

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه صنعتی اصفهان
دانشکده مهندسی نساجی

تجزیه و تحلیل عوامل مؤثر بر نیروی وارد شده به سوزن در فرآیند سوزن زنی مخمل

رساله دکتری مهندسی تکنولوژی نساجی

حسن مشروطه

استاد راهنما
دکتر محمد ذره بینی

فروردین ۱۳۹۰



دانشگاه صنعتی اصفهان
دانشکده مهندسی نساجی

پایان نامه دکتری مهندسی تکنولوژی نساجی آقای حسن مشروطه
تحت عنوان:

تجزیه و تحلیل عوامل مؤثر بر نیروی وارد شده به سوزن در فرآیند سوزن زنی مخمل

در تاریخ ۱۳۹۰/۰۱/۱۷ توسط کمیته تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت.

دکتر محمد ذره بینی	استاد راهنمای پایان نامه
دکتر سعید آجلی	استاد مشاور پایان نامه
دکتر مجید صفر جوهری	استاد داور
دکتر داریوش سمنانی	استاد داور
دکتر جعفر قیصری	استاد داور
دکتر سعید آجلی	سرپرست تحصیلات تکمیلی

تشکر و قدردانی:

بدینوسیله از استاد محترم راهنما آقای دکتر محمد ذره بینی، استاد محترم مشاور آقای دکتر سعید آجلی، از مدیران و پرسنل محترم شرکتهای موکت ماهوت و موکت فیروزه یزد به ویژه آقایان مهرداد قدسی، جعفر حقوقی، ابوالفضل رضانی زاده و مهندس محمد جواد رنجبر، همچنین آقایان مهندس حسین زارع، مهندس احمد اکبر، مهندس محمد حسین عطار، دکتر سعید فتاحی و دکتر محسن هادیزاده که اینجانب را در تهیه رساله حاضر یاری نموده اند، صمیمانه تشکر و قدردانی میگردد.

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

تقدیم به:

همسرم

که بدون کمک و همراهی وی این تلاش به ثمر نمی رسید

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	چکیده
۲	پیش‌گفتار
	فصل اول: مقدمه
۳	۱-۱- مقدمه
۶	۲-۱- نیروی وارد شده به سوزن
۳۱	۳-۱- هدف از تحقیق
	فصل دوم: تجربیات
۳۴	۱-۲- ماشین سوزن زنی مخمل آزمایشگاهی
۳۶	۲-۲- سیستم اندازه‌گیری دینامیکی نیرو
۳۷	۲-۲-۱- سخت‌افزار سیستم اندازه‌گیری دینامیکی نیرو
۴۵	۲-۲-۲- نرم‌افزار سیستم اندازه‌گیری دینامیکی نیرو
۴۶	۲-۲-۳- آزمایشات اندازه‌گیری نیروی وارد شده به سوزن
۵۳	۳-۲- تاثیر خصوصیات فیزیکی الیاف و تنظیمات سوزن زنی بر نیروی وارد شده به سوزن
۵۶	۲-۳-۱- بررسی نتایج با استفاده از رگرسیون چندمتغیره
۵۶	۲-۳-۲- بررسی نتایج به کمک شبکه عصبی مصنوعی
	فصل سوم: بحث و بررسی نتایج
۶۵	۱-۳- تحلیل نتایج آزمایشات اندازه‌گیری نیروی وارد شده به سوزن
۸۲	۲-۳- تحلیل تاثیر مشخصات الیاف و تنظیمات سوزن زنی بر نیروی وارد شده به سوزن
۸۲	۲-۳-۱- تجزیه و تحلیل آماری نتایج با استفاده از رگرسیون چندمتغیره
۹۳	۲-۳-۲- تجزیه و تحلیل نتایج با استفاده از شبکه عصبی
۹۶	۳-۳- نتیجه‌گیری
۱۰۱	پیشنهادات جهت ادامه تحقیق
۱۰۲	مراجع
۱۰۴	پیوست‌ها

چکیده

پارچه های منسوج نرفته مخمل با استفاده از فن آوری خاص سوزن زنی، متفاوت با فن آوری بکار گرفته شده در ماشین آلات سوزن زنی مورد استفاده جهت تولید نمد های معمول، تولید می شوند. تفاوت در ماشین آلات سوزن زنی مخمل به سوزن های مورد استفاده و صفحه استراحت دهنده لایه متراکم اولیه مربوط می شود. در ماشین آلات سوزن زنی مخمل، سوزنهای چنگالی جایگزین سوزن های خار دار متداول در تولید نمد های معمول شده اند. از طرف دیگر جایگزین شدن صفحه استراحت دهنده زیرین با یک نوار متحرک دارای سطح پوشیده شده از برس های فیلامنتی، ماهیت فرآیند سوزن زنی را دگرگون ساخته است. در این تحقیق، نیروهای وارد شده به سوزن های چنگالی بکار گرفته شده و تغییرات آن در فرآیند تولید پارچه های منسوج نرفته مخمل مورد بررسی قرار گرفته است.

برای انجام آزمایشات، ماشین آزمایشگاهی سوزن زنی مخمل مورد نیاز طراحی و ساخته شد. سیستم اندازه گیری نیروی خالص وارد شده به سوزن چنگالی شامل قسمت های سخت افزاری و نرم افزاری نیز طراحی و ساخته شد. عملکرد سیستم اندازه گیری نیرو، بر اساس حذف مؤلفه های موثر بر نیروی کل وارد شده به سوزن چنگالی می باشد. جهت نیل به این هدف سیستم به دو نیروسنج مجهز گردیده است. استفاده هم زمان از دو نیروسنج و روش حذف سخت افزاری، امکان تعیین تأثیر مؤلفه های ناشی از ارتعاش، اینرسی و مقاومت های لایه متراکم اولیه و برس های نوار متحرک را فراهم آورده است. سیستم اندازه گیری نیروی خالص، قادر به اعلام تغییرات نیروهای وارد شده به سوزن چنگالی ناشی از عوامل فوق، در خلال یک سیکل سوزن زنی بر حسب میزان گردش محور اصلی ماشین به صورت لحظه ای می باشد. یک سیکل سوزنی شامل دو دامنه نفوذ و خروج سوزن از لایه متراکم اولیه و برس های نوار متحرک می باشد.

