

## 8. ВЕЖБА

### ИСПИТИВАЊЕ НА ПУЗАЊЕ

#### ТЕОРИЈСКИ ДЕО

Различити елементи машина и конструкција су изложени дуготрајном деловању константног оптерећења (затезне силе) у условима повишене температуре изнад границе еластичности. То даје могућност да се одреди показатељ отпора деформацији испитиваног материјала у току времена, за одређен константан напон и константну температуру. Издужење које при томе настаје зове се пузање.

За испитивање на повишеним температурама са дуготрајним напрезањем а све у циљу одређивања пузања користе се епрувете одређеног облика и димензија зависно од конструкције чељусти машине за испитивање и екстензометра

#### Услови и ток испитивања

При испитивању на пузање као основне параметре потребно је дефинисати температуру и напрезање. Предходно је потребно утврдити одсуство закошења и центрираност напрезања, експериментима на собној температури уз мерење деформације епрувете на њеним крајњим мерним тачкама. Пракса је показала да су најповољније епрувета за испитивање на пузање са мерном дужином  $L_0=100\text{mm}$  до  $150\text{mm}$  и  $d=10\text{mm}$ . Епрувете имају на ојачаним деловима навоје који обезбеђују добро учвршћивање у чељусти машине.

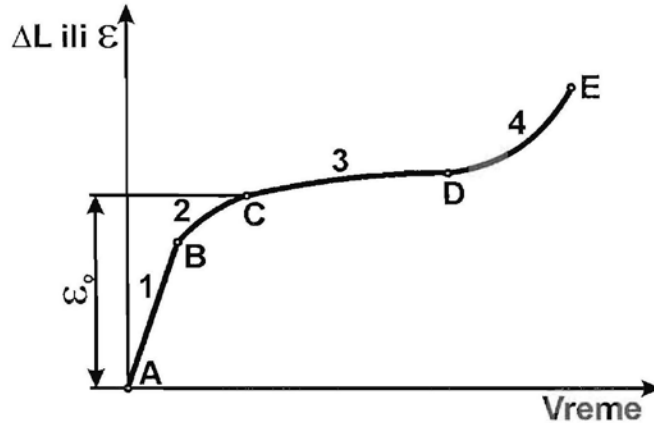
При испитивању потребно је водити рачуна о правилном постављању епрувете у чељусти машине. Затим се на епрувету поставе наставци екстензометра, а са доње стране епрувете постави пећ. Одабрана температура експеримента се постиже преко одговарајућег регулатора у интервалу од  $300$  до  $900^\circ\text{C}\pm 2^\circ\text{C}$ , оптерећење се постиже постављањем потребног броја одговарајућих тегова ( $30\text{-}3000\text{daN}$ ) на одговарајуће носаче.

Епрувете се током испитивања налазе у пећима којима се термостатом регулише температура испитивања.

Након загревања епрувете њено издужење, у датом времену, преноси се преко наставка на контролни репер, чији се положај контролише спиралним микроскопом. Мерење издужења за одабране услове експеримента врши се у одређеним временским интервалима.

Собзиром на то да се технички метали и легура трајно деформишу, почев од неке температуре и са напрезањима знатно мањим од границе течења па чак и еластичности, као мерило ове особине „пузања“ узима се граница пузања, односно највеће напрезање при коме деформација или брзина пузања имају одређену вредност за протекло време.

Ако се одређене вредности деформације при задатом времену прикажу у дијаграму  $\epsilon$ - $t$  добија се карактеристична крива пузања на тој температури.



Слика 1 Дијаграм пузања

На слици 1 која приказује дијаграм пузања уочавају се три карактеристична стадијума:

**Први стадијум пузања**-Почетни стадијум пузања: Део криве АВ одговара деформацији пре пузања ( $\epsilon_1$ ), које се као величина малог реда не узимају за укупну деформацију. У првом стадијуму крива не почиње из координатног почетка јер је до одређене еластичне деформације дошло истог тренутка када је узорак оптерећен. Брзина пузања  $\Delta\epsilon/\Delta t$  се смањује и достиже минимум при почетку другог стадијума.

