بسم الله الرحمن الرحیم

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده مهندسی نساجی

بررسی اثر پارامترهای نخ و پارچه بر میزان لول شدن بافت های یکروسیلندر حلقوی پودی

پایان نامه کارشناسی ارشد تکنولوژی نساجی

شهره میناپور

استاد راهنما

دکتر سعید آجلی

۱۳۹۰

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده مهندسی نساجی

پایان نامه کارشناسی ارشد تکنولوژی نساجی خانم شهره میناپور

تحت عنوان

بررسی اثر پارامترهای نخ و پارچه بر میزان لول شدن بافت های یکروسیلندر حلقوی پودی

در تاریخ ۱۳۹۰/۷/۵ توسط کمیته تخصصی مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت.

۱- استاد راهنما پایان نامه	دکتر سعید آجلی
۲- استاد مشاور پایان نامه	دکتر حسین حسنی
۳- استاد داور	دکتر داریوش سمنانی
۴- استاد داور	دکتر محمد شیخ زاده
سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده	دکتر سعید آجلی

تشکر و قدردانی:

بدینوسیله از استاد گرامی جناب آقای دکتر سعید آجلی به عنوان استاد راهنما،

استاد بزرگوار جناب آقای دکتر حسین حسنی به عنوان استاد مشاور و همچنین

مسئولین محترم کارگاه‌های ریسندگی و بافندگی حلقوی و آزمایشگاه فیزیک

الیاف در دانشکده نساجی دانشگاه صنعتی اصفهان که من را در تهیه این

پایان نامه یاری کرده اند صمیمانه تشکر و قدردانی می نمایم.

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

تقدیم به:

خانواده عزیزم

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست مطالب ..... هشت

چکیده ۱

فصل اول: مطالعات

۱-۱- بافت‌های حلقوی ۲

۱-۱-۱- اجزاء تشکیل دهنده حلقه ۳

۱-۱-۲- ساختار بافت یکروسیلندر ۴

۱-۱-۳- انواع حلقه ۴

۱-۱-۴- ساختار بافت متعادل ۵

۱-۲- پدیده‌ی لول شدن ۶

۱-۲-۱- تحلیل پدیده‌ی لول شدن در بافت‌های حلقوی پودی و عوامل مؤثر بر آن ۹

۱-۲-۲- رفتار خمشی پارچه‌های حلقوی پودی ساده ۱۲

۱-۲-۳- تأثیر تکمیل‌ها و استراحت‌های تر مختلف بر لول شدن پارچه‌های حلقوی پودی ساده ۱۵

۱-۲-۴- اندازه‌گیری میزان لول شدن پارچه‌های حلقوی یکروسیلندر ساده و بررسی عوامل مؤثر بر آن ۱۷

۱-۲-۵- پیش بینی فاصله‌ی لول شدن پارچه‌های حلقوی ساده پنبه‌ای با استفاده از آنالیز رگرسیون ۲۲

۱-۲-۶- مدل هندسی لول شدن عرضی پارچه‌های حلقوی پودی ساده ۳۰

۱-۳- روش اجزای محدود و نرم افزار آباکوس ۳۳

۱-۴- روش طراحی آزمایشات تاگوچی ۳۴

۱-۵- هدف از انجام تحقیق ۳۵

فصل دوم: تجربیات

۲-۱- مقدمه ۳۶

۲-۲- طراحی آزمایش با استفاده از روش تاگوچی ۳۶

۲-۲-۱- جدول آرایه‌های متعامد تاگوچی برای انجام آزمایشات ۳۸

۲-۳- تهیه‌ی نمونه‌ها ۴۱

۲-۳-۱- تولید نخ ۴۱

۲-۳-۲- تولید پارچه ۴۶

۲-۴- اندازه‌گیری مقدار لول شدن پارچه‌ها ۴۸
۲-۵- شبیه سازی حلقه در نرم افزار آباکوس ۵۲
۲-۵-۱- بیان هندسه‌ی ساختار و تعیین خواص آن در نرم افزار آباکوس ۵۲
۲-۵-۲- بیان نوع تحلیل و اعمال نیرو در نرم افزار آباکوس ۵۳
۲-۵-۳- حل مسئله و مشاهده‌ی نتایج در نرم افزار آباکوس ۵۳
۲-۵-۴- آنالیز حلقه در نرم افزار آباکوس ۵۴
فصل سوم: نتایج و بحث
۳-۱- مقدمه ۵۷
۳-۲- نتایج بدست آمده از آزمایشات لول شدن ۵۷
۳-۲-۱- بررسی تأثیرگذاری عوامل مورد آزمایش بر شاخص‌های لول شدن پارچه ۶۰
۳-۲-۲- رتبه بندی عوامل مؤثر بر شاخص لول شدن پارچه و تعیین شرایط بهینه ۶۰
۳-۲-۳- بررسی و تحلیل عوامل مؤثر بر شاخص‌های لول شدن پارچه ۶۱
۳-۳- بررسی و مقایسه‌ی نتایج آزمایش لول شدن در دو جهت ردیف و رج ۶۴
۳-۴- بررسی اثر عامل زمان استراحت پس از برش بر شاخص لول شدن ۶۶
۳-۵- نتایج شبیه سازی حلقه در نرم افزار آباکوس و مقایسه‌ی آن با نتایج تجربی ۶۷
فصل چهارم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات
۴-۱- مقدمه ۶۹
۴-۲- نتیجه‌گیری نهایی ۶۹
۴-۲-۱- نتیجه نهایی عوامل مؤثر بر لول شدن و بهینه کردن آن ۶۹
۴-۲-۲- نتیجه نهایی مدلسازی حلقه و رابطه‌ی آن با فاصله‌ی لول شدن ۷۰
۴-۳- پیشنهادات ۷۱
مراجع ۷۲
پیوست ۷۴

