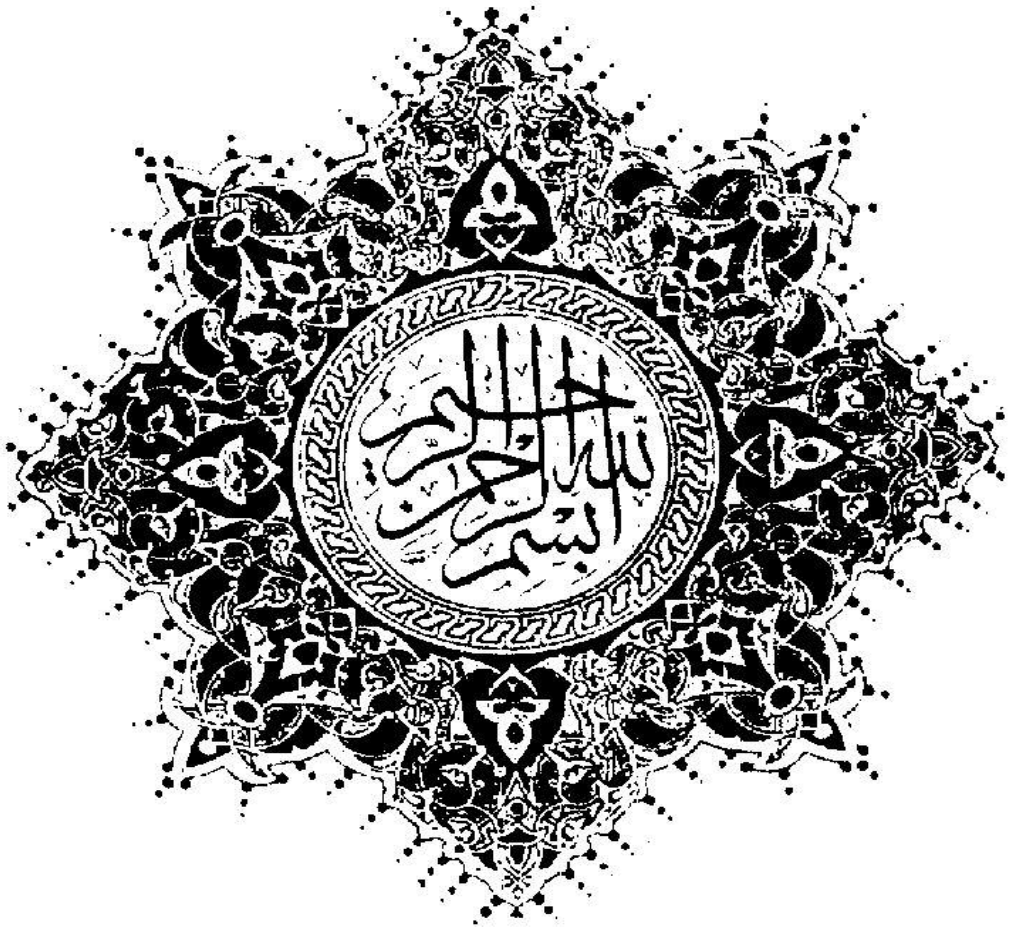

بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه صنعتی امیرکبیر

(پلی تکنیک تهران)

دانشکده مهندسی نساجی

پایان نامه دکتری مهندسی تکنولوژی نساجی

تحلیل مکانیکی رفتار خستگی کششی پارچه های حلقوی تاری تحت بارگذاری سیکلی

نگارش

میر رضا طاهری اطاقسرا

اساتید راهنما

دکتر علی اصغر اصغریان جدی و دکتر جمشید آقازاده مهند سی

تابستان ۱۳۸۶

بسمه تعالی

شماره:

تاریخ:

فرم اطلاعات پایان نامه
کارشناسی ارشد و دکترا

دانشگاه صنعتی امیر کبیر
(پلی تکنیک تهران)

