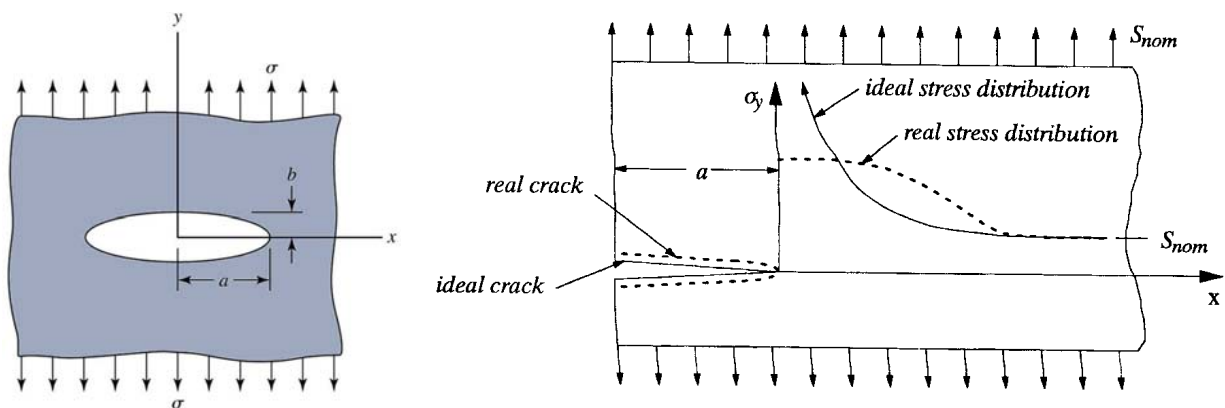


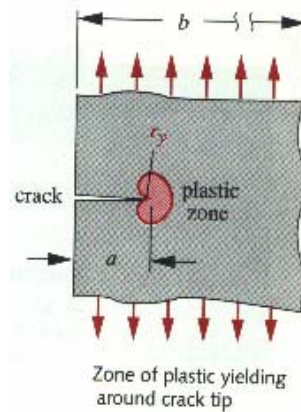
▪ گسیختگی در اثر وجود ترک:

- ❖ ترک عیبی میکروسکوپی است که معمولاً در سطح مصالح مهندسی و یا در عمق آنها ممکن است وجود داشته باشد. شعاع انحنای نوک ترک بسیار کم و در نتیجه تمرکز تنش بسیار بزرگ می شود.
 - ❖ روابط و نمودارهای ضریب تمرکز تنش برای قطعاتی کاربرد دارد که ابعاد هندسی آنها به خصوص در نواحی دارای تنش های بزرگ به طور دقیق معلوم باشد.
 - ❖ در شرایطی که ترک، شیار، ناخالصی و عیوب کوچک نا شناخته در قطعه وجود دارد، تحلیل های مبتنی بر رفتار الاستیک و استفاده از ضرایب تمرکز تنش معتبر نمی باشد.
 - ❖ ترک در قطعه زیر بار رشد می کند و در تنشی بسیار کمتر از تنش تسلیم، شکست رخ می دهد.
 - ❖ تنش لازم برای رشد ترک در یک قطعه بسیار کمتر از تنش لازم برای ایجاد ترک است.
- به کمک تحلیل الاستیک یک قطعه، می توان تنش های متوسطی که موجب رشد ترک در قطعه می شوند را برآورد نمود. مکانیک شکست (fracture mechanics) به مطالعه و بررسی رفتار مودهای مختلف انتشار ترک، بررسی اثرات طول ترک در شکست و طول بحرانی ترک در شکست مواد و ایجاد ترک می پردازد.

▪ فاکتور شدت تنش stress intensity factor :



در یک قطعه با ترک عرضی به طول $2a$ که توزیع محلی تنش مطابق شکل فوق است، شرایطی که ترک رشد می کند توسط فاکتور شدت تنش K بیان می شود. توزیع تنش در نزدیکی نوک ترک باعث تسلیم موضعی شده و مقدار تنش متناسب با فاکتور شدت تنش است:



$$K_0 = \sigma_{nom} \sqrt{\pi a}$$

$$K_i = Y K_0 = Y \sigma_{nom} \sqrt{\pi a}$$

σ_{nom} : تنش نامی در غیاب ترک

Y : ضریب تاثیر هندسه قطعه ($Y = K_i / K_0$)

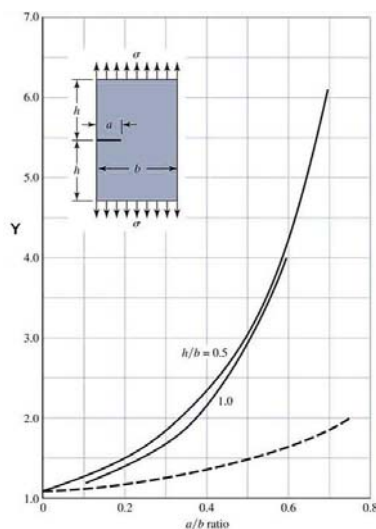
a : نصف طول ترک

توجه: ابعاد ترک نسبت به ابعاد قطعه بسیار کوچک است.

▪ چقرمگی شکست (K_{ci}) : Fracture toughness

مقدار بحرانی فاکتور شدت تنش را چقرمگی شکست (K_{ci}) گویند که در آن ترک رشد می کند

❖ چقرمگی شکست یکی از مشخصه های مواد (یا قطعات) است
اگر فاکتور شدت تنش (K_i) کمتر از مقدار بحرانی (K_{ci}) باشد در بارگذاری استاتیکی و محیط غیر خورنده ترک در وضعیت پایدار است.



❖ اگر به دلیل رشد ترک یا افزایش تنش ($K_i > K_{ci}$) شود ترک رشد ناگهانی خواهد داشت.

❖ در محیط غیر خورنده و بارگذاری نوسانی ترک بصورت تدریجی رشد می کند.

❖ در محیط خورنده رشد ترک سریع است.

