



دانشگاه صنعتی شریف

دانشکده مهندسی و علم مواد

آزمایشگاه خواص مکانیکی مواد

آزمایش شماره 8 :

خستگی

نگارش :

پیام مرادی بانیارانی

98107728

گروه :

دوشنبه ساعت 13:30 تا 16:30

اساتید :

دکتر سیامک سراج زاده

مهندس جعفر مهدی اخگر

تاریخ انجام آزمایش :

1401/02/26

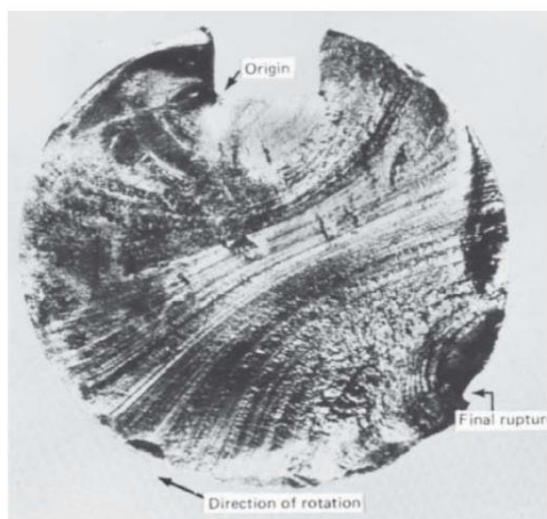
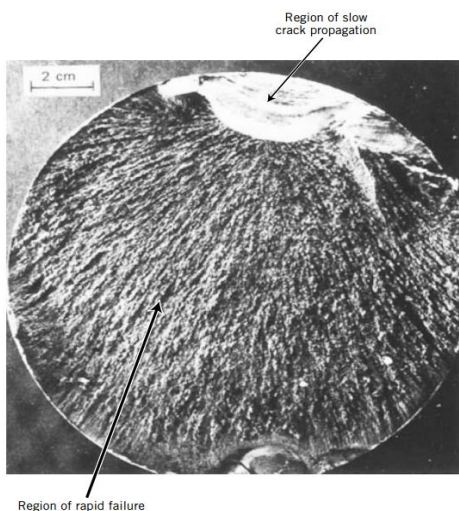
عنوان آزمایش : آزمایش خستگی

از سال ۱۸۳۰ این مساله شناخته شده ، یک فلز هنگامی که تحت تنش های نوسانی و گزیری قرار گیرد در تنش های خیلی کمتر از تنشی که در آن رخ دهد، قطعه شکسته می شود. شکست هایی که تحت شرایط بارگذاری های داینامیک ، با شدت ، شکست های خستگی می گویند ، احتمالاً به دلیل اینکه به طور کلی دیده شده که این طور شکست ها فقط بعد از یک محدوده قابل ملاحظه در سروس دادن اتفاق می افتد.

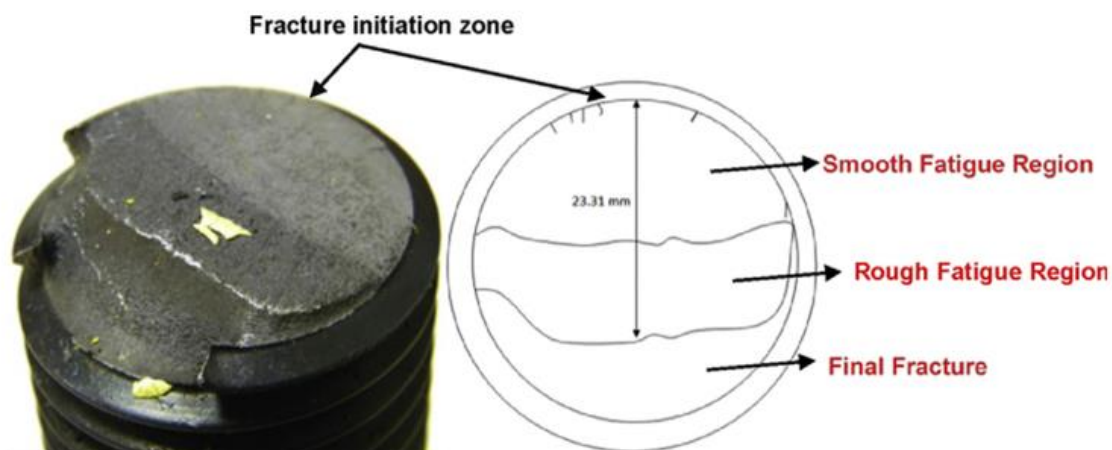
با پیشرفت تکنولوژی این نوع شکست هم بیشتر به چشم می خورد به گونه ای که امروزه بیش از ۹۰ درصد از تخریب و شکست های مکانیکی از این نوع هستند. این شکست در تجهیزات از قبیل اتومبیل ها ، هواپیماها ، کمپرسورها ، پمپ ها ، توربین ها و ... اتفاق می افتد.

