TEKNOLOGIA MEKANIKOA

Irakaskuntza Ertainak

MATERIALEN SAIAKUNTZA MEKANIKOAK

43

UNITATE DIDAKTIKOA

ELHUYAR
edizioak

ARRASATEKO ESKOLA POLITEKNIKOA

ELHUYAR
edizioak

TEKNOLOGIA MEKANIKOA

43. UNITATE DIDAKTIKOA

MATERIALEN SAIAKUNTZA MEKANIKOAK

Irakaskuntza Ertainak

ARRASATEKO ESKOLA POLITEKNIKOA

Hezkuntza, Unibertsitate eta Ikerketa Sailak onetsia: 1994-I-18

Euskaltzaindiaren azken erabakien arabera eguneratua: 2003ko otsaila

© ELHUYAR Fundazioa. Asteasuain poligonoa, 14. 20170 USURBIL (Gip.)
© ARRASATEKO ESKOLA POLITEKNIKOA. ARRASATE

ISBN: 84-87114-92-X

AURKIBIDEA

Or.

1.- UNITATEAREN HELBURUA 5

2.- SARRERA 5

3.- MATERIALEN PROPIETATE ETA SAIAKUNTZA MEKANIKOAK 5

3.1. Trakzio-saiakuntza 7

3.1.1. Probetak 8

3.1.2. Trakzio-diagrama 9

3.1.3. Trakzio-saiakuntzaren bidez lorturiko ezaugarri nagusiak 11

3.2. Gogortasun-saiakuntzak 15

3.2.1. Marraketa bidezko gogortasun-saiakuntzak 15

3.2.2. Gogortasun elastikoa edo errebote bidezko gogortasun-saiakuntzak 16

3.2.3. Sarpen bidezko gogortasun-saiakuntzak 17

3.3. Gogortasun-neurketen arteko erlazioa 26

3.4. Gogortasun-neurketaren eta trakzioarekiko erresistentziaren arteko erlazioa 26

3.5. Erresilientzia-saiakuntzak edo hozkadun probeten aurkako talka bidezko makurdura-saiakuntzak 29

3.5.1. Saiakuntza-makina 29

3.5.2. Probetak 30

3.5.3. Saiakuntza egitea 31

3.5.4. Tenperaturaren eragina 32

3.6. Bihurdura-saiakuntza 34

3.7. Makurdura-saiakuntza estatikoa 34

Or.

3.8. Konpresio-saiakuntza..... 35

3.9. Neke-saiakuntza..... 36

3.10. Saiakuntza teknologikoak..... 37

3.11. Saiakuntza ez-suntsigarriak..... 40

4.- GALDERAK..... 45

5.- BIBLIOGRAFIA..... 50

1.- UNITATEAREN HELBURUA

Saiakuntza mekaniko interesgarrienak ezagutzea: estatikoak, dinamikoak eta teknologikoak.

Metalei eragiten zaizkien saiakuntzak baino ez dira aztertuko unitate honetan.

2.- SARRERA

Begiratze hutsa nahikoa izan daiteke material baten izaeraz jabetzeko, altzairua ala burdinurtua, aluminioa ala aleazio arina, kobrea ala letoia den jakiteko; nikelatua ala margotua dagoen; txirbil-harroketaz, galdaketaz ala forjaketaz lortu den, eta abar jakiteko

Baina informazio hori ez da nahikoa materialaren propietate mekanikoak zein diren jakiteko; horretarako bide konplexuagoetara jo behar da. **Materialen Saiakuntzak** deitzen zaie bide horiei.

Garrantzi handikoak dira saiakuntzak, helburu bakoitzarentzat material egokiena aukeratzeko bidea eskaintzen baitute.

Saiakuntzen bidez ikertzen diren ezaugarriak honako hauek dira:

- Ezaugarri fisiko eta kimikoak
- Deformatzeko gaitasuna, mekanizagarritasuna, soldagarritasuna
- Eskaera mekanikoak betetzeko gaitasuna edo erresistentzia

3.- MATERIALEN EZAUGARRI ETA SAIAKUNTZA MEKANIKOAK

Materialek jardueretan duten portaera eta deformagarritasuna haien propietate mekanikoen araberakoak dira.

Ez dago material batek edozein jardueratan duen portaera ezagutzeko bidea eskaintzen duen propietate bakarrik, anitz baizik. Materialaren portaera osoaren alderdi bereziak definitzen dituzte propietate horiek.

Propietate horiek piezaren historiaren edota emaniko tratamendu termikoen bidez alda daitezke, materiala bera (konposizioa) aldatu gabe. Beraz, propietateen balioak ikertutako egoeran baino ez dira baliagarri.

Hauexek dira ezaugarri garrantzitsuenak:
– elastikotasuna
– plastikotasuna
– zailtasuna
– hauskortasuna

Honako propietate hauek mugatzen dituzte ezaugarriak:
– erresistentziak
– gogortasunak
– erresilientziak
– eta abarrek

Aipatu propietateak ondoko saiakuntza hauen bitartez neurtzen dira:
– trakzio-saiakuntzaz
– gogortasun-saiakuntzaz
– erresilientzia-saiakuntzaz

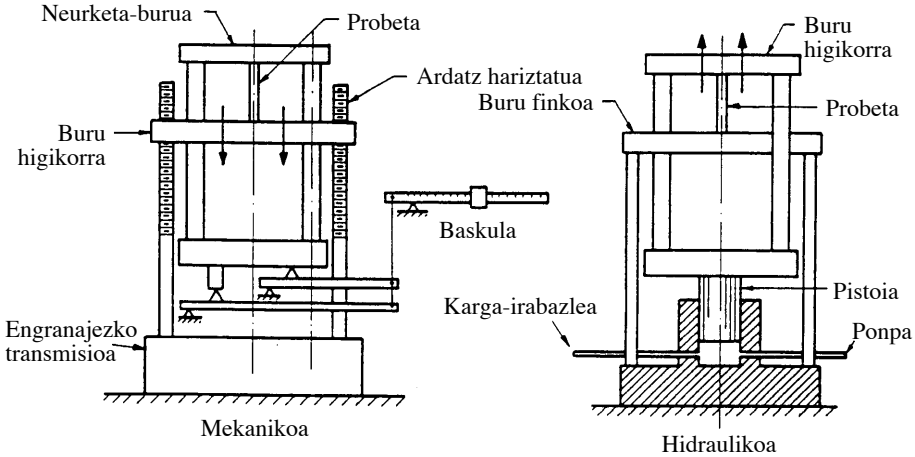
Propietate elastiko eta plastiko garrantzitsuenetariko bat **hausturarekiko erresistentzia da**, hots, haustura gertatzeko behar den karga unitarioa. Gehienetan, trakzio- edo makurdura-saiakuntzen bidez neurtzen da.

