به نام خدا

آزمایش نهم: خستگی

مدرس: دکتر احسان فتحی

مدیر و موسس آموزشگاه آزاد فنی و حرفه‌ای فتحی

Telegram & Instagram: *@FathiTrainingGroup*

Website: *FathiTrainingGroup.com*

Email: *ehsanfathi_eh@yahoo.com*

Tel: *09386249330, 05191012910*

فهرست مطالب

- هدف آزمایش
- تئوری آزمایش
- وسایل انجام آزمایش
- دستگاه آزمایش
- روش انجام آزمایش
- جدول داده های آزمایش و مقادیر تئوری
- خواسته‌های آزمایش
- روش گزارش‌کار نویسی

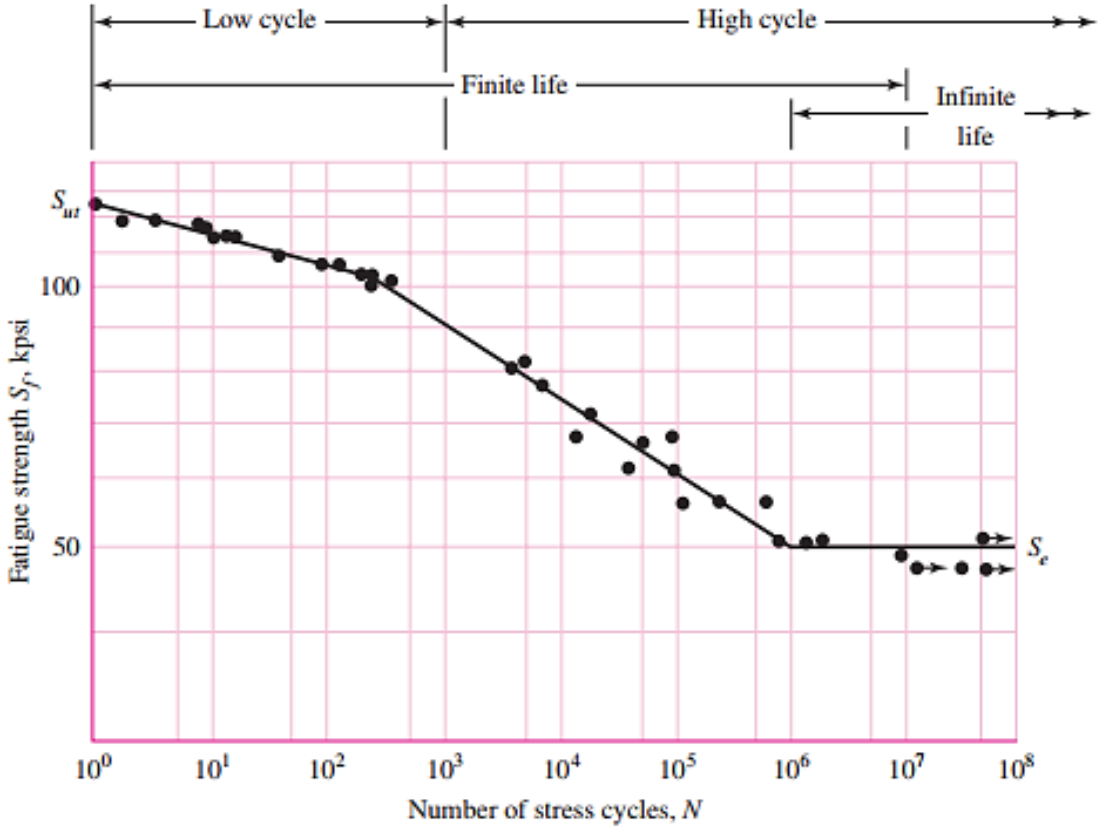
اهداف آزمایش

- مشاهده پدیده شکست در اثر اعمال تنش های نوسانی
- اندازه گیری تعداد دور تا شکست و بررسی اثر بار بر آن
- ترسیم نمودار S-N و تخمین عمر قطعه

