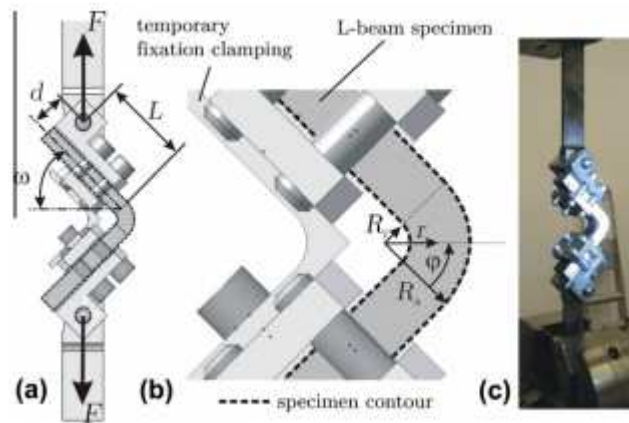
آزمایش های شبه استاتیک در دستگاه تست کننده کلی انجام می شود (Zwick) 2250 با استفاده از 10 لودسل کیلونیوتن با اندازه گیری دقت $\pm 0.2\%$ است. آزمون سرووهیدرولیک با سرعت بالا VHS Instron 20/160 با سیستم برای آزمایش در سرعت بارگذاری بالاتر برای بررسی وابستگی نرخ رفتار کرنش مواد استفاده شده است. این دکل به شما این امکان را می دهد آزمون در تغییر شکل بالا با سرعتی تا 20 m/s و با دقت بار سلول $\pm 0.5\%$ صورت گیرد. بافت بارگذاری (شکل 2) برای قابل اجرا بودن و قابل کاربرد بودن برای هر دو ماشین آلات تست طراحی شده است.

تثبیت بستن موقت برای تضمین نمونه غیر استرس در طول آماده سازی تست و زاویه نمونه دقیق 90° درجه یکپارچه شده است. این مورد در شروع آزمایش برداشته می شود. نمونه ها با سطح گشتاور 25 نیوتن متر نگهداشته می شوند. با توجه به شکل A2، پارامترهای راه اندازی به شرح زیر هستند.



شکل 1. (الف) ساخت نمونه با 24 لایه و ابزار تشکیل متشکل از قسمت بالا و پایین (قبل به تثبیت) : (ب) هندسه

نمونه نهایی.



شکل 2. (الف) در حال بارگذاری نصب ثابت با نمونه. (ب) جزئیات پارامترهای مورد استفاده برای تجزیه و تحلیل. (ج) مونتاژ آزمون برای آزمایش با نمونه و الگوی مقیاس خاکستری (بدون تثبیت کلامپ).

3.1.2. اندازه گیری تغییر شکل نوری

سیستم دوربین با سرعت بالا و یک دوربین شبه استاتیک در ترکیب با یک سیستم تجزیه و تحلیل تغییر شکل بدون تماس، نوری (ARAMIS3 D) مورد استفاده قرار گرفت. الگوی مقیاس خاکستری تصادفی بر روی سطح نمونه اعمال شد. اطلاعات به دست آمده در دررفتگی و زمینه های اعوجاج روی ضخامت نمونه برای محاسبه میدان کرنش متناظر استفاده می شوند. با توجه به رزولوشن دوربین متفاوت (شبه ایستا: 5 مگاپیکسل، 0.1 و 1 MTS: 54.000 پیکسل) و اندازه سطح کوچک از 15 15 پیکسل با فاصله سطح کوچک قیمتی 13 پیکسل (شبه ایستا) و 5 پیکسل (0.1 و 1 MTS). نقاط اندازه گیری کرنش روی ضخامت نمونه بین 42 (شبه استاتیک) و 10 (0.1 و 1 MTS) متفاوت بود. بنابراین کرنش ها در جهت TT بیش از 0.29 میلی متر (شبه ایستا) و 1.2 میلی متر (0.1 و 1 MTS) متوسط گیری شدند. در شکل A - C3 حوزه های کرنش معمولی ($ER \cdot E < p \cdot Y_{rcp}$) در منطقه انحنای نمونه برای یک آزمون شبه استاتیک در شرایط بارگذاری زیربحرانی نشان داده شده است. معماری نساجی درشت برای تقویت مواد باعث توزیع کمی ناهمگن شده است.

علاوه بر این. طرح تغییر شکل اصلی نشان دهنده حالت غالب TT برای کرنش درون صفحه ای تقارن است (شکل D3).

نرخ کرنش

در ارتباط با $O'r$ استرس (8) توسط اندازه گیری نوری در منطقه مورد نظر و اندازه گیری زمان گام تعیین می شود.

3.2 پیش زمینه فرضی

ویژگی های مکانیکی مربوط به ورقه ورقه تقویت شده نساجی سفتی مهندسی درون صفحه ای هستند $P = E = >$ و در جهت و استحکام در جهت لمینیت $R TT$: محاسبات بر اساس حالات تنش صفحه هستند: که در آن Z جهت نشان دهنده نمونه عرض جبه می باشد. همچنین رفتار مواد الاستیک تا وقوع خرابی خطی فرض شده اول است..

