

Лом услед замора материјала

1

Замор материјала представља процес постепеног разарања материјала услед настанка и раста прслине до лома, под дејством дуготрајног дејства периодично променљивих оптерећења која су знатно нижа од статичког оптерећења и најчешће нема видљивих трагова пластичне деформације.

Лом услед замора настаје на месту концентрације напона и на том месту настаје стварање прслине која се услед дуготрајног деловања динамичког оптерећења шири и настаје трајни лом.

Процес замора материјала састоји се од три фазе:

- ❖ **Настајања (стварања) прслине**
- ❖ **Ширења(напредовања) раста прслине**
- ❖ **Коначног лома преосталог дела попречног пресека**

Одређивање динамичке чврстоће

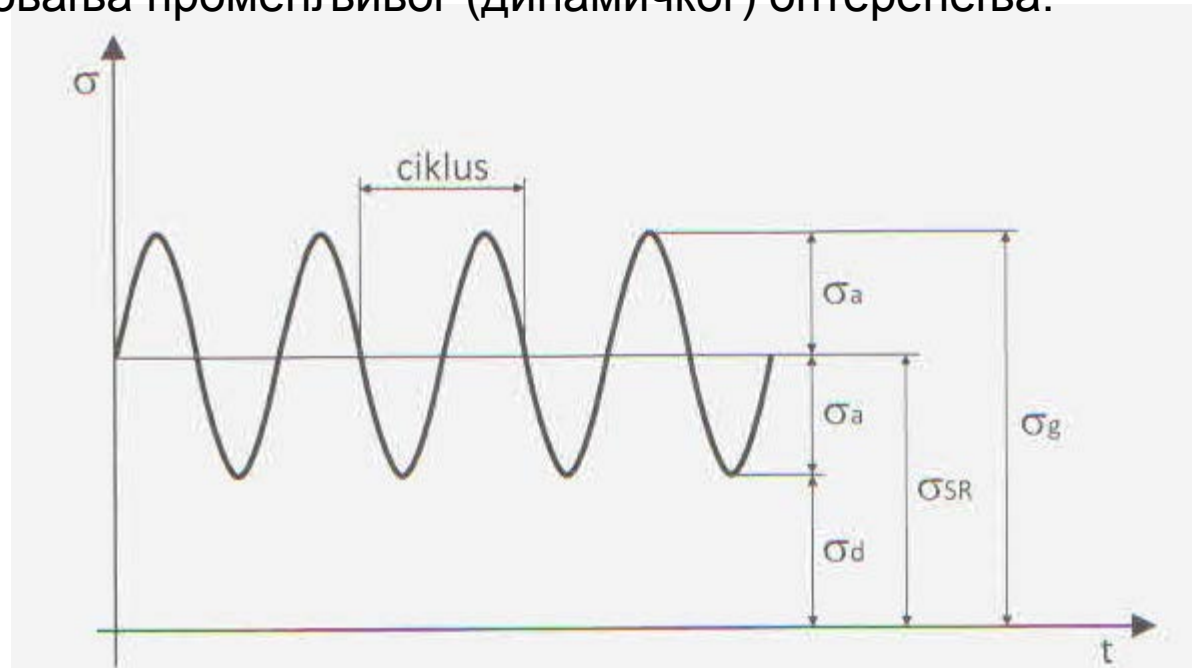
2

Динамичка чврстоћа је највећи напон који материјал може да издржати без лома при неограниченом броју промена оптерећења.

Испитивање динамичке чврстоће јесте утврђивање понашање материјала од којих су израђени машински елементи или елементи конструкција при условима дуготрајног деловања променљивог (динамичког) оптерећења.

Променљива оптерећења која се при томе применљују су:

- ❖ Затезна
- ❖ Притисна
- ❖ Савојна и
- ❖ Увојна



Слика 2 Синусоидална промена напона

Одређивање динамичке чврстоће

3

Напон променљиве вредности дефинише се према синусоидном закону промене, као што је приказано на слици 2:

σ_g - горњи напон, највећи напон у циклусу

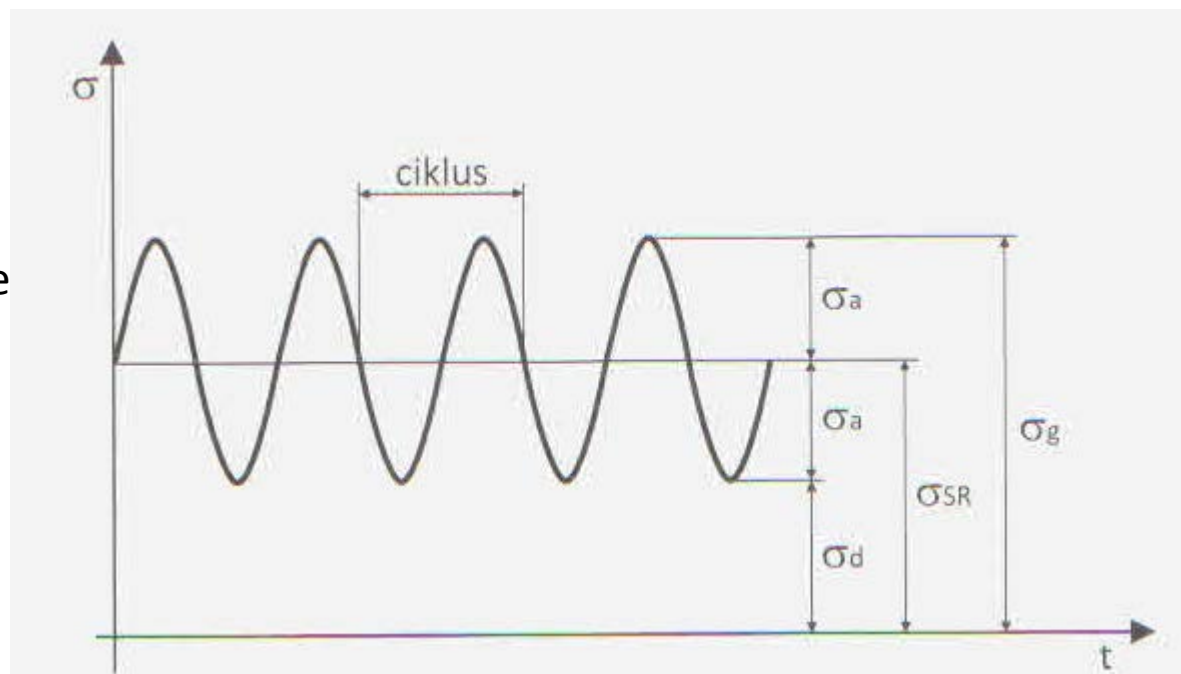
σ_d - доњи напон, најмањи напон у циклусу

σ_a - амплитуда напона, половина алгебарске разлике средине горњег и доњег напона

$$\sigma_a = \frac{\sigma_g - \sigma_d}{2}$$

$$\sigma_{sr} = \frac{\sigma_g + \sigma_d}{2}$$

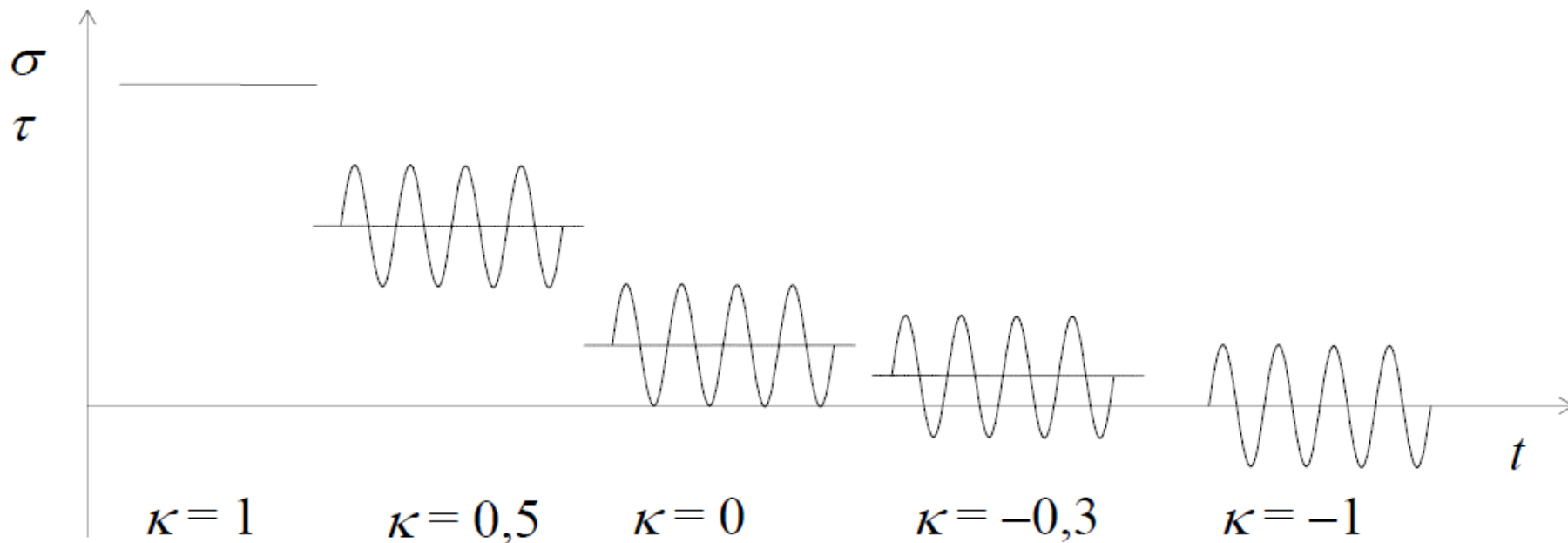
σ_{sr} - средњи напон, апсолутна вредност аритметичке средине горњег и доњег напона