معاونت پژوهشی
فرم پروژه تحصیلات تکمیلی ۲

مشخصات دانشجو

نام نام خانوادگی: **میر رضا طاهری اطاقسرا** □ دانشجوی آزاد ■ دانشجوی بورسیه (اعزامی تبدیل به داخل) □ معادل

شماره دانشجویی: **۷۹۱۲۸۹۱۲** دانشکده: **مهندسی نساجی** رشته تحصیلی: **مهندسی نساجی (تکنولوژنساجی)**

نام و نام خانوادگی استاد راهنما: دکترعلی اصغر اصغریان جدی و دکتر جمشید آقازاده مهندسی

عنوان به فارسی: تحلیل مکانیکی رفتار خستگی کششی پارچه های حلقوی تاری تحت بارگذاری سیکلی

عنوان به انگلیسی: Mechanical Analysis of the Tensile Fatigue Behavior of Warp Knitted Fabrics under Cyclic Loading

نوع پروژه: دکتری ■ کاربری □ بنیادی □ توسعه ای ■ نظری

تاریخ شروع: ۱۳۸۳ تاریخ خاتمه: ۱۳۸۶ تعداد واحد:۲۴

سازمان تأمین کننده اعتبار: دانشگاه صنعتی امیر کبیر

واژه های کلیدی به فارسی: پارچه حلقوی تاری ، خستگی ، بار گذاری نوسانی ، ویسکو الاستیک .

واژه های کلیدی به انگلیسی: Warp Knitted Fabric, Fatigue, Cyclic Loading Viscoelastic Models.

نظرها و پیشنهادها به منظور بهبود فعالیتهای پژوهشی دانشگاه:

استاد راهنما:

دانشجو: ۱- شرایط دسترسی دانشجویان به آخرین دستاورد های تحقیقاتی داخلی و خارجی فراهم شود.

۲- پایان نامه ها متناسب با نیازهای صنعتی تعریف شوند، بدین منظور ارتباط بین صنعت و دانشگاه توسعه یابد.

۳- دستگاهها و تجهیزات آزمایشگاهی متناسب با توسعه علوم و تکنولوژی به روز گردند.

۴- حد اقل ۲۵٪ از هزینه پایان نامه ها از طریق حمایت های خارج از دانشگاه به ویژه صنایع مربوطه تامین (جذب)شود.

امضاء استاد راهنما: **تاریخ:**

تقدیم به همسر

و

فرزندانم میرعماد و میرعلی

از جناب آقای پروفسور علی اصغر اصغریان جدی

و

جناب آقای پروفسور جمشید آقازاده مهندسی

که راهنمایی اینجانب را در انجام این پایان نامه به عهده داشته اند سپاسگزاری می گردد.

چکیده

خستگی یکی از پدیده هایی است که در مواد تحت بارگذاری نوسانی میتواند اتفاق بیافتد. در برخی از مواد و قطعات، شکست یا گسیختگی ناشی از بارگذاری نوسانی بعنوان ملاک خستگی در نظر گرفته می شود. اما تغییر خاصیت یا تغییر ابعاد در بعضی از قطعات و مواد، قبل از اینکه دچار شکست یا گسیختگی شوند به عنوان ملاک خستگی آنها درنظر گرفته می شود.