شکست خستگی یک فرایند تدریجی است که خیلی از رخ دادن ، نشان های از همدارابانی دهد این حالت یک شکست تدریجی است. در مقیاس ماکروسکوپی سطح شکست معمولاً عمود بر جهت اعمال تنش اصلی کششی است. (تنش نرمال).

معمولاً شکست خستگی را می توان از ظاهر سطح شکست تشخیص داد به گونه ای که منطقه هموار آن ، به دلیل ساییده شدن ترک های در حال رشد ، این منطقه ساییده شده و هموار می شود. قسمت بالایی شکل زیر این منطقه را نشان می دهد.

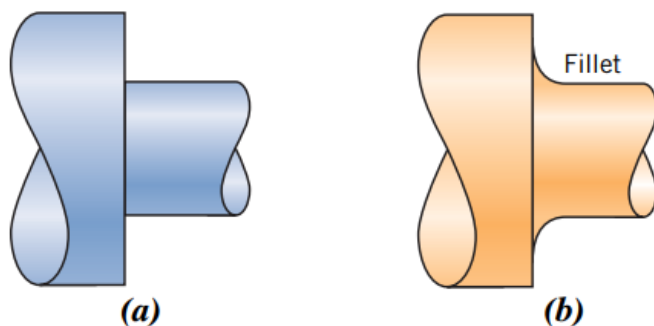


شکل ۸.۱ سطح مقطع شکست خستگی و نمایش دو منطقه هموار و زبر



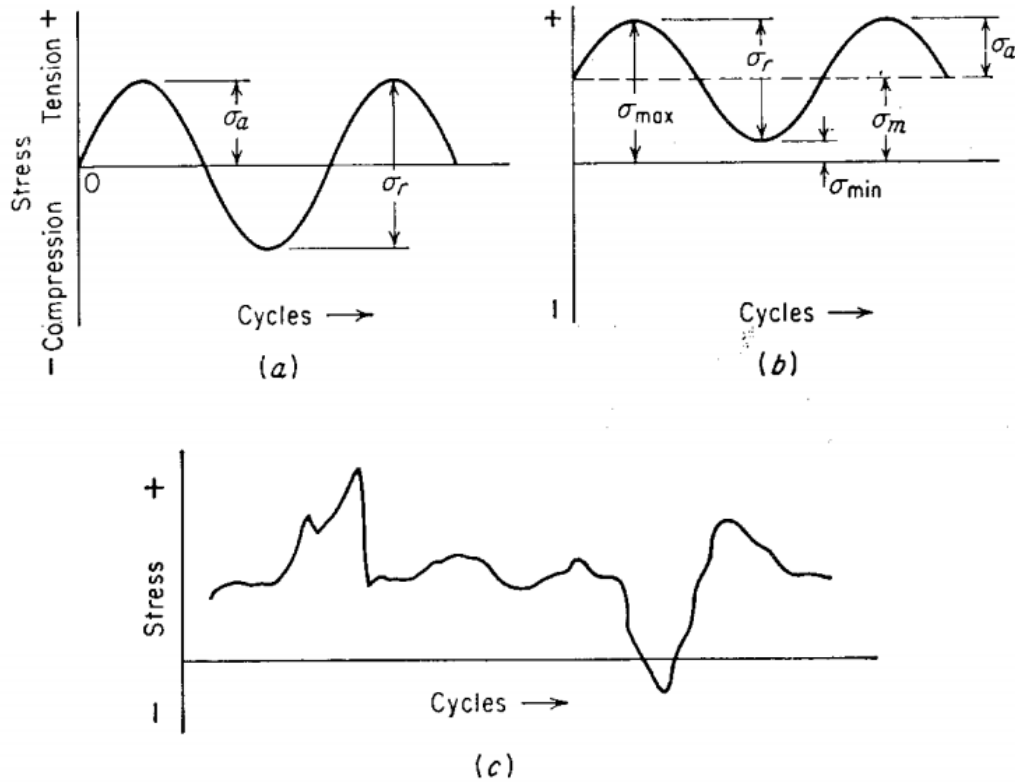
شکل 8.2 سطح شکست ناشی از خستگی و نمایش قسمت های مختلف شکست