Слика 2 Синусоидална промена напона

Различити типови синусоидалног променљивог оптерећења

4



Статичко оптерећење

Једносмерно променљиво
оптерећење

Наизменично
променљиво
оптерећење

Карактеристични циклуси променљивог оптерећења

Статичко или мирно оптерећење

5

Статички лом:

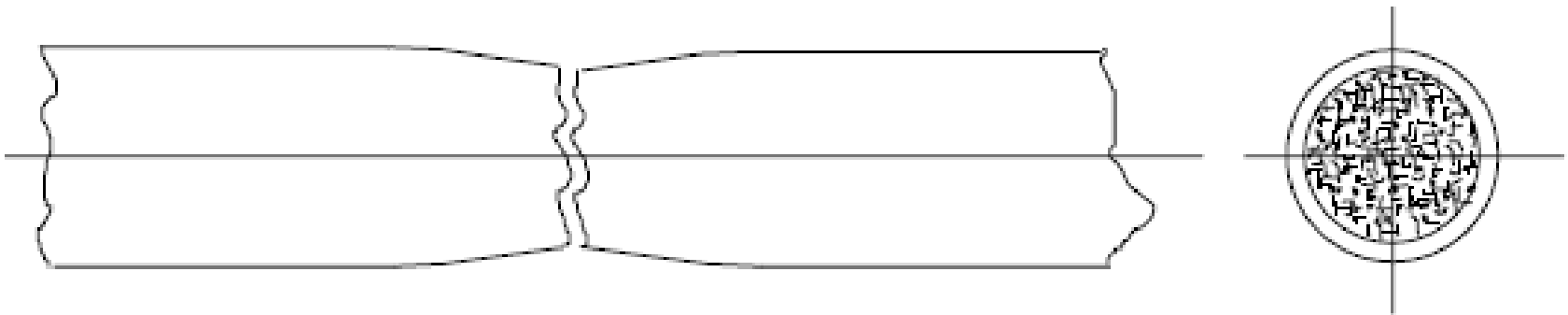
Јавља се код краткотрајних предоптерећења када је:

$$\sigma > R_m$$

$$\tau > R_{mt}$$

$$\sigma_e > R_m \text{ ili } R_{ms}$$

Статичко затезно оптерећење: када напрезање достиже вредност R_m :



Статичко оптерећење

6

Допуштена напрезања при статичком оптерећењу

А) Жилави (дуктилни) материјали:

Фактор сигурности:

$$\nu = 1,2 \dots 2.$$

$$\sigma_{dop} = \frac{R_{\epsilon}}{\nu} \quad \text{odnosno} \quad \sigma_{dop} = \frac{R_{p0.2}}{\nu}$$

Б) Крти материјали:

Фактор сигурности.

$$\sigma_{dop} = \frac{R_m}{\nu}$$

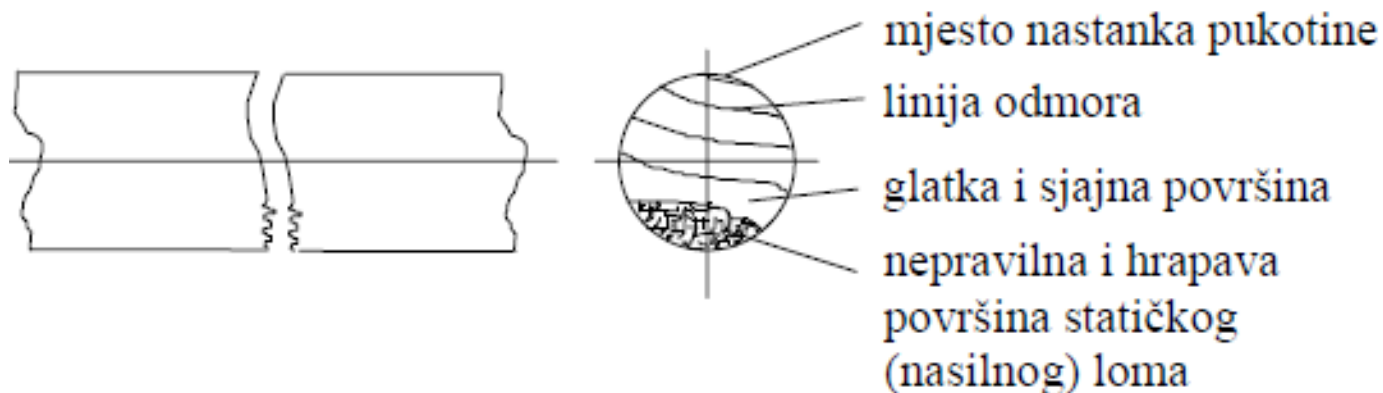
$$\nu = 1,5 \dots 2,5 (\dots 4).$$

Динамичко оптерећење

7

Заморни лом

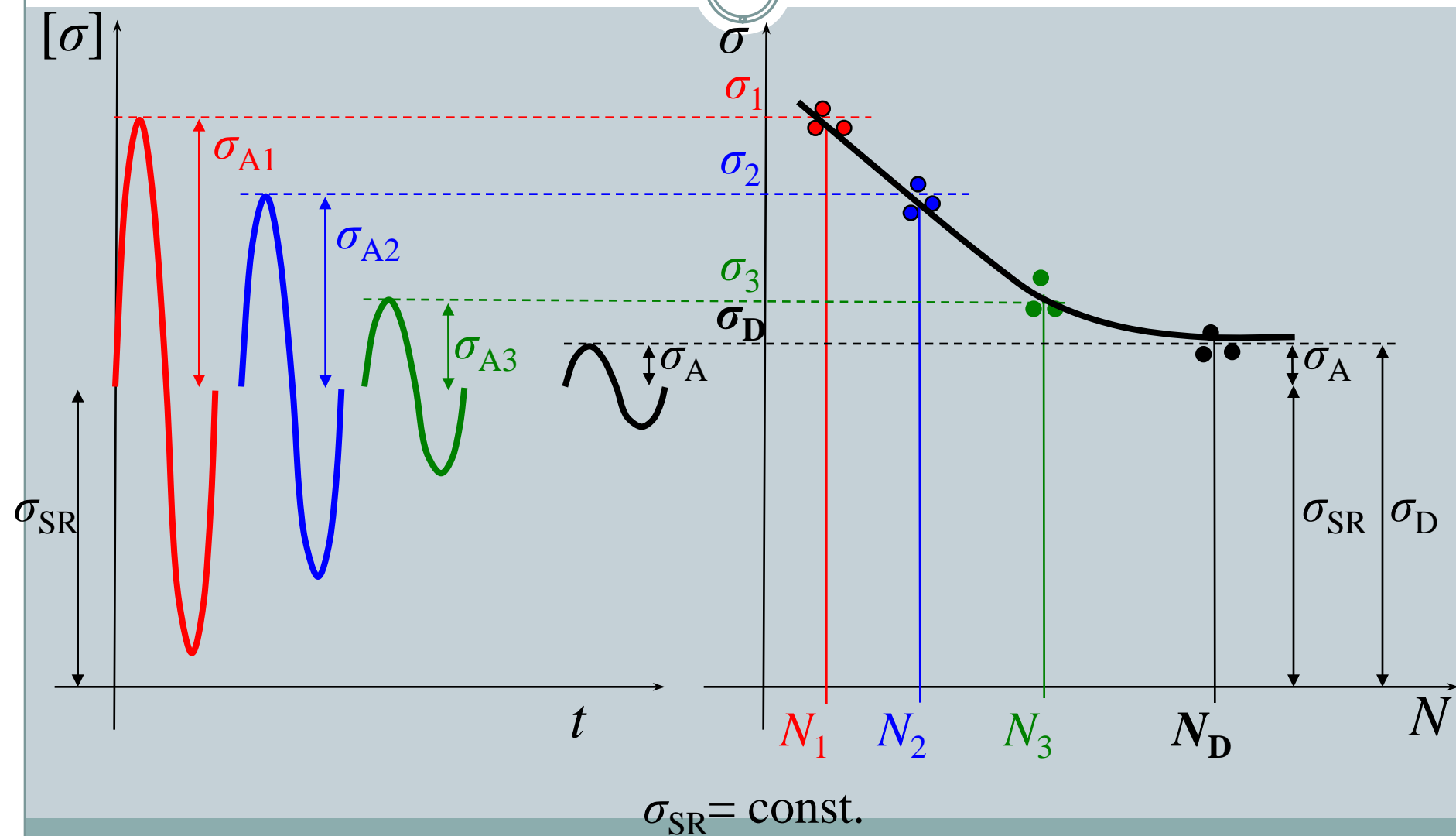
Ломови код динамичког оптерећења јављају се при знатно мањем напрезању од R_m , па и од R_e ($R_{p0,2}$) и настају након неког довољног броја промена оптерећења, називају се динамичким заморним ломовима. У индустријској пракси се на конструкционим елементима јављају око четири пута више заморних него статичких ломова.