❖ ضریب اطمینان طراحی بر اساس مکانیک شکست بر اساس رابطه زیر است:

$$FS = \frac{K_{ci}}{K_i}$$

❖ مقادیر بحرانی فاکتور شدت تنش (K_{ci}) بر اساس نتایج تجربی در دسترس است

Material	Yield Stress, S_y		Fracture Toughness, K_{ci}	
	ksi	Mpa	ksi in ^{1/2}	Mpa m ^{1/2}
Metals				
Aluminum alloy 2024-T351	47	325	33	36
Aluminum alloy 7075-T651	73	505	26	29
Alloy steel 4340 tempered at 260°C	238	1640	45.8	50.0
Alloy steel 4340 tempered at 425°C	206	1420	80.0	87.4
Titanium alloy Ti-6Al-4V	130	910	40-60	44-66
Ceramics				
Aluminum oxide			2.7-4.8	3.0-5.3
Soda-lime glass			0.64-0.73	0.7-0.8
Concrete			0.18-1.27	0.2-1.4
Polymers				
Polymethyl methacrylate			0.9	1.0
Polystyrene			0.73-1.0	0.8-1.1

مثال: تعیین طول ترک بحرانی در شرایط محیط:

<i>I) AISI 4340(260°c)</i> $\sigma_{yp} = 1640 \text{ MPa}$ $\sigma_{nom} = 1312 \text{ MPa}$ $K_{ci} = 50 \text{ MPa}\sqrt{m}$ $a_{max} = \frac{K_{ci}^2}{\pi\sigma_{nom}^2} = 0.46 \text{ mm}$	<i>II) Aluminum Alloy 7075-T651</i> $\sigma_{yp} = 505 \text{ MPa}$ $\sigma_{nom} = 404 \text{ MPa}$ $K_{ci} = 29 \text{ MPa}\sqrt{m}$ $a_{max} = 1.64 \text{ mm}$
---	---

❖ فولاد آلیاژی AISI 4340 نسبت به آلومینیم آلیاژی 7075 به طول ترک حساسیت بیشتری دارد.

تنش های مجاز در بارگذاری استاتیکی بر اساس تنش تسلیم یا استحکام نهایی برای بارگذاریهای دینامیکی (نوسانی و ضربه ای) قابل استفاده نیست زیرا:

- ❖ بارگذاری نوسانی باعث ایجاد تنش ها و کرنش های نوسانی می شود.
- ❖ شکست در اثر افزایش تدریجی صدمات در طی عمر قطعه رخ می دهد.
- ❖ بسیاری از مشنصه های مصالح تابعی از سرعت بارگذاری هستند.

▪ خستگی Fatigue :

نوع خاصی از گسیختگی مکانیکی در اثر افزایش تدریجی صدمات ناشی از اعمال بارهای متغیر و در تنش هایی بسیار کمتر از تنش تسلیم را گسیختگی در اثر خستگی می نامند.

- ❖ اولین نمونه های خستگی در پلها و محور قطارها در قرن هجدهم مشاهده شد.
- ❖ اکثر گسیختگی ها در اجزای ماشین در حالت بارگذاری متغیر مشاهده می شود
- ❖ امروزه خسارات ناشی از خستگی در کشورهای صنعتی به 3% GNP می رسد.

▪ رشد ترک عامل گسیختگی در خستگی:

- ❖ ترک در فرآیند تولید قطعه یا در مرحله بارگذاری ایجاد می شود و در طی زمان رشد می کند.
- ❖ در بارگذاری متغیر ترک ها از محل تمرکز تنش یا در سطح قطعه ایجاد و در طی زمان رشد می کند.
- ❖ اگر طول ترک به طول بحرانی برسد رشد ناگهانی خواهد داشت.



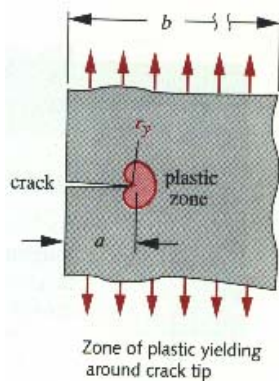
▪ مراحلم گسیختگی در اثر خستگی:

۱- ایجاد ترک :

وجود عیوب میکروسکوپی، ناخالصی ها و غیر ایزوتروپ بودن مواد در مقیاس میکروسکوپی و توزیع درهم کریستالهای فلزی باعث تمرکز تنش های موضعی و در نتیجه تسلیم موضعی و ایجاد ترک می شود. این مرحله در فرآیند تولید و یا در ابتدای بارگذاری می تواند مشاهده شود.



۲- رشد ترک:



❖ افزایش تنش در نوک ترک باعث ایجاد ناحیه پلاستیک در این ناحیه می شود.

❖ در هر مرحله از اعمال تنش کششی، ترک باز شده و کمی رشد می کند.

❖ در هر مرحله از اعمال تنش فشاری ترک بسته شده و تنش در نوک ترک کاهش یافته و ترک تیز می شود.

❖ هر گاه تنش های موضعی در نوک ترک از تنش تسلیم تجاوز کند فرآیند فوق رخ می دهد.

❖ در اکثر موارد، رشد ترک در صفحه ای عمود بر تنش های کششی بیشینه مشاهده می شود.

❖ بارگذاری های نوسانی که فقط شامل تنش های فشاری باشند باعث رشد ترک نمی شود.

❖ سرعت رشد ترک بسیار کند و از مرتبه $(10^{-7} \text{ تا } 10^{-3} \text{ mm / cycle})$ است.

❖ ترک در محیط خورنده، تحت بارگذاری استاتیکی نیز رشد می کند.

❖ در محیط خورنده ترک تحت بارگذاری نوسانی بسیار سریعتر رشد می کند.

❖ فرکانس بارگذاری بر رشد ترک در محیط عادی تاثیر جدی ندارد (اما بر محیط های خورنده مؤثر است).

❖ فرکانس های پایین در محیط های خورنده سرعت رشد ترک در هر سیکل را افزایش می دهد.

۳- شکست:

افزایش رشد ترک در بارگذاری نوسانی یا در محیط خورنده، قطعه را به شرایط بحرانی می رساند به طوریکه در سیکل بعدی گسیختگی ناگهانی بدون هیچگونه علائم ظاهری رخ می دهد.