نتایج نشان می دهد که مؤلفه های موثر بر نیروی کل وارد شده به سوزن چنگالی را می توان بر حسب دامنه های نفوذ و خروج سوزن در دو گروه نیرو های تماسی و بدون تماس مورد مطالعه قرار داد. در واقع سوزن چنگالی در هر یک از این دو دامنه، تحت تأثیر مؤلفه های مختلف نیرو ناشی از ارتعاش و اینرسی سوزن تحت عنوان نیروهای غیرتماسی و مقاومت های ناشی از نفوذ سوزن در لایه متراکم اولیه و برس های نوار متحرک تحت عنوان نیروهای تماسی می باشد. سوزن مسافت قابل توجهی از هر دامنه حرکت خود در یک سیکل سوزن زنی، در تماس با لایه متراکم اولیه و یا برس های نوار متحرک نمی باشد. در مقایسه با قسمت هایی از دو دامنه حرکت که سوزن در تماس با لایه متراکم اولیه و برس های نوار متحرک به سر می برد و نیروی های وارد شده به سوزن ناشی از مقاومت لایه متراکم اولیه و برس های نوار متحرک می باشند، در قسمت های دیگر که سوزن در تماس با این دو جزء نمی باشد، نیرو های غالب، ناشی از عوامل ارتعاش و اینرسی سوزن می باشند. بنابراین می توان نتیجه گیری نمود، در حالیکه متوسط نیروهای وارد شده به سوزن صرف نظر از جهت آنها ناشی از عوامل موثر ارتعاش و اینرسی سوزن می باشند، متوسط قدرمطلق نیروهای بیشینه ای که در خلال سیکل های متوالی سوزن زنی به سوزن وارد می شود به میزان بسیار زیاد وابسته به مقاومت لایه متراکم اولیه و برس های نوار متحرک می باشد. نتایج همچنین حاکی از موثر بودن تنظیمات فرآیند های سوزن زنی خاردار اولیه و سوزن زنی مخمل و خصوصیات الیاف مورد استفاده بر قدر مطلق نیروی وارد شده به سوزن چنگالی در فرآیند سوزن زنی مخمل می باشد. جهت تعیین مشارکت این عوامل بر نیرو وارد شده به سوزن چنگالی مدل های رگرسیونی ساخته شده و نمودارهای رگرسیونی جزئی حاصل گردیدند. نتایج نشان می دهد، در حالیکه افزایش در ظرافت الیاف، جرم سطحی لایه متراکم اولیه، عمق نفوذ سوزن چنگالی، سرعت سوزن زنی مخمل و تراکم سوزن زنی مخمل سبب افزایش مقدار کل جابجایی الیاف، که به صورت مستقیم بر نیروی تحمیل شده به سوزن چنگالی موثر است می شوند، افزایش عمق نفوذ سوزن در مرحله سوزن زنی خاردار اولیه باعث کاهش نیروی وارد شده به سوزن می شود. نتایج حاکی از تأثیر ناچیز عواملی از قبیل طول الیاف و تراکم سوزن زنی لایه متراکم اولیه بر نیروی وارد شده به سوزن چنگالی دارد. جهت تعیین دقیق میزان تأثیر فرم موج الیاف، مطالعات بیشتر مورد نیاز می باشد. با استفاده از فرآیند شبکه عصبی، مدل پیشگویی که بیانگر چگونگی تغییرات متوسط مقدار توان (قدرت) سیگنال نیروی وارد شده به سوزن (V_{rms}) می باشد نیز توسعه یافته است. این مدل با توجه به مؤلفه های مورد مطالعه، قادر به پیش بینی دقیق میزان مشارکت هر مؤلفه در مقدار متوسط نیروی وارد شده به سوزن چنگالی می باشد.

کلمات کلیدی: منسوج نرفته، سوزن زنی مخمل، سوزن چنگالی، نیروی سوزن زنی، لایه متراکم اولیه، ارتعاش سوزن، اینرسی

سوزن

پیش‌گفتار

در دنیای امروز پارچه‌های منسوج نافته مخمل یکی از مهم‌ترین اجزای طیف گسترده منسوجات نافته را تشکیل می‌دهند. این منسوجات دارای قابلیت‌های ویژه بوده و با استفاده از یک فناوری خاص که در خلال دو دهه اخیر توسعه یافته است، تولید می‌گردند. در این فناوری، یک لایه متراکم اولیه با ماشین‌آلات خاص سوزنی مخمل، سبب انتقال الیاف به یک سمت لایه و به وجود آمدن اثر مخمل در آن سمت می‌گردد. جهت ایجاد سطح مخملی مطلوب، تراکم سوزن در ماشین‌آلات سوزن زنی مخمل می‌باید بسیار بیشتر از تراکم سوزن در ماشین‌آلات سوزن زنی نمدی معمول باشد. بر این اساس، همواره از دو گروه تخته سوزن در اینگونه ماشین‌آلات استفاده می‌گردد. به طور کلی فن آوری سوزن زنی، قادر به تولید منسوجات در طیف وسیع از نظر جرم در واحد سطح منسوج می‌باشد. عامل جرم در واحد سطح بر خواص فیزیکی و مکانیکی منسوج مؤثر می‌باشد. در مقایسه با منسوجات مخمل تولید شده در روش بافندگی، منسوجات مخمل نافته، علاوه بر مزایای اقتصادی، از جهت فنی همانند شکل پذیری حرارتی و دارا بودن خواص مکانیکی مورد نیاز در جهات طولی و عرضی در شرایط جرم در واحد سطح برابر نیز برتر می‌باشند.

استفاده از الیاف ظریف جهت تولید منسوجات مخمل نافته، سبب افزایش قدرت پوشانندگی سطح یا عامل پوشش در این منسوجات به میزان قابل توجه می‌شود. در مقایسه با پارچه‌های بافته شده مخمل که با بکارگیری فرآیند خار زنی، دارای سطح مخمل می‌شوند منسوجات نافته مخمل به واسطه وجود تعداد قابل توجه از الیاف با انتهای آزاد در سطح منسوج، به سبب آرایش نامنظم سوزن‌های چنگالی در تخته سوزن، دارای سطح مخمل با لطافت بالا می‌باشند. فرآیند خار زنی مورد نیاز نه تنها هزینه تولید پارچه‌های بافته شده مخمل را افزایش داده، بلکه به ساختار پارچه نیز صدمه زده و کاهش کیفیت آن را سبب می‌گردد. سهولت ایجاد تغییرات در خصوصیات فیزیکی و مکانیکی مورد نیاز، موارد مصرف منسوجات مخمل نافته را بسیار گسترده کرده است. امروزه استفاده از این منسوجات در صنعت حمل و نقل به طور عام و در صنایع خودرو سازی، دکوراسیون، اقلام خواب همانند پتوهای مسافرتی، فیلتر سازی و برخی لوازم ورزشی و کفپوش، بطور خاص، بسیار متداول می‌باشد.