Gogortasuna: ikertzen ari garen materiala beste batek marratzeari edo beste bat haren barruan sartzeari dion erresistentzia da.

Erresilientzia: talka bidezko makurdura-saiakuntzan probeta haustean xurgatutako energia da. Zailtasunaren neurria da erresilientzia.

3.1.- Trakzio-saiakuntza

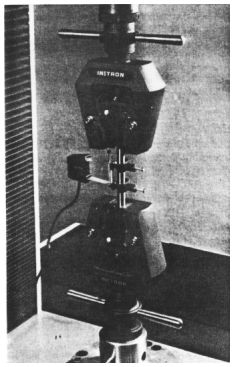
Forma eta arauturiko dimentsioak dituen probetari ardatz bakarreko trakzio-esfortzu hazkorra ezartzea da. Saiakuntzak dirauen bitartean probetaren luzapena eta ezarritako karga neurtzen dira.

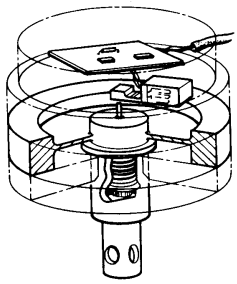


3.1. irudia. Trakzio-makina.

Esfortzuak, makinak berak duen sentsore baten bidez neurtzen dira.

Deformazio edo luzapenak, berriz, nahiz eta gaur egun "estentsometro" deritzon tresnaren bidez neurtzen diren (fabrika askotan horrela egiten da), probeta lotuta dagoen bi puntuen arteko tartea une bakoitzean neurtuta lortzen dira.





3.2. irudia. Estentsometroa eta karga-zelula.

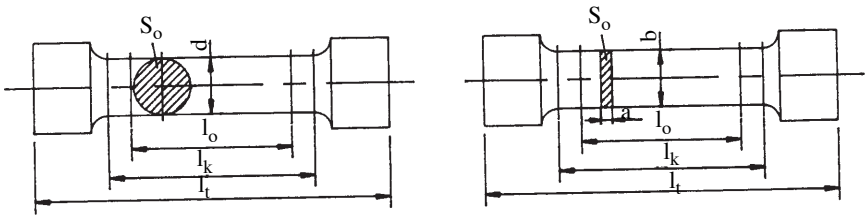
Kontu handiz zaindu behar da honakoa: alde batetik, probeta makinari ondo lotzea, eta, bestetik, kargaren noranzkoa eta probetaren luzetarako ardatza bat bera izatea, jarduera ardatz bakarrekoa izan dadin.

3.1.1.- Probetak

Aztertzen ari den produktuaren forma, dimentsio (barra, haria, xafla, tutua, forjatutako pieza, galdaturikoa, ...) eta materialaren araberakoak dira probetak.

Mekanizatuak ala landu gabekoak izan daitezke; haien zeharkako ebakidura zirkularra, karratua, angeluzuzena, hexagonala edota, kasu berezietan, beste edozein formatakoa izan daiteke.

Dena den, kasu guztietan zati kalibratu bat eta lotzeko buruak izan behar dira. Zati kalibratua erradio baten bidez lotzen da muturretako lotzeko buruetara. Buru hauek sekzio handiagokoak dira, haustura bertan gerta ez dadin, baita makinari lotzeko forma egokikoak ere.



3.3. irudia. Trakzio-probetak.

Estentsometroa, erabiliko bada, zati kalibratuan lotu behar da. Estentsometrorik erabili behar ez bada, bi puntu markatu zati kalibratuan, luzapenak neurtzeko erreferentzia gisa. Bigarren teknika horretan, hautsi ondoren probeta berriz osatu egiten da eta puntuen arteko tartea berriro neurtu behar da.

Emaitzak konparagarriak izan daitezen, probeta proportzionalak erabili behar dira, hau da, puntuen arteko hasierako distantzia (L_o) eta hasierako sekzioa (S_o) honela erlazionaturik dituztenak:

$$L_o = k \sqrt{S_o}$$

Altzairuzko produktuetan UNE 7262 arauak k = 5,65 erabiltzea gomendatzen da:

$$L_o = 5{,}65 \sqrt{S_o}$$

edota, ebakidura zirkularra baldin bada, $L_o = 5\ d$.

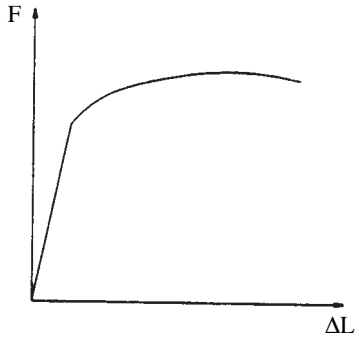
Probeten forma eta mekanizazio-perdoiak ere araututa daude.

Honako dimentsio hauek gomendatzen dira:

a (mm)	b (mm)	L_o (mm)	L_k (mm)	L_t (mm)
< 3	20	80	120	> 150
≥3	25	$5{,}65 \sqrt{S_o}$	$L_o + 2\sqrt{S_o}$	$< L_k + 2\sqrt{S_o}$

d (mm)	S (mm^2)	L_o (mm)	L_k (mm)	L_t (mm)
13,8 ± 0,09	150	70	77-98	$L_t > L_k + 2d$
20 ± 0,105	314,16	100	110-140	$L_t > L_k + 2d$

3.1.2.- Trakzio-diagrama



3.4. irudia. F/ΔL diagrama.