▪ روش های کاهش اثرات فستگی:

❖ کاهش عیوب اولیه (ناخالصی ها، حفره و...) و عیوب سطحی (سنگ زدن و ماشین کاری)

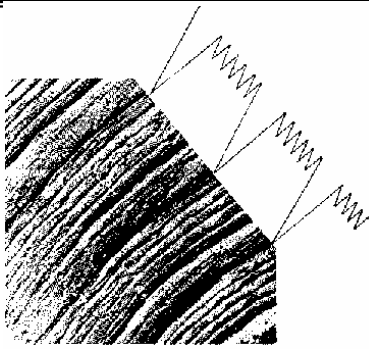
❖ افزایش مدت ایجاد ترک:

کاهش تنش ها کششی پس ماند در سطح قطعه یا افزایش تنش های فشاری پسماند

عملیات حرارتی (carburizing , nitriding , cyaniding)

عملیات سطحی (shot peening , cold working)

پیش تنیدگی



❖ افزایش مدت رشد ترک :

سرعت رشد ترک در مواد نرم کمتر از مواد ترد است.

سرعت رشد ترک در امتداد مرزدانه بیشتر است.

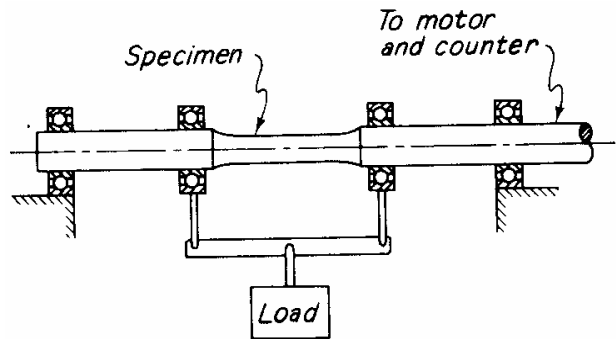
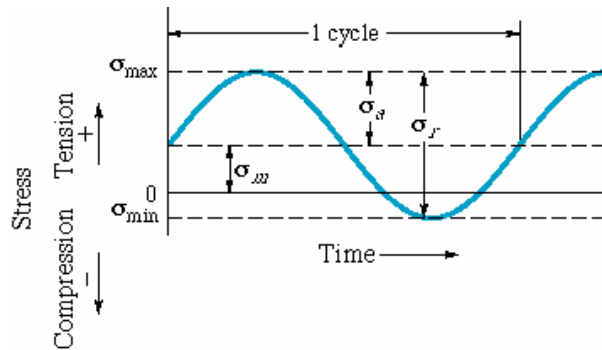
❖ افزایش طول بهرانی ترک:

پهنمگی شکست به سختی مصالح وابسته است.

وظیفه طراح، انتخاب مواد و انتخاب فرآیند ساخت مناسب با توجه به شرایط طراحی می باشد.

▪ تغییرات تنش در بارگذاری نوسانی:

اگر چه تغییرات زمانی بارگذاری در حالت عمومی نا مشخص است اما در تحلیل ها به صورت نوسانات پریودیک با دامنه ثابت در نظر گرفته می شود.



$$\sigma_m = \frac{\sigma_{\max} + \sigma_{\min}}{2} \quad \text{تنش متوسط}$$

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{2} \quad \text{دامنه تنش}$$

$$R_s = \frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}} \quad \text{نسبت تنش}$$

$$A_a = \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{\sigma_{\max} + \sigma_{\min}} \quad \text{نسبت دامنه}$$

▪ در تحلیل های فستگی چهار حالت مورد مطالعه قرار گرفته است:

تغییرات تنش حول مقدار متوسط صفر: $\sigma_m = 0, R_s = -1, A_a = \infty$

تغییرات تنش حول مقدار متوسط غیر صفر: $\sigma_m \neq 0$

تغییرات تنش بدون تنش فشاری: $\sigma_{\min} = 0, R_s = 0, A_a = 1, \sigma_m = \frac{\sigma_{\max}}{2}$

تغییرات تنش بدون تنش کششی: $\sigma_{\max} = 0, R_s = \infty, A_a = -1, \sigma_m = \frac{\sigma_{\min}}{2}$

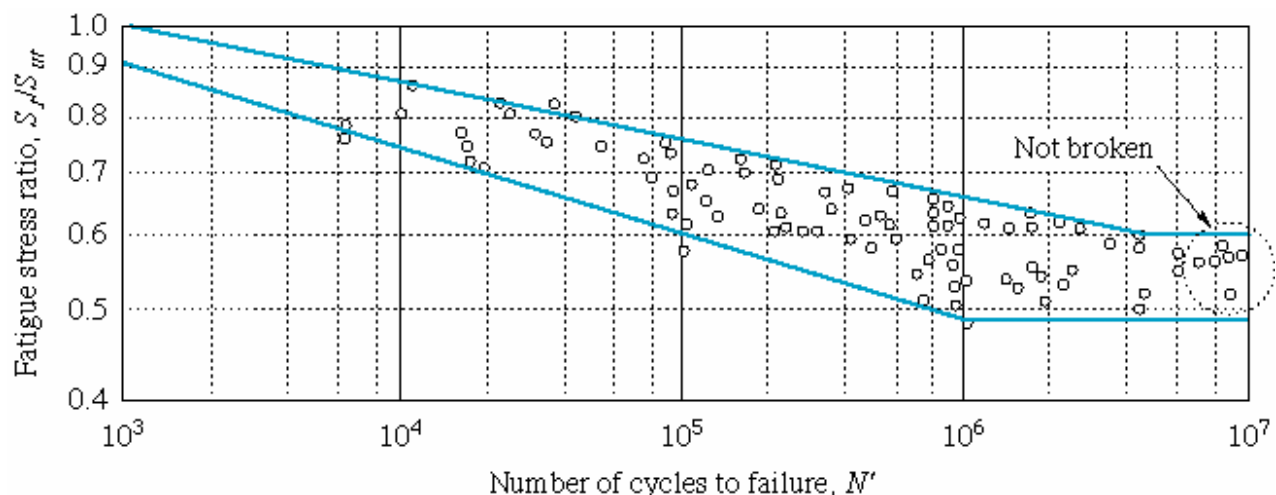
▪ استحکام مصالح در خستگی:

- ❖ مصالح بدون عیب و یا دارای عیوب قابل پیش بینی با قانونی دقیق وجود ندارد. بر این اساس تحلیل تئوریک و دقیق در خستگی غیر ممکن است.
- ❖ کیفیت‌های ناشی از خستگی همیشه از عیوب مطلق آغاز و به صورت رشد ترک ظاهر می شود.
- ❖ در فرایند رشد ترک، کرنش‌های پلاستیک نوسانی وجود دارد و مشخصات مکانیکی مواد مثل تنش تسلیم در نوک ترک متغیر است و نمی توانند مبنای طراحی قرار گیرد.
- ❖ آزمایشات تهری خستگی روی نمونه های ایده آل و در شرایط استاندارد حاوی نتایجی است که از دیدگاه آماری بیانگر استحکام مکانیکی در شرایط بارگذاری خستگی است و می تواند مبنای طراحی قرار گیرد.