**Други стадијум пузања**-У овом стадијуму брзина пузања је константна. Део криве ВС, тј. деформације ( $\epsilon_2$ ), 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 (коэффициент правца ове праве) представља брзину пузања. Нагиб тог „правца“ говори о отпорности материјала према пузању. У случају да је тај нагиб стрмији, склоност ка пузању је већа.

**Трећи стадијум пузања**-терцијално пузање

Ово је завршни стадијум пузања где се брзина пузања повећава због смањења попречног пресека епрувете и више не постоји линеарна зависност деформације и времена. Овај стадијум се завршава ломом епрувете.

**Условна (техничка) граница пузања (R)** је величина максималног напона, при коме материјал, на датој температури и у току одређеног времена, показује прописано (укупно заостало) издужење или прописану брзину пузања. Она се одређује најчешће за деформацију од  $10^{-3}$  и  $10^{-4}\%$ /час.

Пример:  $R_{0,2/300}^{900}$  означава условну границу пузања за деформацију 0,2% за 300 часова испитивања на  $t = 900^\circ\text{C}$ .

Ако се условна граница пузања дефинише преко брзине пузања онда се означава преко:  
 $R_{1.10}^{900-5}$

Припрема за вежбу

### 1. Објаснити појам пузања

Пузање материјала је споро пластично деформисање материјала настало услед деловања дуготрајног константног оптерећења које је мање од напона течења, при повишеној температури.

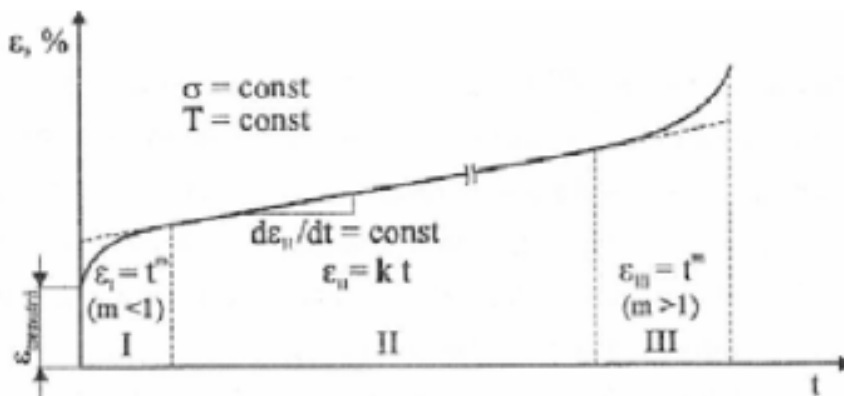
### 2. Шта је трајна чврстоћа?

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

### 3. Дефинисати временску чврстоћу.

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

### 4. Нацртати и описати криву пузања



**I-Први почетни стадијум пузања:** У првом стадијуму крива не почиње из координатног почетка јер је до одређене еластичне деформације дошло истог тренутка када је узорак оптерећен. Брзина пузања  $\Delta\varepsilon/\Delta t$  се смањује и достиже минимум при почетку другог стадијума.

**II-Други стадијум пузања-**У овом стадијуму брзина пузања је константна. Део криве BC, тј. деформације ( $\varepsilon_2$ ), 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 ( коефицијент правца ове праве) представља брзину пузања. Нагиб тог „правца“ говори о отпорности материјала према пузању. У случају да је тај нагиб стрмији, склоност ка пузању је већа.

### III- Трећи стадијум пузања-терцијално пузање

Ово је завршни стадијум пузања где се брзина пузања повећава због смањења попречног пресека епрувете и више не постоји линеарна зависност деформације и времена. Овај стадијум се завршава ломом епрувете.

## 5. Дефинисати границу пузања

Граница пузања  $\sigma_{DM}$  је напон при коме између 25 и 35 часова испитивања брзина пузања не прелази 0.001%/h и после 45 часова испитивања величина пластичне деформације не прелази 0.2%.