Поступак одређивања динамичке чврстоће

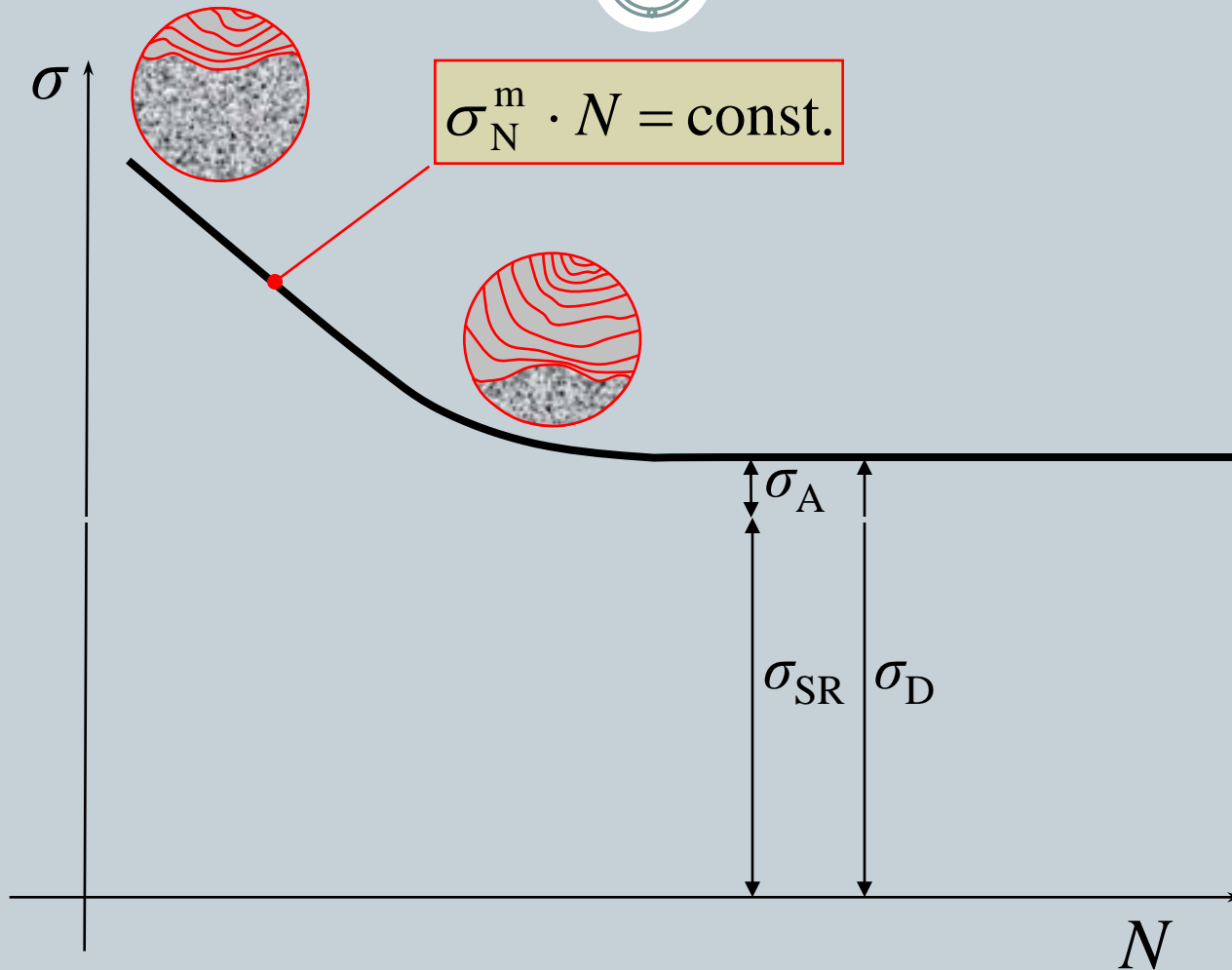
Wöhler-ов дијаграм

8



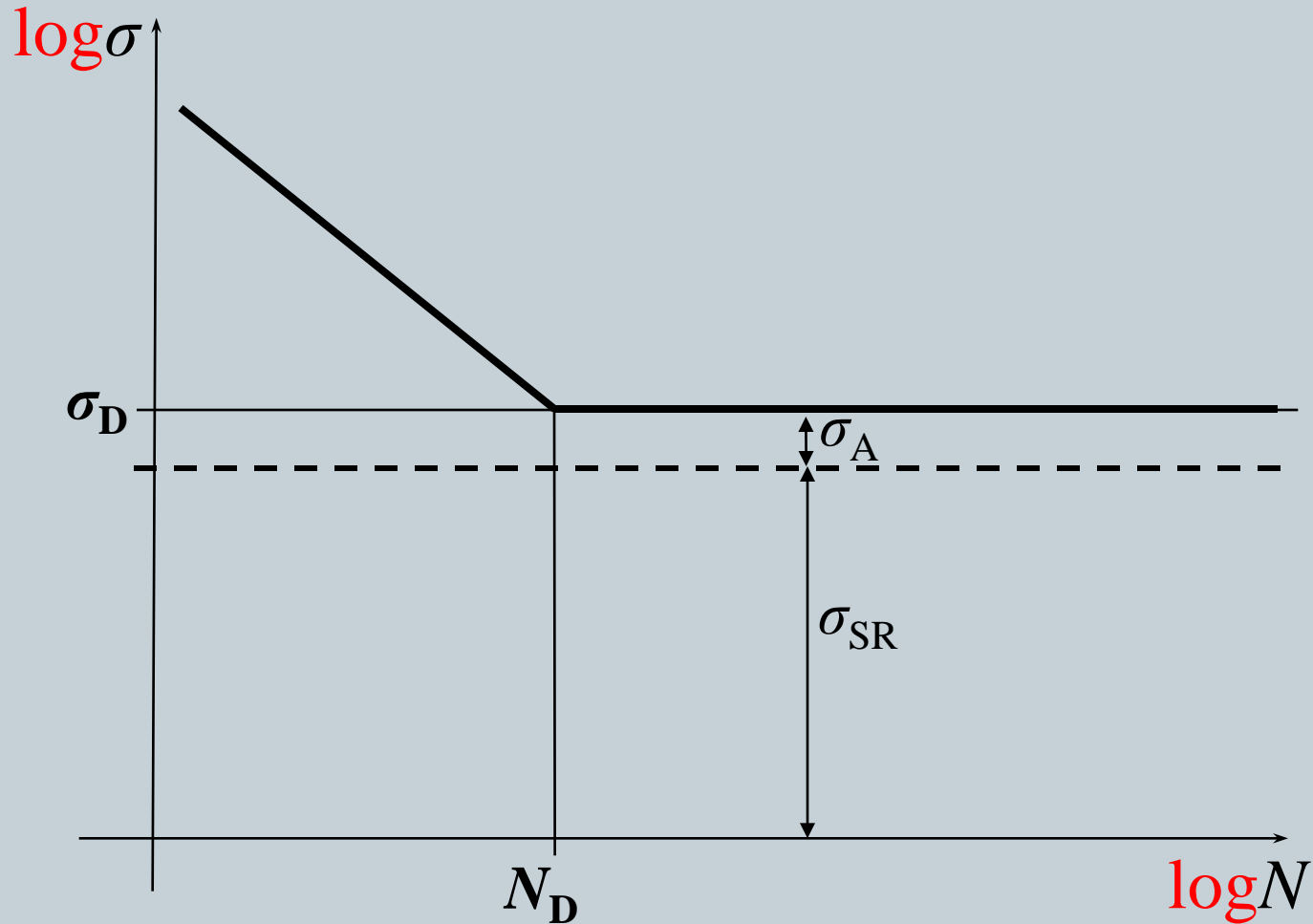
Wöhler-ов дијаграм $\sigma = \sigma(N)$

9



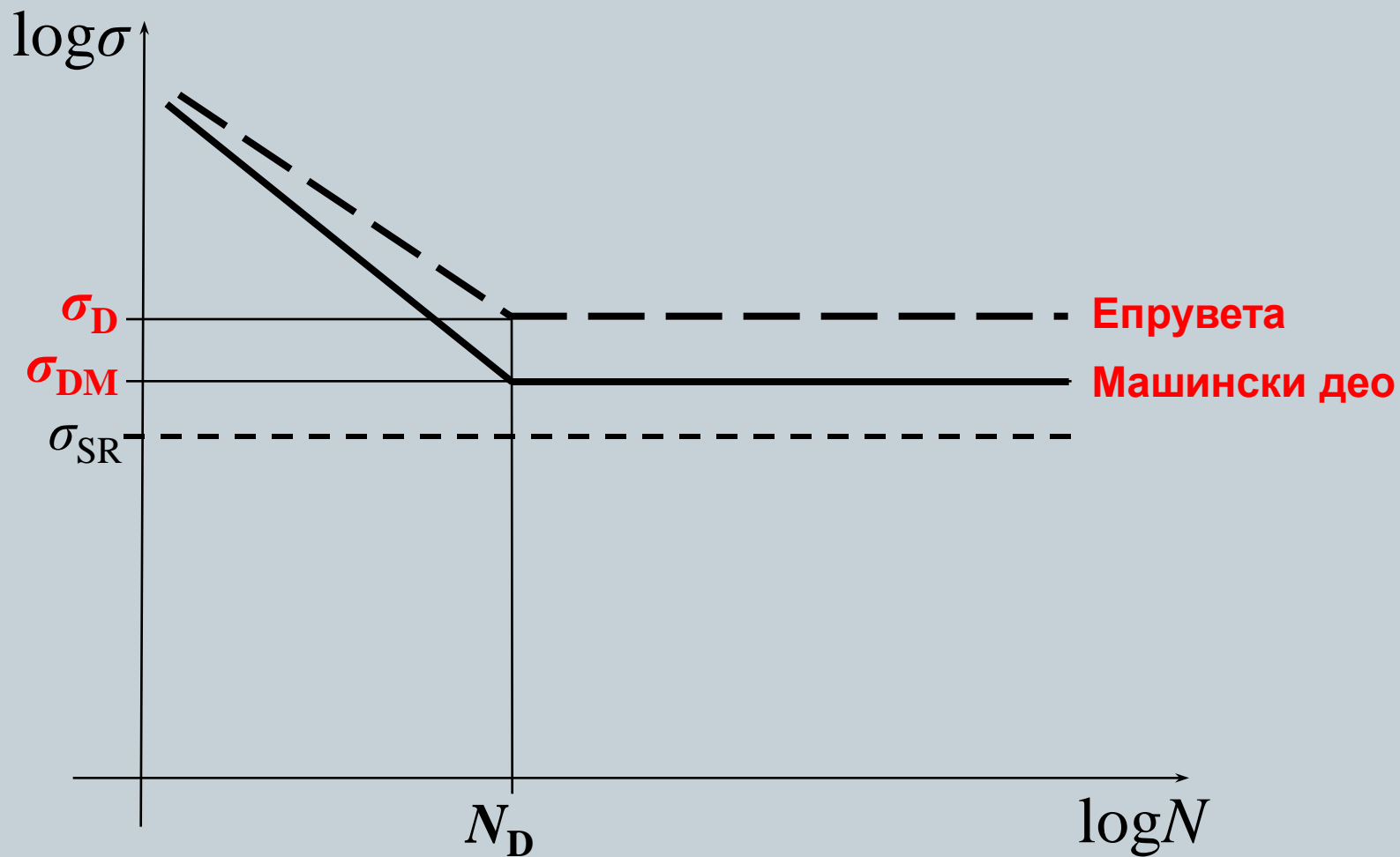
Wöhler-ов дијаграм $\log \sigma = \sigma(\log N)$