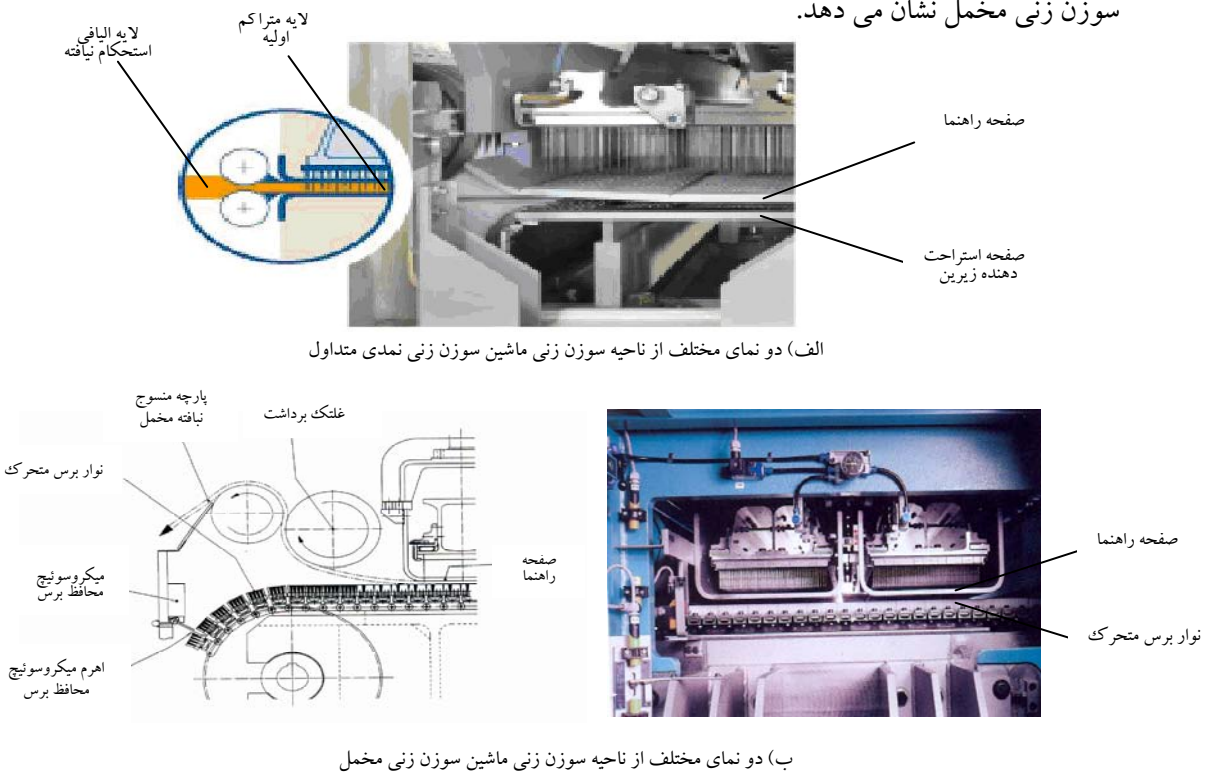
تغییرات ساختاری ایجاد شده در ساختمان لایه متراکم اولیه به دلیل استفاده از فن آوری سوزن زنی مخمل، در حقیقت سبب به وجود آمدن اثر مخمل در یک سمت لایه می‌شود. قدرمطلق این تغییرات ساختاری خصوصیات متنوع مخمل بی‌بافت را تحت تأثیر قرار می‌دهد. در این راستا علاوه بر خصوصیات الیاف و لایه متراکم اولیه و یا تنظیمات به کار گرفته شده در خلال فرآیند های سوزن زنی خاردار اولیه و مخمل، سوزن‌های چنگالی مورد استفاده را می‌توان به عنوان مهم‌ترین عامل تأثیرگذار در ایجاد این تغییرات ساختاری در نظر گرفت. ایجاد تغییرات ساختاری در لایه متراکم اولیه سبب تحمیل نیروی قابل توجه به سوزن چنگالی می‌شود. قدر مطلق این نیرو نه تنها از نظر فرآیند تولید منسوجات مخمل، بلکه از نظر طراحی سوزن و ماشین‌آلات سوزن زنی مخمل مطلوب، شایان اهمیت می‌باشد. نیروی مورد بحث به واسطه جا به جایی ایجاد شده در موقعیت الیاف توسط تعداد بسیار زیاد سوزن چنگالی به کار گرفته شده در ماشین سوزن زنی مخمل، به وجود می‌آید. با توجه به سرعت بالای سوزنی در فن آوری مخمل، تعیین قدرمطلق این نیرو و شناسایی عوامل مؤثر بر آن حائز اهمیت می‌باشد. درک عمیق از تعامل عوامل مؤثر بر نیرو در شرایط واقعی (دینامیکی)، نه تنها منجر به افزایش کیفیت پارچه‌های منسوج نافته مخمل به صورت اقتصادی می‌گردد، بلکه سبب بهبود طراحی بکار گرفته شده در ساخت سوزن‌های چنگالی مورد نیاز و ماشین‌آلات سوزن زنی پیشرفته با توجه به الیاف بسیار متنوع امروزی خواهد شد.

فصل اول

مقدمه

۱-۱ مقدمه

پارچه منسوج نبافته مخمل^۱ با استفاده از ماشین سوزن زنی خاص که با ماشین آلات سوزن زنی نمدی متداول متفاوت است، تولید می شود. تفاوت اساسی آنها در نوع سوزنهای مورد استفاده و نیز صفحه استراحت دهنده لایه آنهاست. در ماشین آلات سوزن زنی نمدی متداول، لایه الیافی استحکام نیافته (مانند لایه خروجی^۲ از کراس لپر) به ناحیه سوزن زنی نمدی تغذیه می شود. لایه مذکور بین صفحه راهنما^۳ و صفحه استراحت دهنده زیرین^۴، مطابق آنچه در شکل (۱-۱ الف) دیده می شود، تحت عملیات سوزن زنی نمدی قرار می گیرد و در واقع لایه اولیه متراکم (لایه نمدی) شکل می گیرد. اما در سوزن زنی مخمل، سوزنهای چنگالی^۵ جایگزین سوزنهای خاردار نمدی^۶ متداول در سوزن زنی نمدی شده اند که با نفوذ به لایه متراکم اولیه، پارچه منسوج نبافته مخمل شکل می گیرد. تفاوت دیگری که سبب به وجود آمدن تغییر اساسی در ماهیت سوزن زنی می گردد، جایگزین شدن صفحه استراحت دهنده زیرین با یک نوار متحرک پوشیده از برسهای مخصوص^۷ در سوزن زنی مخمل است [۴-۱]. شکل (۱-۱ ب) دو نمای مختلف از ناحیه سوزن زنی را در یک ماشین سوزن زنی مخمل نشان می دهد.



شکل ۱-۱ ناحیه سوزن زنی [۴-۱]

- 1 - Random-Veloured Nonwoven Fabric
- 2 - Batt
- 3 - Guide or Stripper Plate
- 4 - Bed-Plate
- 5 - Structuring Fork Needle
- 6 - Felting Barbed Needle
- 7 - Brush Conveyor

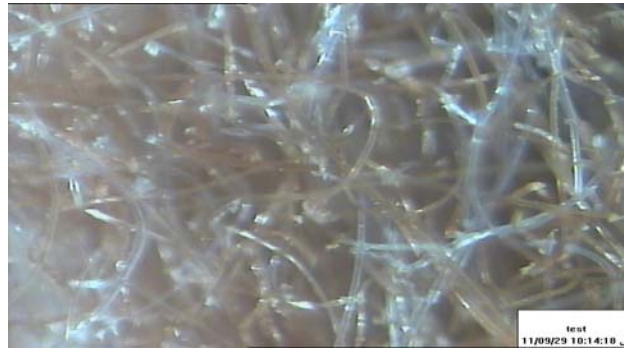
در روش سوزن زنی مخمل، لایه اولیه متراکم سوزن زنی شده بر روی نوار برس متحرک قرار گرفته و به ناحیه سوزن زنی مخمل تغذیه می شود. نفوذ سوزن چنگالی به درون لایه متراکم و سپس به داخل برس، سبب انتقال الیاف درگیر شده با چنگال سوزن، به درون فیلامنتهای نوار متحرک می شود و در نهایت الیاف انتقال یافته، در بین این فیلامنتها محبوس می شوند. در خلال درگیر شدن الیاف با فیلامنتهای نوار، تا لحظه جدا شدن مجدد لایه از سطح نوار، نه تنها تنش^۱ موجود در الیاف کاهش می یابد، بلکه موقعیت جدید به وجود آمده برای الیاف انتقال یافته، نیز تثبیت می گردد. به واسطه این تغییرات در آرایش الیاف، سطح مخمل بر روی لایه متراکم اولیه به وجود می آید. طی دهه های اخیر تحقیقاتی در مورد ساختمان لایه های نمدی منسوج نبافته انجام شده است که از جمله مهم ترین آنها می توان به تحقیقات انجام شده توسط Pourdeyhimi و همکارانش در دهه ۱۹۹۰ میلادی اشاره کرد [۶-۱۰]. ایجاد سطح مخمل بر روی لایه متراکم اولیه به دلیل پدید آمدن تغییرات اساسی در ساختمان لایه متراکم اولیه می باشد. ساختمان لایه منسوج نبافته متراکم اولیه از یک ساختار معمول درگیری الیاف، به یک ساختار دو گانه که از لایه زیرین و پرز تشکیل شده، تبدیل می شود. شکل‌های (۱-۲) و (۱-۳) به ترتیب نشانگر این دو نوع ساختار می باشند.