همچنین در این شکل، منطقه زیر به دلیل آینه تکه نیروی وارد را ندارد به صورت تدریجی می‌کند.
 همچنین شکست در نقاطی که تمرکز تنش در آن قرار دارد از قبیل گوشه های تیز و سوراخ ها و یا
 گاهی گاهی که تنش های متالورژیکی از قبیل آخالها و با سوراخ ها، عوامل دیگر خوردگی، دما بار اضافی،
 تنش های دینامیک و غیره هستند.
 سه عامل اصلی در رخ دادن شکست خستگی لازم است.
 (1) مقدار بالای تنش کششی
 (2) تغییرات زیاد و کافی در تنش اعمال شده
 (3) تعداد سیکل های زیاد و کافی



شکل 8.3 طراحی نادرست در شکل الف و بوجود آمدن تمرکز تنش و تشدید شکست ناشی از خستگی

حالی به بررسی انواع تنش‌های تناوبی که منجر به خستگی می‌شوند می‌پردازیم. در شکل زیر سه نوع تنش تناوبی دیده می‌شود.



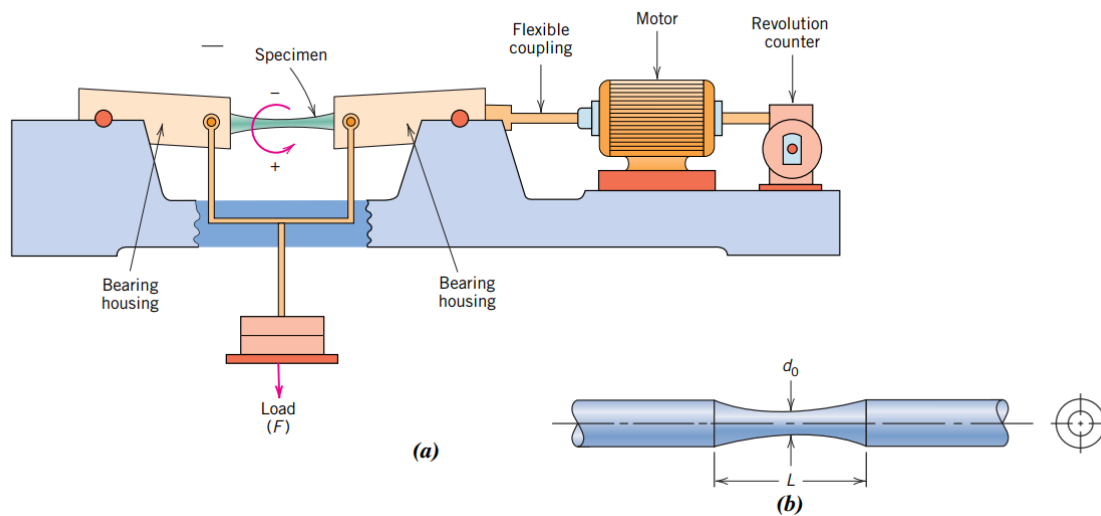
شکل 8.4 انواع تنش های تناوبی که منجر به خستگی می شوند

در شکل الف منحنی تنش تناوبی سینوسی است که بیشتر در محورها با سرعت ثابت در حال دوران هستند دیده می‌شود. در این نوع بارگذاری، تنش ماکسیمم و تنش مینیمم با هم مساوی هستند. تنش کششی را مثبت و تنش فشاری را منفی در نظر می‌گیرند.