چکیده

یکی از مشکلات مهم پارچه‌های حلقوی بافت، لول شدن لبه‌های آنهاست. در یک ساختار حلقوی، نیروهای پسماند داخلی وجود دارند که از کشش اعمال شده بر ساختار پارچه در حین عملیات بافندگی، فشرده شدن و تبدیل نخ مستقیم به حلقه با خم شدن و پیچش آن ناشی می‌شوند. انرژی موجود در حلقه ناشی از این نیروها، مشکلات زیادی مانند جمع شدگی و لول شدن پارچه را سبب می‌شود. زمانیکه نخ برای تشکیل حلقه خم می‌شود، به دلیل خاصیت الاستیسیته‌ی خود، تمایل به مستقیم شدن و برگشتن به حالت اولیه دارد و اگر لبه‌ی پارچه آزاد باشد، این نیروها سبب بلند شدن لبه به سمت خارج از صفحه‌ی پارچه و تغییر شکل آن می‌شوند. لول شدن لبه‌های پارچه‌های حلقوی، یکی از عیوب آنها به شمار می‌رود. این پدیده، در عملیات تکمیل و دوخت و دوز پارچه می‌تواند باعث ایجاد مشکل و تولید ضایعات شود، بنابراین مطالعه و اندازه گیری مقدار لول شدن در پارچه‌های حلقوی اهمیت زیادی دارد. در مطالعات انجام شده تاکنون در رابطه با لول شدن پارچه‌های حلقوی، سعی بر شناسایی عوامل مؤثر بر لول شدن و اندازه‌گیری فاصله‌ی لول شدن پارچه با محاسبه‌ی گشتاورهای حلقه که به پارچه جهت لول شدن نیرو وارد می‌کنند، شده است. این گشتاورها تابع خصوصیاتی از نخ و پارچه مانند جنس، نمره و سختی خمشی نخ، طول حلقه، تراکم رج و ردیف و طرح بافت هستند که همه این پارامترها قبل از تولید پارچه معلومند. با پیش‌بینی لول شدن پارچه‌ها قبل از تولید، امکان محاسبه ضایعات پارچه ناشی از لول شدن، به هنگام آماده سازی پوشاک وجود دارد. هدف از انجام این تحقیق، بررسی اثر پارامترهای لیف، نخ و پارچه بر میزان لول شدن بافت‌های یکروسیلندر حلقوی پودی است. بدین منظور پارچه‌های حلقوی پودی توسط ماشین گردباف بافته شده و پارامترهای اثرگذار مربوط به نخ، پارچه و استراحت در سه سطح مختلف بررسی می‌شود. این پارامترها عبارتنداز: جنس و نوع الیاف، درصد الیاف، تاب نخ، نمره نخ، طرح بافت، تراکم بافت، زمان استراحت و جهت برش پارچه. باتوجه به تعداد پارامترهای گفته شده و تعداد سطوح بررسی آنها، از روش تاگوچی برای تولید نمونه‌ها استفاده می‌شود. با انجام آزمایشات لول شدن و بررسی نتایج آن، تمامی عوامل ذکر شده به عنوان عوامل تأثیرگذار بر لول شدن پارچه‌ها شناخته شدند. عوامل طرح بافت و تراکم، به ترتیب دارای رتبه‌ی اول و دوم تأثیرگذاری در هر دو جهت برش ردیف و رج هستند. با برش در جهت ردیف، زمان استراحت پس از برش، تاب نخ، درصد مخلوط و نمره‌ی نخ و با برش در جهت رج، تاب نخ، نمره‌ی نخ، درصد مخلوط و زمان استراحت پس از برش رتبه‌های سوم تا ششم را دارا هستند. در بین عوامل و سطوح تعیین شده برای آن‌ها در این تحقیق، در برش در جهت ردیف، بافت "Double cross tuck" دارای تراکم کمتر تهیه شده از نخ ۵۰/۵۰ پلی‌استر،پنبه با نمره‌ی انگلیسی ۲۵ و تاب کمتر و با نداشتن زمان استراحت پس از برش، و در برش در جهت رج نیز بافت "Double cross tuck" دارای تراکم کمتر تهیه شده از نخ ۵۰/۵۰ پلی‌استر،پنبه با نمره‌ی انگلیسی ۲۰ و تاب کمتر و با نداشتن زمان استراحت پس از برش، حداقل میزان لول شدن را نتیجه خواهد داد. برای درک و تحلیل دقیق تر این پدیده، حلقه‌ی بافت ساده‌ی حلقوی پودی در نرم‌افزار آباکوس، شبیه‌سازی شده است و نتایج این مدل به عنوان شاخصی از میزان لول شدن بافت، با نتایج آزمایش میزان لول شدن پارچه مقایسه و اعلام گردیده است.