در این تحقیق، خواص کششی و خستگی پارچه های حلقوی تاری با ساختمانهای تریکو، لاکنیت، لاکنیت معکوس، ساتین سه سوزنه، ساتین چهار سوزنه، شارک اسکین سه سوزنه و شارک اسکین چهار سوزنه که با سه تراکم (cpc) متفاوت بافته شده اند مورد بررسی قرار گرفته و یک روش تئوری و همچنین یک مدل ویسکوالاستیک به منظور شبیه سازی و پیش بینی رفتار این پارچه ها در مقابل بارگذاری نوسانی ارایه شده است. ارتباط بین رفتار کششی و خستگی این پارچه ها با پارامترهای ساختمانی مورد مطالعه قرار گرفته و فضای در دسترس برای جابجایی نخها، و طول آندرلپها به عنوان عوامل اساسی موثر بر خواص مکانیکی پارچه ها در نظر گرفته شده اند. نتایج حاصل نشان می دهد که با افزایش طول آندرلپ و/ یا cpc ، درصد افزایش طول تا پارگی کاهش یافته، در حالیکه مقاومت پارگی افزایش می یابد. افزایش طول نوسانی موجب افت تنش و پدیده کرنش نرمی در پارچه های حلقوی تاری می شود. اعمال رابطه هولمن[1] ($\sigma=K\varepsilon^n$) به نتایج حاصل از آزمایشهای کشش و خستگی نشان می دهد که ضریب استحکام (K) در اثر بارگذاری نوسانی کاهش می یابد در حالیکه توان کار سختی (n) افزایش می یابد. با افزایش طول آندرلپ، نیرو در حالت پایدار شده نوسانی و توان کار سختی افزایش می یابد. همچنین، نیرو در حالت پایدار شده

[1] Holloman

نوسانی و توان کار سختی در پارچه های با طول آندرلپ بلند تر در شانه عقب، بیشتر از پارچه های با آندرلپ هم طول در شانه جلو می باشد.

برای ارایه مدل ویسکوالاستیک جهت پیش بینی رفتار خستگی پارچه ها، ابتدا یک روش تئوری برای پیش بینی عمر خستگی ارایه شده و بر مبنای آن یک رابطه ریاضی پیشنهاد شده است. مدلهای ویسکوالاستیک ماکسول،آیرینگ و ریچارد، هالسی و آیرینگ، به منظور شبیه سازی رفتار پارچه ها در نظر گرفته شده و اعمال پارامترهای اندازه گیری شده در آزمایشهای افت تنش در روش ریاضی و مدلهای ویسکوالاستیک پیشنهادی، سازگاری مناسبی را با نتایج حاصل از خستگی نشان می دهد.

کلید واژه:

پارچه حلقوی تاری Warp Knitted Fabric ، خستگی Fatigue ، بار گذاری نوسانی Cyclic Loading ، ویسکو الاستیک Viscoelastic.