Esan bezala, saiakuntzan neurtutako aldiuneko karga eta luzapena grafiko batean irudikatzen dira.

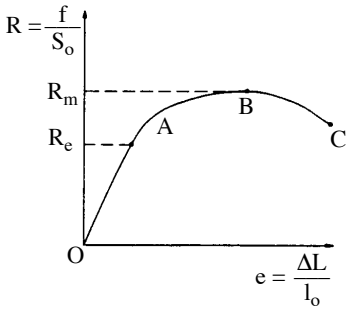
Probeta luzatzeko egin behar den indarra sekzioaren menpekoa denez gero, eta luzapena ($\Delta L = L - L_o$) hasierako luzerarekin alda daitekeenez, grafiko hau ezingo da beste dimentsio batzuetako probetetakoekin konparatu.

Hori dela eta, tentsio normala/deformazio normala diagrama erabiltzen da. **Diagrama konbentzionala** deitzen zaio horri:

$R = \frac{F}{S_o}$ Erresistentzia edo karga unitarioa

$e = \frac{\Delta L}{L_o}$ Luzapena edo deformazio unitarioa

non S_o eta L_o probetaren hasierako sekzioa eta luzera diren.



3.5. irudia. Trakzio--diagrama konbentzionala.

Unitateak: R-rentzat, Pascal (N/m^2)
MPa (10^6 Pa edo N/mm^2)
kg/cm^2
e-rentzat, % portzentajea.

Diagraman hiru zati bereizten dira:

OA: *Zati elastikoa.*

Ezarritako karga kentzen bazaio, probetak hasierako dimentsioak berreskuratzen ditu, malgukia balitz bezala.

Zati honetan, R eta e proportzionalak dira (zuzen bat osatzen dute), R = E.e.

Proportzionaltasun-koefizientea *Youngen Modulua* edo *elastikotasun--modulua* da: E.

A puntua alde elastikoaren muga da eta dagokion R_e erresistentziari *itxurazko elastikotasun-muga* deitzen zaio.

E handia denean, materiala zurruna dela esaten da: kargatzen denean gutxi deformatzen da.

AB: *Zati plastiko homogenoa*

Hor gertatzen den deformazioa iraunkorra eta homogenoa da. *Banaturiko deformazio plastikoa* edo *deformazio plastiko uniformea* deitzen zaio.

Materiala askatzean, beronek ez du deformazio osoa berreskuratzen; deformazio elastikoa baino ez. Ondorioz, deformatuta geratzen da (*plastikoki deformatuta*).

Batzuetan, zati honen hasieran *isurpena* edo *fluentzia* gertatzen da: materiala karga-aldaketarik gabe deformatzen da.

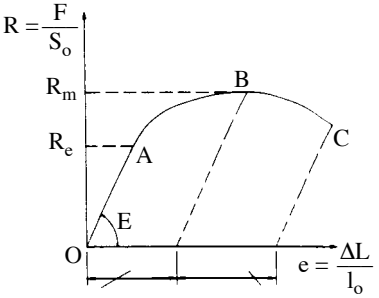
B-puntua karga maximoari dagokio. Hortik aurrera probeta estutu egiten da. Fenomeno horri *estrikzioa* deritzo. Dagokion erresistentzian, R_m, *trakzioarekiko erresistentzia, erresistentzia mekanikoa* edo *hausturarekiko erresistentzia* deitzen zaio.

BC: *Estrikzioa edo kokaturiko deformazio plastikoko* zatia.

Probeta C puntuan hausten da.

3.1.3.- Trakzio-saiakuntzaren bidez lorturiko ezaugarri nagusiak

Trakzio-diagramatik honako ezaugarri mekaniko hauek lor daitezke:

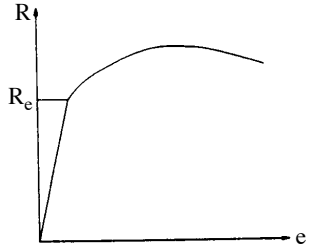


Deformazio homogenoa + Deformazio plastikoa = % A

3.6. irudia. Ezaugarri mekanikoak.

a) R_e edo R_p, *elastikotasun-muga*
b) R_m, *trakzioarekiko erresistentzia*
c) A, *luzapena*
d) E, *elastikotasun-modulua* edo *Youngen Modulua*
e) z, *estrikzioa*

a) Elastikotasun-muga



3.7. irudia. Elastikotasun-muga.

Definizioz, honako hau da: deformazioa iraunkorra izan dadin beharrezkoa den karga unitarioa.

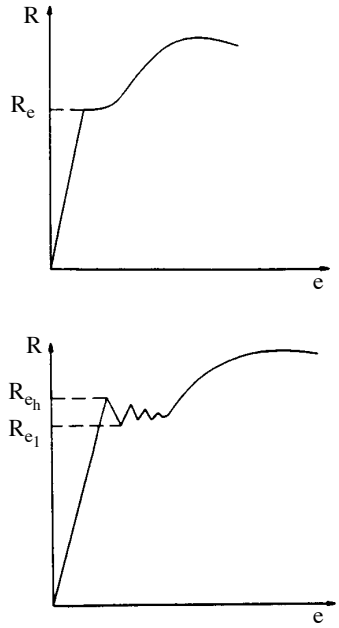
Puntu hau oso zaila da bereizten; horregatik, zenbait muga argiago definitu dira kalkulatzeko.

– R_e, *itxurazko elastikotasun-muga*

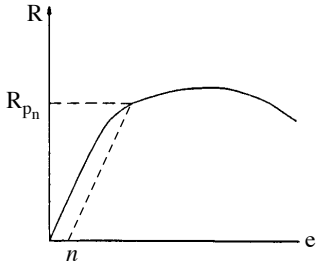
Karga aldatu gabe deformazioa asko igotzen deneko uneari dagokion erresistentzia da.