جهت ایجاد سطح مخملی مطلوب، تراکم سوزن در ماشین آلات سوزن زنی مخمل می باید بسیار بیشتر از تراکم سوزن در ماشین آلات سوزن زنی نمدی معمول باشد. بر این اساس، همواره از دو گروه تخته سوزن در اینگونه ماشین آلات استفاده می گردد. به طور کلی فن آوری سوزن زنی، قادر به تولید منسوجات در طیف وسیع از نظر جرم در واحد سطح منسوج می باشد. عامل جرم در واحد سطح برخواص فیزیکی و مکانیکی منسوج مؤثر می باشد. در مقایسه با منسوجات مخمل تولید شده در روش بافندگی، منسوجات مخمل نبافته، علاوه بر مزایای اقتصادی، از جهت فنی همانند شکل پذیری حرارتی و دارا بودن خواص مکانیکی مورد نیاز در جهات طولی و عرضی در شرایط جرم در واحد سطح برابر نیز برتری می باشند.

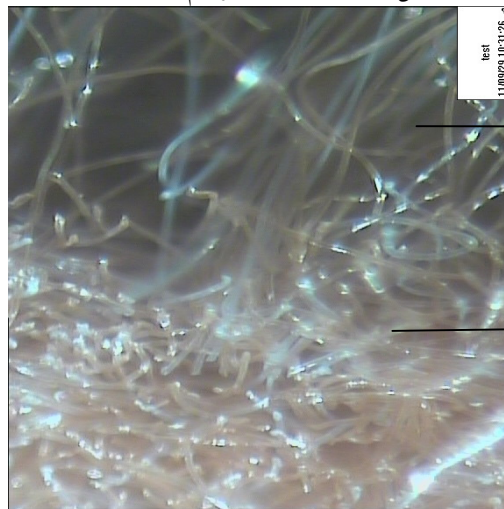
استفاده از الیاف ظریف جهت تولید منسوجات مخمل نبافته، سبب افزایش قدرت پوشاندگی سطح یا عامل پوشش در این منسوجات به میزان قابل توجه می شود. در مقایسه با پارچه های بافته شده مخمل که با بکارگیری فرآیند خار زنی، دارای سطح مخمل می شوند، منسوجات نبافته مخمل به واسطه وجود تعداد قابل توجه از الیاف با انتهای آزاد در سطح منسوج به سبب آرایش نامنظم سوزن های چنگالی در تخته سوزن، دارای سطح مخمل با لطافت بالا می باشند. فرآیند خار زنی مورد نیاز، نه تنها هزینه تولید پارچه های بافته شده مخمل را افزایش داده، بلکه به ساختار پارچه نیز صدمه زده و کاهش کیفیت آن را سبب می گردد. سهولت ایجاد تغییرات در خصوصیات فیزیکی و مکانیکی مورد نیاز، که ویژگی مهم ساختار دو گانه منسوج نبافته مخمل محسوب می شود، سبب گسترش طیف به کارگیری این گونه منسوجات در صنعت حمل و نقل - به طور عام - و صنایع خودرو سازی، دکوراسیون و برخی دیگر اقلام همانند پتو های مسافرتی، فیلتر و بعضی لوازم ورزشی و کفپوش - به طور خاص - گردیده است. شکل (۱-۴) کاربردهایی از پارچه منسوج نبافته مخمل در خودرو و شماتیک سوزن چنگالی و چنگال آن را نشان می دهد [۴ و ۵]. همان گونه که ملاحظه می شود، عمق و عرض چنگال^۲ دو عامل هندسی مهم چنگال سوزن هستند که بر فضای چنگال سوزن مؤثر می باشند. تغییرات در این فضا، سبب متفاوت شدن میزان الیاف جا به جا شده توسط سوزن در هر سیکل سوزن زنی می شود.

^۱ - Stress Relaxation

^۲ - Fork Depth and Width



شکل ۱-۲ ساختار لایه متراکم اولیه (×۱۳۰)

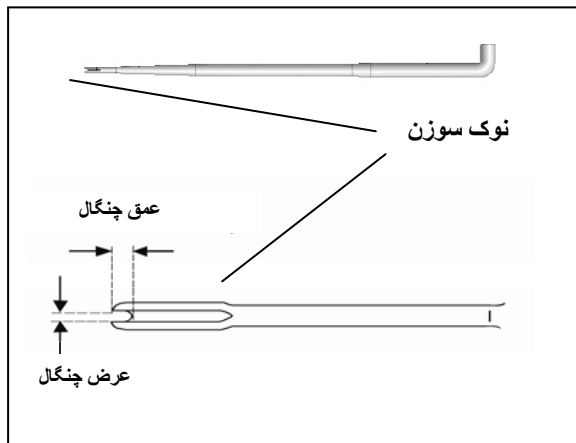


پرز^۱

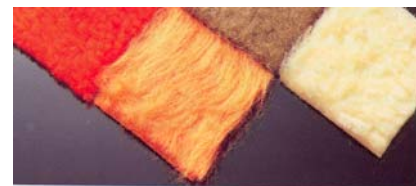
لایه زیرین^۲

شکل ۱-۳ ساختار دو گانه منسوج مخمل شده (×۱۳۰)

همان گونه که ملاحظه می شود ساختار لایه زیرین منسوج مخمل شده، مشابه لایه متراکم اولیه است. این در حالی است که لایه رویی مخمل متصل به آن (پرز) حاوی توده هایی^۳ از الیاف حلقه و یا بریده شده با ارتفاع متغیر از سطح لایه زیرین است که به طرف بالا قرار دارند. ارتفاع پرز به میزان عمق نفوذ سوزن چنگالی وابسته است. شکل (۱-۵) میزان عمق نفوذ سوزن در ماشین سوزن زنی مخمل را نشان می دهد.