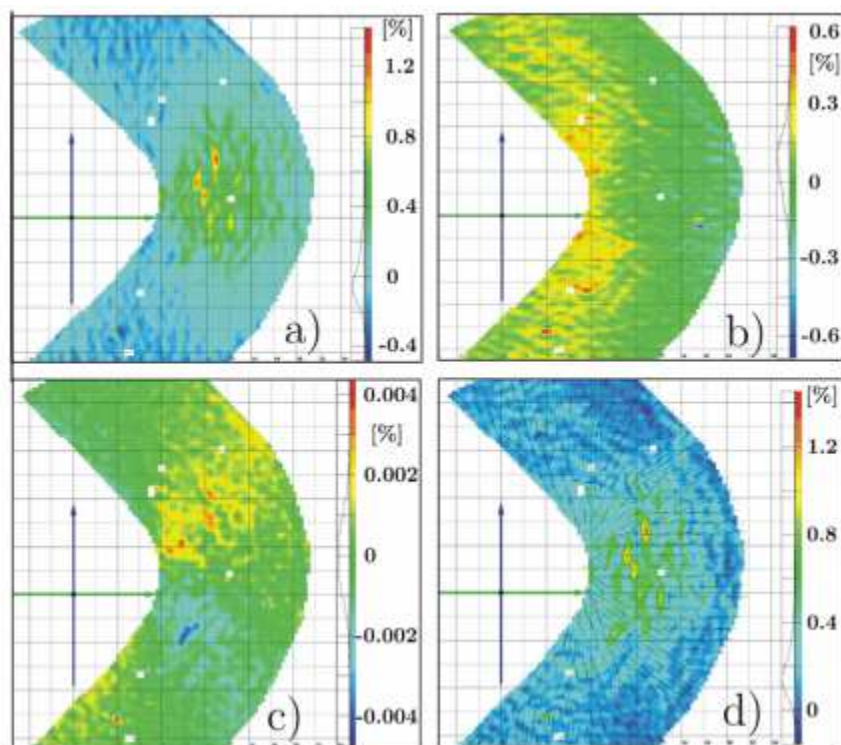
3.2.1 توزیع تنش بر اساس اندازه گیری کرنش

روش زیر برای محاسبه اجزاء استرس بر اساس اطلاعات مربوط به کرنش متناظر پیشنهاد شده است که از طریق اندازه گیری نوری درون صفحه ای تقارن و وابسته به ضخامت مختصات r به دست آمده است.

با استفاده از اطلاعات کرنش داده شده از این آزمای معادله تقویمی اورتروپی چرخشی تحت حالت صفحه $(E_r \neq E_\varphi)$ استرس منتج می شود به

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_r \\ \varepsilon_\varphi \\ \gamma_{r\varphi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{E_r} & -\frac{\nu_{r\varphi}}{E_r} & 0 \\ -\frac{\nu_{r\varphi}}{E_\varphi} & \frac{1}{E_\varphi} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{G_{r,\varphi}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sigma_r \\ \sigma_\varphi \\ \tau_{r\varphi} \end{bmatrix} \quad (2)$$

و در نتیجه اجزای استرس TT می تواند محاسبه شود. با در نظر گرفتن رابطه :



شکل 3. از طریق مقیاس خاکستری همبستگی تعیین توزیع حوزه کرنش در یک بار وقوع خرابی غیر مربوط به $F = 100 \text{ N}$: (الف) پوند. (ب) پوند "، (ج) γ ، و (د) اصل تغییر شکل است.

3.2.2 توزیع تنش بر اساس راه حل تحلیلی

(Shivakumar [17] پیشنهاد روش تحلیلی برای محاسبه توزیع شعاعی، مماسی و برشی استرس $\sigma_r(r)$,

به ترتیب در منطقه منحنی نمونه L - پرتو (شکل 4) بر اساس معادلات Lekhnitskii $\sigma_\varphi(r)$ and $\tau_{r\varphi}(r)$

$$\varphi = \frac{\pi}{2} - \omega,$$

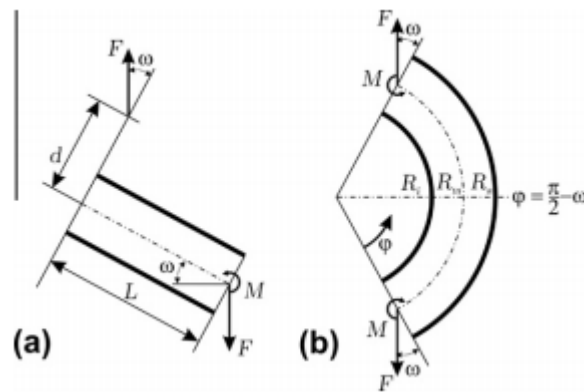
(13) برای توزیع استرس در پرتوهای منحنی همگن ارتروپیک استوانه ای برای گشتاور M و.