تئوری آزمایش

آزمایش تیر چرخان (Rotary Bending) یکی از آزمایش های بنیادین مشاهده پدیده خستگی است. در این آزمایش یک تیر یک سر درگیر چرخان تحت بار نقطه ای قرار می گیرد و شرایط مختلف تعداد دور تا شکست (N) برای قطعه استاندارد اندازه گیری و ثابت می شود. بیان استحکم خستگی همیشه با تعداد دوره همراه می باشد. می توان دید که از 10^6 دور به بعد نمودار حالت افقی پیدا می کند. در این ناحیه استحکام خستگی S_f مستقل از تعداد دور می باشد که به این پدیده عمر بی نهایت گفته می شود و طراحی های مکانیکی بر این اساس انجام می شود. در شکل اسلاید بعد نمودار S-N برای یک فولاد نشان داده شده است.

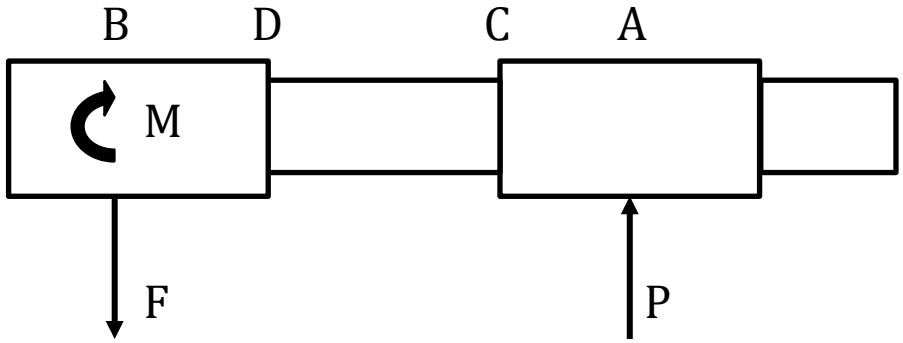
تئوری آزمایش



شکل ۱: نمودار حد دوام خستگی

تئوری آزمایش

مطابق شکل ۲ قطعه به صورتی در فک دستگاه قرار می گیرد که نیروی P به قطعه وارد شود. دستگاه در نقطه B برای تیر چرخان حالت یک سر درگیر را فراهم می کند. بنابراین، نقطه D با توجه به کم بودن سطح مقطع در این نقطه بیشترین تنش ناشی از اعمال بار خمشی را تحمل می کند.



تئوری آزمایش

با توجه به پدیده تنش معکوس شونده برای هر نقطه از مقطع D با توجه به فاصله AD میزان ممان خمشی به صورت زیر محاسبه می شود.

$$M_D = 0.048P\ (N.m)$$

در این حالت تنش متوسط برابر با صفر می شود و تنش متناوب به صورت زیر است:

$$\sigma_a = \frac{32M_D}{\pi R^3}$$

و در حالتیکه عمر قطعه محدود باشد تعداد چرخه N تا گسیختگی از روابط زیر محاسبه می شود.

$$a = \frac{(f S_{ut})^2}{S_e}$$

$$b = -\frac{1}{3}\log\left(\frac{f S_{ut}}{S_e}\right)$$

$$N = \left(\frac{\sigma_{\text{rev}}}{a}\right)^{1/b}$$

تئوری آزمایش

معرفی پارامترها:

f : کسر مقاومت خستگی (با توجه به مقاومت کششی ماده از شکل ۳ محاسبه می شود)

S_{ut} : مقاومت کششی نمونه (به جنس نمونه بستگی دارد)