کلمات کلیدی: لول شدن، پارچه‌ی یکروسیلندرحلقوی پودی، پارامترهای نخ وپارچه، روش طراحی آزمایشات تاگوچی، شبیه سازی.

فصل اول

مطالعات

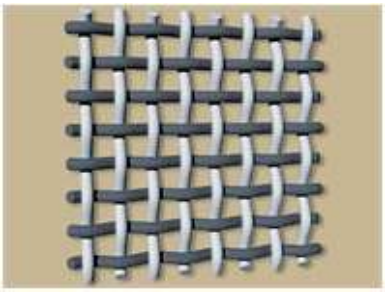
۱-۱- بافت‌های حلقوی

بافت با روش بافندگی تاری-پودی[1] که در شکل ۱- ۱ نشان داده شده است، از دو سری نخ‌های مستقیم (تار و پود) که از بین یکدیگر عبور کرده اند، تشکیل می‌شود. این روش بافت، از قدیمی‌ترین روش‌های تولید پارچه است. بافت حلقوی، از حالت دادن نخ به شکل حلقه و عبور هر حلقه از میان حلقه‌ی قبلی تشکیل شده‌ی هم ردیف خود، بدست می‌آید و «بافندگی حلقوی[2]» به روشی از ایجاد بافت گفته می‌شود که با خمیده کردن طولی از نخ به شکل حلقه‌های یک زنجیر، که از میان یکدیگر عبور داده شده اند، پارچه تولید می‌گردد. بافندگی حلقوی دومین روش بافت بعد از بافندگی تاری-پودی است و قرن‌ها از استفاده‌ی این نوع بافت می‌گذرد. این روش بافت به دو صورت پودی و تاری انجام می‌شود. در بافندگی حلقوی پودی[3] (شکل ۱- ۲) به تمام سوزنها یا تعدادی از آن‌ها یک سرنخ تغذیه می‌شود و عملیات بافت یک رج[4] بر روی یک سری سوزن (در راستای افقی) انجام می‌گردد. در بافندگی حلقوی تاری[5] (شکل ۱- ۳) برای هر سوزن حداقل یک سر نخ وجود دارد و حلقه‌های بوجود آمده از سرنخ‌های مختلف در جهت عمودی (راستای ردیف[6]) با هم درگیر می‌شوند. روش‌های استفاده شده در بافندگی حلقوی پودی

---

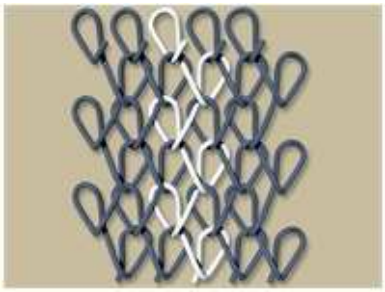
[1] Weaving
[2] Knitting
[3] Weft knitting
[4] Course
[5] Warp knitting
[6] Wale

و تاری، خصوصیات بافت‌ها و همچنین موارد مصرف تولیدات آنها باعث جداشدن این دو از یکدیگر و بوجود آمدن دو صنعت مجزا شده است[۱و۲].