Задатак 1

Одредити границу пузања

### Услови испитивања

Материјал	Ознака	Č4732			Димензије
Пречник узорка	$d_0$	10			mm
Површина попречног пресека	$S_0$	78.5			mm <sup>2</sup>
Мерна дужина	$L_0$	100			mm
Сила оптерећења	F	15.7	17.3	18.9	kN
Напон температура	$\sigma$	$\sigma=F/S$			MPa
Температура	T	500+273			K

### Измерене вредности

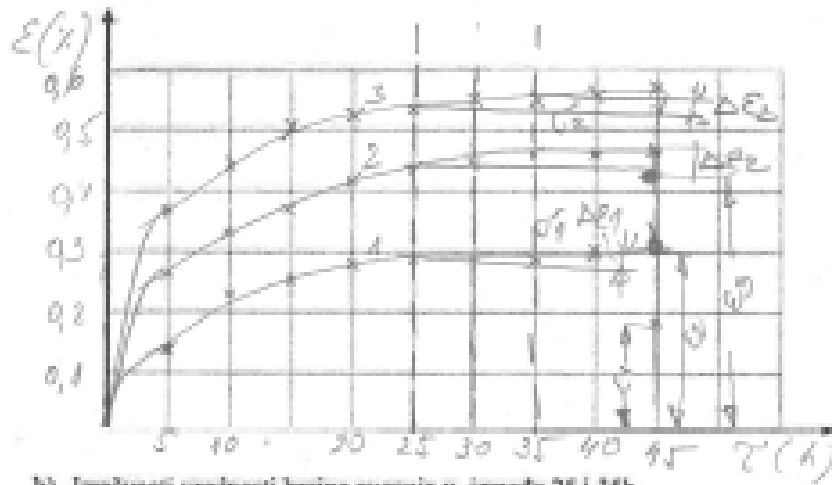
Време $\tau$ (h)	$\sigma_1=$	$\sigma_2=$	$\sigma_3=$
	Тренутно издужење $\Delta L_1$ (mm)	Тренутно издужење $\Delta L_2$ (mm)	Тренутно издужење $\Delta L_3$ (mm)
5	0.130	0.260	0.370
10	0.220	0.320	0.430
15	0.250	0.370	0.500
20	0.280	0.410	0.520
25	0.290	0.420	0.530
30	0.292	0.425	0.540
35	0.295	0.432	0.545
40	0.300	0.440	0.550
45	0.310	0.450	0.560
Трајно издужење након 45 часова $\epsilon_{pl}$			
45	0.170	0.30	0.410

$\sigma_{DM}$  је напон при коме између 25 часова и 35 часова испитивања брзина пузања не прелази 0.001%/h и после 45 часова пластична деформација не прелази 0.2%.