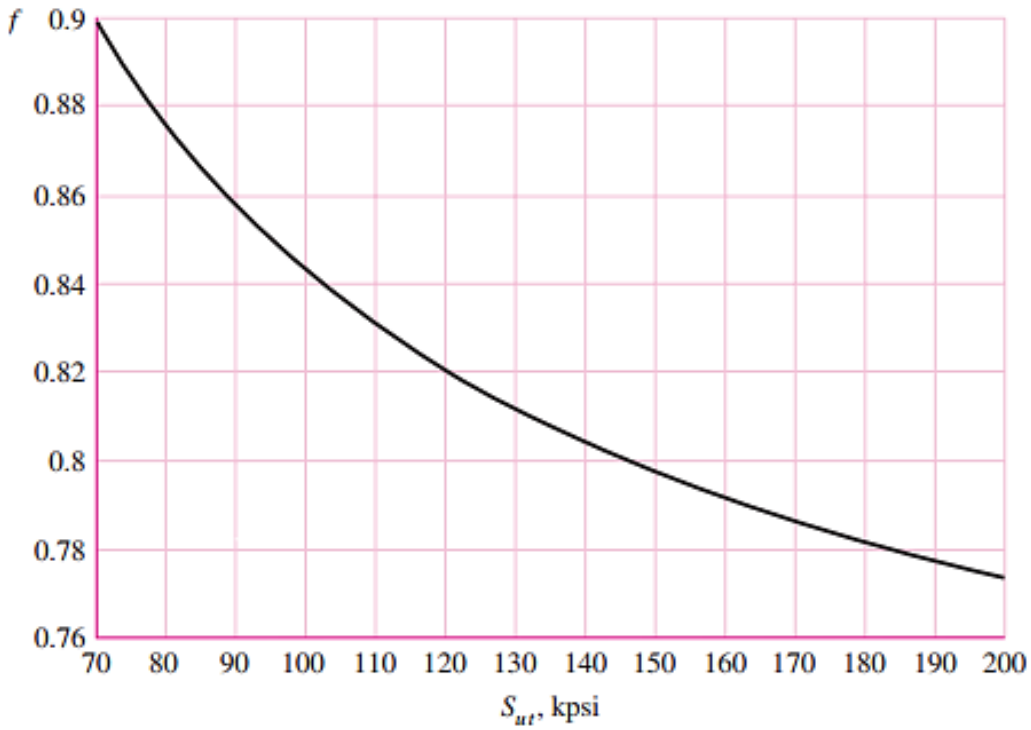
S_e : حد دوام در یک نقطه بحرانی از قطعه که از رابطه زیر محاسبه می شود

$$S_e = k_a k_b k_c k_d k_e k_f S'_e$$

σ_{rev} : تنش معکوس پذیر

تئوری آزمایش

محاسبه f:



تئوری آزمایش

معرفی پارامترها و محاسبه حد دوام خستگی:

$$S_e = k_a k_b k_c k_d k_e k_f S'_e$$

k_a : ضریب سطح که از رابطه زیر محاسبه می شود. پارامترهای a و b در این رابطه از جدول ۱ استخراج می شوند.

$$k_a = a S_{ut}^b$$

Surface Finish	Factor a S_{ut}, kpsi	Factor a S_{ut}, MPa	Exponent b
Ground	1.34	1.58	−0.085
Machined or cold-drawn	2.70	4.51	−0.265
Hot-rolled	14.4	57.7	−0.718
As-forged	39.9	272.	−0.995

تئوری آزمایش

k_b : ضریب اندازه که بسته به قطر تیر دوار از روابط زیر محاسبه می شود.

$$k_b = \begin{cases} (d/0.3)^{-0.107} = 0.879d^{-0.107} & 0.11 \le d \le 2 \text{ in} \\ 0.91d^{-0.157} & 2 < d \le 10 \text{ in} \\ (d/7.62)^{-0.107} = 1.24d^{-0.107} & 2.79 \le d \le 51 \text{ mm} \\ 1.51d^{-0.157} & 51 < d \le 254 \text{ mm} \end{cases}$$

توجه: برای بار محوری ضریب اندازه ۱ خواهد بود.

k_c : ضریب بار که با توجه به شرایط بارگذاری مقدار آن متفاوت می باشد.

$$k_c = \begin{cases} 1 & \text{bending} \\ 0.85 & \text{axial} \\ 0.59 & \text{torsion}^{17} \end{cases}$$

تئوری آزمایش

k_d : ضریب دما که از جدول زیر قابل محاسبه است.