10



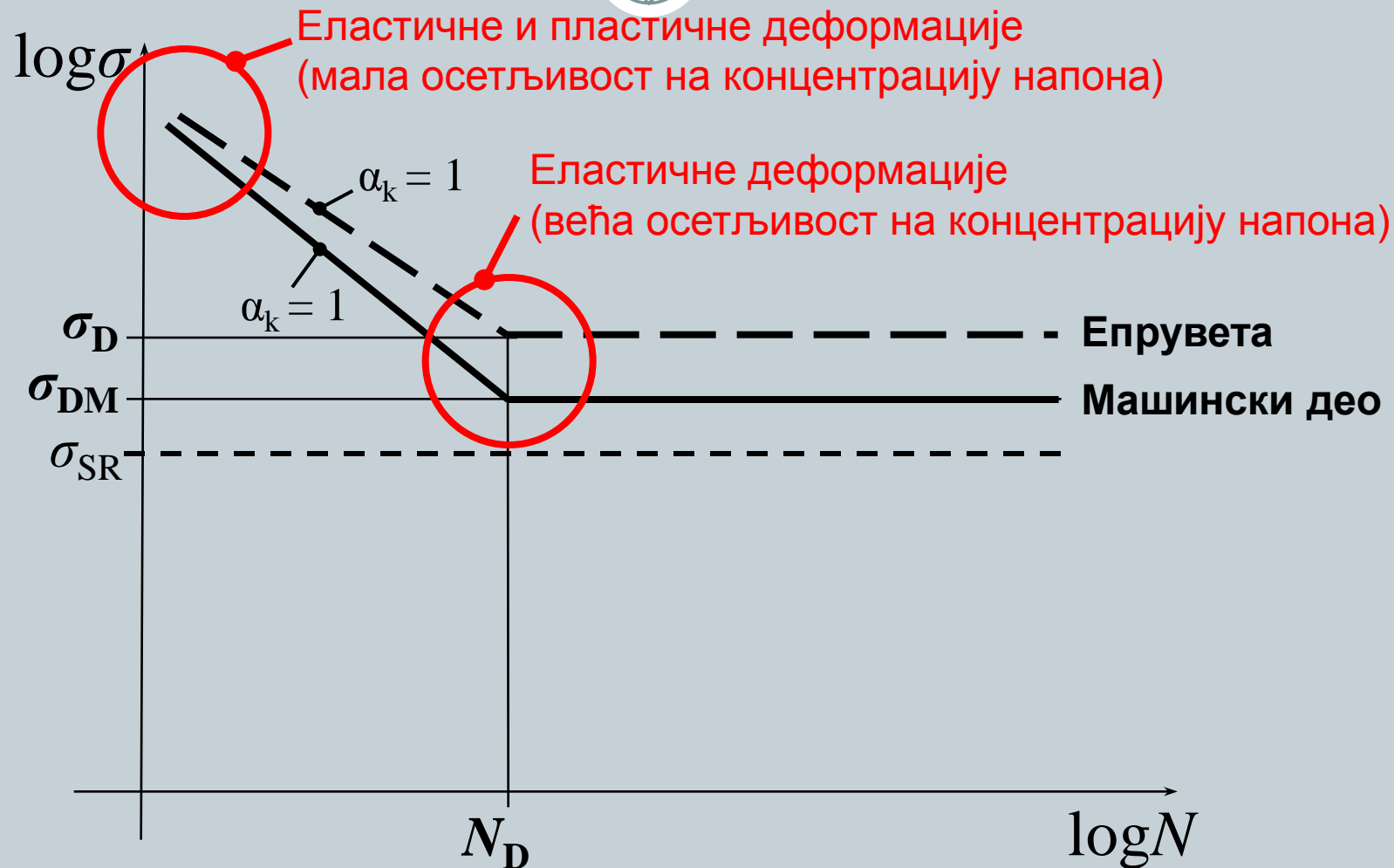
Wöhler-ови дијаграми епрувете и машинског дела

11



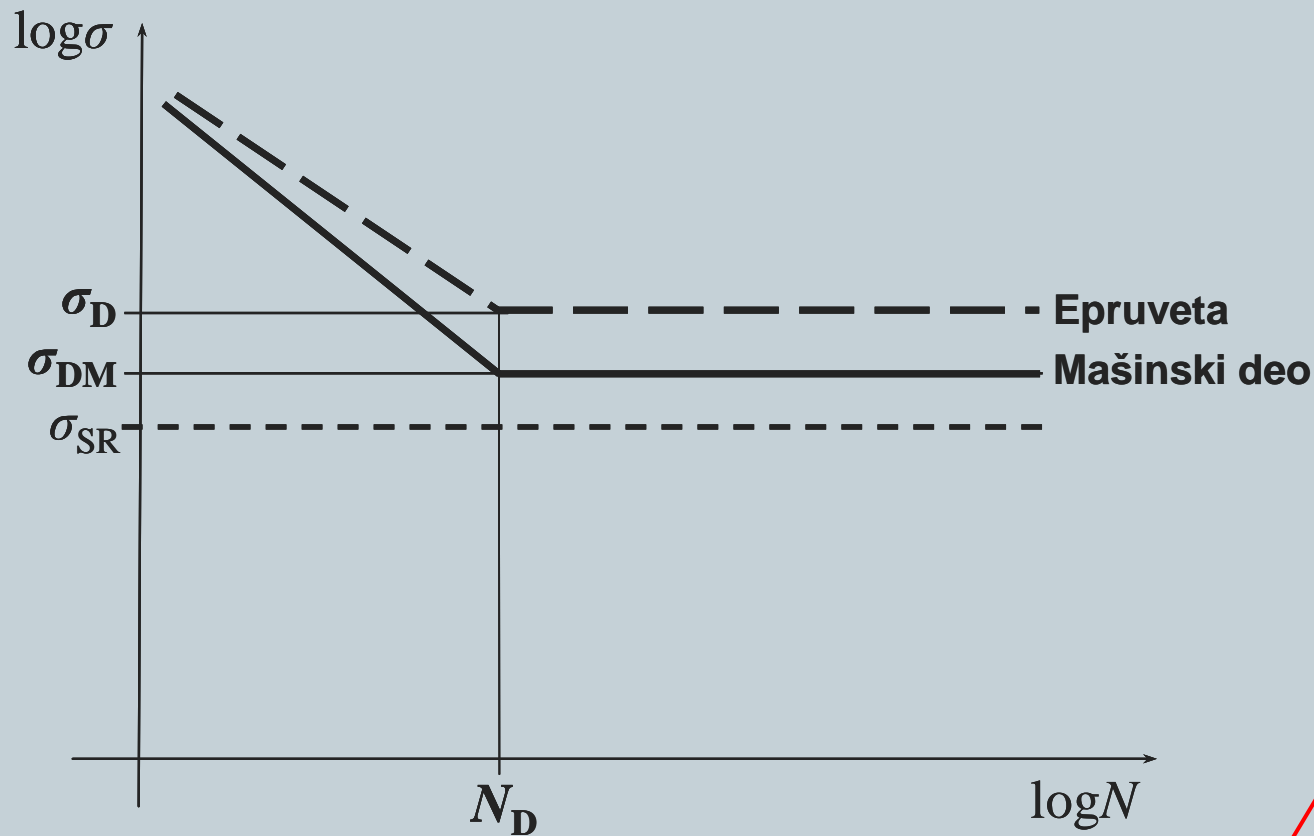
Wöhler-ови дијаграми епрувете и машинског дела