شکل ۱-۱- بافت تاری-پودی

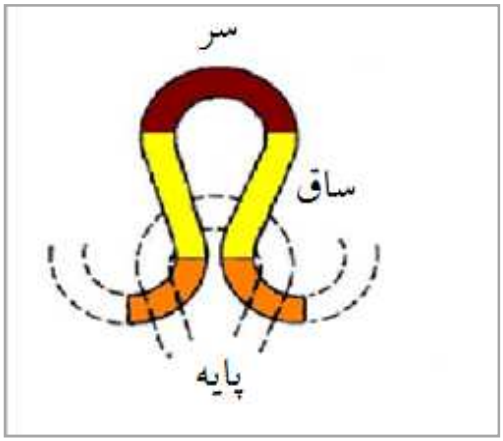
شکل۱-۲- بافت حلقوی پودی



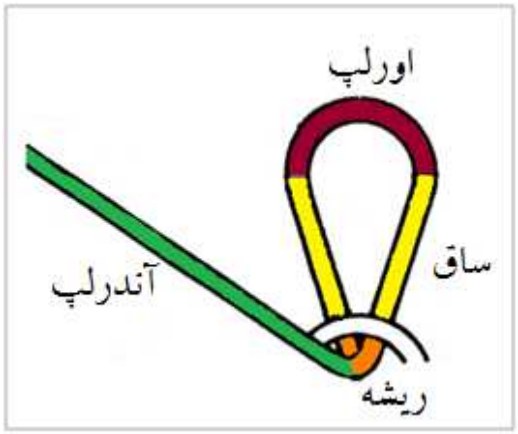
شکل ۱-۳- بافت حلقوی تاری

۱-۱-۱- اجزاء تشکیل دهنده‌ی حلقه

حلقه‌ی بافت، واحد اصلی ساختار بافت حلقوی است. در بافت حلقوی پودی، حلقه[۱] شامل سر[۲] و دو ساق[۳] است و در انتهای دو ساق، پایه‌ی حلقه[۴] قرار دارد که درگیر با سر حلقه‌ی قبلی می باشد (شکل ۱-۴). در حلقوی پودی پایه‌ی حلقه معمولاً باز است زیرا نخ بطور ممتد در یک جهت بر روی قلاب سوزن‌ها عبور می کند و حرکت برگشت در پشت سوزن ندارد. در بافت حلقوی تاری، حلقه[۵] شامل سر یا اورلپ[۶]، دو ساق، آندرلپ[۷] و ریشه‌های حلقه[۸] است (شکل ۱-۵) و پایه‌ی حلقه ممکن است به صورت بسته یا باز قرار گیرد.



شکل ۱-۴- ساختار حلقه در بافندگی حلقوی پودی

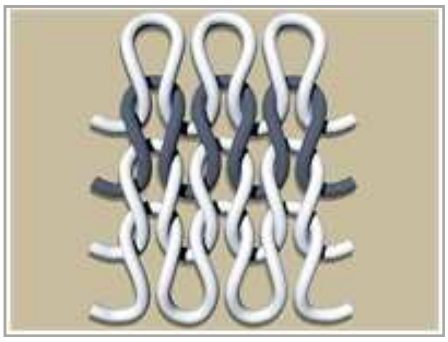


شکل ۱-۵- ساختار حلقه در بافندگی حلقوی تاری

[1] Loop
[2] Needle loop
[3] Legs
[4] Sinker loop
[5] Lap
[6] Overlap
[7] Underlap
[8] Roots

۱-۱-۲- ساختار بافت یکروسیلندر

در بافندگی حلقوی پودی و تاری، ساختار بافت یک رو بوسیله‌ی یک سری سوزن بدست می‌آید که این سوزن‌ها به صورت مستقیم و یا دایره ای روی ماشین‌ها چیده شده‌اند. سوزن‌ها در کنار یکدیگر قرار دارند و قلاب آن‌ها در یک جهت واقع شده اند به گونه ای که توسط قلابشان، حلقه جدید را از داخل حلقه قبلی از یک جهت عبور می‌دهند. در این بافت، یک طرف پارچه که اصطلاحاً روی فنی پارچه نامیده می‌شود، نمایانگر حلقه‌های رو است که ساق‌ها در رو قرار داشته و به شکل V پشت سر هم قرار دارند (شکل ۱-۶) و در طرف دیگر پارچه که پشت فنی نامیده می‌شود، حلقه‌های پشت و نخهای اتصال حلقه‌ها دیده می‌شوند (شکل ۱-۷). در این بافت، نخ‌ها می‌توانند حلقه‌ی بافت، نیم‌بافت[1] و یا نبافت[2] بوجود آورند[۱و۲].



شکل ۱-۶- روی فنی بافت یکروسیلندر ساده

شکل ۱-۷- پشت فنی بافت یکروسیلندر ساده

۱-۱-۳- انواع حلقه

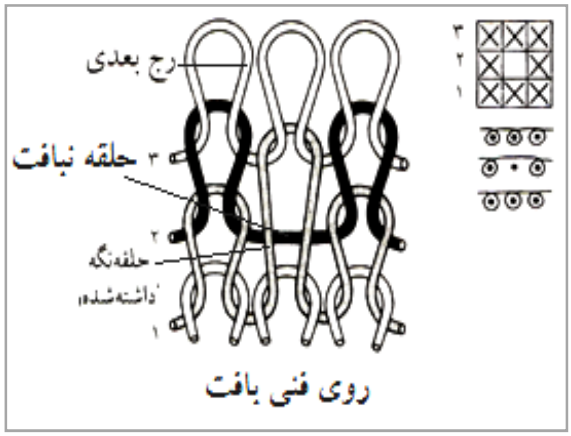
در بافندگی حلقوی پودی، حلقه‌ی بافت زمانی بوجود می‌آید که سوزن نخ جدید را گرفته و با عبور دادن آن از بین حلقه‌ی قبلی در یک دوره از مراحل بافندگی، حلقه‌ی قبلی خود را آزاد کند. انواع دیگر حلقه با تغییر زمان انجام عملیات سوزن بوجود می‌آیند و این عمل باعث ایجاد طرح در بافت می‌شود. به غیر از حلقه‌ی بافت، حلقه‌ی نیم‌بافت و حلقه‌ی نبافت از متداولترین روش‌های ایجاد حلقه می‌باشند (شکل ۱-۸).

حلقه‌ی نبافت زمانی ایجاد می‌شود که سوزن حلقه‌ی قبلی را نگهداشته و نخ تغذیه شده‌ی را نگیرد، بنابراین این حلقه به صورت نخ کشیده در پشت سوزن و پشت فنی بافت یکروسیلندر قرار می‌گیرد و دو سر آن متصل به حلقه‌های بافت و یا نیم‌بافت مجاور در سمت راست و چپ حلقه است.