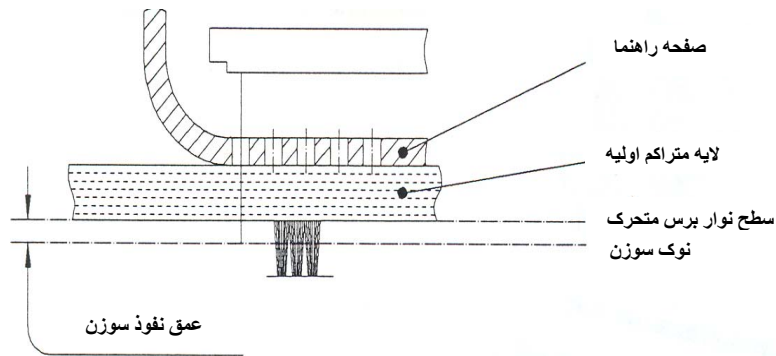
(ب)



(الف)

شکل ۱-۴ الف) تصویری از پارچه های منسوج نبافته مخمل ونمونه ای از کاربرد آن در کف اتاق و صندوق عقب خودرو [۴]
 ب) سوزن چنگالی و عمق و عرض چنگال نوک سوزن [۵]

- 1 - Pile
- 2 - Base
- 3 - Tuft



شکل ۱-۵- تعریف عمق نفوذ در ماشین سوزن زنی مخمل [۴]

بدیهی است که تفاوت ساختاری موجود مابین لایه متراکم اولیه و منسوج مخمل شده، نه تنها سبب متفاوت شدن خصوصیات فیزیکی و مکانیکی آنها از قبیل ضخامت و مقاومتهای کششی، خمشی و برشی می شود، بلکه باعث می شود تا نیروی وارد شده به سوزن نیز در این دو روش سوزن زنی متفاوت باشد.

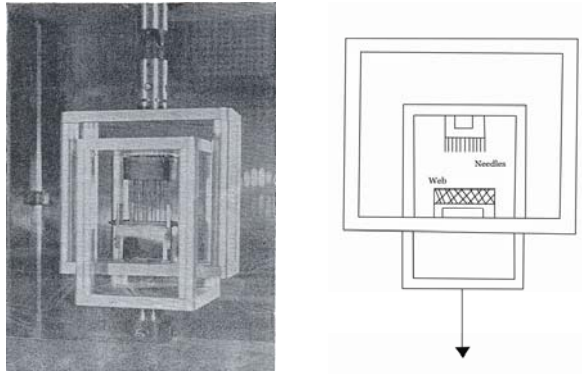
۲-۱ نیروی وارد شده به سوزن

محققین بسیاری تاکنون به روشهای مختلفی نیروی وارد شده به سوزنهای خاردار- در خلال فرآیند سوزن زنی متداول نمدی- را به شرح زیر بررسی و اندازه گیری نموده اند. اما علی رغم تحقیقات علمی صورت گرفته در زمینه نیروی وارد شده به سوزنهای خاردار، درخصوص تجزیه و تحلیل نیروهای وارد شده به سوزنهای چنگالی به ویژه سوزن زنی مخمل گزارشی منتشر نشده است. بنابراین در ابتدا روشهای متنوع اندازه گیری نیروی وارد شده به سوزن های خاردار مرور می شوند. اولین تجربه اندازه گیری نیروی وارد شده به سوزن به سال ۱۹۶۸ بازمی گردد [۱۱]. J.W.S Hearle و همکاران وی ابزار سوزن زنی کوچک آزمایشگاهی با مشخصات زیر را بر روی یک دستگاه استحکام سنج اینسترون مطابق شکل (۱-۶) تعبیه کردند. سپس با حرکت رو به پایین فک پایینی و بر اساس شرایط زیر، نیروی وارد شده به سوزن حین نفوذ در لایه غیر متراکم تولید شده از الیاف ویسکوز ریون اندازه گیری گردید.

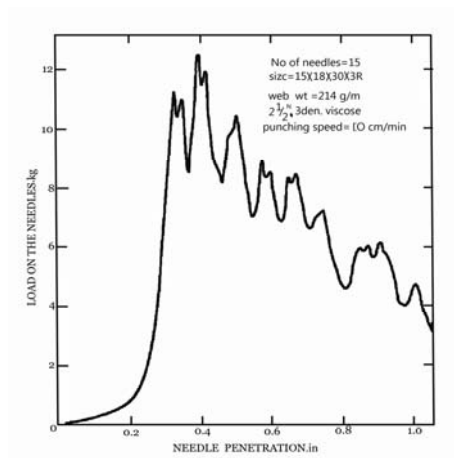
ابعاد تخته سوزن	۲*۲ اینچ
تعداد سوزن در ابعاد تخته سوزن	۱۵
کد سوزن	R ۳*۳۰*۱۸*۱۵ ^۱
سرعت نفوذ سوزن	۱۰-۵۰ سانتی متر بر دقیقه
عمق نفوذ سوزن	۰/۴۵-۰/۹۵ اینچ

با رسیدن سوزن به عمق نفوذ تعیین شده، حرکت فک متحرک معکوس و سوزن از لایه بیرون کشیده می شود. بر اساس گزارش این تحقیق، در این روش به دلیل استفاده از فشارسنج کششی، نیروهای وارد شده به سوزن به هنگام خارج شدن سوزن از لایه که یک نیروی فشاری را به فک متصل به فشارسنج وارد می کند، قابل اندازه گیری نمی باشد. اما این نیرو در مقایسه با نیروی وارد شده به سوزن به هنگام نفوذ سوزن در لایه از قدر مطلق بسیار کمتری برخوردار بوده است.

^۱ - کد گذاری ابعاد سوزن خاردار، از سمت چپ، به ترتیب: (۱۵) کد قطر ساق سوزن - (۱۸) کد قطر قسمت میانی سوزن - (۳۰) کد قطر قسمت کاری سوزن که خارهای سوزن بر روی آن تعبیه شده اند - (۳) طول سوزن به اینچ - (R) تراکم «منظم» خارهای سوزن



شکل ۶-۱ سوزن زنی آزمایشگاهی نصب شده بر روی دستگاه استحکام سنج اینسترون [۱۱]

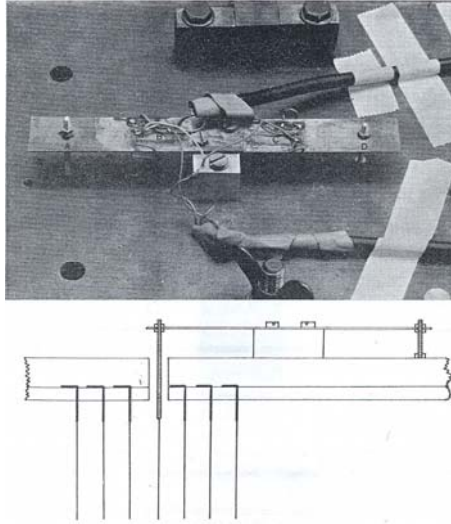


شکل ۷-۱ منحنی تغییرات نیرو- مقدار نفوذ سوزن [۱۱]

شکل (۷-۱) نمودار عمومی نیرو- میزان نفوذ سوزن در عملیات سوزن زنی با استفاده از سوزنهای خار دار را نشان می دهد. در این تحقیق تاثیر عواملی از قبیل: وزن لایه، نوع لیف، طول لیف، تراکم سوزن زنی، سرعت نفوذ سوزن در لایه و وجود پارچه تار و پودی در لایه الیاف بر نیروی وارد شده به سوزن بررسی گردیده، نتیجه گیری شده است که با افزایش وزن لایه، ضریب اصطکاک الیاف، وزن پارچه تار و پودی و میزان عمق نفوذ سوزن، نیروی وارد شده به سوزن خار دار در خلال نفوذ سوزن در لایه افزایش می یابد. ولی با افزایش طول الیاف، این نیرو کاهش می یابد. هم چنین تاثیر معنی داری در نیرو به واسطه تغییر سرعت نفوذ سوزن در لایه وجود ندارد. ضمناً بواسطه افزایش احتمال پاره شدن الیاف در صورت استفاده از لایه با وزن بالا، با افزایش عمق نفوذ سوزن میزان نیروی وارد شده به سوزن کاهش می یابد.