12



Wöhler-ови дијаграми епрувете и машинског дела

13



$$\sigma_{DM} \leq \sigma_D$$

$$K_D = \frac{\sigma_A}{\sigma_{AM}} \geq 1$$

Фактор динамичке чврстоће

Фактор динамичке чврстоће K_D

14

$$K_D = \frac{\beta_k}{\xi_1 \xi_2 \xi_2}$$

$$\beta_k = (\alpha_k - 1)\eta_k + 1$$

β_k – ефективни фактор концентрације напона

α_k – теоријски(геометријски) фактор концентрације напона

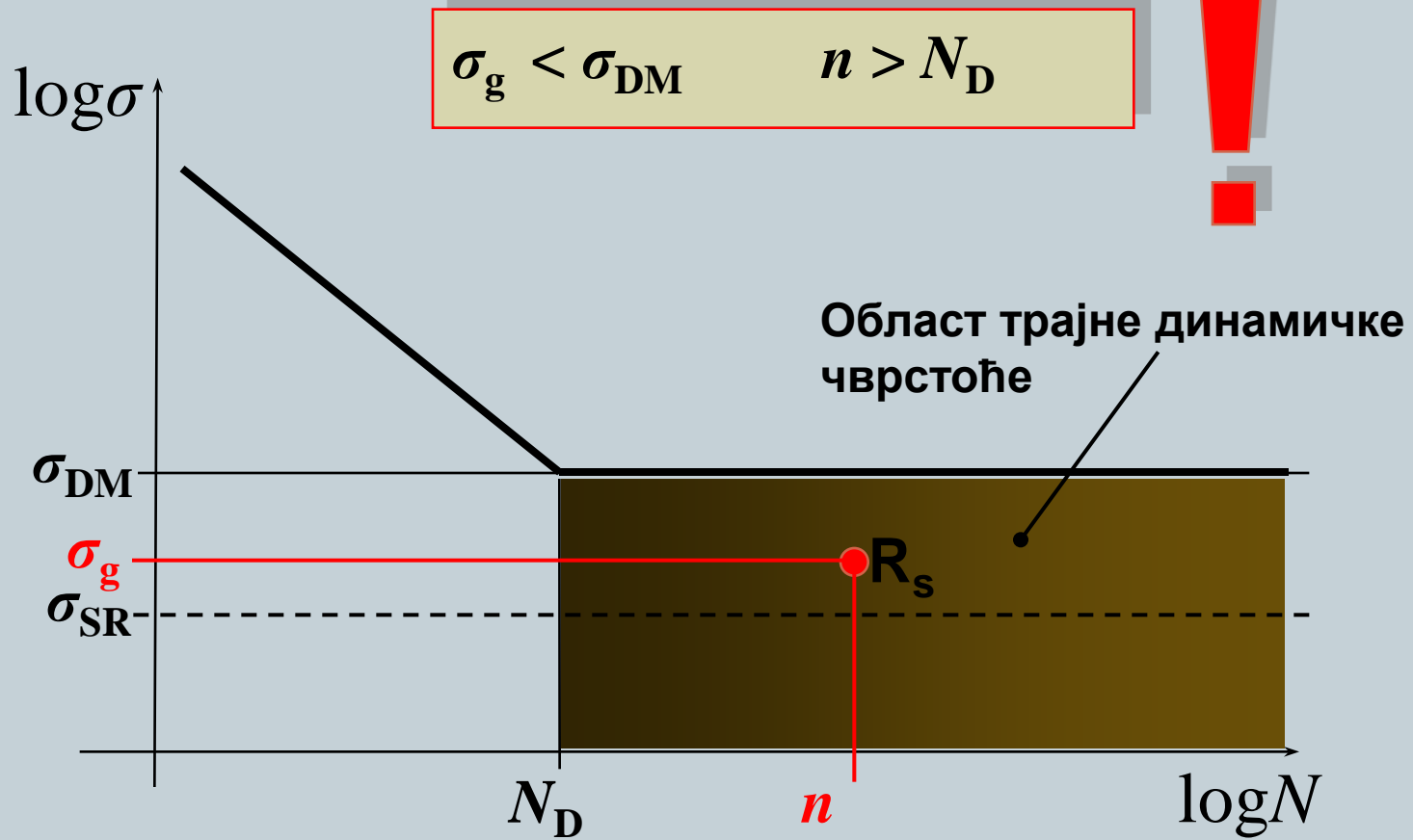
η_k – фактор осетљивости материјала на концентрацију напона

ξ_1 – фактор величине попречног пресека

ξ_2 – фактор стања површине

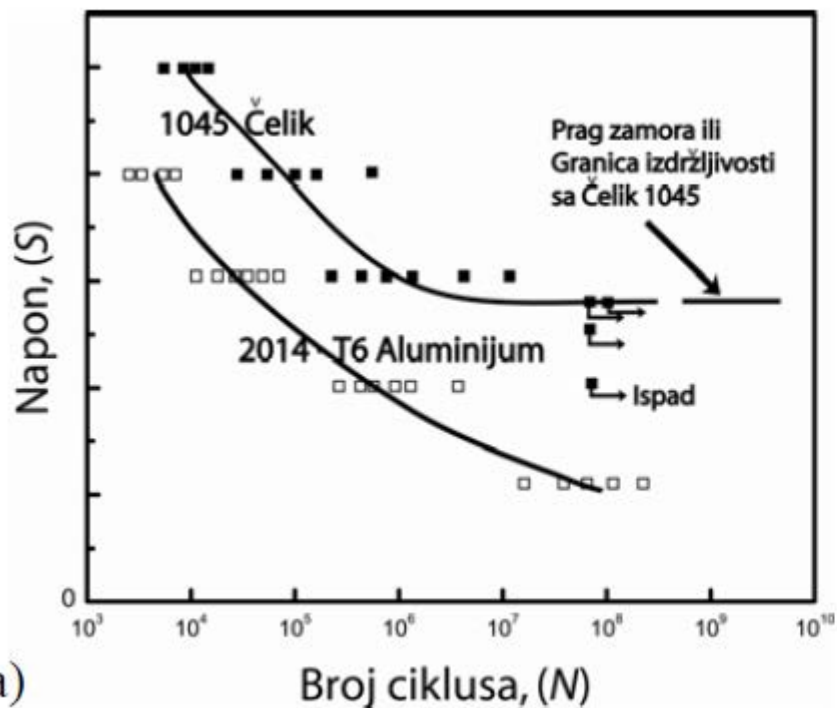
ξ_3 – фактор који узима у обзир остале утицаје (термичка обрада, радна средина и др.)

Wöhler-ов дијаграм – радно стање



Велерова крива за различите материјале

16



Слика а) S-N крива за челик 1045 (ASTM) и легуру алуминијума 2014-T6 (ASTM)
Б) заморни лом: тамна област одговара спором расту прслине, а светла статичком лому



Изглед прелома –код погона
вратила

Gear tooth failure



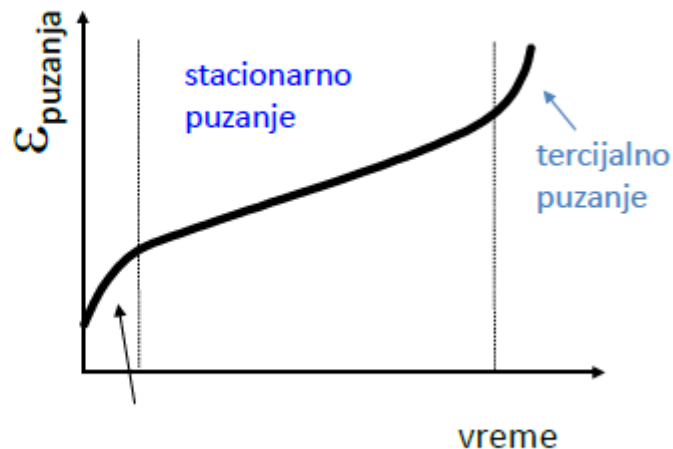
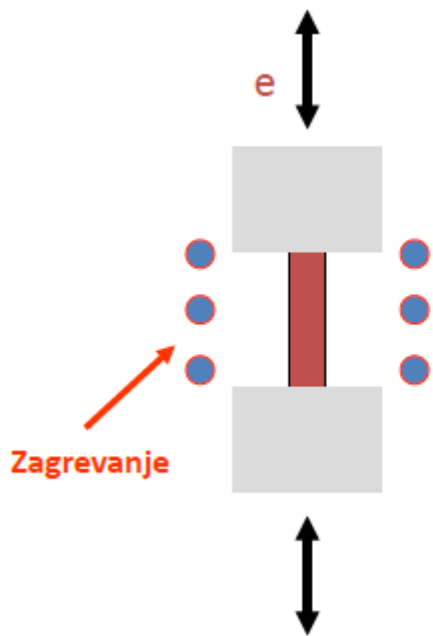
Hawaii, Aloha лет 243, а Boeing 737



Лом на повишеним температурама-Пузање

19

У случају испитивања на **повишеним температурама**, ако је средњи напон различит од нуле, може се појавити пузање. Пузање-нееластично деформисање епрувете која расте са временом трајања дејства оптерећења.

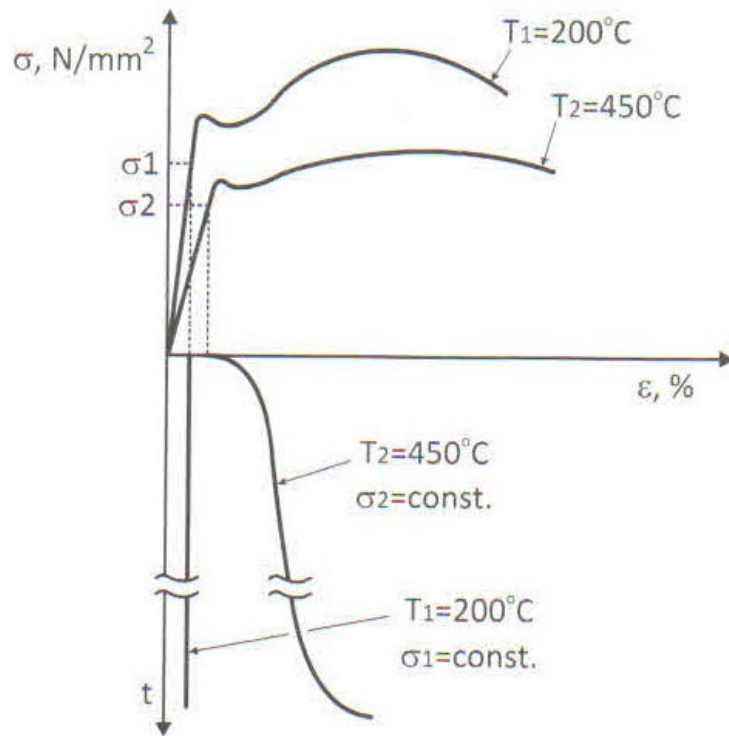


Дијаграм σ - ε

20

Ако се челик оптерети напоном $\sigma_1, \sigma_2 < R_e$ епрувете ће се у оба случаја тренутно еластично деформисати, и даље ће се пратити деформација у току времена (доњи дијаграм).

У првом случају, на 200°C , није дошло до пораста почетне деформације, док је у другом случају (на 450°C) деформација расла са временом, односно дошло је до пузања.



Дијаграми σ - ε и “заокренути” дијаграм пузања за конструкционичелик на повишеним температурама

Пузање материјала

21

До појаве пузања материјала долази у температурном подручју:

$$T > 0,4 \cdot T_t$$

Код полимера пузање наступа већ при собној температури, а код челика при $T > 400^\circ\text{C}$.