Temperature, °C	S_T/S_{RT}	Temperature, °F	S_T/S_{RT}
20	1.000	70	1.000
50	1.010	100	1.008
100	1.020	200	1.020
150	1.025	300	1.024
200	1.020	400	1.018
250	1.000	500	0.995
300	0.975	600	0.963
350	0.943	700	0.927
400	0.900	800	0.872
450	0.843	900	0.797
500	0.768	1000	0.698
550	0.672	1100	0.567
600	0.549		

تئوری آزمایش

k_e : ضریب قابلیت اطمینان که از جدول زیر استخراج می شود.

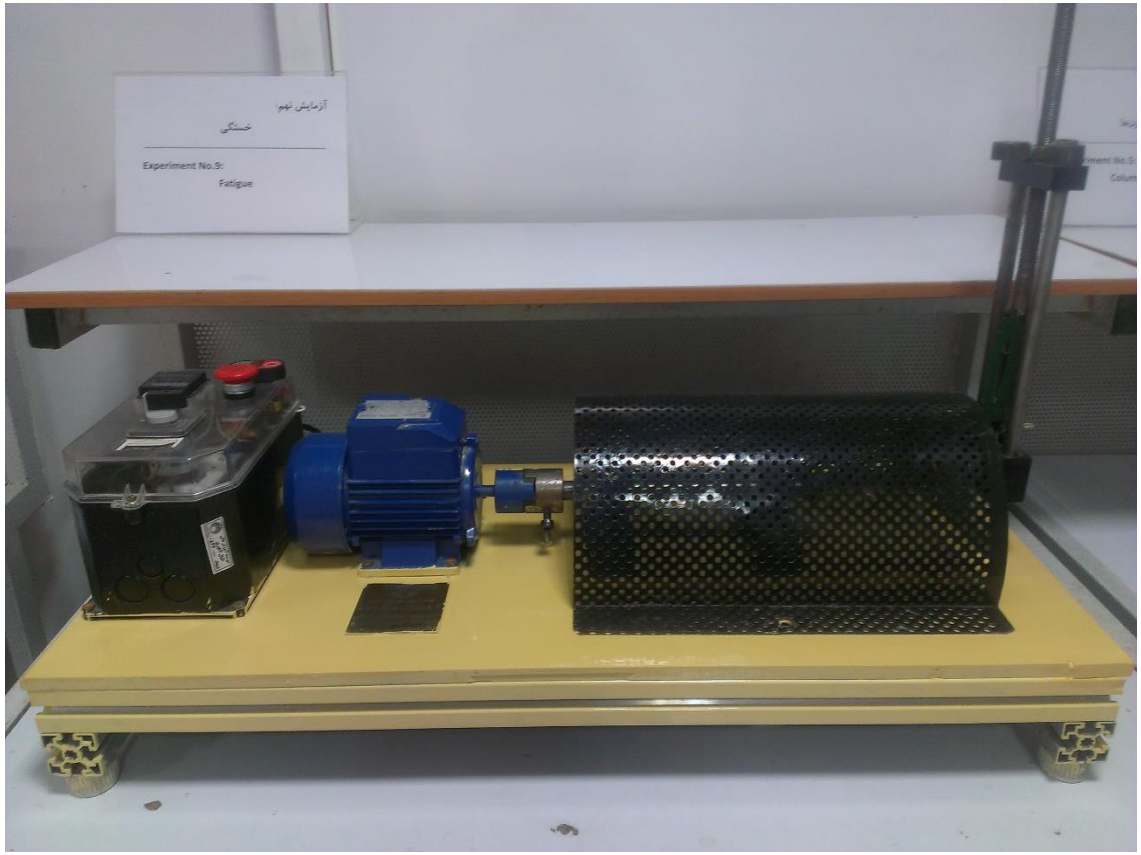
Reliability, %	Transformation Variate z_a	Reliability Factor k_e
50	0	1.000
90	1.288	0.897
95	1.645	0.868
99	2.326	0.814
99.9	3.091	0.753
99.99	3.719	0.702
99.999	4.265	0.659
99.9999	4.753	0.620

k_f : ضریب اثرات متفرقه که در مسئله حاضر ۱ در نظر گرفته می شود.