بار کششی F را داد.

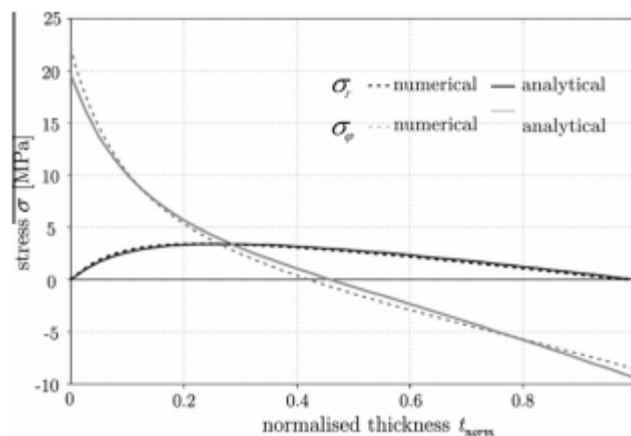
در صفحه تقارن انحنای نمونه یک حالت تک محوره از کرنش فرض شده است:

$$\varepsilon_\varphi = \gamma_{r\varphi} = 0. \quad (4)$$

دو جنبه اصلی در نظر گرفته شده برای محاسبه حالت استرس با توجه به راه اندازی تست استفاده شده است. در مرحله اول، تطبیق وضعیت بار به علت حضور بارگذاری بازوی اهرم (L طول، شکل 4) با F باید تشکیل شده باشد. راه حل برای L - پرتو با F بار کششی به راه حل برای یک نیم دایره تقسیم می شود تحت بار F و M گشتاور که پس از آن می تواند با راه حل های Lekhnitskii قابل پرداخت باشد. محاسبه حساب های گشتاور برای گریز از مرکز راه اندازی بار در اهرم. $\sin w$ و اهرم خود $L \cdot \sin w$ در نظر گرفته می شود (شکل 2):



شکل 4. کنوانسیون های مکانیکی و ابعاد نمونه (الف) اهرم و (ب) منطقه منحنی.



شکل 5. مقایسه تحلیلی و عددی به دست آمده شعاعی و مماسی توزیع تنش در مقابل ضخامت نمونه در تقارن

نمونه صفحه

$$M = F(L \cos \omega - d \sin \omega). \quad (5)$$

دوم ، اصل انطباق اعمال می شود ، که در آن سهم بارگذاری خمش (به علت به M لحظه) و تنش بارگذاری (به علت به نیروی F) در انتهای پرتو نیم دایره به طور جداگانه در نظر گرفته می شود:

$$\sigma_r = \sigma_r^M + \sigma_r^F, \quad \sigma_\varphi = \sigma_\varphi^M + \sigma_\varphi^F, \quad \tau_{r\varphi} = \tau_{r\varphi}^M + \tau_{r\varphi}^F. \quad (6)$$

با آن ، توزیع تنش در انحنا در صفحه تقارن به صورت زیر ارائه می شود:

$$\begin{aligned} \sigma_r(r) &= \frac{M}{R_a^2 B g_M} \left[1 - \frac{1 - \zeta^{\eta+1}}{1 - \zeta^{2\eta}} \left(\frac{r}{R_a} \right)^{\eta-1} - \frac{1 - \zeta^{\eta-1}}{1 - \zeta^{2\eta}} \zeta^{\eta+1} \left(\frac{R_a}{r} \right)^{\eta+1} \right] \\ &\quad + \frac{F}{r B g_F} \left[\left(\frac{r}{R_a} \right)^\beta + \zeta^\beta \left(\frac{R_a}{r} \right)^\beta - 1 - \zeta^\beta \right], \\ \sigma_\varphi(r) &= \frac{M}{R_a^2 B g_M} \left[1 - \frac{1 - \zeta^{\eta+1}}{1 - \zeta^{2\eta}} \eta \left(\frac{r}{R_a} \right)^{\eta-1} + \frac{1 - \zeta^{\eta-1}}{1 - \zeta^{2\eta}} \eta \zeta^{\eta+1} \left(\frac{R_a}{r} \right)^{\eta+1} \right], \\ &\quad + \frac{F}{r B g_F} \left[(1 + \beta) \left(\frac{r}{R_a} \right)^\beta + (1 - \beta) \zeta^\beta \left(\frac{R_a}{r} \right)^\beta - 1 - \zeta^\beta \right], \\ \tau_{r\varphi}(r) &= 0. \end{aligned} \quad (7)$$

$$\text{with } \zeta = \frac{R}{R_a}, \eta = \sqrt{\frac{E_r}{E_\varphi}}, \beta = \sqrt{1 + \frac{E_r}{E_\varphi} (1 - 2\nu_{r\varphi})} + \frac{E_r}{G_{r\varphi}}, \quad g_M = \frac{1 - \zeta^2}{2} - \frac{1 - \zeta^{\eta+1}}{(\eta+1)(1 - \zeta^{2\eta})} - \frac{\zeta^2(1 - \zeta^{\eta-1})}{(\eta-1)(1 - \zeta^{2\eta})} \text{ and } g_F = \frac{2}{r} (1 - \zeta^\beta) + (1 + \zeta^\beta) \ln \zeta.$$