Појава пузања је сведена на минимум код материјала са:

- ❖ високом температуром топљења
- ❖ великим модулом еластичности
- ❖ крупнозрном структуром

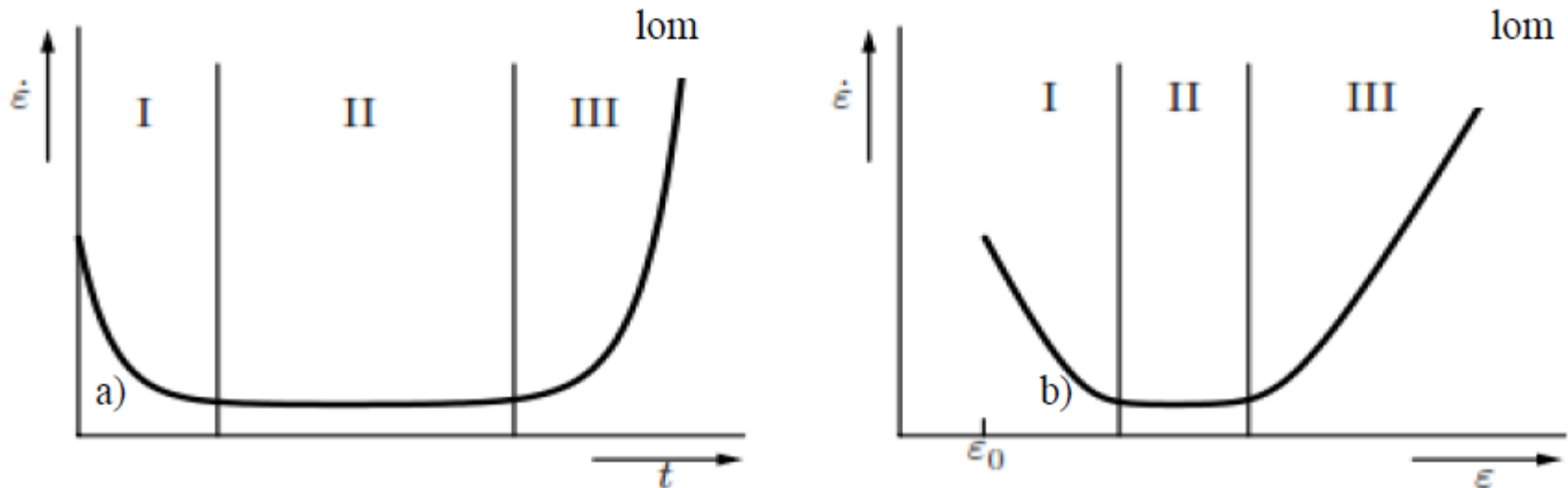
Примери:

Материјали који поседују велику отпорност према пузању су.

Нерђајући челици, ватростални материјали који садрже елементе који имају високу температуру топљења као што су: Nb, Mo, W, Ta, као и супер легуре на бази Co и Ni.

Промена брзине пузања са временом

22



Промена брзине пузања: (а) са временом и (б) са деформацијом

Лабораторијска испитивања се често прекидају на почетку трећег стадијума, с обзиром да је брзина статичке деформације у оквиру секундарног стадијума пузања, $\dot{\epsilon}$, основна величина која се мери.

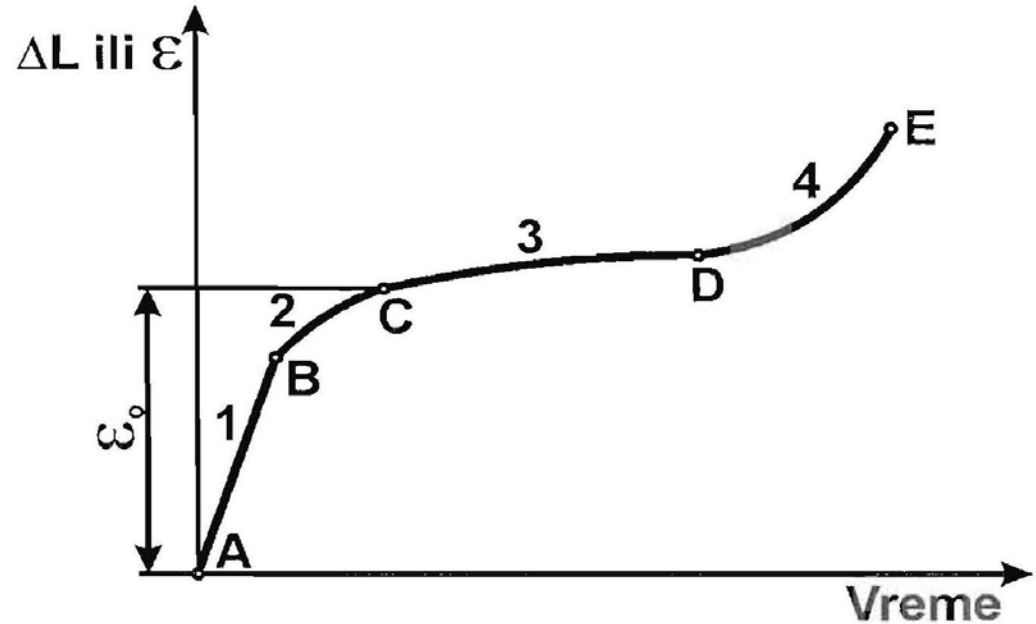
Дијаграм пузања

22

Први стадијум пузања-

Почетни стадијум пузања:

Део криве АВ одговара деформацији пре пузања (ϵ_1), које се као величина малог реда не узимају за укупну деформацију.



Други стадијум пузања-Стадијум пузања секундарно пузање Део криве ВС, тј.

Деформације (ϵ_2), се мере у току експеримента са великом тачношћу све док се не утврди да је тај део криве пузања права линија. Тангес угла нагиба овог дела криве одговара брзини пузања.

Трећи стадијум пузања-терцијално пузање. Ово је завршни стадијум где се брзина пузања повећава због смањења попречног пресека епрувете и више не постоји линеарна зависност између деформације и времена. Овај стадијум **СЕ ЗАВРШАВА ЛОМОМ ЕПРУВЕТЕ.**

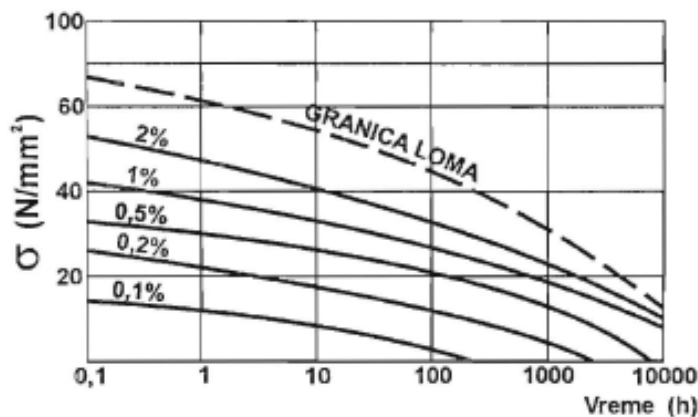
Трајна чврстоћа, временска чврстоћа и граница пузања

24

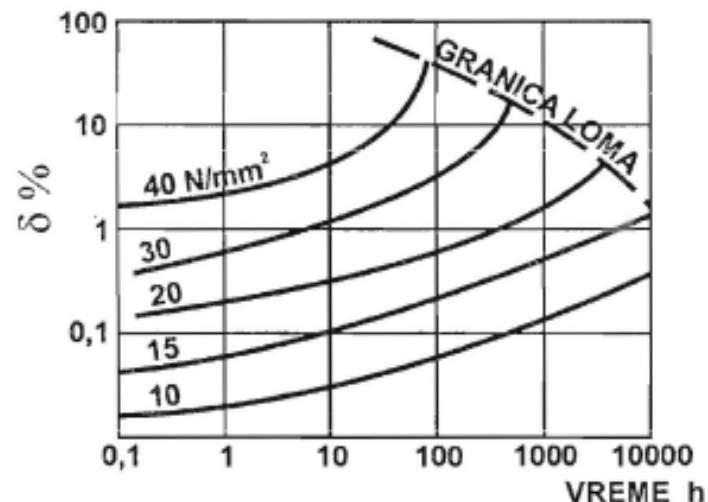
Трајна чврстоћа је статички напон сведен на првобитни пресек који материјал може да издржи произвољно дуго време при једној одређеној температури.

Временска чврстоћа је напон који материјал може да издржи одређени број сати испитивања.

Граница пузања је напон при коме између 25 и 35 часова испитивања брзина пузања не прелази 0,001%/сати и после 45 часова испитивања величина пластичне деформације не прелази 0,2%.