Zenbait materialek (karbono-altzairua) zati horretan oszilazio bat izaten dute, eta, ondorioz, itxurazko bi elastikotasun-muga definitzen dira:

- *Gorena*, R_{e_h}, isurpen edo fluentziaren hasierari dagokiona.
- *Beherena*, R_{e_l}, isurpeneko kargarik txikienari dagokiona.



3.8. irudia. Itxurazko elastikotasun-muga.



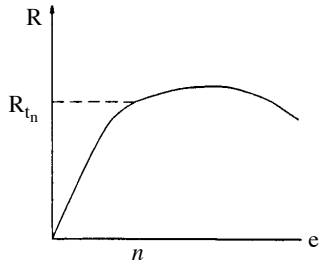
3.9. irudia. Hitzarmenezko elastikotasun-muga.

– R_{p_n}, *hitzarmenezko elastikotasun-muga*

Hitzarmenezko % *n* deformazio iraunkorra gertatzen deneko karga unitarioa da. *n* erabilienak % 0,2 eta % 0,1 dira.

– R_{t_n}, *hitzarmenezko elastikotasun-muga kargapean*

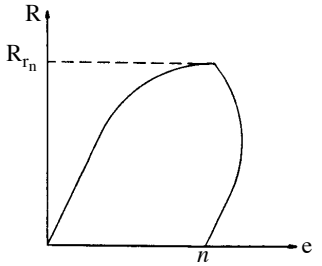
Hitzarmenezko % *n* deformazio osoa kargapean (deformazio elastikoa + deformazio plastikoa) gertatzen deneko karga unitarioa da.



3.10. irudia. Hitzarmenezko elastikotasun-muga kargapean.

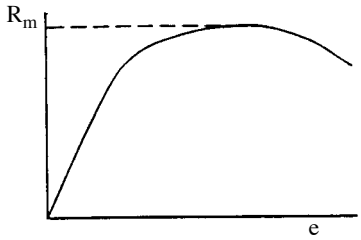
– R_{r_n}, % n-*ko deformazio iraunkorrezko elastikotasun-muga*

Karga kenduta deformazio iraunkorra hitzarmenezko % *n*-ra iristen denean daukagun erresistentzia da (zati proportzionalik ez duten materialetan erabiltzen da).



3.11. irudia. % *n*-ko deformazio iraunkorrezko elastikotasun--muga.

b) R_m, *Erresistentzia mekanikoa, trakzioarekiko edo hausturarekiko erresistentzia*



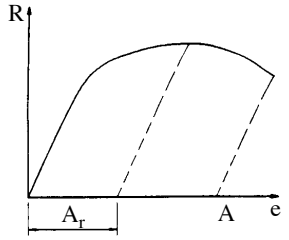
3.12. irudia. Erresistentzia mekanikoa, trakziorekiko erresistentzia edo hausturarekiko erresistentzia.

Saiakuntzan probetak jasaten duen karga unitario maximoa da.

Adibidez, % 30 Zn duen letoi baten R_m = 315 MPa. Hona zer adierazten duen horrek: 3 x 25 mm sekzioko barra batek 23.625 N jasaten dituela eten baino lehen.

c) A, *luzapena*

Materiala zenbat deformatzen den.



3.13. irudia. Luzapenak.

• A_r, *hondar-luzapena*

Erreferentzia-puntuen arteko tartearen gehikuntza, karga kendu ondoren, portzentajetan:

$$\% A_r = \frac{L - L_o}{L_o} \times 100$$

Adibidea:

Probeta bat 7.10^3 kg-ko pisuaz kargatzen da, eta, gero, askatu. Hasieran 100 mm-ra zeuden markak orain 2 mm urrundu dira. Hondar-luzapena: $\% A_r = \% 2$.

• A, *etendura- edo haustura-luzapena*

Probeta hautsi eta berriz osatu ondoren, bi erreferentzia-puntuen arteko tartearen balioa erabiliz kalkulatzen den luzapena:

$$\% A_r = \frac{L_f - L_o}{L_o} \times 100$$

Ezaugarri hau adierazten denean, beti aipatu behar da erabili den k proportzionaltasun-konstantea ($L_o = k \sqrt{S_o}$) $\% A_k$

d) E, *elastikotasun-modulua edo Youngen modulua*

Balio hau trakzio-kurbaren hasierako zati zuzenaren malda neurtuz lortzen da.

Elastikotasun-muga: luzapen elastikoak tentsioen funtzioan ezagutarazi eta materialaren zurruntasunaren berri ematen duen konstantea.

E-ren balioa kalkulatzeko bide zehatzagoak badaude: dardaren moteltzean edo ultrasoinuen hedapen-abiadura neurtzean dautzanak, hain zuzen.

c) z, *estrikzioa*

Hasierako S_o sekzioa eta probetaren etendura ondoko S_f sekzio minimoaren arteko diferentzia da. Ehunekotan adierazten da.

$$Z = \frac{S_o - S_f}{S_o} \times 100$$

3.2.- Gogortasun-saiakuntzak

Erraz, azkar eta behin eta berriro egiteko modukoak direnez, gogortasun--saiakuntzak dira entsegu mekaniko erabilienetakoak.

Hainbat tenika daude gogortasun-saiakuntzetarako:

- marraketa
- errebotea
- bata bestean sartzea
- eta abar.

3.2.1.- Marraketa-bidezko gogortasun-saiakuntzak

Saiakuntza hau karga bat ezartzen zaion diamantezko punta baten bidez aztertu nahi den materialean marra bat egitean datza. Teknika hori oso erabilia izan da mineralogian (Mohs-en eskala, 1820).