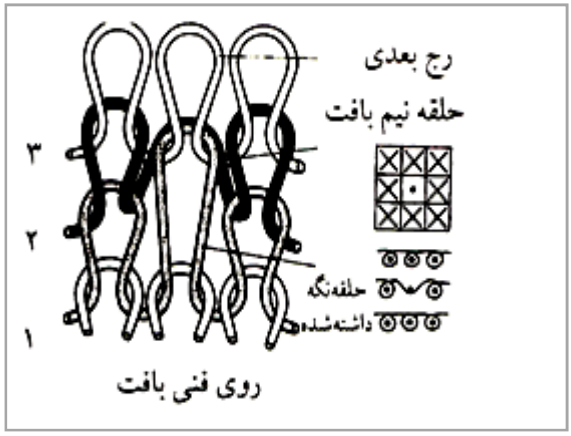
حلقه‌ی نیم‌بافت هنگامی بوجود می‌آید که سوزن حلقه‌ی قبلی را نگهداشته و نخ تغذیه شده را گرفته باشد، اما این نخ را از بین حلقه‌ی قبلی عبور ندهد، بنابراین حلقه‌ی نیم‌بافت در پشت حلقه‌ی قبلی قرار می‌گیرد[۱و۲].

---

[1] Tuck loop
[2] Miss loop



(الف)



(ب)

شکل ۱-۸- (الف) حلقه‌ی نبافت، (ب) حلقه‌ی نیم‌بافت[۱]

۱-۱-۴- ساختار بافت متعادل

یک بافت با ساختار متعادل هنگامی بدست می‌آید که رو و پشت پارچه شرایط کاملاً یکسانی داشته باشند، به عبارت دیگر بر روی دو سری سوزن بافت مشابه صورت گیرد بطوری که تعداد حلقه‌هایی که در یک سمت تشکیل می‌شود با تعداد حلقه‌ی سمت دیگر پارچه یکسان باشد، در این صورت دو روی پارچه بافت مشابه دارند. این نوع بافت معمولاً در لبه‌ی پارچه لول نمی‌شود[۱].

۱-۲- پدیده‌ی لول شدن

به تغییر شکل و لوله شدن لبه‌های پارچه‌های حلقوی به علت رها شدن از نیروهای خمشی و پیچشی ذخیره شده در حلقه‌ها به هنگام بافت، لول شدن[1] گفته می‌شود (شکل ۱-۹). در حین بافندگی و تبدیل نخ مستقیم به شکل حلقه، نیروهای خمشی و پیچشی به نخ وارد و در حلقه‌ها ذخیره می‌شود. نخ بواسطه‌ی خاصیت الاستیسیته اش، تمایل دارد به شکل اولیه بازگردد اما درگیری حلقه‌ها با یکدیگر مانع از آزاد شدن حلقه‌ها از نیروهای داخلی می‌شود. در لبه‌های پارچه به علت عدم وجود حلقه‌ی مجاور در یک سمت، عکس العمل بین حلقه‌ها برداشته شده و لول شدن با رها شدن از انرژی‌های داخلی آغاز می‌شود.

شکل ۱-۹- پدیده‌ی لول شدن

بطور کلی لول شدن در ساختارهای متعادل که تمام شرایط رو و پشت پارچه یکسان است، رخ نمی‌دهد. این شرایط می‌تواند شامل تعداد سر و ساق حلقه، طول حلقه و تعداد سوزن‌ها باشد. بنابراین در لبه‌های پارچه‌های تاری-پودی که شرایط رو و پشت پارچه یکسان است، لول شدن رخ نمی‌دهد، اما در ساختارهای نامتعادل که شرایط رو و پشت پارچه یکسان نیست، لول شدن در لبه‌ها اتفاق می‌افتد. همانطور که در شکل ۱-۱۰ مشاهده می‌کنید، در بافت یکروسیلندر ساده که رو و پشت پارچه با هم تفاوت دارد، لول شدن اتفاق می‌افتد. در روی فنی (شکل ۱-۶) فقط ساق‌های حلقه دیده می‌شوند که به صورت V قرار دارند ولی در پشت فنی (شکل ۱-۷) سرها و پایه‌های‌حلقه به صورت نیم‌دایره‌های داخل هم قرار دارند. بنابراین تعداد نابرابر ساق و سر حلقه در دوطرف پارچه باعث نامتعادل شدن بافت و در نتیجه لول شدن لبه‌های آن شده است. در بافت ریب ۱×۱ تعداد سر وساق حلقه برای رو و پشت پارچه یکسان است زیرا در دو طرف پارچه، یک در میان ردیف حلقه‌های رو وجود دارد (شکل ۱-۱۱) و در صورت یکسان بودن بقیه‌ی شرایط، بافت متعادل است و لبه‌ی پارچه لول نمی‌شود(شکل ۱-۱۲).