در شکل 5 توزیع استرس دومحوری در بخش صفحه تقارن از انحنای پرتو A در مقابل ضخامت نمونه نرمالیزه اعم از سمت داخلی نمونه (مماس در تنش لود) بهطرف بیرونی (پر شده در فشرده سازی) نمایش داده شده است. $tnorm = 1$ علاوه بر این ، این نتایج در مقایسه با تحقیقات عددی برای این پیکربندی در شکل 5 قرار گرفته است. این مطالعات با استفاده از ANSYS کلاسیک در 11 با 20 عناصر دارای محور اصلی عمودی 2 - DISC - D (PLANE182)) روی ضخامت نمونه (R جهت) و شرایط تقارن مرزی درون صفحه تقارن انجام شده است. برای استرس حداکثر شعاعی ، تنها انحرافات کوچک از ارزش مطلق (1.1٪) و موضع وقوع (، ، 2.4٪) را می توان شناسایی نمود. تمرکز بر منطقه مربوط ، انحراف از تنش مماسی O ، P می تواند نادیده گرفته شده شود (انحراف ریشه 3.5٪). تفاوت در لبه آزاد ($tnonn = 1, tnorm = 0$) از 12.1٪ تجاوز نمی کند.

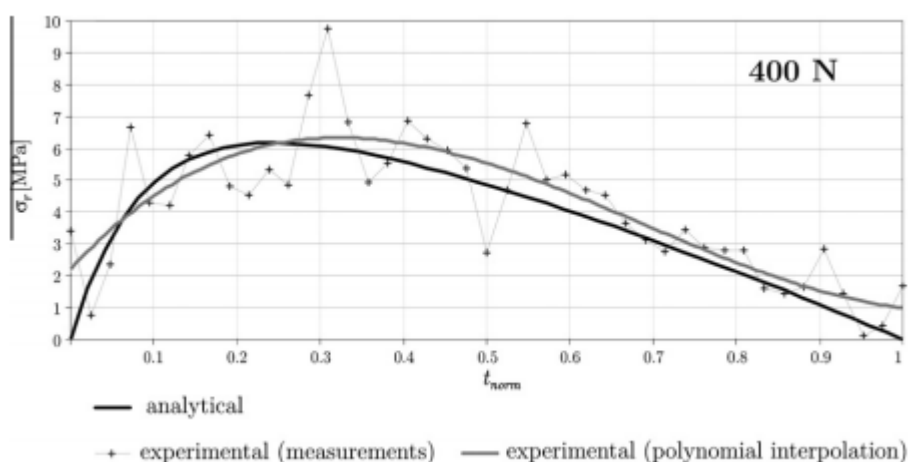
3.2.3 تعیین مدول کششی TT

در مقابل روش ارائه شده در [17]، ER همچنین می تواند به طور تجربی تعیین شود، چرا که اطلاعات کرنش از طریق بازرسی های نوری در دسترس هستند. از معادله (2)

$$E_r \varepsilon_r = \sigma_r - \nu_{r\varphi} \sigma_\varphi \quad (8)$$

و معادله (7) ارتباط برای مشتق شده است، که بستگی به ارزش های R (ERP) آزمایشی در مرحله بارگذاری و معادله (5) به ترتیب، RI ورودی ثابت، RO، ECP و مدول کششی مورد نیاز تنها دارد. این بیان ساده به شرح زیر خوانده می شود:

$$0 = A = \frac{M}{g_M} \left[(1 - \nu_{r\varphi}) - (1 - \eta \nu_{r\varphi}) \frac{(1 - \zeta^{\eta+1})}{(1 - \zeta^{2\eta})} \left(\frac{r}{R_a} \right)^{\eta-1} - (1 + \eta \nu_{r\varphi}) \frac{\zeta^{\eta+1} (1 - \zeta^{\eta-1})}{(1 - \zeta^{2\eta})} \left(\frac{R_a}{r} \right)^{\eta+1} \right] - \frac{FR_a}{g_F} \left(\frac{r}{R_a} \right)^{-1} \left[(1 - \nu_{r\varphi})(1 + \zeta^\beta) - [1 - (\beta + 1)\nu_{r\varphi}] \left(\frac{r}{R_a} \right)^\beta - [1 + (\beta - 1)\nu_{r\varphi}] \zeta^\beta \left(\frac{R_a}{r} \right)^\beta \right] - R_a^2 E_r \varepsilon_r B. \quad (9)$$



شکل 6. مقایسه نتایج تجربی و تحلیلی تعیین شده در دولت در حال بارگذاری $F = 400 \text{ N}$.