▪ نمودارهای تجربی S-N

برای تعیین استحکام مواد در خستگی، نمونه ها تحت بار نوسانی ارزیابی می شوند. رسم نتایج تجربی تعداد سیکل بارگذاری تا گسیختگی تحت بارگذاری خمشی خالص در آزمایش محور گردان مور (تنش برشی صفر) نشان می دهد که:

- ❖ بعضی مواد مانند آلیاژهای آهن و تیتانیوم، در تنش هایی کمتر از دامنه ای خاص، عمر بینهایت دارند. به این مقدار تنش مرزی "حد دوام (endurance limit)" گفته می شود.



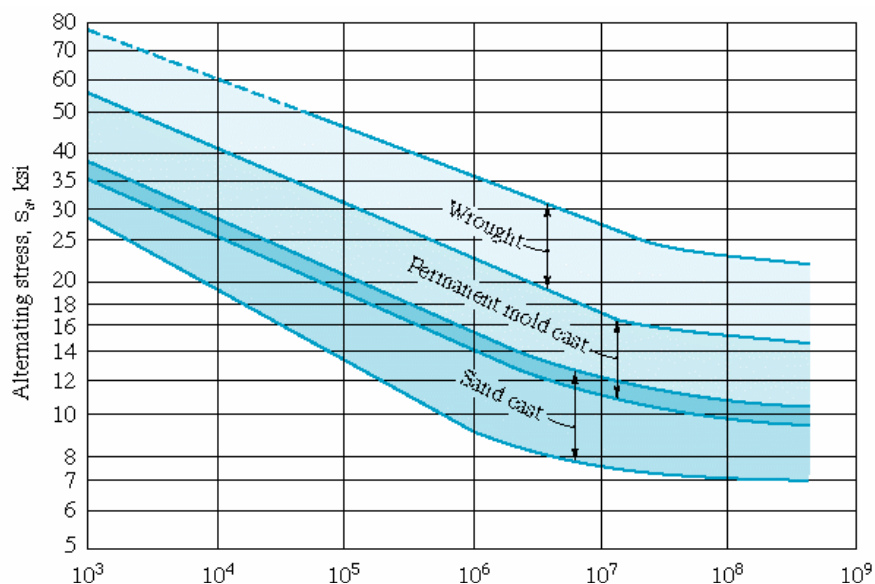
Fatigue strengths as a function of number of loading cycles.

Ferrous alloys, showing clear endurance limit.

تنش مجاز در طراحی اجزاء ماشین- بارگذاری دینامیکی

❖ غالب آلیاژهای غیر آهنی (مس، آلومینیوم، منیزیم و ...) حد دوام ندارند و با افزایش عمر، استحکام فستکی آنها کاهش می یابد.

❖ حد دوام به روش تولید، پرداخت سطح، هندسه قطعه، شرایط بارگذاری، دمای محیط و ... بستگی دارد.



Fatigue strengths as a function of number of loading cycles.

Aluminum alloys, with less pronounced knee and no endurance limit.

❖ روش های تحلیل فستکی، مبتنی بر علمی که قادر به توجیه پیرایی شکست های فستکی باشد نیست. بلکه مبتنی بر تجربیات مهندسی است

❖ طراحی باید به گونه ای باشد که محصول دارای عمری طولانی بوده و عملکردی مطمئن داشته باشد هرچند که علم قادر به توجیه علل واقعی فستکی نباشد.

▪ مقادیر تقریبی حد دوام مصالح مهندسی:

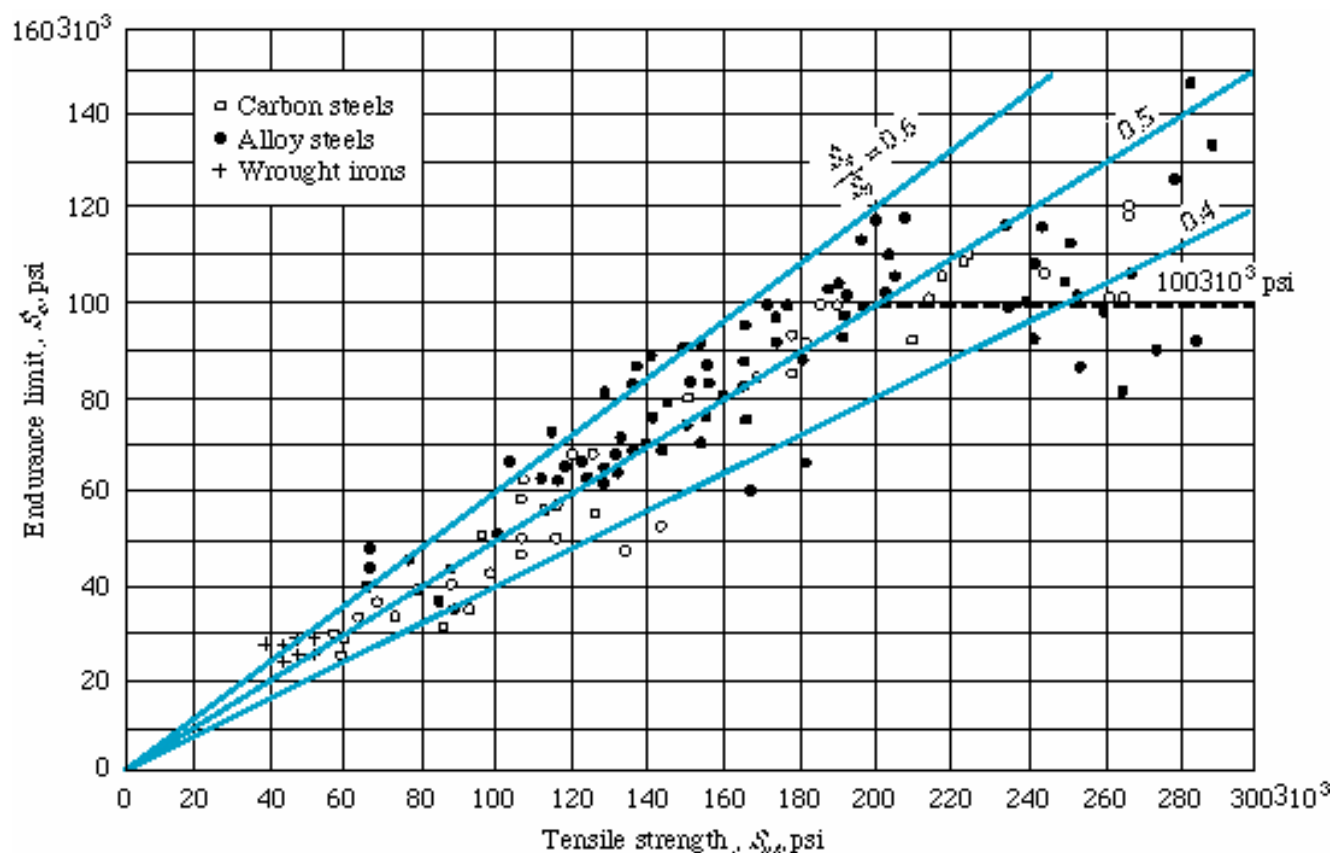
بر اساس مشاهدات تجربی، رابطه ای بین کمترین استحکام کششی و حد دوام (σ'_e) برقرار است.