در شکل ب تنش ماکزیمم و مینیمم با هم برابر نیستند. در این شکل هر دو تنش کششی می‌باشند؛ اتفاقاً تنش ماکزیمم کششی و تنش مینیمم فشاری نیز باشد.

در شکل ج نشان دهنده یک نوع تنش تناوبی پیچیده است که در قسمتهایی مانند بال هواپیما که تحت وزش باد می‌باشد، اتفاق می‌افتد.

در شکل زیر دستگاهی که می‌توان در آن خستگی را بررسی کرد نشان داده شده است.
همچنین نحوه مورد استفاده هم نشان داده شده



شکل 8.5 شماتیک از دستگاه تست خستگی با روش چرخش - خمش و همچنین نمونه آزمون خستگی

در زیر به تعریف تنش‌های آورده شده در شکل فوق می‌پردازیم.

$$\sigma_r = \sigma_{\max} - \sigma_{\min} \quad (8-1)$$

$$\sigma_a = \frac{\sigma_r}{2} = \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{2} \quad (8-2)$$

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{\max} + \sigma_{\min}}{2} \quad (8-3)$$

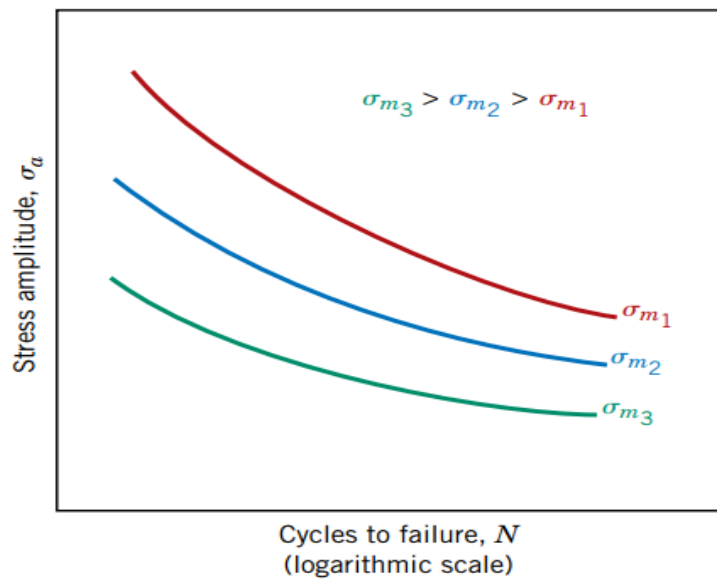
$$R = \frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}} \Rightarrow \text{stress ratio} \quad (8-4)$$

$$A = \frac{\sigma_a}{\sigma_m} = \frac{1-R}{1+R} \Rightarrow \text{Amplitude ratio} \quad (8.5)$$

منحنی S-N :