این معادله نمی تواند برای E به صراحت حل شود. یک راه حل عددی باید بر اساس اندازه گیری کرنش الکترونیکی در آزمایشات برای R خاص و بارگیری حالت F یافت شود.

4. نتایج و بحث

روش های پیشنهادی برای محاسبه توزیع تنش TT، و نیز تعیین مدول کششی TT و R مقاومت: تجربی و در تایید بحث زیر است.

4.1. توزیع مبتنی بر استرس نوری و تحلیلی Lekhnitskii

معادله (2) برای محاسبه توزیع تنش بر اساس ارزش های تجربی به دست آورده کرنش از طریق تجزیه و تحلیل در مقیاس خاکستری استفاده شده است. در مقایسه با راه حل های تحلیلی، که در آن فشار تک محوره برای یک ماده ایده آل فرض شده است (معادله (4))، مقدار کوچک از کرنش های مماسی در آزمایشات اندازه گیری شده اند، که در حالت استرس TT توسط معادله (3) سهم دارد. مقایسه این دو روش با مقادیر متوسط از سه نمونه به طور نمونه در در شکل 6 داده شده است. $F = 400 \text{ N}$.

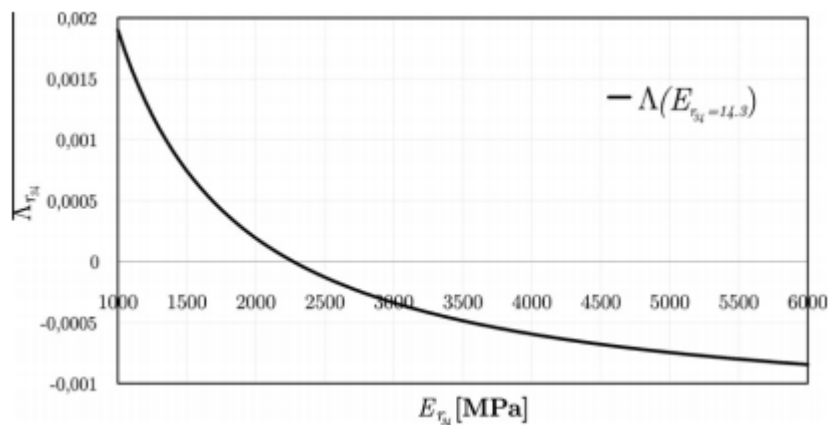
نتایج تجربی تقریبی با چند جمله ای تابع درجه 4، یک توافق رضایت بخش با راه حل تحلیلی Lekhnitskii را نشان می دهد. حداکثر تنش به خوبی نشان داده است و در نتیجه به طور کافی مبنای ارزیابی استرس TT را ارائه می دهد. پراکندگی حاضر را می توان با غیرهمگن بودن بالای مواد توضیح داد و نشان دهنده معماری نساجی درشت است. با این حال، ارتباط مستقیم مقادیر استرس متناوب با لایه های پارچه یا معماری نمی تواند مشخص شود. اوج استرس در $t_{norm} = 0.3$ توسط نقص layup فیبر ایجاد می شود. ناتوانی در مقیاس خاکستری تکنیک همبستگی برای شناسایی حالت کرنش مشخص سبب انحراف قابل توجه راه حل تحلیلی در شعاع درونی و بیرونی ($t_{norm} = 1, t_{nonn} = 0$) نمونه می شود.

4.2 مدول کششی شبه استاتیک TT

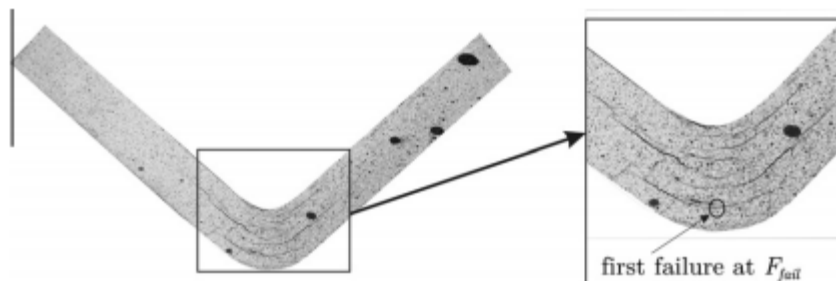
سه نمونه در شرایط بارگذاری شبه استاتیک به منظور تعیین مدول TT EN پیرو پیشنهاد روش کار در بخش 3.2 بررسی شده اند. یک مقدار را می توان در هر موقعیت RN روی ضخامت نمونه شناسایی نمود اگر (معادله (9)). برای این کار ، مقادیر کرنش تحلیل شوند ($N = 1, \dots, 43$) در یک حالت مجزای بارگذاری F. به عنوان مثال در شکل 7 ارائه شده است. ، که در آن ریشه، نشان دهنده E ، در شعاع $r_{34} = 14.3$ میلیمتر و با $F = 500$ N است. مقدار متوسط $N = 43$ راه حل نشان دهنده $\bar{E}_r^{n=1, \dots, 43}$ برای حالت بارگذاری معین است. در نهایت، این می تواند برای m بارگذاری تحلیل شود ، که در آن فاصله $tl.F = 100$ NAND متر $= 5$ انتخاب شده است (جدول 1).