▪ حد دوام متوسط فولادهای کار شده با سطح پرداخت شده و بدون تمرکز تنش:

$\sigma'_e = 0.5\sigma_u$	$\sigma_u \leq 1400 \text{ MPa}$
$\sigma'_e = 700 \text{ MPa}$	$\sigma_u > 1400 \text{ MPa}$

▪ متوسط حد دوام فولادها و چدنهای ریختگی:

$\sigma'_e = 0.45\sigma_u$	$\sigma_u \leq 600 \text{ MPa}$	خمش خالص :
$\sigma'_e = 275 \text{ MPa}$	$\sigma_u > 600 \text{ MPa}$	خمش خالص :



Endurance limit as a function of ultimate strength for wrought steels

Approximate endurance limit for various materials

Material	Number of Cycles	Relation
Magnesium alloys	10^8	$S'_e = 0.35 S_u$
Copper alloys	10^8	$0.25 S_u < S'_e < 0.5 S_u$
Nickel alloys	10^8	$0.35 S_u < S'_e < 0.65 S_u$
Titanium	10^7	$0.45 S_u < S'_e < 0.65 S_u$
Aluminum alloys	5×10^8	$S'_e = 0.45 S_u (S_u < 48 \text{ksi})$ $S'_e = 19 \text{ksi} (S_u \geq 48 \text{ksi})$

▪ (ژیم های مختلف خستگی :

▪ خستگی در تعداد سیکل کم Low cycle fatigue:

اگر $N' < 1000$ باشد می توان از اثرات خستگی صرف نظر کرد زیرا افت استحکام در این محدوده کم است و می توان مشابه طراحی استاتیکی بر اساس تنش تسلیم عمل کرد. برای فولاد:

❖ خمش خالص: $\sigma'_f = 0.9\sigma_u$

❖ منور: $\sigma'_f = 0.75\sigma_u$

❖ پیچش: $\sigma'_f = 0.72\sigma_u$

▪ خستگی در تعداد سیکل زیاد و عمر محدود: High-cycle, Finite life fatigue

سرعت کاهش استحکام خستگی در محدوده $10^3 < N' < 10^6$ زیاد است.

$$\left. \begin{matrix} \sigma'_f = 0.9\sigma_u, N' = 10^3 \\ \sigma'_f = \sigma'_e, N' = 10^6 \end{matrix} \right\} \Rightarrow \begin{cases} \sigma'_e = aN'^b \\ a = \frac{(0.9\sigma_u)^2}{\sigma'^2_e}, b = -\frac{1}{3} \log \frac{0.9\sigma_u}{\sigma'_e} \end{cases}$$

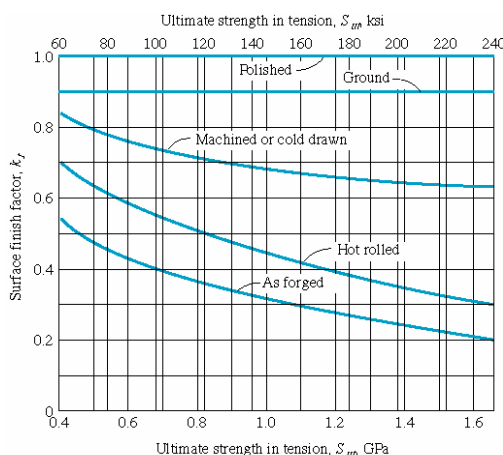
▪ خستگی در تعداد سیکل زیاد و عمر نامحدود: High-cycle, infinite-life fatigue

استحکام در حد دوام به عنوان تنش مجاز موادی که دارای حد دوام هستند مورد نظر است و برای سایر موارد، استحکام در عمر محدود طولانی (10^8 یا 10^{10} سیکل) مبنای طراحی است.

▪ ضرایب تصحیح حد دوام:

شرایط کار واقعی با شرایط آزمایشات استاندارد متفاوت است و حد دوام نسبت به این شرایط به کمک رابطه زیر اصلاح می شود:

$$\sigma_e = k_f k_s k_r k_t k_m \sigma'_e$$

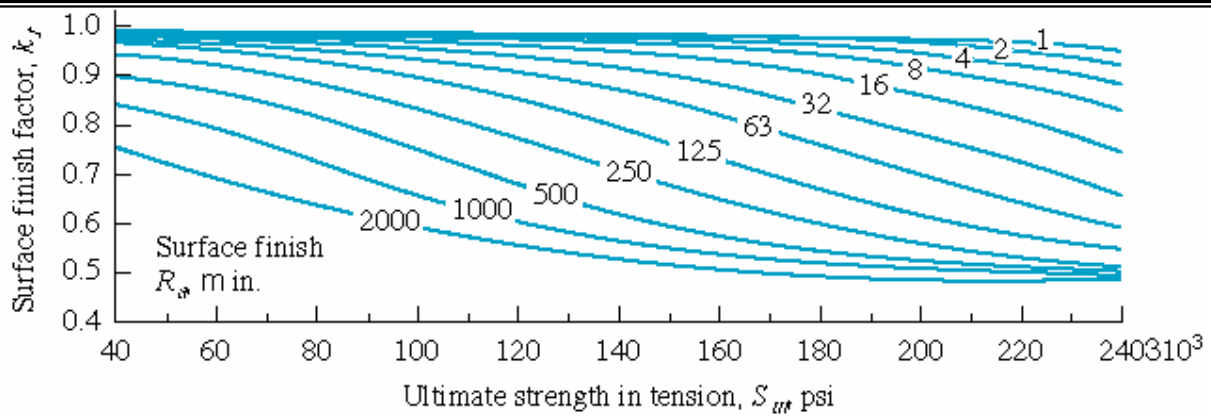


(a)