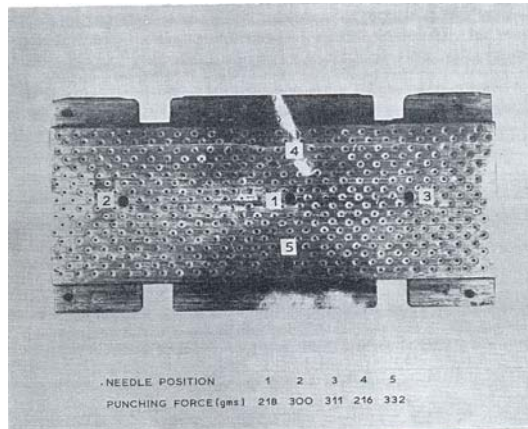
با توجه به این که تحقیقات قبلی در شرایط واقعی سوزن زنی انجام نگرفته بود، در سال ۱۹۷۲ J.W.S.Hearle و همکاران - همانگونه که در شکل (۸-۱) نشان داده شده - اقدام به اتصال یک کرنش سنج^۱ به یک سوزن خاردار موجود در تخته سوزن، با سرعت ضربه سوزن زنی ۲۴۰ سیکل در دقیقه نمودند. به منظور انجام بررسیهای دقیقتر، تغییرات نیرو در پنج نقطه از تخته سوزن مطابق شکل (۹-۱) اندازه گیری گردید [۱۲]. کرنش سنج قادر به تبدیل تنش ایجاد شده در سوزن، به واسطه تغییر شکل سوزن ناشی از نفوذ آن در لایه، به انرژی الکتریکی می باشد.

^۱ - Strain Gauge

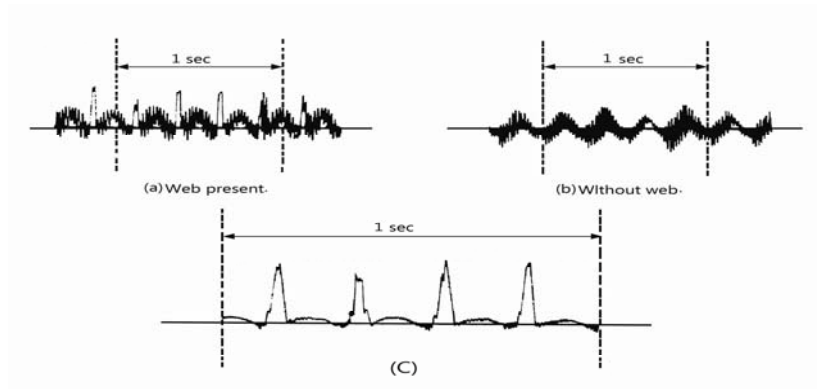


شکل ۸-۱ موقعیت کرنش سنج در سیستم [۱۲]

با استفاده از نمودار کالیبراسیون، ارتباط مابین میزان تغییر شکل (انحراف) سوزن در حین عملیات سوزن زنی و نیروی وارد شده به سوزن تعیین گردید. شکل (۱۰-۱) نشان دهنده تغییرات نیروی وارد شده به سوزن در خلال یک محدوده زمانی است.

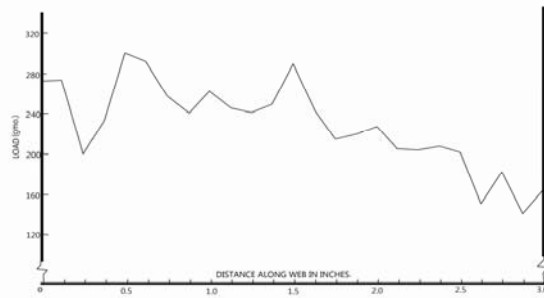


شکل ۹-۱ نقاط پنجه‌گانه اندازه گیری نیروی وارد شده به سوزن [۱۲]

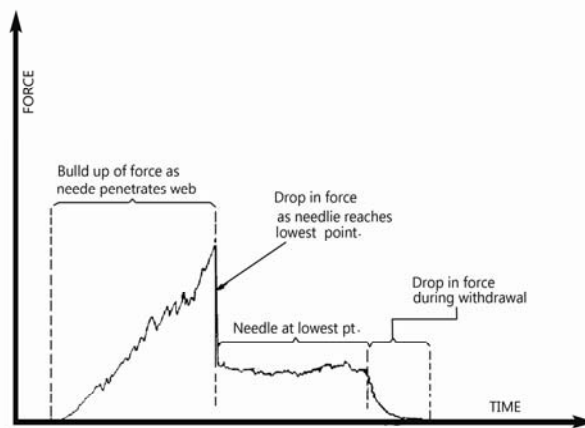


شکل ۱۰-۱ تغییرات نیرو در فاصله زمانی یک ثانیه: (a) با وجود لایه لیاف ، (b) بدون لایه لیاف و (c) با وجود لایه لیاف " نمودار عریض (باز شده) " a [۱۲]

نتایج این تحقیق حاکی از آن است که با افزایش وزن لایه، نیروی وارد شده به سوزن افزایش یافته، پس از رسیدن به مقدار حداکثر، این نیرو کاهش می یابد. هم چنین افزایش در میزان نفوذ سوزن، نیروی وارد شده به سوزن را افزایش خواهد داد که حداکثر مقدار آن در لایه با وزن کمتر حاصل می گردد. از سوی دیگر به دلیل نیاز به آرایش یافتگی مجدد بیشتر، کاهش در مقدار تراکم سوزن زنی موجب افزایش این نیرو می شود. به عبارت دیگر بزرگترین نیرو، در اولین سیکل های سوزن زنی به سوزن وارد می گردد. بنابراین می توان چنین نتیجه گیری نمود که سوزن های قرار گرفته در قسمت ورودی تخته سوزن، بیشترین نیرو را تحمل می کنند. شکل (۱۱-۱) پدیده کاهش نیروی وارد شده به سوزن در راستای تولید لایه را نشان می دهد. ضمناً در گزارش این تحقیق بیان شده است که افزایش در میزان پیشروی لایه^۱، سبب افزایش نیروی وارد شده به سوزن می گردد. همچنین لایه با آرایش الیافی عرضی در مقایسه با لایه با آرایش الیافی طولی نیروی بیشتری را به سوزن - در خلال فرآیند سوزن زنی - وارد می نماید. بدین علت که احتمالاً لایه های با آرایش الیافی عرضی دچار تغییرات آرایش الیافی بیشتر می گردند. همچنین عنوان شده است که در صورتی که وزن لایه زیاد باشد، احتمال پارگی الیاف در سیکل های سوزن زنی افزایش می یابد. در این شرایط در لایه های با آرایش الیافی عرضی، شیب کاهش نیرو به هنگام خروج سوزن از لایه بیشتر خواهد بود. ناحیه انتهایی نمودار شکل (۱۱-۱) مبین این موضوع می باشد.