[1] Curling

شکل ۱-۱۰- بافت یکروسیلندر ساده

شکل ۱-۱۱- نمای حلقه‌ای ساختار بافت ریب ۱×۱

شکل ۱-۱۲- بافت ریب ۱×۱

بطور کلی در بافت‌های حلقوی پودی، بافت‌های یکروسیلندر ساده[1] لول می‌شوند ولی بافت‌های دوروسیلندر ریب[2] و اینترلوک[3] و بافت دوبله سیلندر پرل[4]، در صورت یکسان بودن شرایط رو و پشت پارچه، تمایلی به لول شدن ندارند. در بافت‌های حلقوی تاری، بافت‌های یک شانه (شکل ۱-۱۳) و دوشانه (شکل ۱-۱۴) لول می‌شوند (البته بافت‌های سه شانه و بالاتر نیز وجود دارند که به علت نامتقارن بودن ساختار لول می‌شوند) ولی بافت‌های دومیله سوزن (شکل ۱-۱۵) به دلیل متقارن بودن ساختار لول نمی‌شود.

شکل ۱-۱۳- نمونه‌ای از یک بافت یک شانه‌ی حلقوی تاری

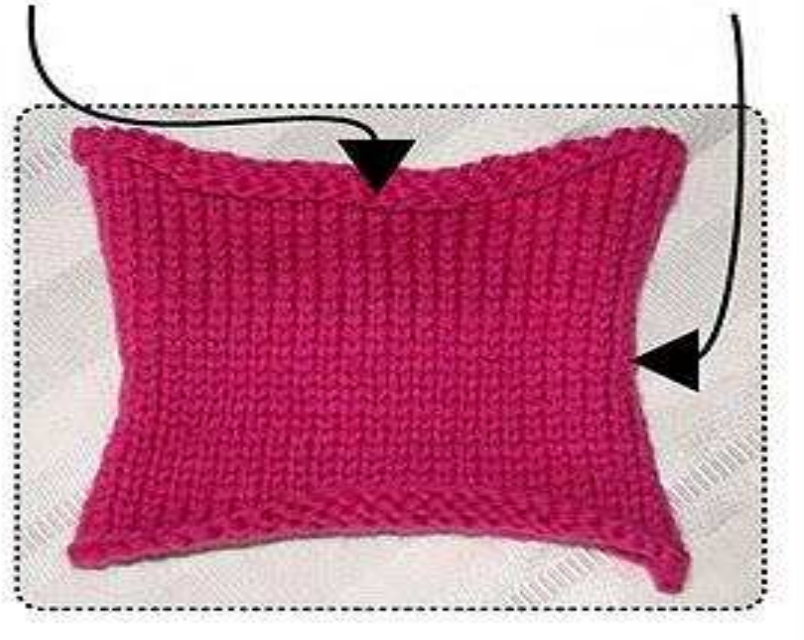
شکل ۱-۱۴- نمونه‌ای از یک بافت دو شانه‌ی حلقوی تاری

شکل ۱-۱۵- نمونه‌ای از یک بافت دو میله سوزن حلقوی تاری

[1] Plain
[2] Rib
[3] Interlock
[4] Purl

در تمام پارچه‌های حلقوی تاری و پودی، لول شدن لبه‌های پارچه در جهت رج‌ها (یعنی دو لبه‌ی رج) به سمت پشت فنی پارچه و در جهت ردیف‌ها (یعنی دو لبه‌ی ردیف) به سمت روی فنی پارچه است.

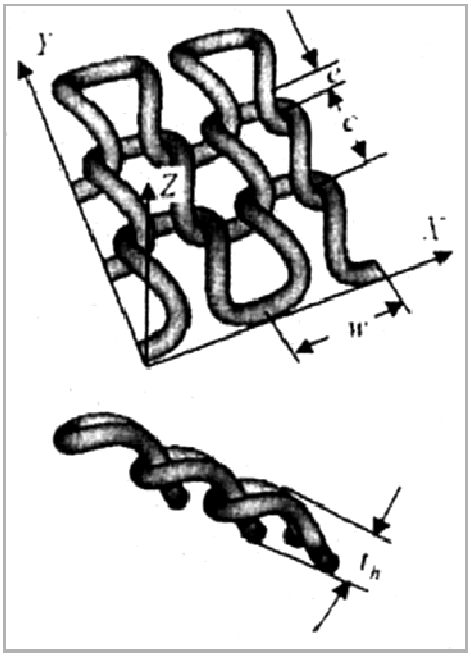
لول شدن در جهت رج‌ها به سمت پشت فنی پارچه لول شدن در جهت ردیف‌ها به سمت روی فنی پارچه