Surface finish factors for steel
Function of ultimate strength in tension for
different machine processes.

k_f : ضریب تاثیر پرداخت سطح

Surface finish factor



(b)

Surface finish factors for steel

Function of ultimate strength and surface roughness as measured with a stylus profilometer

k_s : ضریب تاثیر اندازه قطعه

بدون توجه به روش ساخت، در قطعات بزرگتر عیوب بیشتری وجود دارد و استحکام خستگی کمتر است.

$k_s = 1$		قطعات مدور در بار محوری:
$k_s = 1$	$d \leq 8^{mm}$	قطعات مدور در خمش یا پیچش
$k_s = 1.189 d^{-0.112}$	$8^{mm} < d \leq 250^{mm}$	

k_r : ضریب قابلیت اعتماد Reliability factor:

با توجه با اینکه خستگی یک فرآیند قطعی و تکرار پذیر برای نمونه های مختلف نمی باشد، این ضریب بر اساس میزان قطعیت اطلاعات و قطعیت شرایط کارکرد تعیین می شود. جدول زیر براساس انحراف معیار 8% ($s_d = 0.08\mu$) (حد بالای انحراف معیار در حد دوام فولاد ها) در توزیع σ_e تنظیم شده است. معمولاً مقادیر متوسط مشخصه های مواد در جداول داده می شود.

Probability of survival, percent	Reliability factor, k_r
50	1.00
90	0.90
95	0.87
99	0.82
99.9	0.75
99.99	0.70

k_t : ضریب تاثیر دما : Temperature factor

در بسیاری از موارد، قطعات در دمای بالاتر یا پایین تر از محیط کار می کنند که باعث تغییر در استحکام قطعه می شود.

$$k_t = \sigma_{ut} / \sigma_{ut}(\text{room temp.})$$

k_m : ضریب تاثیر عوامل دیگر :

پارامترهای متنوعی می توانند بر استحکام خستگی موثر باشند که بعضی موارد عبارتند از:

▪ رویه تولید:

❖ فرآیند تولید (مراحل تولید، تقدم و تاخر فرآیندها و ...)

❖ روش تولید (نورد، تزریق، کشش و ...)

▪ تنش های پس ماند:

❖ عملیات طراحی (Quenching, Tempering, Annealing, Normalizing, ...)

❖ فرآیند تولید (نورد، فورج، تزریق، ماشین کاری و ...)

❖ عملیات سطحی (Shot peening, ...)

▪ پوشش دهی (Electroplating, Anodizing, ...)

▪ خوردگی

▪ عمر فستگی:

در شرایط واقعی، ممکن است قطعه تحت بار گذاری با دامنه های متفاوت قرار گیرد:

σ_i : تنش هایی که قطعه تحمل می کند.

N'_i : عمر قطعه تحت تنش σ_i تا گسیختگی

n'_i : مدتی که قطعه در تنش σ_i کار کرده است

n'_i / N'_i : نسبت مدت کار در تنش σ_i به کل عمر قطعه

اگر در هر مرحله از اعمال تنش σ_i ، قطعه کمی به گسیختگی کامل نزدیک شود، گسیختگی زمانی رخ می دهد که:

$$\text{Miner's rule: } \frac{n'_1}{N'_1} + \frac{n'_2}{N'_2} + \frac{n'_3}{N'_3} + \dots \geq 1$$

اگر N'_t عمر قطعه (تعداد کل سیکل ها) در بارگذاری های مختلف و α_i نسبت عمر در تنش σ_i به عمر کل قطعه باشد:

$$n'_i = \alpha_i N'_t \Rightarrow \frac{\alpha_1}{N'_1} + \frac{\alpha_2}{N'_2} + \dots \geq \frac{1}{N'_t}$$

▪ تنش مجاز فستگی ($\sigma_m = 0$):

در بارگذاری نوسانی حول $\sigma_m = 0$ و برای عمر طولانی، حد دوام σ_e مبنای تعریف تنش مجاز می باشد:

$$\sigma_{all} = \frac{\sigma_e}{K_f \cdot F_s}$$

F_s : ضریب اطمینان

K_f : ضریب تمرکز تنش خستگی

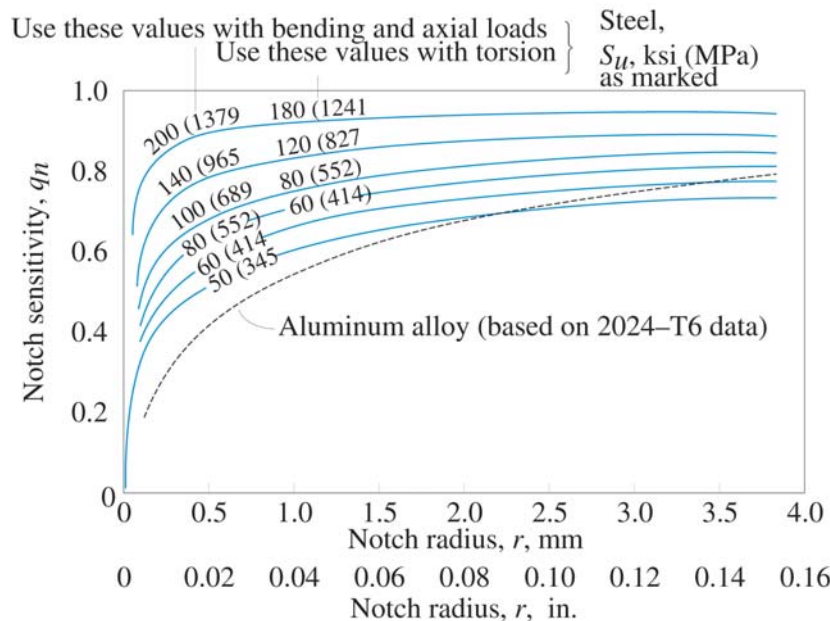
▪ ضریب تمرکز تنش فستگی:

$$K_f = \frac{\text{حد دوام در شرایط استاندارد}}{\text{حد دوام واقعی}}$$

❖ تمرکز تنش در بارگذاری استاتیکی تابع هندسه قطعه است.

$$q_n = \frac{K_f - 1}{K_s - 1} \Rightarrow K_f = 1 + (K_s - 1)q_n$$

❖ تمرکز تنش در فستگی تابع هندسه قطعه، جنس قطعه و نوع بارگذاری است.