فهرست مطالب

عنوان.....صفحه

مقدمه.....۱

۱–فصل اول: تعاریف خستگی.....۳

۲–فصل دوم: تئوریهای اساسی در زمینه خستگی.....۷

۲–۱–تئوری عمر کرنش در شکست خستگی.....۸

۲–۲–منحنی‌های تنش– عمر.....۱۱

۲–۳–حد دوام.....۱۲

۲–۴– مقاومت خستگی.....۱۳

۲–۵– تنشهای نوسانی.....۱۴

۲-۶- مقاومت خستگی در تنشهای نوسانی.....۱۵

۲-۷- اثرات عوامل گوناگون بر خستگی..... ۱۷

۲-۸- آسیب خستگی تجمعی.....۱۸

۲-۹- رفتار مواد در بارگذاریهای نوسانی.....۱۹

۳- فصل سوم: مطالعات انجام شده بر روی خستگی مواد نساجی.....۲۳

۳-۱- مطالعات انجام شده بر روی خستگی الیاف نساجی.....۲۴

۳-۲- مطالعات انجام شده بر روی خستگی نخها.....۳۰

۳-۳- مطالعات انجام شده بر روی خستگی پارچه.....۳۰

۴- فصل چهارم: تجهیزات, دستگاهها و ماشین آلات مورد استفاده.....۳۳

۴-۱- ماشین بافندگی.....۳۴

۴-۲- شستشو و تثبیت نمونه‌ها.....۳۴

۴-۳- دستگاه آزمایش کشش ، بارگذاری نوسانی وافت تنش.....۳۵

۴-۴- نرم افزار آزمایش کشش و بارگذاری نوسانی.....۳۶

۵- فصل پنجم: مواد و روشهای تجربی..... ۴۰

۵-۱- بافت پارچه..... ۴۱

۵-۲- برش و آماده سازی نمونه‌ها..... ۴۳

۵-۳- آزمایش کشش..... ۴۴

۵-۴- آزمایش خستگی..... ۴۵

۶- فصل ششم: تجزیه و تحلیل نتایج آزمایشها..... ۵۴

۶ـ۱ـ دریافت ا طلاعات از نرم‌افزار *FLAPS* ۵۵

۶ـ۲ـ آزمایش کشش..... ۵۵

۶-۳ـ آزمایش بارگذاری نوسانی..... ۶۰

۷- فصل هفتم: پیشنهاد یک مدل تئوری در زمینه خستگی مواد ویسکوالاستیک و پارچه ها..... ۸۷

۷ـ۱ـ پدیده ویسکوالاستیک..... ۸۸

۷ـ۲ـ زمینه نظری موضوع..... ۸۸

۷ـ۳ـ شبیه‌سازی..... ۹۱

۷ـ۴ـ تأثیر متغیرها بر مدل شبیه‌سازی..... ۹۳

۷ـ۵ـ مقایسه نتایج حاصل از آزمایش‌های خستگی و مدلهای پیشنهادی..... ۹۴

۸- فصل هشتم: نتیجه گیری و پیشنهادات..... ۱۳۰

۸-۱- نتیجه گیری..... ۱۳۱

۸-۲- یشنهادات..... ۱۳۲

مراجع..... ۱۳۴

ضمائم..... ۱۳۸

مقدمه

خستگی یکی از پدیده‌های ناشی از بارگذاری نوسانی است و در همه مواد که تحت بارگذاری نوسانی قرار می‌گیرند اتفاق می‌افتد. پدیده خستگی به عوامل مختلفی بستگی دارد که این عوامل را می‌توان به سه دسته جنس وهندسه شکل جسم تحت بارگذاری نظیر رفتار کششی و چقرمگی ماده مورد استفاده و ابعاد و شرایط سطحی نمونه، شرایط محیط نظیر دما و رطوبت و شرایط بارگذاری نظیر فرکانس، نسبت بار ماکزیمم به مینیمم و کرنش نوسانی تقسیم کرد. امروزه قطعات مورد استفاده در ماشین آلات و تجهیزات صنعتی بر اساس رفتار خستگی آنها طراحی شده و ساخته می‌شوند. مطالعه رفتار خستگی از مواد مهندسی و صنعتی مانند انواع فلزات بویژه فولادها شروع شده است و امروزه مطالعات خستگی در کلیه موادی که تحت بارگذاری نوسانی قرار می‌گیرند انجام می‌شود.

مطالعه رفتار خستگی در مواد نساجی نظیر الیاف و نخهای فیلامنتی از چند دهه پیش آغاز شده است و نتایج قابل توجه‌ای از این مطالعات حاصل شده است. همین طور در زمینه خستگی پارچه‌ها نیز مطالعاتی انجام گرفته است، اما در مقایسه با مطالعات خستگی انجام شده در زمینه الیاف و نخ، بررسی کمتری صرف خستگی انواع پارچه شده است.

در این پروژه رفتار خستگی پارچه‌های حلقوی تاری که از نخهای تکسچره پلی استر بافته شده‌اند، مورد مطالعه قرار گرفته و رفتار خستگی این پارچه‌ها با توجه به ساختمان بافت، تراکم طولی و شرایط بارگذاری (کرنش نوسانی) بررسی شده و نتایج حاصل از آزمایشات خستگی با توجه به متغیرهای پارچه و شرایط بارگذاری مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است.