1.  $V_{p25+35} < 0.001\% /h$  и

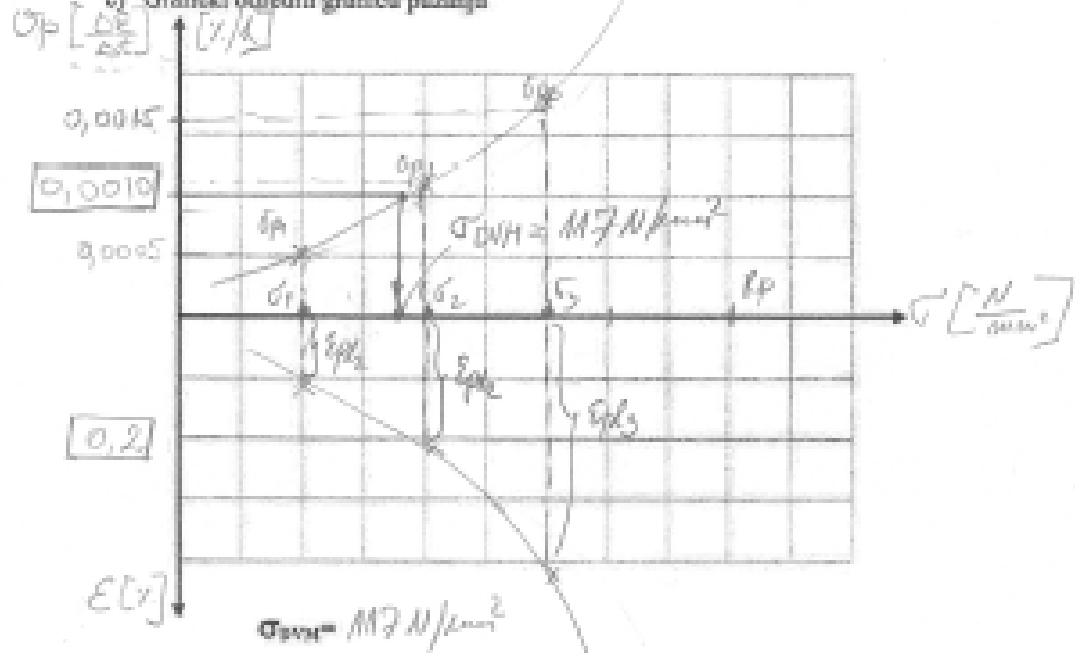
2.  $\epsilon_{pl 45h} < 0.2\%$

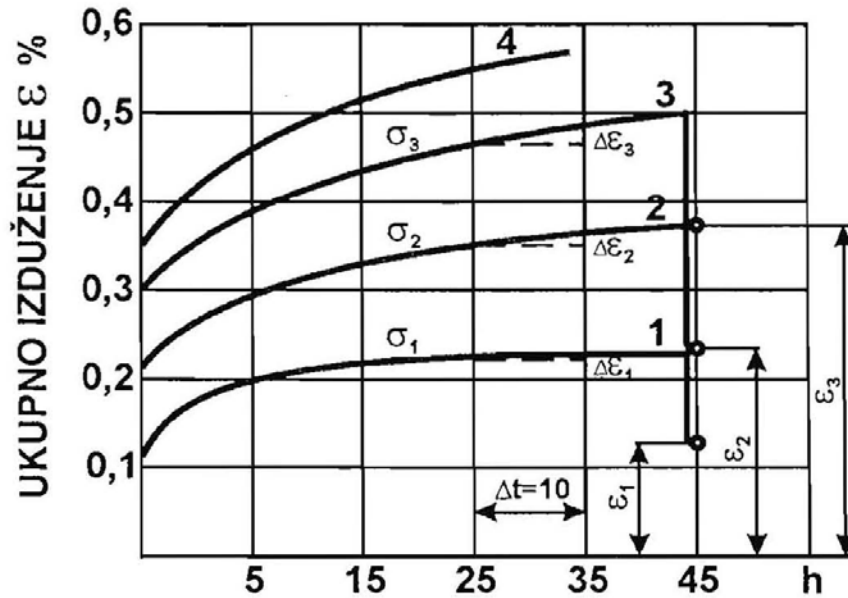
a) Krive puzanja



b) Izračunati vrednosti brzine puzanja  $v$ , između 25 i 35h

c) Grafički odrediti granica puzanja





$$\sigma_1 = F_1/S_0 = 15.7/78.5 = 200 \text{ kN/mm}^2$$

$$\sigma_2 = F_2/S_0 = 17.3/78.5 = 220.38 \text{ kN/mm}^2$$

$$\sigma_3 = F_3/S_0 = 18.9/78.5 = 240.76 \text{ kN/mm}^2$$

b) Брзине пузања за сва три узорка израчунавају се према:

$$V_{p1} = \frac{\Delta \epsilon_1}{\Delta \tau}; \quad ; \quad V_{p2} = \frac{\Delta \epsilon_2}{\Delta \tau} \quad V_{p3} = \frac{\Delta \epsilon_3}{\Delta \tau}$$

$$\Delta \epsilon_1 = |0.295 - 0.290| = 0.005\%$$

$$V_{p1} = \frac{\Delta \epsilon_1}{\Delta \tau} = 5 \cdot 10^{-3} [\%/h]$$

$$\Delta \epsilon_2 = |0.432 - 0.430| = 0.012\%$$

$$V_{p2} = \frac{\Delta \epsilon_2}{\Delta \tau} = 0.0012 [\%/h]$$

$$\Delta \epsilon_3 = |0.545 - 0.530| = 0.015\%$$

$$V_{p3} = \frac{\Delta \epsilon_3}{\Delta \tau} = 0.0015 [\%/h]$$

$$\Delta \epsilon_1 < \Delta \epsilon_2 < \Delta \epsilon_3$$

c) Са дијаграма  $v_p$ - $\sigma$  односно  $\epsilon$ - $\sigma$  уочавамо да имамо два гранична услова и две вредности напона за сваки услов.

Закључак је да мањи напон испуњава оба услова тј.  $\sigma_{DM} = 117 \text{ kN/mm}^2$