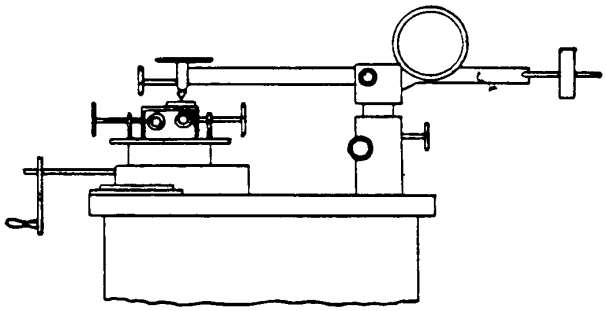
Mohs-en eskala			
1	Talkoa	6	Feldespatoa
2	Gatzarria	7	Kuartzoa
3	Kaltzita	8	Topazioa
4	Fluorita	9	Korindoia
5	Apatita	10	Diamantea

Mohs-ek 10 mineraleko eskala asmatu zuen. Metalurgian erabiltzen ez bada ere, mineralogian oraindik erabiltzen da. Material baten gogortasuna neurtzeko, ezagutzen den gorputzik gogorrenaz (diamanteaz) marratzen saiatu behar da. Marratzen bada, berdin segitzen da eskalako hurrengo materialekin, gogorrenetik bigunenera, probeta marratzen ez duen patroi bat aurkitu arte: materialaren gogortasuna patroi horrena izango da.

Karraskazko gogortasun-saiakuntza marraketazko entseiutzat jo daiteke. Gutxi gorabeherako gogortasuna besterik ez du ematen.

Marten-en marraketazko gogortasun-saiakuntza (3.14. irudia) piramide formako 90°ko erpina duen diamantezko punta batek eragiten duen marraren zabalera neurtzean datza, puntari karga konstantea ezarririk aztertzen ari den materiala higitzen saiatzen delarik. Marraren zabalera a baldin bada, mm-tan emana, Marten gogortasuna honela kalkulatzen da:

$$HM = \frac{10000}{a^2}$$



3.14. irudia. Marten-en esklerometroa: marraketazko gogortasun-neurgailua.

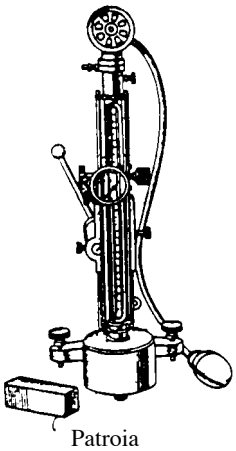
3.2.2.- Gogortasun elastikoa edo errebotezko gogortasun-saiakuntzak

Saiakuntza honetan, altuera jakin batetik materialaren gainazalera jausten den bola baten errebotearen altuera neurtzen da.

Multzo horretakoa da **Shore** saiakuntza. Tamaina handiko piezen eta kautxuzko eta plastikozko piezen gogortasuna neurtzeko erabiltzen da.

Aparatua (3.15. irudia) (Shore eskleroskopio izenekoa) 300 mm altuerako beirazko tutu bat da. Tutuaren barnetik 1/12 ontza (2,36 g) pisatzen duen eta muturrean diamantezko puntu biribildua duen altzairuzko zilindro bat jausten da.

Jausiaren altuera 10"koa da (254 mm), eta 140 zati berdinetan zatituta dago.



3.15. irudia. Errebotezko gogortasun-saiakuntzetarako Shore-makina.

Gogortasun-saiakuntzarako, aparatuaren oinarrian lotzen da pieza, xurgatze-sistema baten bidez mailua goiko posizioraino igotzen da eta jausten uzten da. Errebotearen altuera maximoak (mailua gelditu egiten da) ematen du gogortasunaren neurria.

Hona sistema hauen abantaila: saiakuntza egin den piezan ia aztarnarik ez da geratzen.

3.2.3.- Sarpenezko gogortasun-saiakuntzak

Saiakuntza hauek honetan dautza: karga konstante bat ezarrita duen eta pieza baino gogorragoa den elementu bat sartzean. Gogortasun-saiakuntza garrantzitsuenak hauek dira, batez ere metaletan erabiltzen direlako. Honako metodo hauek aztertuko ditugu: Rockwell, Brinell, Vickers eta Knoop metodoak.

Rockwell metodoa

Rockwell metodoak hatz-sakoneraren funtzioan neurtzen du materialaren gogortasuna.

Probetan pieza bat sartzen da, bi karga jarraian ezarrita, eta hatz--sakoneraren “e” hondar-gehikuntza neurtzen da.

Sartzeko bi pieza-mota daude:

- Diamantezko konoak: erpina 120° angelukoa eta muturra biribildua (r = 0,02 mm) dutenak.
- Bola esferikoak, diametro hauetakoak: 1/16’’, 1/8’’, 1/4’’, 1/2’’.

Rockwell gogortasun-eskalak:

Eskala--izena	Saiakuntza--mota	Sartzeko piezaren mota eta tamaina	Karga txikia (kg)	Karga nagusia (kg)	Aplikazioak
A	Normala	diamantezko konoa	10	60	Altzairu nitruratuak, hotzetan ijetzitako zumitzak, bizar labantxoak, karburo metalikoak (90-98)
B	"	1/16"ko bola	"	100	Karbono-kopuru txikiko suberatutako karbono--altzairuak
C	"	diamantezko konoa	"	150	Altzairu gogorrak, 100 HRB edo 20 HRC baino gogortasun handiagoa dutenak
D	"	diamantezko konoa	"	100	Zementaturiko altzairuak
E	"	1/8"ko bola	"	100	Metal bigunak: marruskaduraren aurkakoak eta galdaturiko piezak
F	"	1/16"ko bola	"	60	Suberaturiko brontzea
G	"	1/16"ko bola	"	150	Fosforo-brontzea eta beste metal batzuk
H	"	1/8"ko bola	"	60	Metal bigunak, homogeneotasun gutxikoak, burdinurtua
K	"	1/8"ko bola	"	150	Metal gogorrak, homogeneotasun gutxikoak, burdinurtua
L	"	1/4"ko bola	"	60	"
M	"	1/4"ko bola	"	100	"
P	"	1/4"ko bola	"	150	"
R	"	1/2"ko bola	"	60	Oso metal bigunak
S	"	1/2"ko bola	"	100	"
V	"	1/2"ko bola	"	150	"
15-N	Gainazalekoa	diamantezko konoa	3	15	Nitruratutako edo zementatutako altzairuak, gogortasun handiko tresneria-altzairuak
30-N	"	diamantezko konoa	"	30	"
45-N	"	diamantezko konoa	"	45	"
15-T	"	1/16"ko bola	"	15	Brontzea, letoia eta altzairu biguna
30-T	"	1/16"ko bola	"	30	"
45-T	"	1/16"ko bola	"	45	"

3.16. irudian erakusten den bezala, honako urrats hauek jarraitzen dituzte saiakuntzek:

1. Probeta makinaren euskarriaren gainean ipintzen da.

2. Hasierako F_o karga ezartzen da.

3. F_1 gainkarga ezartzen da, araututako karga osora heldu arte, $F = F_o+F_1$

4. F_1 karga kentzen da eta, F_o karga mantenduz, "e" hondar-sakonera irakurtzen da.

Rockwell gogortasuna H-e zenbakia da, non:

* H = 100 A,C, D, N eta T eskaletan, eta H = 130 beste guztietan.