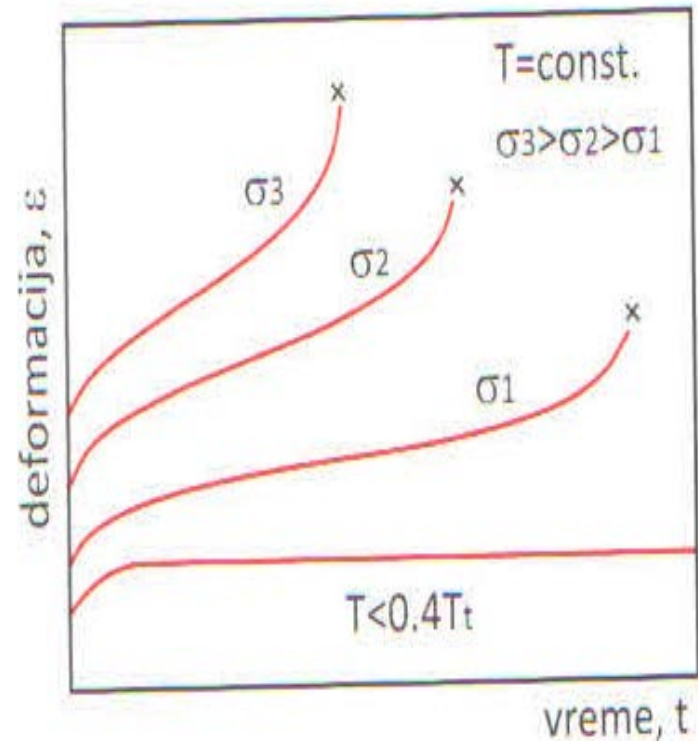
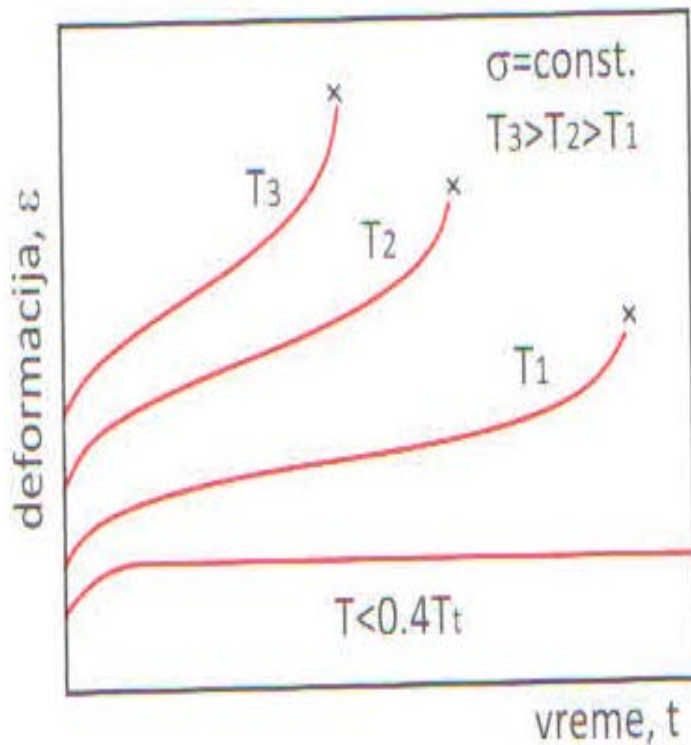
Временска чврстоћа, зависност напон-време



Временска чврстоћа, зависност издужење-време

Утицај промене напона или температуре на брзину пузања и време до лома

25



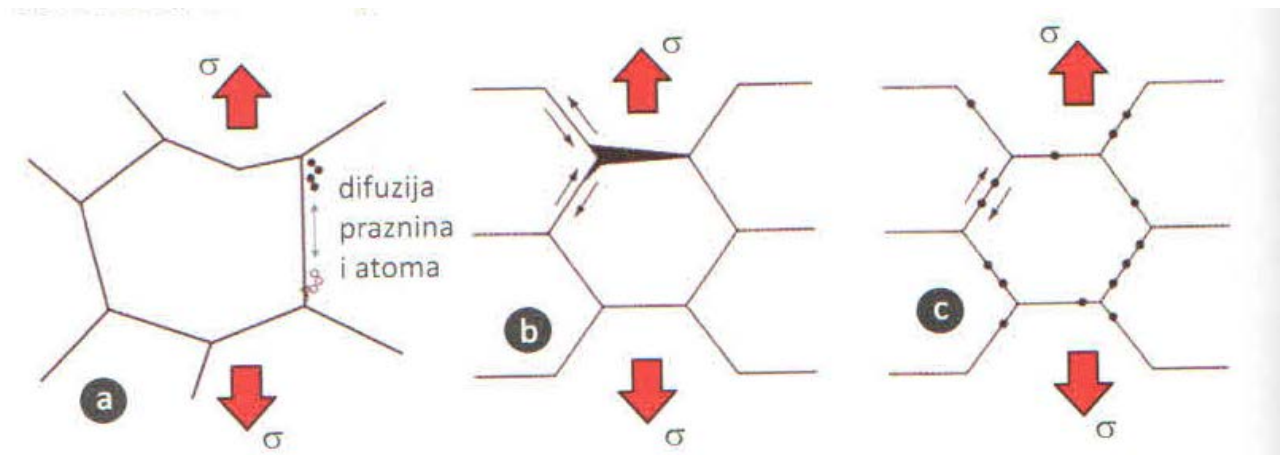
Са повећањем температуре или напона долази до повећања тренутне деформације и повећања брзине пузања док се време до лома смањује.

Лом услед пузања

26

Лом услед пузања може бити **интекристални** или **транскристални**.

Транскристални лом услед пузања карактеристичан је када је примењен велики напон на нижим температурама и одвија се спајањем микрошупљина, као дуктилни лом.



Лом услед пузања:

а) дифузионо пузање

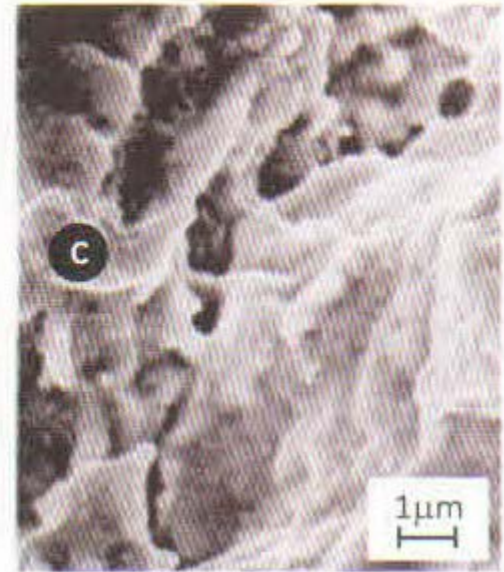
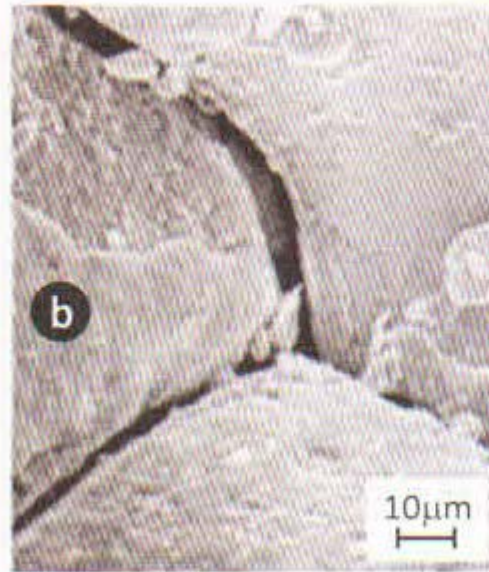
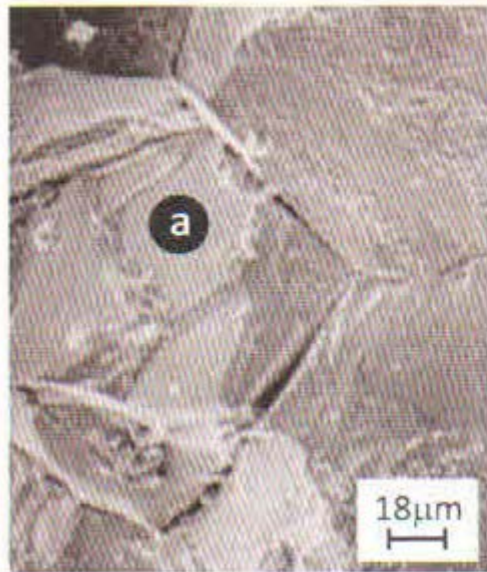
б) стварање прслине у облику клина у тројној тачки,

ц) стварање пора по границама зрна

Примери интеркристалног лома

27

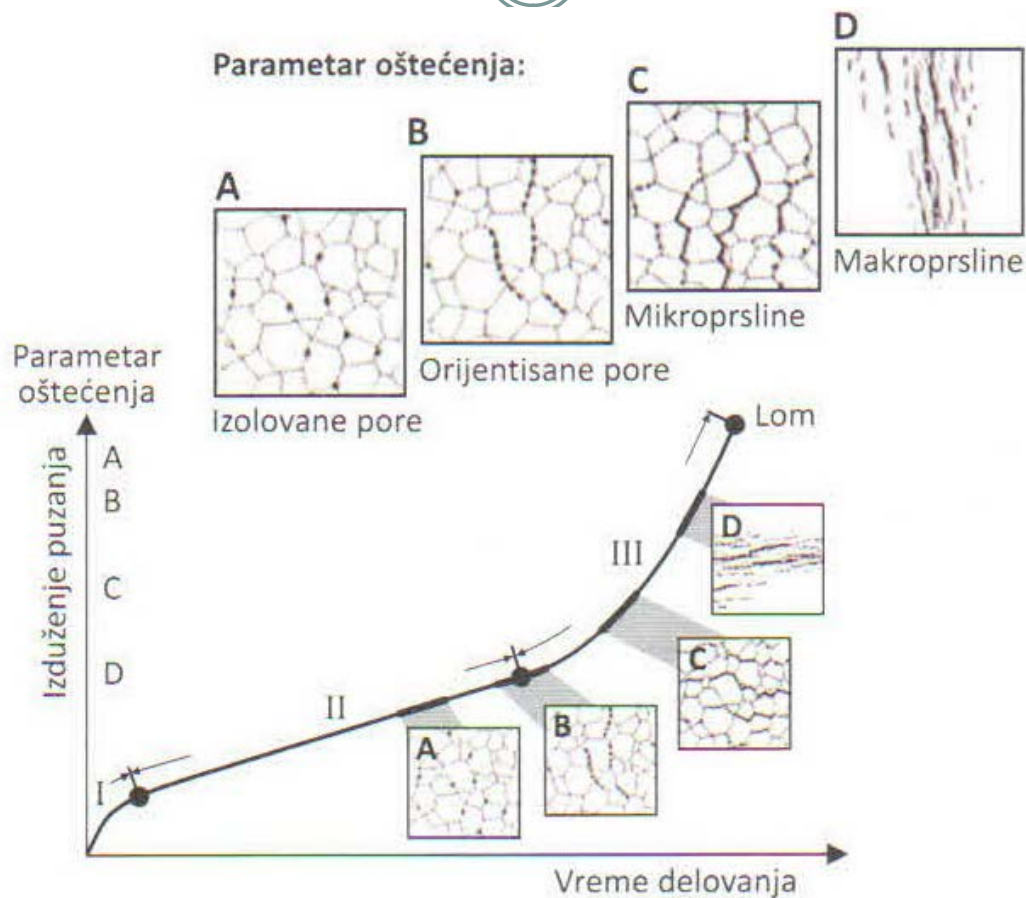
Интеркристални лом се одвија по границама зрна и карактеристичан је када је материјал изложен ниском напону, малој брзини деформације и вишим температурама.