فصل اول

تعاریف خستگی

تعاریف و تعابیر مختلفی برای خستگی وجود دارد و همه آنها به تحلیل رفتن ویژگی‌های مکانیکی جسمی که در طول زمان تحت فشار، کشش، پیچش، خمش و یا به طور کلی تحت هر نیروی نوسانی قرار می‌گیرد اشاره دارند. واژه خستگی متناظر کلمه لاتین ***Fatigue*** است که این کلمه در فرهنگها به خستگی، ماندگی، کوفتگی، رنج، کار خسته کننده، زحمت، سائیدگی، فرسودگی، سست شدگی، فرسودن، سائیدن و سست کردن تعبیر شده است[۱] . تیمو شینکو[۲] اشاره دارد به اینکه اصطلاح "خستگی" یا "***Fatigue***" برای اولین بار در سال ۱۸۳۹میلادی توسط ***Poncelet*** بکار گرفته شده است.

برخی از تعاریف خستگی که در مراجع مختلف ارائه شده‌اند عبارتند از:

۱- تعریف کلاسیک خستگی چنانکه برای فلزات بیان شده است، عبارت است از خرابی تحت کرنش نوسانی در سطحی که اگر بصورت کرنش استاتیک به جسم وارد شود، درجسم خرابی ایجاد نمی‌شود[۳].

۲- به کرات دیده می‌شود که قطعات ماشین در اثر تنشهای نوسانی یا تکراری می‌شکنند، در حالیکه تحلیلهای دقیق نشان می‌دهند که بیشترین تنشهای عملی (به کار برده شده) کمتر از مقاومت نهایی ماده و در بسیاری موارد حتی کمتر از مقاومت تسلیم آن بوده است. شاخص‌ترین ویژگی این گونه از شکست‌ها آن است که تنش‌ها به دفعات بسیار زیاد تکرار می‌شده‌اند. از این روست که این شکست را شکست خستگی یا ***fatigue failure*** می‌نامند[۴].رشد ترک خستگی[۱] پدیده‌ای است که تحت بارگذاری نوسانی و در بارهایی

---

*۱. پژوهشگران، خستگی مواد فلزی را در سه مرحله در نظر می‌گیرند: ۱- جوانه‌زنی ترک (*Nucleation*)؛ این مرحله در نمونه‌های بدون ترک دارای زمان طولانی است و عمر خستگی عمدتاً به همین زمان جوانه‌زنی بستگی دارد. ۲- رشد ترک (*Propagation*)؛ پس از ایجاد*

اتفاق می‌افتد که اگر این بارها بصورت استاتیکی وارد شوند، هیچ رشدی در ترک رخ نمی‌دهد[۵].

۳- خستگی عبارت است از ضعف در فلزات و مواد دیگر که ناشی از تنش تکراری *(repeated stress)* باشد[۶].

۴- خستگی عبارت است از خرابی تحت بارهایی که این بارها به طور پیوسته بازمان تغییر می‌کنند. خستگی با جوانه زنی *(nucleation)* و ایجاد ریز ترک *(micro crack)* آغاز می‌شود[۶].

۵- خستگی عبارت است از ذایل شدن *(decay)* خواص مکانیکی بعد از اعمال تنش نوسانی[۶].

باید توجه داشت که مواد تحت بارهای نوسانی (تنشهای سیکلی) ممکن است دچار شکست *(Fracture)* یا گسیختگی *(Rupture)* شوند و یا بدون اینکه ماده شکسته یا پاره شده و به دو قسمت تبدیل شود، خواصی از جسم تغییر کند که آن جسم دیگر مناسب استفاده در سازه و یا ماشین مربوطه نبوده یا اینکه عمر مصرف آن به سر آید. این بیان، به این امر اشاره دارد که ساختار مواد تحت تنش‌های نوسانی دچار تغییر شده و این دگرگونی منجر به تغییر خواص ماده می‌شود و در نهایت باعث خرابی ماده و عدم کارآیی آن برای مصرف مورد نظر می‌گردد.