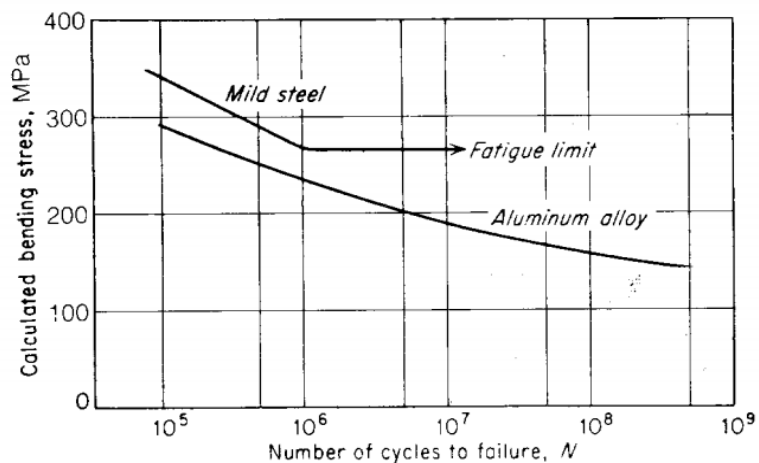
برای روش اصلی برای نمایش داده‌های خستگی استفاده از منحنی S-N می‌باشد. نمودار کنش S بر حسب تعداد سیکل‌ها تا شکست N بر مقیاس لگاریتمی برای N استفاده می‌شود. تقریباً همیشه مقدار کنشی که نمودار را می‌توان بر حسب N رسم کرد می‌تواند σ_a ، σ_{max} و یا σ_{min} باشد. معمولاً این منحنی برای مقدار معین σ_m رسم می‌شود. لازم به ذکر است که بیشتر خواص خستگی فلزات در حالت $\sigma_m = 0$ تعیین می‌شود.

در σ_m ها متفاوت نمودار S-N هم تغییر می‌کند. همانطور که دیده می‌شود در یک کنش یکسان نمونه‌ای که σ_m آن از همه کمتر است، توانسته چیل از شکست تعداد سیکل خیلی خیلی بیشتری را تحمل کند.

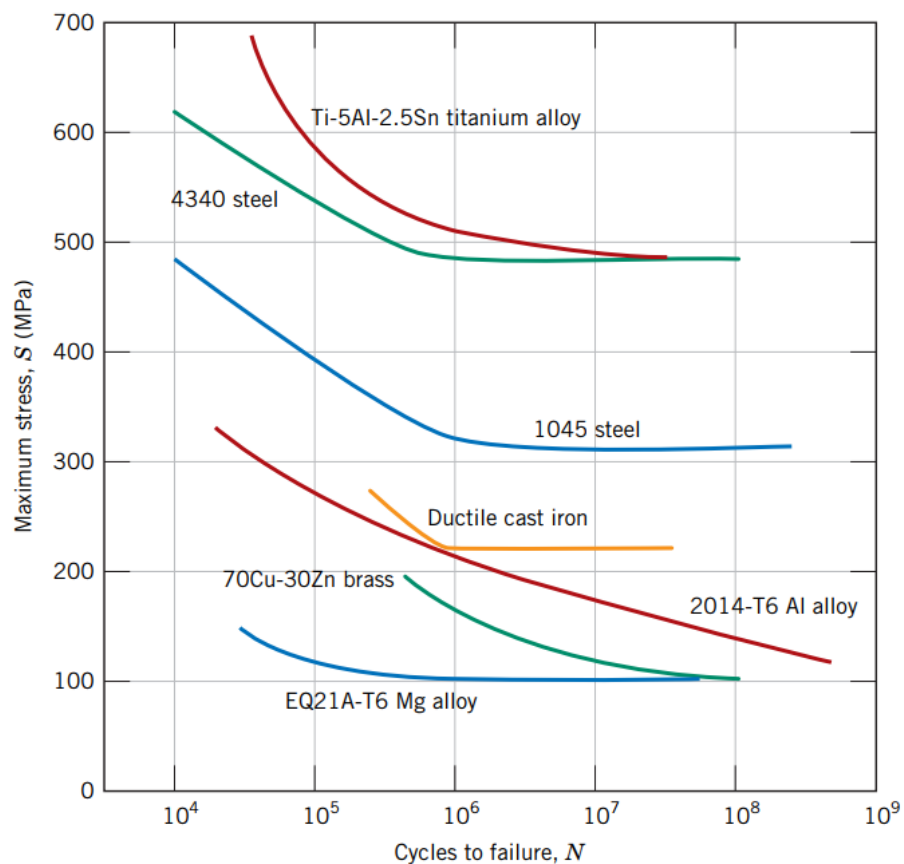


شکل 8.6 منحنی تغییرات تنش بر حسب تعداد سیکل‌ها تا شکست برای مقادیر مختلف σ_m

شکل زیر منحنی S-N را برای فولاد نرم و آلومینیوم نشان می‌دهد.