Примери интеркристалног лома: а,б) услед стварања клина у тројној тачки ц) услед стварања пора по границама зрна

Оштећења при пузању материјала

28



Класификација оптерећења у одговарајућим стадијумима пузања

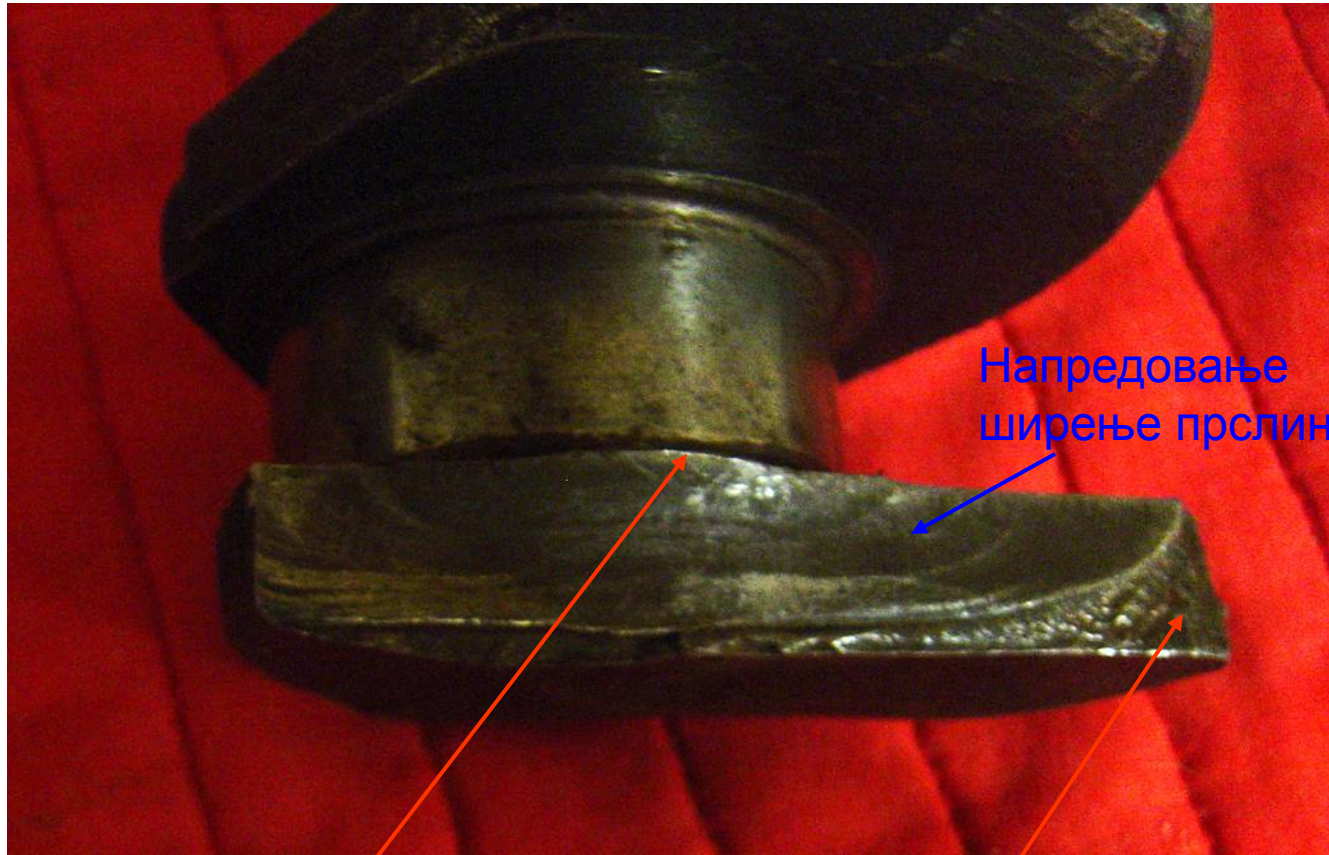


Jack hammer део, показује да нема прелома.

Изглед преломних површина где је присутан заморни лом



VW осовина вратила -лом услед замора материјала услед цикличног савијања и торзионих напрезања



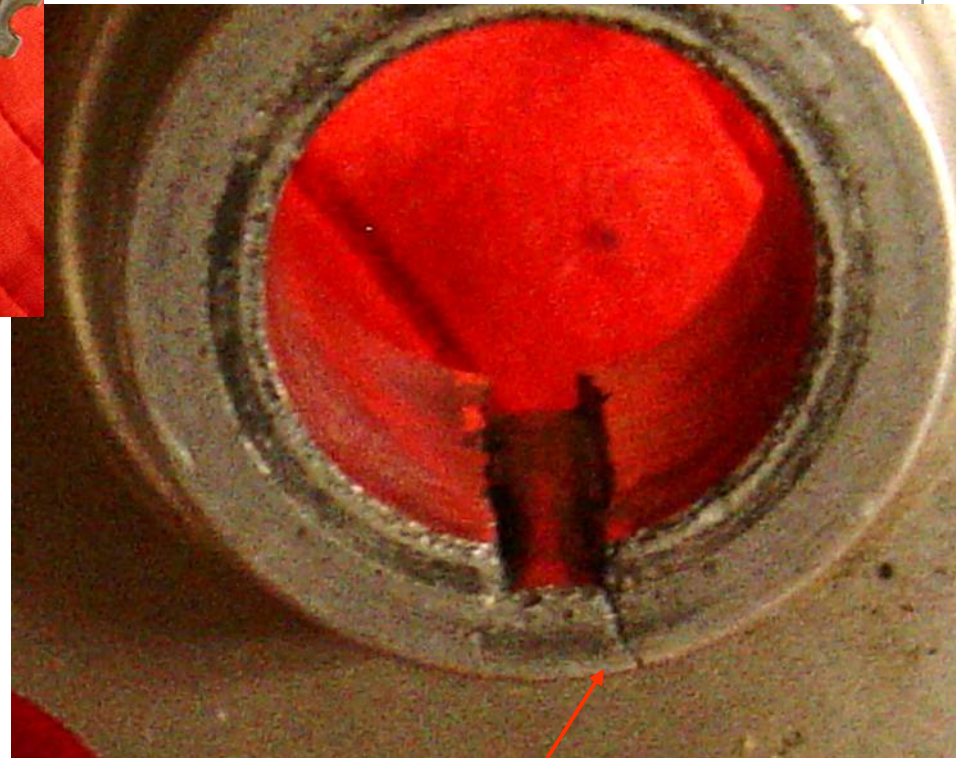
Напредовање
ширење прслине

Страна настајања
стварања прслине

Површина
прелома



928 Porsche -ременица



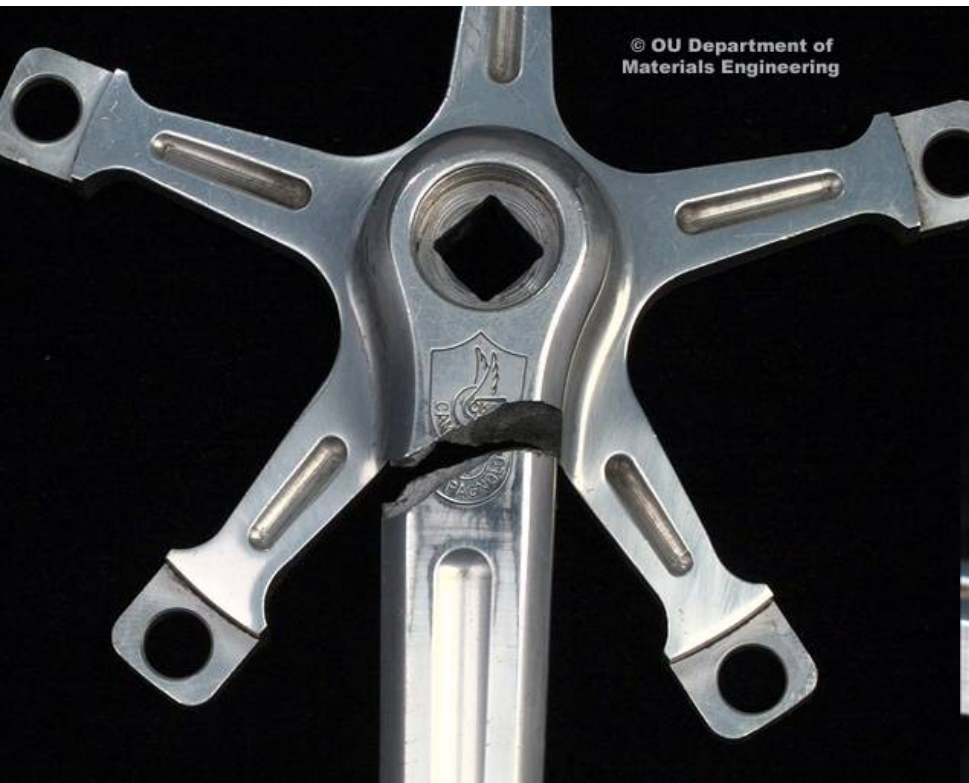
Прслина се јавила на ободу



Material; AISI/SAE 4140
ниско легирани угљенични
челик

Преломна површина вијка





Покретна ручица код бицикла



Зона заморног лома има глатку и тамну површину на којој се уочавају линије раста заморне прслине (сличне годовима код дрвета).