* e hondar-sakonera u unitatetan neurtuta; u = 2 μm eskala guztietan, N eta T eskaletan izan ezik, non u = 1 μm den.

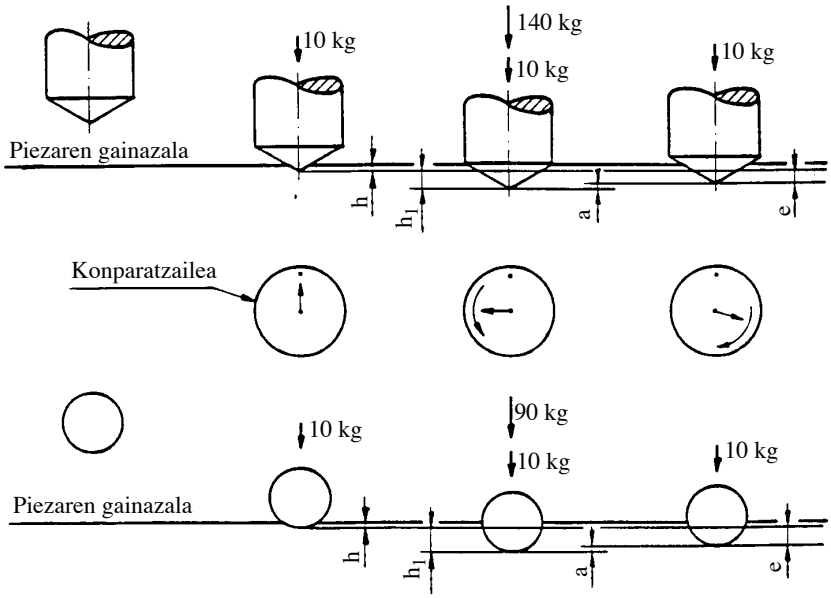
Rockwell gogortasuna emateko, zenbaki horri HRX letrak ipintzen zaizkio atzean. HR "Hardness Rockwell" (Rockwell gogortasuna) eta X eskalaren letra dira.

N eta T eskalen kasuan, letra hau baino lehen ezarritako karga osoa ipintzen da.

Adibidea:

C eskalan, e = 48 u (96 μm) $\Rightarrow$ H – e = 52, 52ko gogortasuna: 52 HRC

N eskalan, 30 kg erabiliz, e = 40 u = 40 μm $\Rightarrow$ H – e = 60: 60 HR 30 N.



3.16. irudia. Rockwell saiakuntzaren eskema.

Normalean, saiakuntza hau giro-tenperaturan egiten da.

Oharrak:

Euskarriak zurruna eta garbia izan behar du; sartzeko eraginak, berriz, probetaren gainazalarekiko elkartzuta.

Makinak ez du ez talkarik, ez dardararik jasan behar neurtzen ari den bitartean. Ez dira probeta eta euskarriaren arteko desplazamenduak onartzen.

Pieza zilindriko edo esferikoetan neurtutako gogortasunari arauek ezarritako zuzenketak aplikatu behar zaizkio.

Piezaren lodierak 8e baino handiagoa izan behar du (altzairuetan) eta 10e baino handiagoa aluminio edota kobrezko aleazioetan. Saiakuntzaren ondoren ez da probetaren atzealdeko gainazalean deformaziorik antzeman behar.

Bi hatz hurbilen arteko distantziak eta hatz baten zentroaren eta probetaren ertzaren arteko distantziak 2,5 bider hatzaren diametroa baino handiagoak izan behar dute.

Sartzeko piezaren dimentsioak txikiak direnez, Rockwell saiakuntza ez da gomendagarria ale-tamaina larriegiko altzairuetan (altzairurtuetan) egiteko.

Brinell metodoa

Aztertu nahi den produktuaren laginean D diametroko bola bat s segundoz sartzean (F karga ezartzen zaiolarik) eta hatzaren batez besteko d diametroa neurtzean datza saiakuntza hau.

Hatzaren azaleraz zatituriko F ezarritako kargari deritzo Brinell gogortasuna. Azalera kalkulatzeko, D diametroko esfera baten txapel esferikotzat hartzen da. Beraz,

$$HB = \frac{F\ (kg)}{A\ (mm^2)}$$

Hatzeko txapelaren azalera, ondoko hau izango da:

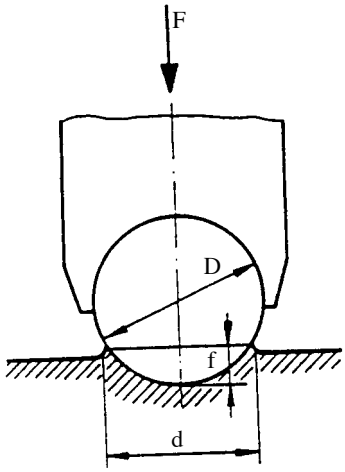
$$A = \pi \cdot d \cdot f$$

eta $f = \dfrac{D - \sqrt{D^2 - d^2}}{2}$ denez gero,

$$A = \frac{\pi d \left(D - \sqrt{D^2 - d^2}\right)}{2}$$

eta, ordezkatuz

$$HB = \frac{2F}{\pi d \left(D - \sqrt{D^2 - d^2}\right)}$$



3.17. irudia. Brinell saiakuntzaren eskema

Beraz, saiakuntza egin ondoren, d hatz-diametroa neurtzen da, sare graduatuko lupa erabiliz.