شکل ۱-۱۶- سمت لول شدن لبه‌ی بافت‌های حلقوی

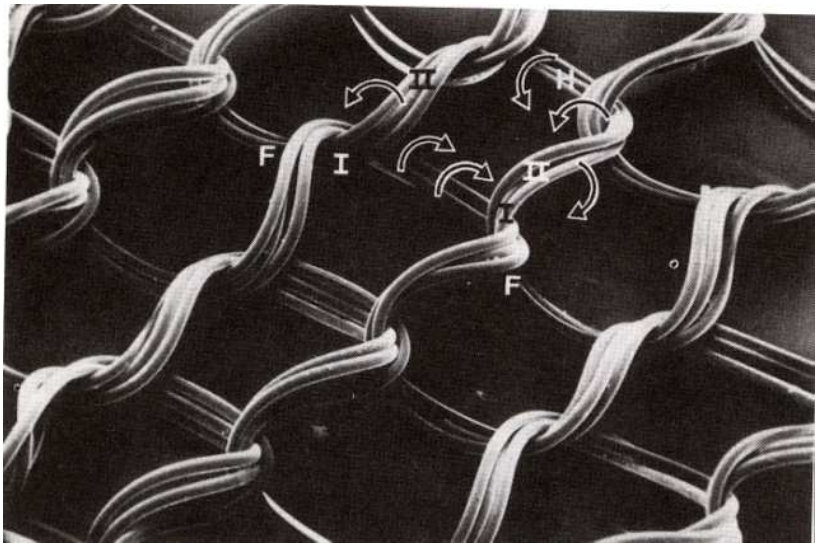
۱-۲-۱- تحلیل پدیده‌ی لول شدن در بافت‌های حلقوی پودی و عوامل مؤثر بر آن

همانطور که در شکل ۱-۱۷ مشاهده می‌شود، ساختار بافت حلقوی سه بعدی است. در حین فرایند بافندگی و تبدیل نخ مستقیم به شکل حلقه، خم شدن نخ در سه صفحه‌ی عمود بر هم اتفاق می‌افتد. چویی[1] و لو[2] [۳]، ماندن[3] [۴] و دویل[4] [۵]در تحقیقات خود به سه بعدی بودن ساختار بافت حلقوی اشاره کرده‌اند. پدیده‌ی لول شدن لبه‌های پارچه حلقوی پودی ساده، یک تأثیر عملی از خم شدن نخ در بیش از یک صفحه است. همانطور که در شکل ۱-۱۸ مشاهده می‌شود، در جایی که حلقه‌ی جدید از داخل حلقه‌ی قبلی کشیده می‌شود (I)، ساختار بافت به جای یک نخ از دو نخ تشکیل شده است. سر(H) و پایه‌ی حلقه (F) توسط حلقه‌های دیگر در همان ردیف به پایین کشیده می‌شوند اما دو بازوی حلقه تمایل به برگشت یا لوله شدن به طرف بالا را دارند (II). زمانیکه پارچه برش داده می‌شود و دیگر، حلقه‌ها به صورت قبل نگهداشته نشده اند، دو لبه بالا و پایین پارچه تمایل به لول شدن به سمت روی فنی پارچه را دارند و دو لبه کناری به طرف پشت فنی پارچه لول می‌شوند[۱].



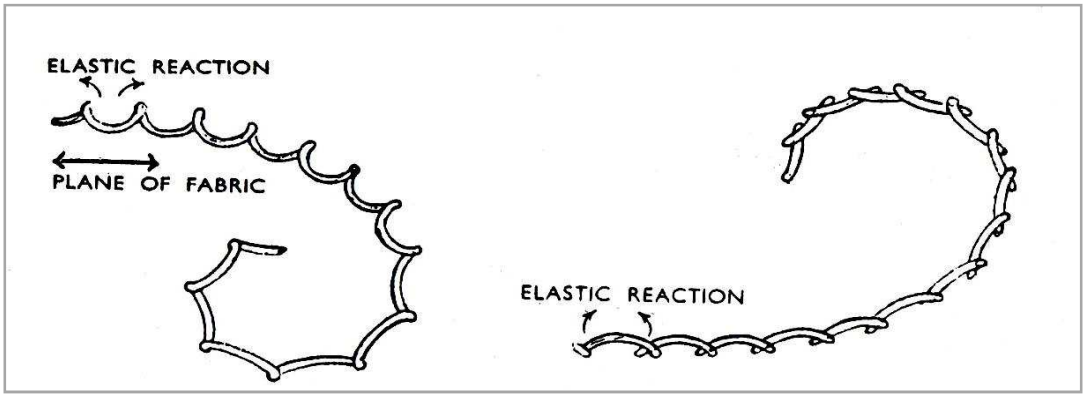
شکل ۱-۱۷- مدل سه‌بعدی ساختار بافت حلقوی پودی[۳]

[1] Choi
[2] Lo
[3] Munden
[4] Doyle



شکل ۱-۱۸- ساختار سه بعدی بافت حلقوی[۶]

هنگامی که نخ در حین فرایند بافندگی به شکل حلقه خم می‌شود و در ساختار به صورت سه بعدی قرار می‌گیرد، بواسطه‌ی خاصیت الاستیسیته اش تمایل به بازگشت به حالت مستقیم اولیه دارد، اما درگیری حلقه‌های ایجاد شده با یکدیگر مانع این عمل می‌شود. اگر لبه‌ی پارچه آزاد شود، نیروهای خمشی و پیچشی ذخیره شده در حلقه‌ها برای بالا آوردن لبه‌ی پارچه و لول شدن آن کافی خواهند بود. در شکل ۱-۱۹، لول شدن لبه‌ی پارچه پس از برش در جهت رج و ردیف نشان داده شده است. فلش‌ها، جهت نیروهای الاستیک را نشان می‌دهند. این نیروها تمایل دارند حلقه را به شکل مستقیم اولیه بازگردانند. همانطور که در شکل مشخص است، برش و لول شدن لبه‌ی پارچه به حلقه‌های انتهایی اجازه داده است تا حدی خود را از نیروهای‌داخلی رها سازند و انحنا کاهش یافته است[۵].