F_m (N)	100	200	300	400	500	$\bar{E}_r = 2276$
E_r (MPa)	2274	2313	2249	2290	2254	

جدول شماره 1 نمایش نتایج : E ، در کشورهای در حال بارگذاری های مختلف



شکل 7. تعیین Er توسط



شکل 8. نمونه ناموفق با شکست اول نشان دهنده و لایه لایه شدگی های پس از آن با توجه به بارگذاری ادامه دار

Exp.	v (m/s)	F_{fail} (N)	$\dot{\epsilon}_{fail}$ (s^{-1})	$R_r^{(opt)}$ (MPa)	$R_r^{(analyt)}$ (MPa)
1	3.3×10^{-3}	577	0.00015	11.6	8.9
2		600	0.00010	12.4	9.3
3		614	0.00006	13.9	9.4
Avg.		597	0.0001	12.6	9.2
4	0.1	1484	0.81	48.5	22.7
5		1135	1.40	36.5	17.4
6		1164	1.01	17.3	17.8
Avg.		1261	1.07	34.1	19.3
8	1.0	1489	6.16	36.0	23.0
7		1914	7.08	39.5	29.3
9		1339	4.02	39.7	20.7
Avg.		1581	5.75	38.4	24.3

جدول 2 نتایج حاصل از آزمایش در سرعت های مختلف بارگذاری

	A_r^E	$R_r^{(ref)}$	$\dot{\epsilon}_r^{(ref)}$ ($\times 10^{-4}$)
Analytical	0.14	9.2	1.10
Optical	0.19	12.6	1.10

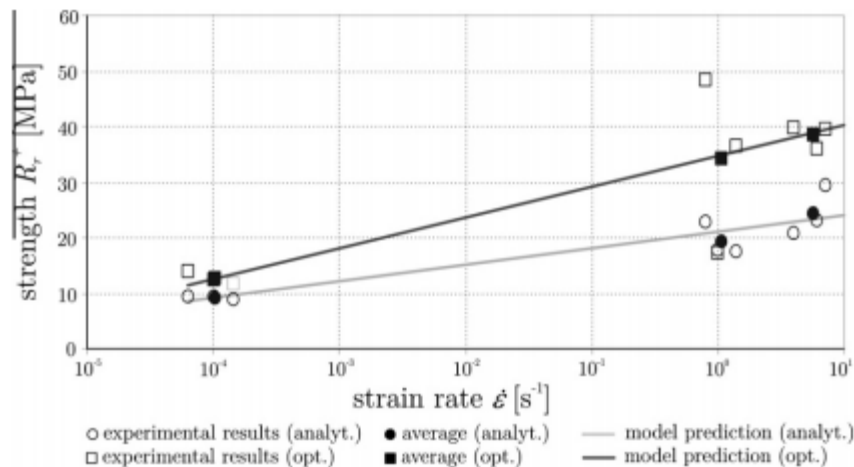
جدول 3 پارامترهای مدل برای نرخ کرنش خواص مقاومت وابسته به TT.

تعیین مقدار میانگین به صورت زیر است

$$E_r = 2276 \text{ MPa } (S = 1\%)$$

(10)

با S انحراف استاندارد و با مطالعات انجام شده بر روی تنش و نمونه کرنش در جهت TT ارتباط دارد و به عنوان مقدار ورودی برای محاسبات شبه استاتیک در بخش 4.1. مورد استفاده قرار می گیرد. فرض رفتار خطی مواد الاستیک در جهت TT توسط مقادیر تقریباً ثابت برای پنج حالت متفاوت تایید می شود.



شکل 9. مقایسه مقادیر مقاومت تحلیلی و نوری تعیین شده و پیش بینی های مدل به میزان کرنش بستگی دارد.

4.3 خواص مقاومت در سرعت های بارگذاری بالا

آزمایشاتی در سرعت های مختلف بارگذاری ($V = 3.3 \times 10^{-5}$ ، 0.1 ، 1 متر / S) انجام شده اند. نرخ کرنش های مختلف منتهی به ضخامت نمونه از طریق تجزیه و تحلیل در مقیاس خاکستری مشخص شده است. افتی در تاریخ بار شکست مواد را نشان می دهد (Ffail). شکست همیشه به صورت عمود بر جهت R به صورت لایه لایه شدگی اتفاق می افتد و متعاقبا به عنوان استحکام کششی در جهت TT با توجه به ناحیه منحنی شکل. 8 به آن اشاره می شود. دو روش برای تعیین پیشنهاد شده است. از یک طرف، قدرت R: (انتخاب کردن) $R_r^{+(opt)}$ می تواند بوسیله معادله (3) تعیین شود. با استفاده از اطلاعات اندازه گیری نوری کرنش از تجزیه و تحلیل مقیاس خاکستری. از سوی دیگر در صرفا تحلیلی بر اساس پاسخ زور و معادله (7) است. جدول 2 خلاصه انجام آزمایشات و نتایج تجربی مربوطه را نشان می دهد. نرخ کرنش محلی در وقوع خرابی $\dot{\epsilon}_{fail}$ در منطقه شکست درست قبل از وقوع آن تعیین می شود.