وسایل انجام آزمایش

- دستگاه آزمایش خستگی
- نمونه آزمایش خستگی از جنس برنج

دستگاه آزمایش



شکل ۴: تصویر دستگاه آزمایش

روش انجام آزمایش

۱- ابعاد نمونه را اندازه گیری کنید.

۲- یاتاقان متحرک را آنقدر پایین بیاورید که همسطح محور چرخنده ماشین قرار گیرد.

۳- نمونه را در محل خود بین یاتاقان و محور چرخان قرار داده و توسط مهره آن را محکم کنید.

۴- با چرخانده پیچ نیرو سنج ۲.۵ کیلوگرم نیرو به یاتاقان متحرک اعمال کنید.

۵- شمارنده دور دستگاه را صفر کرده و دستگاه را روشن کنید. برای چک کردن شمارنده، زمان شروع آزمایش را ثبت نمایید. (سرعت دستگاه ۲۸۰۰ دور بر دقیقه است)

۶- پس از شکست نمونه زمان را ثبت کرده و تعداد دور تا شکست را که روی شمارنده دستگاه نشان داده شده است، ثبت کنید.

۷- آزمایش را برای بار ۵ و ۷.۵ کیلوگرم نیز تکرار کرده و نتایج را با مقدار تئوری مقایسه نمایید.

محاسبه مقادیر تئوری

با استفاده از روابط تئوری زیر می توان تعداد دور را تا شکست نمونه یادداشت کرد.

۱. محاسبه گشتاور خمشی:

$$M_D = 0.048P\ (N.m)$$

۲. محاسبه تنش متناوب:

$$\sigma_a = \frac{32M_D}{\pi R^3}\ (Pa)$$

۳. محاسبه ضرایب a و b:

$$a = \frac{(f S_{ut})^2}{S_e}$$

$$b = -\frac{1}{3}\log\left(\frac{f S_{ut}}{S_e}\right)$$

۴. محاسبه تعداد دور تا شکست:

$$N = \left(\frac{\sigma_{rev}}{a}\right)^{1/b}$$

جدول داده‌های آزمایشگاهی

$$M_D = 0.048P\ (N.m) \qquad a = \frac{(f S_{ut})^2}{S_e} \qquad N = \left(\frac{\sigma_{rev}}{a}\right)^{1/b}$$

$$\sigma_a = \frac{32M_D}{\pi R^3}\ (Pa) \qquad b = -\frac{1}{3}\log\left(\frac{f S_{ut}}{S_e}\right)$$

بار (kg)	گشتاور خمشی (N.m)	تنش متناوب (Pa)	محاسبه تئوری دور تا شکست (N)	محاسبه تجربی دور تا شکست (N)
۲.۵				
۵				
۷.۵				

خواص مکانیکی نمونه برنجی:

$S_{ut} = 510\ MPa$ $E = 105\ GPa$ $G = 39\ GPa$

خواسته های آزمایش

- **پس از انجام این آزمایش مطلوب است:**

۱. تنش را برای تمام آزمایش ها محاسبه کرده و نتایج بدست آمده را در جدول ثبت کنید.

۲. منحنی S-N را برای نمونه برنجی مورد آزمایش رسم کنید.

۳. سطح مقطع شکست نمونه ها در دامنه تنش کم و زیاد را بررسی و با هم مقایسه کنید.

روش گزارش کار نویسی

- **گزارش کار باید شامل بخش های زیر باشد:**

۱- صفحه اول: عنوان آزمایش، شماره آزمایش، تاریخ انجام آزمایش

۲- صفحه دوم: فهرست مطالب

۳- سایر صفحات: اهداف آزمایش، تئوری آزمایش، وسایل انجام آزمایش، روش انجام آزمایش، ثبت نتایج، ترسیم منحنی‌های خواسته شده، محاسبه درصد خطا، بررسی عوامل خطا، نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادات

پیامبر اکرم (ص):

بهترین کارها در نزد خدا نماز به وقت است، آنگاه نیکی به پدر و مادر، آنگاه جنگ در راه خدا.