با توجه به تعاریف ارایه شده، خستگی عبارت است از خرابی ماده تحت تنش یا کرنش پایین‌تر از حد تنش یا کرنش نهایی در آزمایش کشش یا حتی کمتر از تنش یا کرنش تسلیم، وقتی که این تنش یا کرنش بصورت نوسانی و مرتباً در طول زمان به ماده وارد می‌شود. در این صورت، در جریان

---

*جوانه ترک در فلز تحت بارگذاری نوسانی، ترک در طول رشد می‌کند و بتدریج عمق ترک بیشتر می‌شود. ۳- شکست (*Fracture*)؛ این مرحله در واقع خرابی نهایی است و شکست قطعه یا گسیختگی جسم اتفاق می‌افتد.*

اعمال بار نوسانی به جسم، مقدار تنش در طول زمان یک سیکل درحال تغییر بوده و نرخ تنش نسبت به زمان بستگی به نوع بارگذاری و اعمال بار دارد.

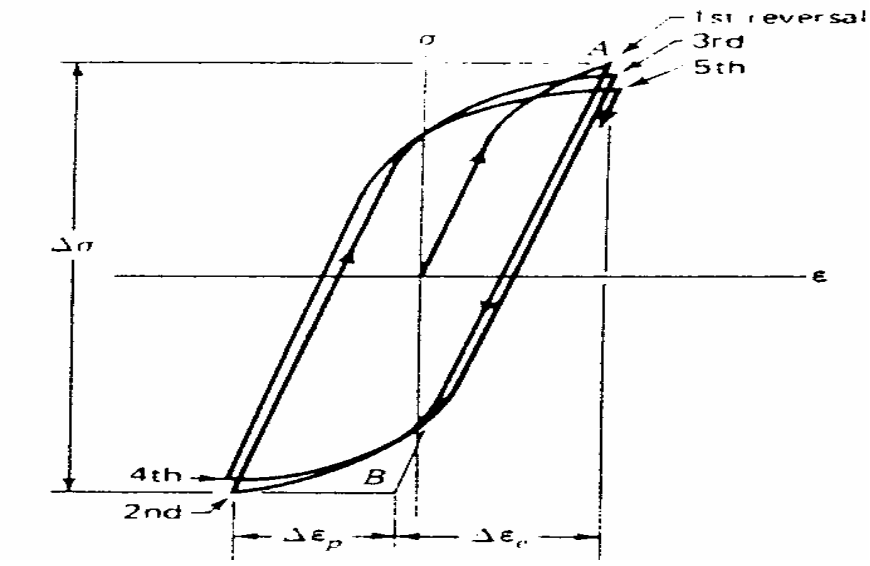
فصل دوم

تئوریهای اساسی در زمینه خستگی

با توجه به عوامل مؤثر بر خستگی مواد و پارامترهای مفید برای مطالعه خستگی، تئوریهای مختلفی برای بررسی رفتار خستگی ارایه شده است. این تئوریها با توجه به ماهیت آنها و مجهولاتی که در پی یافتن آنها هستیم مورد استفاده قرار می‌گیرند. در اینجا به چند تئوری که در زمینه خستگی ارایه شده‌اند اشاره می‌شود.

۲-۱- تئوری عمر کرنش در شکست خستگی

یکی از بهترین تئوریهایی که تاکنون برای توجیه طبیعت خستگی ارایه شده است تئوری عمرکرنش می‌باشد[۷]. این تئوری برای برآورد مقاومت خستگی مواد بکار می‌رود، ولی برای استفاده از این تئوری لازم است که چند حالت فرضی ایده‌آل در نظر گرفته شود، که همین فرضیات ایده‌آل باعث می‌شود تا اطمینان به این تئوری کم گردد. بهر حال، این تئوری به خاطر طبیعت خستگی در اینجا مطرح می‌گردد.