تمایل از افزایش نقاط قوت با افزایش نرخ کرنش با هر دو روش می تواند به وضوح شناخته شود. پراکندگی قابل توجهی در اندازه گیری نوری توسط معماری بافت درشت با توزیع کرنش در نتیجه غیر همگن و وضوح دوربین پایین با سرعت بالا ایجاد می شود. این احتمال وجود دارد که ماتریس و یا مناطق تحت سلطه فیبر با تمرکزهای کرنش به دست آیند. عدم تطابق اندکی در نتایج شبه استاتیک ($10^{-4} = 1 - e_{fail} - S$) را می توان توسط اندازه گیری حالت کرنش دوماحوری در تجزیه و تحلیل های نوری توضیح داد. در این صورت مشارکتهای مماسی کرنش نیز در نظر گرفته می شود، در حالی که این ها در راه حل تحلیلی صرف نظر می شوند. با این حال، در مقابل بررسی شبه استاتیک، پیش بینی حالت استرس نهایی برای راه حل نوری به طور قابل توجهی متفاوت است. این اثر با افزایش نرخ کرنش افزایش می یابد. یک توضیح برای آن می تواند در این واقعیت باشد که راه حل تحلیلی برای اثرات نرخ کرنش در خصوص خواص درون صفحه ای با توجه به پیچیدگی بیان ریاضی، در نظر گرفته نمی شود.

علاوه بر این ، انحراف در نرخ کرنش بالاتری ممکن است افزایش وابستگی به دومحوری بودن کرنش در نرخ کرنش بالاتر را نشان دهد.

اثر نرخ کرنش بر روی مواد در داخل محدوده نرخ کرنش در نظر گرفته شده به دقت توسط معادله زیر جانسون کوک مبتنی بر با شرح داده شده است:

$$R_r^+(\dot{\epsilon}_r) = R_r^{+(ref)} \left(1 + A_r^R \ln \frac{\dot{\epsilon}_r}{\dot{\epsilon}_r^{(ref)}} \right), \quad (11)$$

با A_r^R نشاندهنده ثابت ماده که شیب خطی پیش بینی مدل روی نرخ کرنش را کنترل می کند. این می تواند توسط بهترین روش متناسب تعیین شود (شکل 8). R : (کد عکس) قدرت مرجع در نرخ کرنش مرجع است. پارامترهای زیر (جدول 3) برای توصیف قدرت رو به افزایش بر اساس نتایج نوری اندازه گیری تحلیلی شناسایی شده است.

با پارامترهای مشخص برای معادله (11) برآورد مناسب برای بررسی محدوده نرخ کرنش را می توان به دست آورد (شکل 9). مقایسه قدرت تحلیلی و نوری تعیین کننده مقدار در نرخ کرنش های مختلف و با پیش بینی مدل در شکل (9) ارائه شده است. این تاکید درست بر این مورد است که این نوع از فرمولاسیون / لگاریتم طبیعی می تواند به مقادیر منفی غیر معقول برای R منتج شود هنگامی که مقدار پایین تر از مرجع درخواست شده باشد.

5. نتیجه گیری

یک روش برای تعیین خواص از طریق ضخامت نساجی مواد کامپوزیت با پرتو نمونه L - تقویت شده مورد بررسی قرار گرفت که فقط برای شناسایی نقاط قوت TT در گذشته مورد استفاده قرار گرفته است. علاوه بر راه حل تحلیلی به خوبی شناخته شده برای توزیع تنش در چنین استوانه ای پرتوهای اورتروپیک منحنی بر اساس Lekhnitskii ، اندازه گیری نوری میدان کرنش روی ضخامت نمونه به طور همزمان استفاده شده است. این تأیید تجربی را برای توزیع تنش تحلیلی پیش بینی شده قادر می سازد. توافق رضایت بخشی تحت شرایط بارگذاری شبه استاتیک به

دست آمده است. بر اساس این نتایج، یک روش برای تعیین مدول الاستیک TT، توسعه داده شده و ارائه شده است. این اندازه گیری ها بر استرس های مختلف سطوح نشان دهنده پاسخ مواد الاستیک خطی TT است. علاوه بر این، وابستگی به نرخ کرنش ظاهری به تنش های وقوع خرابی شناسایی شد و با دقت توسط نرخ کرنش بر اساس مدل جانسون کوک شرح داده شد. بررسی بیشتر روش های جایگزین برای تعیین نرخ کرنش وابسته به خواص TT به منظور ارزیابی اختلاف از ارزیابی تحلیلی ارائه شده و روش های نوری برنامه ریزی می شود. کاهش پراکندگی در نتایج برای مطالعات پالایش با پارچه ظریف تر و سازه های همگن باز گذاشته شده است.