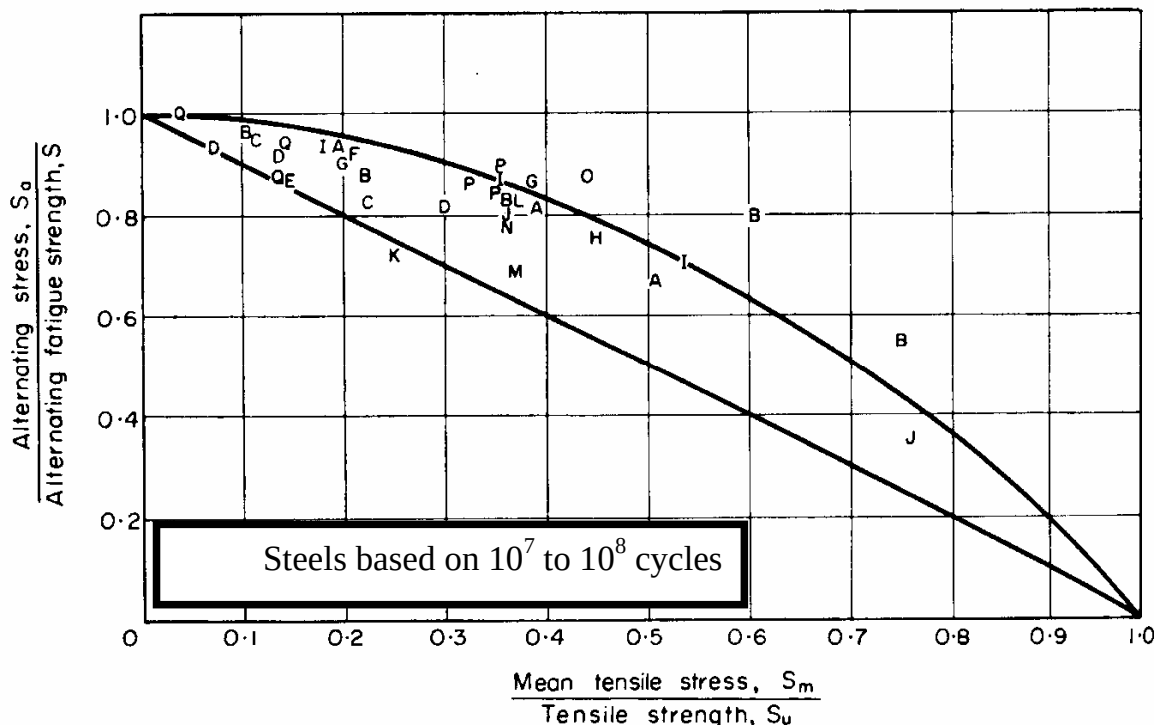
❖ q_n : ضریب تاثیر شیار (notch sensitivity factor)

❖ فولادهای با استحکام بالاتر، حساسیت بیشتری به وجود شیار دارند.

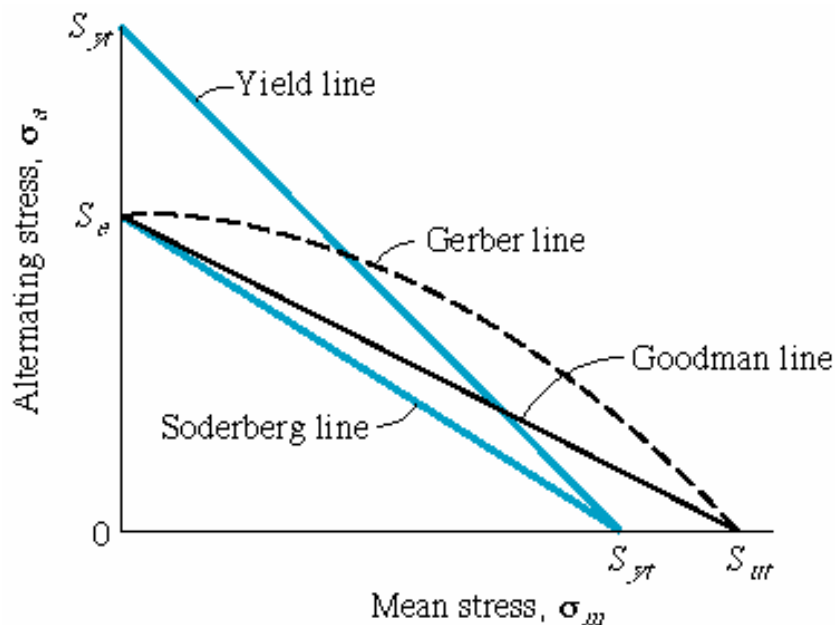
❖ حساسیت به وجود شیار در بارگذاری پیمشی فولادها نسبت به بارگذاری موری و خمشی بیشتر است.

▪ معیارهای گسیختگی خستگی در بارگذاری نوسانی ($\sigma_m \neq 0$):

نتایج تجربی نشان دهنده تأثیر مقدار تنش متوسط σ_m بر گسیختگی است.



با توجه به نتایج فوق، می توان مرزی برای گسیختگی ناشی از خستگی در حالت ($\sigma_m \neq 0$) به کمک نمودارهای تجربی S-N با $\sigma_m = 0$ تعیین نمود.



معیار های مختلفی بر اساس نتایج تجربی تدوین شده است که در کلیه موارد مرز گسیختگی برای مقادیر مختلف σ_m و σ_a به وسیله یک خط مشخص شده است.