شکل 8.7 منحنی تغییرات تنش بر حسب تعداد سیکل ها تا شکست برای فولاد نرم و آلیاژ آلومینیوم



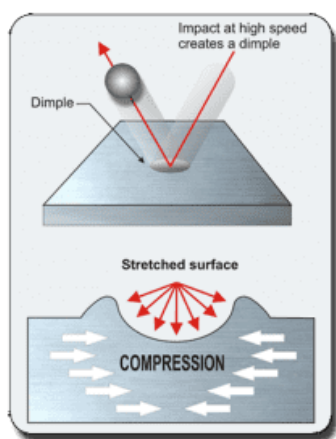
شکل 8.8 منحنی تغییرات تنش بر حسب تعداد سیکل ها تا شکست برای مواد مختلف

همادخل کرده در شکل [] دیده شود، تعداد چرخه‌هایی که نمونه قبل از شکست می‌تواند تحمل کند با کاهش
 تنش افزایش می‌یابد و نیز دیده می‌شود که برای بعضی از مواد مانند فولاد و آلومینیم منحنی $S-N$ در تنش
 معینی افقی می‌شود. در تنش‌های کمتر از این تنش، که حد خستگی نامیده می‌شود، ماده می‌تواند بدون شکست
 چرخه‌های نامحدودی را تحمل کند. ولی در مورد بیست و هفت فلزات غیر آهنی مانند آلومینیم، منیزیم و سایر فلزات
 منحنی $S-N$ با تنشی گذری نسبت به افزایش تعداد چرخه‌ها به سمت پایین می‌آید. این مواد در این
 حد خستگی نبوده و منحنی $S-N$ آنها هرگز افقی نخواهد شد. در این مواد استحکام خستگی در []
 معین تعریف می‌شود. به عنوان مثال در 10^8 چرخه برای رسم منحنی $S-N$ اولین نمونه را تحت تنش
 بالا قرار داده تا شکست در تعداد سیکل اندک اتفاق بیفتد (به عنوان مثال در تنش حدود $\frac{2}{3}$
 استحکام کششی) سپس تنش را کم کرده و نمونه‌ها را در تنش‌های پایین‌تر تحت آزمایش قرار داده تا جایگزینی
 یک یا دو نمونه در تعداد معینی چرخه (که معمولاً 10^7 چرخه است) دچار شکست شوند.
 بیست و هفت تنش را در آن شکست اتفاق نیفتد به عنوان حد خستگی در نقطه گرفته می‌شود.
 در مورد فلزاتی که حد خستگی ندارند آزمایش خستگی تا 10^8 یا 5×10^8 سیکل ادامه می‌یابد.
 معمولاً منحنی $S-N$ با 8 تا 12 نمونه رسم می‌شود.

یکی از مواردی که باعث تغییر رفتار $S-N$ می‌شود انجام دادن عملیات تفسیر
 Shot peening است. با ایجاد تنش‌های پسماند فشاری توسط این روش می‌توان در عمر خستگی
 تاثير گذاشت.



(a)

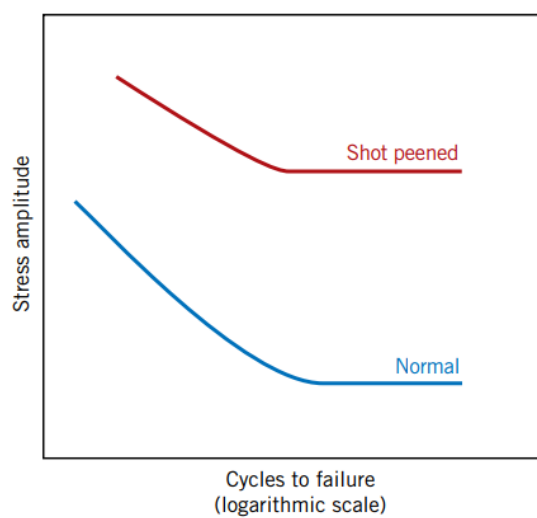


(b)