(ب) (الف)

شکل ۱-۱۹- (الف) برش در جهت رج و لول شدن پارچه به سمت روی فنی

(ب) برش در جهت ردیف و لول شدن پارچه به سمت پشت فنی[۵]

برای خم کردن نخ به نیرویی نیاز است که توسط مقاومت نخ در مقابل خمش یا به عبارتی سختی خمشی نخ[1] اندازه‌گیری می‌شود. سختی خمشی نخ به شکل سطح مقطع و یکنواختی آن بستگی دارد. در مورد نخ‌ها که دارای سطح مقطعی تقریباً دایره ای هستند، سختی خمشی با توان چهارم قطر رابطه مستقیم دارد و بنابراین بسیار از آن تأثیر می‌پذیرد. به عبارت دیگر افزایش ظرافت نخ یا کاهش قطر آن در شرایط یکسان، باعث کاهش نیروی لازم برای خم کردن آن خواهد شد. گشتاور خمشی[2] مورد نیاز برای ایجاد یک انحنا نیز با شعاع انحنا نسبت عکس دارد، بنابراین برای ایجاد شعاع انحنای‌کمتر در حلقه‌ها، نیاز به گشتاور بزرگتری است. از طرف دیگر، نخ در ساختار سه بعدی پارچه در معرض دو مرحله خم شدن قرار می‌گیرد. در مرحله‌ی اول نخ در صفحه پارچه خم می‌شود و در مرحله‌ی دوم خم شدن در صفحه عمود بر آن اتفاق می‌افتد که نتیجه‌ی آن پیچش وارد شده به دو ساق در دو جهت مخالف است. بنابراین بحث سختی پیچشی نخ نیز مطرح می‌شود که این خصوصیت نیز به شکل سطح مقطع و یکنواختی آن بستگی دارد. بنابراین انرژی حقیقی که باعث ایجاد ساختار سه بعدی پارچه می‌شود، ترکیبی از سختی‌های خمشی و پیچشی و انحنا است و این انرژی معادل نیروهای الاستیک عکس العمل است[۵].

در تحلیل رفتار نخ پس از رها شدن از نیروهای خمشی و پیچشی وارد شده به آن برای تولید حلقه، می‌توان نقش الاستیسیته‌ی نخ و اصطکاک را بررسی کرد. میزان بازگشت نخ به شکل اولیه اش ، اندازه ای از الاستیسیته‌ی نخ است و خصوصیات الاستیک نخ بستگی به نرخ بارگذاری و زمان تحت بار بودن دارد. به عبارت دیگر با افزایش زمان استراحت پارچه بعد از بافت، در حقیقت زمان تحت بار بودن حلقه‌ها افزایش پیدا کرده و نیروهای الاستیک کاهش می‌یابند. نخ‌ها را از نظر الاستیسیته می‌توان در سه گروه عمده جای داد : دسته‌ی اول، نخ‌هایی هستند که کاملاً الاستیک‌اند به عبارت دیگر پس از برداشتن نیروی تغییرشکل دهنده، فوراً و دقیقاً به شکل اولیه‌ی خود باز می‌گردند. دسته‌ی دوم نخ‌هایی هستند که پس از رها شدن از نیرو بسیار آرام به شکل اولیه خود باز می‌گردند و دسته‌ی سوم نخ‌هایی هستند که با رها شدن از نیرو، تغییر شکل ناشی از اعمال نیرو را حفظ کرده و به شکل اولیه باز نمی‌گردند. در عمل بسیاری از نخ‌ها کاملاً الاستیک نیستند و بنابراین پس از رها شدن از نیروهای وارد شده به آن‌ها، شکل مستقیم اولیه را بدست نمی‌آورند.

اصطکاک بین نخ‌ها در نقطه تماس نیز یکی از عوامل مهم دیگردر بازگشت نخ است. نیروهای اصطکاکی، نیروهایی هستند که از حرکت نسبی در سطح تماس جلوگیری می‌کنند و بزرگی آن‌ها بستگی به جنس مواد در تماس و فشار بین آنها دارد. نقش این نیروها در رابطه با خصوصیات الاستیک نخ‌ها مطرح می‌شود. در مورد نخ‌هایی که کاملاً الاستیک نیستند (نخ‌هایی که در عمل تولید می‌شوند)، اصطکاک به عنوان نیرویی عمل می‌کند که نرخ رسیدن به تعادل یعنی بازگشت نخ و کاهش نیروهای الاستیک در زمان استراحت را کاهش می‌دهد و این زمان تأخیر اجازه می‌دهد که شرایط پارچه به شرایط تثبیت میل کند یعنی شرایطی که ساختار خم شده‌ی حلقه، شرایطی

[1] Yarn bending rigidity
[2] Bending moment