▪ خط گربر Gerber line : منحنی بهینه گذارنده شده از میان نتایج تجربی

$$(K_f.Fs.\sigma_a) = S_e \left[1 - \left(\frac{Fs.\sigma_m}{\sigma_{ut}} \right)^2 \right] \Rightarrow \frac{K_f.Fs.\sigma_a}{\sigma_e} + \left(\frac{Fs.\sigma_m}{\sigma_{ut}} \right)^2 = 1$$

▪ خط گودمن Goodman line : منحنی گذارنده شده از زیر نتایج تجربی

$$(K_f.Fs.\sigma_a) = S_e \left[1 - \frac{Fs.\sigma_m}{\sigma_{ut}} \right] \Rightarrow \frac{K_f.\sigma_a}{\sigma_e} + \frac{\sigma_m}{\sigma_{ut}} = \frac{1}{Fs}$$

▪ خط تسلیم Yield line : منحنی گذارنده شده بر اساس رفتار در اولین سیکل بارگذاری

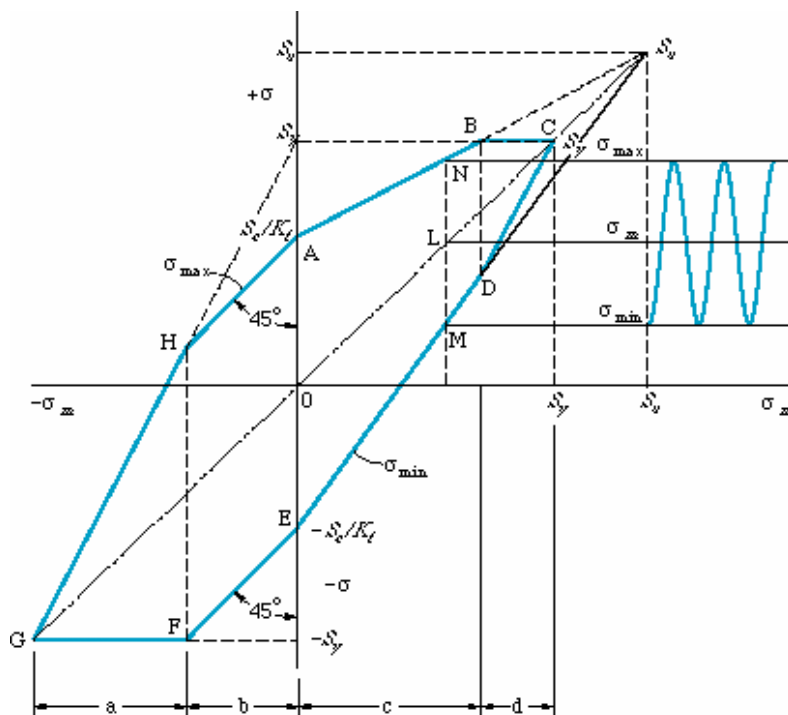
$$(K_f.Fs.\sigma_a) = \sigma_{yp} \left[1 - \frac{Fs.\sigma_m}{\sigma_{yp}} \right] \Rightarrow \frac{K_f.\sigma_a}{\sigma_{yp}} + \frac{\sigma_m}{\sigma_{yp}} = \frac{1}{Fs}$$

▪ خط سودربرگ Soderberg line : معیاری محافظه کارانه

$$(K_f.Fs.\sigma_a) = \sigma_e \left[1 - \frac{Fs.\sigma_m}{\sigma_{yp}} \right] \Rightarrow \frac{K_f.\sigma_a}{\sigma_e} + \frac{\sigma_m}{\sigma_{yp}} = \frac{1}{Fs}$$

▪ نمودار گودمن اصلاح شده Modified Goodman diagram :

این معیار ترکیبی از مرز گسیختگی خط گودمن Goodman line و خط تسلیم Yield line می باشد



تحت بارگذاری نوسانی، کلیه نقاط داخل منحنی در مقابل خستگی و تسلیم مقاوم هستند:

Goodman line: AB,DE,EF,HA

Yield line: BC,CD,FG,GH

Static load:CG

با مشخص بودن σ_u ، σ_{yp} و σ_e برای مصالح خاص، نمودار گودمن اصلاح شده قابل رسم است.

▪ تنش مجاز فستگی در بارگذاری نوسانی ($\sigma_m \neq 0$):

تنش مجاز خستگی در معیارهای مختلف بر اساس تنش تسلیم یا استحکام کششی تعریف میشود.

▪ تنش مجاز در معیار گرب:ر:

$$\sigma_{all} = \sigma_m \frac{\sigma_m}{\sigma_{ut}} + K_f \cdot \sigma_a \frac{\sigma_{ut}}{\sigma_e} = \frac{\sigma_{ut}}{F_S}$$

▪ تنش مجاز در معیار گودمن:

$$\sigma_{all} = \sigma_m + K_f \cdot \sigma_a \frac{\sigma_{ut}}{\sigma_e} = \frac{\sigma_{ut}}{F_S}$$

▪ تنش مجاز در معیار تسلیم:

$$\sigma_{all} = \sigma_m + \sigma_a = \frac{\sigma_{yt}}{F_S}$$

▪ تنش مجاز در معیار سودربرگ:

$$\sigma_{all} = \sigma_m + K_f \cdot \sigma_a \frac{\sigma_{yt}}{\sigma_e} = \frac{\sigma_{yt}}{F_S}$$

❖ مقدار ضریب اطمینان در بارگذاری نوسانی بستگی به پیکونگی تغییرات σ_a و σ_m در فضای تنش دارد.

❖ F_S در روابط فوق بیانگر کمترین ضریب اطمینان در نگاهی محافظه کارانه است. زیرا حالتی در نظر گرفته شده است که با کمترین تغییرات در σ_m و σ_a تنش به مرز کسینتگی می رسد.

▪ کسینتگی فستگی در موارد ترد:

❖ مواد ترد رفتار قطعی و تکرارپذیر ندارند و پراکندگی نتایج تجربی اطلاعات با قابلیت اعتماد بالا بدست نمی دهد.

❖ استفاده از ضریب اطمینان بالا در کاربرد مواد ترد در فستگی ضروری است.

❖ افزایش تنش متوسط فشاری امکان افزایش دامنه بارگذاری نوسانی را میسر می کند.