Ondoren, aipatutako kalkulua egiten da, edo, bestela (errazagoa da) tauletan begiratzen da ezarritako F kargari, bolaren D diametroari eta neurtutako hatz-diametroari dagokien Brinell gogortasuna.

Hainbat materialetan jasotako emaitzak konparagarriak izan daitezen, aplikaturiko kargek bolaren diametroaren karratuarekiko proportzionalak izan behar dute:

$$F = k \cdot D^2$$

non k-ren balioa materialaren araberakoa den:

Burdina eta altzairua	k = 30
Kobrea, brontzea, letoia	k = 10
Aleazio arinak	k = 5
Eztainua eta beruna	k = 2,5

Oso material bigunetan 1,25 eta 0,5 koefizienteak ere erabiltzen dira.

Gogortasunaren neurketa baldintza onenetan egin dadin, d hatz--diametroak bolarenaren % 35 eta % 50 bitartekoa izan behar du. Erabilitako bolak 10 mm, 5 mm, 2,5 mm, 1,25 mm, … diametrokoak izaten dira.

Laginaren lodierak euskarriaren gogortasunarekin interferentziarik izan ez dezan, nahikoa handia izan behar du. Normalean, lodierak gutxienez 10 bider hatzaren sakonera izan behar duela onartzen da. Bestalde, hatzaren zentrotik laginaren erpinerako tarteek 1,5 D-koa eta bi hatzen artekoak 2,5 D-koa izan behar dute, gutxienez.

Karga ezartzeko denbora hau da:

Burdina eta altzairua	10 - 30 s
Kobrea, brontzea, letoia	30 s

Aleazio arinak ..... 60 - 120 s
Eztainua eta beruna ..... 120 s
Oso material bigunak ..... 120 s.

Laginaren lodieraren arabera ezarri beharreko kargak:

Lagin--lodiera	Bolaren diametroa D	$F = k \cdot D^2$ (kp)					
		Burdina eta altzairua	Kobreak, brontzeak eta letoiak	Aleazio arinak	Eztainua eta beruna	Oso metal bigunak	
(mm)	(mm)	k = 30	k = 10	k = 5	k = 2,5	k = 1,25	k = 0,5
>6	10	3000	1000	500	250	125	50
3 - 6	5	750	250	125	62,5	31,5	12,5
2 - 3	2,5	187,5	62,5	31,2	15,6	7,8	3,1
< 2	1,25	46,9	15,6	7,8	3,91	1,99	

Probetak laua izan behar du; karga-ezarpenak, berriz, ardatzarekiko elkartzuta eta ahalik eta homogenoena. Gainazalaren egoerak ez du berebiziko eraginik: hatza neurtzeko modukoa izatearekin aski da.

Brinell saiakuntza 500 HB baino gogortasun txikiagoetan egiten da, handiagoetan bolaren deformazioak lorturiko emaitzetan eragina baitu.

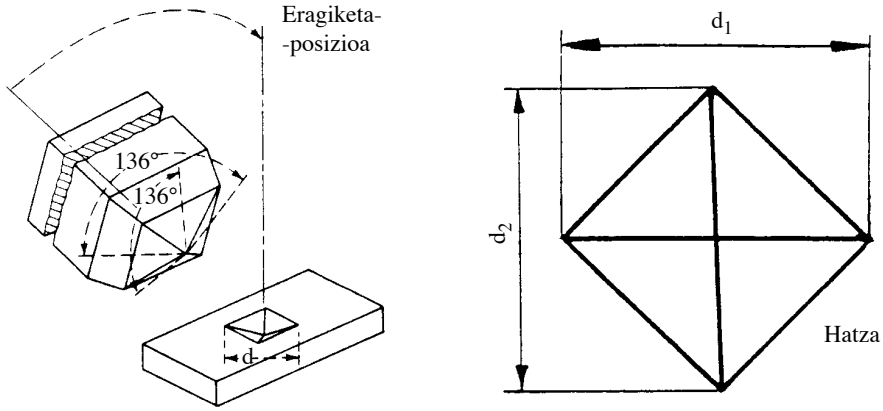
Brinell gogortasuna honela adierazten da: lorturiko balioa + HB letrak + D, F eta s parametroen balioak, barra batez bereizita.

Adibidez: 350 HB 10/3000/20

350 HB-ko gogortasuna 3000 kg-ko karga 20 s-tan ezarriz, 10 mm-ko bola baten bidez.

Vickers metodoa

Metodo hau Brinell metodoaren antzekoa da, baina sartzeko pieza gisa diamantezko oin karratudun piramide zuzena erabiliz. Pieza honen erpinean kontrako aurpegiek 136°ko angelua osatzen dute (3.19. irudia).



3.19. irudia. Diamantezko pieza eta dagokion hatza.

Gogortasuna, ezarritako F indarra hatzaren azaleraz zatituta lortzen da:

$$HV = \frac{F\ (kg)}{A\ (mm^2)}$$

d diagonaleko oin karratuko piramide zuzentzat hartzen da hatza. d diagonal honen baliotzat sare graduatuko mikroskopio baten bidez neurtutako hatzaren bi diagonalen arteko batez bestekoa hartzen da:

$$d = \frac{d_1 + d_2}{2}$$

Hatzaren azalera kalkulatzeko,

$$A = \frac{d^2}{2 \sin (\alpha/2)} = \frac{d^2}{1{,}854}$$

Beraz,

$$HV = \frac{1{,}854\ F}{d^2}$$

Saiakuntzan erabilitako kargak 1 kg eta 120 kg bitartekoak dira. Dena den, mikrogogortasuna neurtu nahi denean, batzuetan 1 kg baino karga

txikiagoak erabiltzen dira (normalean, 15 g eta 1000 g bitartekoak). Nahiz eta gogortasun- eta mikrogogortasun-saiakuntzen printzipioa bera izan, erabiltzen diren makinak desberdinak dira.