شکل ۱۱-۱ سوزنهای واقع در ناحیه خروجی تخته سوزن نیروی کمتری را تحمل می کنند [۱۲]

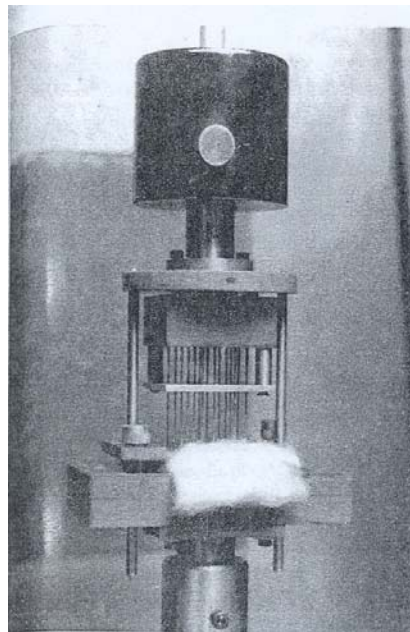


شکل ۱۲-۱ تغییرات نیرو در خلال خروج سوزن از لایه [۱۲]

^۱ - Advance

در سال ۱۹۷۲، Bhuvenesh C. Goswami و همکاران، مدل شبیه سازی شده یک دستگاه سوزن زنی را بر روی یک دستگاه استحکام سنج اینسترون (مطابق شکل ۱-۱۳) نصب نمودند [۱۳]. در این تحقیق از تخته سوزن در ابعاد ۲*۲ اینچ حاوی پانزده سوزن $R \frac{3}{5} * 25 * 18 * 15$ با آرایش سوزنی مورب، به صورت ثابت استفاده شد. صفحه استراحت دهنده زیرین با سرعت خطی پنج اینچ بر دقیقه به گونه ای به سمت بالا به حرکت درآمد، تا میزان نفوذ سوزن در لایه به مقدار ثابت ۰/۵ اینچ حاصل گردد.

در پایان هر سیکل نفوذ، فک متحرک به محل اولیه خود باز گشته، سوزن از لایه خارج می گردد. آغاز سیکل جدید بلافاصله پس از اتمام سیکل قبلی که می تواند موجبات برگشت و استراحت الیاف را پس از اعمال نیرو فراهم آورد، انجام می گیرد. بنابراین، شرایط کاری مشابه آن چیزی است که در یک فرآیند سوزن زنی صنعتی رخ می دهد. مقادیر نرمال شده نیرو با تقسیم نیروی وارد شده به سوزن در خلال سیکل نفوذ سوزن در لایه بر وزن در واحد سطح لایه گزارش شده است.



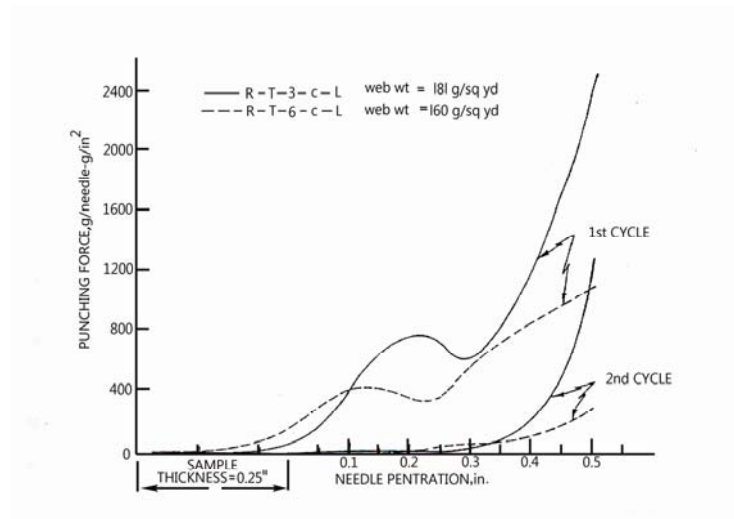
شکل ۱-۱۳ سوزن زنی آزمایشگاهی نصب شده بر روی دستگاه استحکام سنج اینسترون [۱۳]

در تحقیق مورد نظر با بهره گیری از تجزیه و تحلیل آماری اولیه به کمک روش آنالیز Student's t-test، اطلاعات حاصله در قالب یک طرح آزمایش آماری 2^f برازش گردیده، توسط نمودار Daniel بررسی آماری لازم بین عوامل موثر صورت گرفته است.

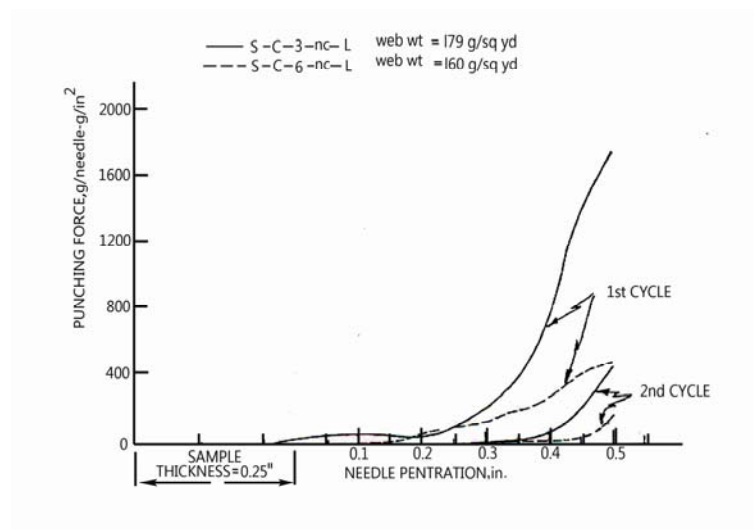
در این بررسی تاثیر عوامل هندسی الیاف از قبیل: زبری سطح^۱، شکل سطح مقطع، ظرافت، طول و فرم موج الیاف، همچنین تاثیر مدت زمان استراحت الیاف - مابین سیکل های نفوذ متوالی سوزن در لایه - بر میزان نیروی وارد شده به سوزن مورد بررسی قرار گرفته است. روشهای آماری به کار رفته تاثیر متقابل عوامل مورد نظر را به صورت دو گانه مورد مطالعه قرار داده است. اعلام گردیده است که ظرافت الیاف موثرترین عامل از نظر عوامل مربوط به الیاف در ارتباط با نیروی وارد شده به سوزن می باشد. در خصوص اثر متقابل دو گانه،

¹ - Surface Roughness

فرموج الیاف نیز بر تغییرات نیروی وارد شده به سوزن - در خلال سیکل نفوذ سوزن در لایه - مؤثر است. در این تحقیق عنوان شده است که نسبت نیروی وارد شده به سوزن در خلال اولین و دومین سیکل نفوذ، می تواند بیانگر درجه آرایش الیافی لایه و راندمان عمل سوزن زنی باشد. شکل‌های (۱-۱۴) و (۱-۱۵) تأثیر ظرافت الیاف را به عنوان مهم ترین عامل مؤثر بر نیروی سوزن زنی نشان می دهد. همان گونه که مشاهده می شود در سیکل نفوذ دوم، نیروی وارد شده به سوزن به طور محسوس کاهش می یابد.