سپاسگزاری ها

نویسندگان اذعان به حمایت مالی از این تحقیق توسط Forschungsgemeinschaft دوپچه (DFG) در دانشگاه فنی درسدن در داخل محدوده همکاری مرکز تحقیقات (639 (SFB) subproject C4 می نمایند.

References

- [1] Hufenbach W, editor, *Textile Verbundbauweisen und Fertigungstechnologien für Leichtbaustrukturen des Maschinen- und Fahrzeugbaus*. Dresden: Progress Media-Verlag; 2007.
- [2] Hufenbach W, Gude M, Ebert C, Hybrid 3D-textile reinforced composites with tailored property profiles for crash and impact applications. *Compos Sci Technol* 2009;69(9):1422-6.
- [3] Brown KA, Brooks R, Warrior NA. The static and high strain rate behaviour of a commingled E-glass/polypropylene woven fabric composite. *Compos Sci Technol* 2010;272-83.
- [4] Böhm R, Gude M, Hufenbach W. A phenomenologically based damage model for textile composites with crimped reinforcement. *Compos Sci Technol* 2010;70(1):81-7.
- [5] Hufenbach W, Böhm R, Thieme M, Winkler A, Mäder E, Rausch J, et al. Polypropylene/glass fibre 3D-textile reinforced composites for automotive applications. *Mater Des*, in press. doi:10.1016/j.matdes.2010.08.049.
- [6] Hufenbach W, Marques FJ, Langkamp A, Böhm R, Hornig A. Charpy impact tests on composite structures – an experimental and numerical investigation. *Compos Sci Technol* 2008;68(12):2391-400.
- [7] Lodeiro MJ, Broughton WR, Sims GD. Understanding limitations of through thickness test methods. *Plast Rubber Compos* 1999;28(9):416-24.
- [8] Cui W, Liu T, Len J, Ruo R. Interlaminar tensile strength (ILTS) measurement of woven glass/polyester laminates using four-point curved beam specimen. *Compos Part A* 1996;27(11):1097-105.
- [9] Abot JL, Daniel IM. Through-thickness mechanical characterization of woven fabric composites. *J Compos Mater* 2004;38(7):543-53.
- [10] Daniel IM, Luo J-J, Schabel PM, Werner BT. Interfiber/interlaminar failure of composites under multi-axial states of stress. *Compos Sci Technol* 2009;69:764-71.
- [11] Tagarielli VL, Minisgallo G, McMillan AJ, Petrinic N. The response of a multi-directional composite laminate to through-thickness loading. *Compos Sci Technol* 2010;70(13):1950-7.
- [12] Gning PB, Delsart D, Mortier JM, Coutellier D. Through-thickness strength measurements using Arcan's method. *Compos Part B: Eng* 2010;41(4):308-16.
- [13] Lekhnitskii SG. *Anisotropic plates*. New York: Gordon & Breach; 1968.
- [14] Wisnom Michael R, Jones ML. Delamination due to interaction between curvature induced interlaminar tension and stresses at terminating plies. *Compos Struct* 1995;32(1-4):615-20.
- [15] ASTM international: standard test method for measuring the curved beam strength of a fiber-reinforced polymer-matrix composite ASTM D 6415/D 6415M.
- [16] Urban R. Bestimmung der dehnratenabhängigen Eigenschaften in Laminat-Dickenrichtung bei gekrümmter Prüfkörpergeometrie. Term paper (Großer Beleg), TU Dresden, Institute of Lightweight Engineering and Polymer Technology (ILK); 2009.
- [17] Shivakumar KN, Allen HG, Avva VS. Interlaminar tension strength of graphite/epoxy composite laminates. *AIAA J* 1994;32(7).
- [18] Johnson GR, Cook WH. Fracture characteristics of three metals subjected to various strains, strain rates, temperatures and pressures. *Eng Fract Mech* 1985;21(1):S.31-48.
- [19] Taniguchi N, Nishiwaki T, Hirayama N, Nishida H, Kawada H. Dynamic tensile properties of carbon fiber composite based on thermoplastic epoxy resin loaded in matrix-dominant directions. *Compos Sci Technol* 2009;69:207-13.
- [20] Hufenbach W, Langkamp A, Hornig A, Ebert C. Experimental determination of the strain rate dependent out-of-plane properties of textile reinforced composites. In: 17th International conference on composite materials (ICCM 17), Edinburgh, United Kingdom; July 27-31, 2009.