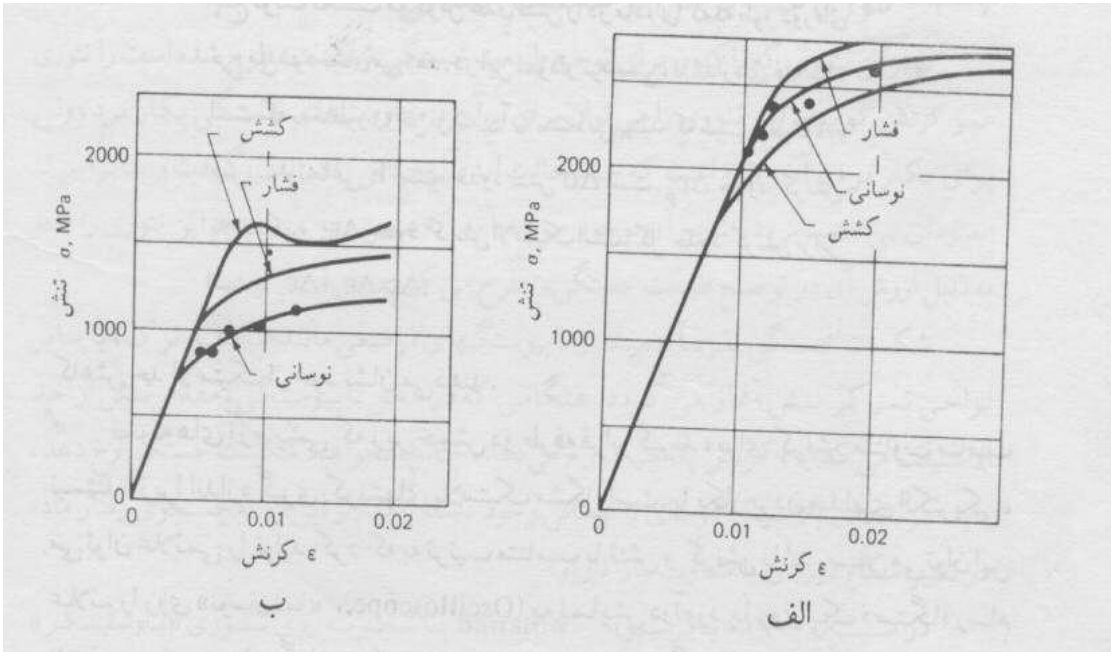
شکل۲-۱- حلقه‌های پسماند تنش- کرنش که در آن پنج نوبت معکوس شدن تنش را درماده‌ای که بطور دوره‌ای نرم می‌شود نشان می‌دهد.

لندگراف *(Landgraf)* [۸] پژوهشهایی بر روی رفتار خستگی با تناوب کم *(low Cycle fatigue)* یعنی خستگی بعد از اعمال بار تا ۱۰۰۰سیکل بسیاری از فولادهای مقاوم انجام داده

است، و در جریان این پژوهشها نمودارهای تنش- کرنش فراوانی رسم کرده است. شکل۲-۱ یک نمونه از این نمودارهاست که چند تناوب اول از بارگذاری را نشان می‌دهد.

چنانکه از روی شکل۲-۱ دیده می‌شود، با تکرار بارگذاری، مقاومت نمونه کاهش می‌یابد(تنش در سیکلهای متوالی کاهش می‌یابد). اما، در بعضی از مواد با ایجاد تنشهای نوسانی، مقاوت جسم زیاد می‌شود.

لندگراف در مقاله خود[۸] چند نمودار ترسیمی را ارایه کرده است که روابط تنش- کرنش هم نوا ***(monotonic)*** را بامنحنی تنش- کرنش متناوب ***(cyclic)*** مقایسه کرده است. دو نمونه از این نمودارها در شکل ۲-۲ نشان داده شده است. نکته بسیار مهمی که در این نمودارها می‌باشد آن است که پیش‌بینی مقاومت خستگی ماده از روی مقادیر معلوم حاصل از منحنی هم‌نوا نظیر مقاومت نهایی(S_{ut})یا مقاومت تسلیم (S_{yt}) بسیار دشوار است.



شکل۲-۲- نمودار تنش- کرنش هم نوا و متناوب دو نوع فولاد.
الف) فولاد *Ausformed H-11* با سختی *Bhn* ۶۶۰ برینل.

ب) فولاد *SAE4142* با سختی *Bhn* ۴۰۰ برینل.