شکل ۱-۱۴ تأثیر ظرافت الیاف پلی استر بر نیروی نفوذ سوزن طی سیکلهای اول و دوم سوزن زنی (سطح زبر - سطح مقطع سه گوش - فرموج دار - ۳ اینچ) [۱۳]
خط چین ۶ دنبر / خط پر ۳ دنبر



شکل ۱-۱۵ تأثیر ظرافت الیاف پلی استر بر نیروی نفوذ سوزن طی سیکلهای اول و دوم سوزن زنی (سطح نرم - سطح مقطع دایروی - بدون فرموج - ۳ اینچ) [۱۳]
خط چین ۶ دنبر / خط پر ۳ دنبر

جا به جایی الیاف از سطح لایه به درون آن و آرایش الیافی لایه در تصویر سطح مقطع لایه در شکل (۱-۱۶) دیده می شود. با انجام هر سیکل از عملیات سوزن زنی، جا به جایی الیاف و تغییر آرایش الیافی مجدد لایه تکرار می شود.



شکل ۱-۱۶ تصویر سطح مقطع لایه (تغییر آرایش الیافی و جا به جایی الیاف) [۱۳]

طی دهه های هفتاد تا نود میلادی مطالعات متنوعی در خصوص نیروی اعمال شده به سوزن، طی عملیات سوزن زنی، انجام شده است. S.Sarin و همکارش نتایج تحقیقات گذشته گزارش شده تا سال ۱۹۹۴ را به صورت مقایسه ای به صورت ذیل بررسی و دسته بندی نمودند: [۱۴]

اندازه گیری استاتیکی نیروی وارد شده به تخته سوزن (کل سوزن ها)

- مطالعات اولیه J.W.S. Hearle در سال ۱۹۶۸ [۱۱].
- مطالعات انجام شده به وسیله Bhuvanesh C.Goswami در سال ۱۹۷۲ [۱۳].
- مطالعات Debnath و همکاران وی در سال ۱۹۷۹ که شبیه مطالعات اولیه Hearle می باشد.

S.Sarin پس از بررسی روشهای استاتیکی می گوید: این نوع اندازه گیری نیرو، روش مناسبی جهت تعیین نیروهای وارد شده به سوزن نیست. چرا که نه تنها روشهای به کار رفته جهت اندازه گیری نیروی وارد شده به سوزن مشخص کننده مقدار نیروی حقیقی اعمال شده به سوزن در شرایط متداول فرآیند سوزن زنی نمی باشد، بلکه اندازه گیری بر روی یک سوزن انجام نشده و نیروی وارد شده به کل سوزنها به صورت یک جا تعیین می گردد. از سوی دیگر سوزنهای واقع شده در کناره های تخته سوزن، تحت تاثیر نیروی متفاوت با سوزن های قرار گرفته شده در مرکز تخته سوزن می باشند.

اندازه گیری دینامیکی با سرعت پایین نیروی وارد شده به یک سوزن

Luenenschloss و همکارانش در سال ۱۹۷۰- با به کار گیری بازو هایی - سه کرنش سنج را به سه سوزن که به صورت مورب نسبت به یکدیگر در تخته سوزن قرار گرفته بودند متصل نمودند و توسط کرنش سنج

دیگری که به اهرم متصل به نقطه فصل مشترک سه بازوی قبلی اتصال داشت، نیروی تجمعی وارد شده به سه سوزن را علاوه بر اندازه گیری نیروی وارد شده به هر سوزن تعیین نمودند. اندازه گیری چهار نیرو بصورت همزمان با سرعت دورانی ۴۵۰ ضربه در دقیقه انجام گردید. نتیجه گیری گردید که نیروی تجمعی از مجموع نیروهای وارد شده به سه سوزن کمتر می باشد.

مطالعات بعدی J.W.S. Hearle در سال ۱۹۷۲ انجام گردید. در سال ۱۹۷۲ Luenenschloss و همکاران او نیروی وارد شده به یک سوزن را با استفاده از ماشین سوزن زنی نمدی ساخت شرکت Dilo با سرعت ۳۵۰ ضربه در دقیقه اندازه گیری نمودند.

در نمایشگاه بین المللی ماشین آلات نساجی "ITMA" در سال ۱۹۹۱ - بدون ذکر جزئیات - اعلام گردید که شرکت اتریشی Fehrer AG نیروی دینامیکی وارد شده به سوزن را با تعبیه مکانیزمی بر روی دستگاههای سوزن زنی خود اندازه گیری کرده است. باید توجه داشت که امکان اندازه گیری نیروی وارد شده به سوزن به طور غیر مستقیم با در نظر گرفتن تغییرات شدت جریان الکتریکی مورد نیاز موتور محرک محور اصلی امکان پذیر است.

اندازه گیری دینامیکی نیروی وارد شده به یک سوزن با سرعت بالا

بررسی محققین مورد نظر در مورد مطالعات انجام شده در بحث اندازه گیری نیروی وارد شده به سوزن در فرآیند سوزن زنی، حاکی از عدم انجام یک مطالعه جامع درخصوص اندازه گیری نیرو در شرایط سرعت واقعی سوزن زنی است. بررسیهای اولیه انجام شده توسط مرکز تحقیقات منسوجات بی بافت دانشگاه کارولینای شمالی حاکی از آن است که در سرعتهای سوزن زنی بیش از ۶۰۰ ضربه در دقیقه، ارتعاشات به وجود آمده و اینرسی سوزن سبب افزایش محسوس نیروی وارد به سوزن می شوند. بنابراین جدا سازی و فیلتر نمودن تاثیر اغتشاشات الکتریکی، ارتعاشات ماشین و اینرسی سوزن بر نیروی وارد شده به سوزن حائز اهمیت می باشد.

اندازه گیری دینامیکی نیروی وارد شده به تخته سوزن (کل سوزنها) با سرعت بالا

در سال ۱۹۷۲، Luenenschloss و همکاران او با اندازه گیری نیروی وارد شده به سوزنها با سرعتهای ۸۰۰ الی ۲۸۰۰ ضربه در دقیقه اعلام نمودند که مجموع نیروی وارد به سوزنهای موجود در یک تخته سوزن با افزایش سرعت ماشین سوزن زنی ارتباط مستقیم دارد.

Mrstina و همکارانش در سال ۱۹۹۰ طی تحقیق خود، روشی را جهت اندازه گیری نیروی دینامیکی وارد شده به سوزن پیشنهاد نمودند که بر اساس اندازه گیری میزان اختلاف مصرف انرژی الکتریکی ماشین سوزن زنی در شرایط بدون بار و با بار شکل گرفته بود. روابط زیر مقادیر حداکثر و متوسط نیروی وارد شده به سوزن در خلال سیکل نفوذ سوزن در لایه را بیان می نمایند.

$$P_{max} = 80 * N / n * h$$

$$P_{avg} = 62.83 * N / n * h$$

در این روابط:

P_{max} و P_{avg} به ترتیب حداکثر و متوسط نیروی وارد شده به سوزن (نیوتن)

N: توان مصرفی بازای هر سوزن (میلی وات)

n: سرعت (ضربه بر دقیقه)

و h عمق نفوذ سوزن (میلی متر) می باشند.