(c)

شکل 8.9 شماتیک از عملیات سخت کاری سطحی به کمک Shot peening



شکل 8.10 مقایسه منحنی S-N برای نمونه شات پینینگ شده و نشده

خواسته شماره 1: می دانیم که سرعت دوران دستگاه با توجه به جنوه 2850 RPM
 باشد. اگر زمان پایان تست را بدین $N = 2850 \times T_f$ در واقع تعداد چرخه ها تا شکست
 را بدین دستا با هم پس:

$$N = 2850 \times T_f$$

جدول 8.1 تعیین تعداد چرخه تا شکست

Tf(min)	4	8	15	30	40	70	100	140
N	11400	22800	42750	85500	114000	199500	285000	399000

خواسته شماره 2: با توجه به اینکه واحد قطعه نمونه mm و واحد مکان $N \cdot cm$ است
 باید $N \cdot cm$ را به $N \cdot mm$ تبدیل کنیم و چون d^3 در مخرج داریم پس

$$\sigma = \frac{N \cdot mm}{mm^3} = \frac{N}{mm^2} = MPa$$

 پس خواهیم داشت:

$$\sigma = \frac{M}{\frac{\pi}{32} d^3}$$

جدول 8.2 تعیین تنش با استفاده از قطر نمونه و ممان

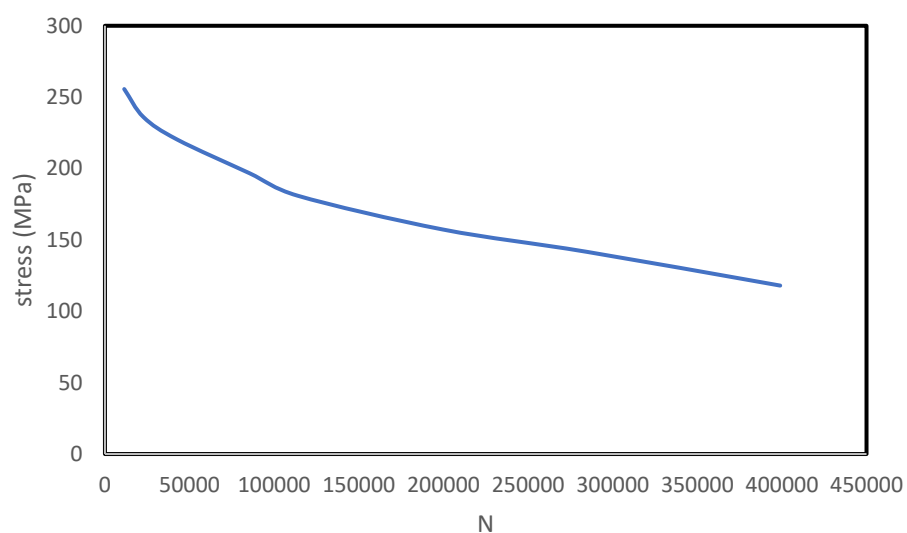
d (mm)	5.06	5.06	5.06	5.06	5.06	5.06	5.06	5.06
M (N.mm)	3250	3000	2800	2500	2300	2000	1800	1500
Sigma (MPa)	255.6537	235.9881	220.2555	196.6567	180.9242	157.3254	141.5928	117.994

خواسته شماره 3:

جدول 8.3 تعداد چرخه تا شکست و تنش

N	11400	22800	42750	85500	114000	199500	285000	399000
Sigma (MPa)	255.6537	235.9881	220.2555	196.6567	180.9242	157.3254	141.5928	117.994

خواسته شماره 4 :



شکل 8.11 منحنی تغییرات تنش بر حسب تعداد سیکل ها

مراجع :

کتاب دیتر

کتاب کلیستر

جزوه آزمایشگاه خواص مکانیکی مواد