Karga-ezarpeneko tartea 10 eta 30 s bitartekoa da; normalean 15 s-koa.

Vickers gogortasuna adierazteko, balioa + HV letrak + F/t adierazten da.

Adibidea: 650 HV 10/30
30 s-tan 10 kg ezarriz, 650 HV lortu zen.

Laginaren lodierak, 1,5 bider diagonala baino handiagoa izan behar du.

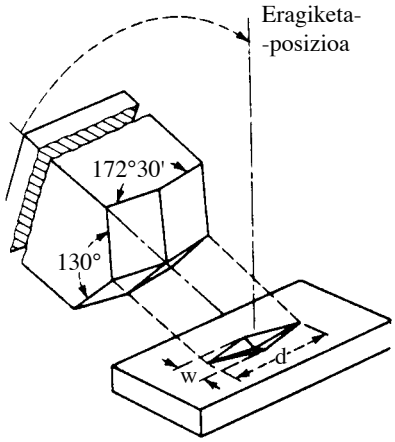
Saiakuntza gainazal kurbatuetan egiten denean, ezarritako kargak kurbadurak diagonalaren balioan duen eragina alde batera uzteko modukoa izan behar du, edota gogortasun-balioak d/D erlazioaren funtzioan zuzenduko dira (non D kasu honetan gainazal kurbatuaren diametroa den), araudietako balioak erabiltzen direlarik (ikus UNE 7050-73, adibidez).

Knoop metodoa

Mikrogogortasuna neurtzeko erabiltzen da.

Vickersarekin duen desberdintasun bakarra sartzeko pieza da: oin erronbikoko Piramidea da kasu honetan (3.20. irudia). Piramidearen erpinetako angeluak 172°30' eta 130° dira, oinaren diagonalen arteko erlazioa 7:1 delarik.

Gogortasuna, formula honen bidez kalkulatzen da:



3.20. irudia. Knoop metodoko pieza.

$$HK = \frac{F}{0{,}07028 \cdot d^2}$$

non d diagonal nagusia (sare graduatua duen mikroskopio baten bidez neurtzen da) eta F, ezarritako karga, 15-1.000 gramokoa izaten den.

Vickers eta Knoop gogortasunak, behaketa mikrografikoekin batera, asko erabiltzen dira laborategietan materialak aztertzeko.

3.3.- Gogortasun-neurketen arteko erlazioa

Gogortasuna elastikotasun-mugaren eta deformaziozko garraztasuna lortzeko gaitasunaren mendekoa da. Saiakuntzan eragindako deformazioak % 10ekoak direla kontuan izanik, ez dirudi bidezkoa metodo desberdinez neurtutako gogortasunak konparatzea.

Dena den, dauden erlazio-taulak oso erabilgarriak dira, nahiz eta enpirikoak eta gutxi gorabeherakoak izan.

3.4.- Gogortasun-neurketa eta trakzioarekiko erresistentziaren arteko erlazioa

Aipatutako arrazoi horiexegatik, ez da erraza gogortasuna eta trakzio--ezaugarriak (R_p, R_m) erlazionatzea.

Dena den, badago aleazio bakoitzarentzat erlazio bat aurkitzerik, bereziki, ijetzi landugabe eta termikoki trataturiko karbono-altzairuentzat egindako taulak. Taula hauek ez dute balio ez altzairu garratzentzat, ez altzairu herdoilgaitzentzat, ezta aleazio ez-burdinezkoentzat ere.

Formula enpirikoak ere proposatu dira; adibidez, IRSIDek altzairuentzat proposatutakoa:

$$HV = 1{,}4\ R_p + 1{,}6\ R_m$$

Erlazio hauek oso erabilgarriak badira ere, erabiltzeko aplikazio-mugak ezagutu behar dira.

Gogortasunen batez besteko baliokidetasunak (NF A03-172, NF A03-173).

HV F ≥ 98.1 N Gogortasuna	HV HBW Gogortasuna	HRA Gogortasuna	HRB Gogortasuna	HRC Gogortasuna	HRD Gogortasuna	Trakzio- -erresistentzia R_m (MPa)
80	76,0					280
85	80,7					310
90	85,5					320
95	90,2					340
100	95,0					350
105	99,8					370
110	104,5		62,0			380
115	109,3		64,6			390
120	114,0		67,0			410
125	118,8		69,0			420
130	123,5		71,0			440
135	128,3		73,1			450
140	133,0		75,1			470
145	137,8		77,0			480
150	142,5		78,8			500
155	147,3		80,5			510
160	152,0		82,1			530
165	156,8		83,5			540
170	161,5		85,0			550
175	166,3		86,1			570
180	171,0		87,3			580
185	175,8		88,5			600
190	180,5		89,6			610
195	185,3		90,7			630
200	190,0		91,8			650
205	194,8		92,8			660
210	199,5		93,7			680
215	204,3		94,6			690
220	209,0		95,5			710
225	213,8		96,3			720
230	218,5					740
235	223,3					750
240	228	60,7		20,3	40,3	770
245	232,8	61,2		21,3	41,1	780
250	235,5	61,6		22,2	41,7	800
255	242,2	62,0		23,1	42,2	820
260	247,0	62,4		24,0	43,1	830
265	251,7	62,7		24,8	43,7	850
270	256,5	63,1		25,6	44,3	860
275	261,2	63,5		26,4	44,9	880
280	266,0	63,8		27,1	45,3	890
285	270,7	64,2		27,8	46,0	910
290	275,5	64,5		28,5	46,5	930
295	280,2	64,8		29,2	47,1	940
300	285,0	62,5		29,8	47,5	960
310	294,5	62,8		31,0	48,4	990
320	304	66,4		32,2	49,4	1020

HV F ≥ 98.1 N Gogortasuna	HV HBW Gogortasuna	HRA Gogortasuna	HRB Gogortasuna	HRC Gogortasuna	HRD Gogortasuna	Trakzio- -erresistentzia R_m (MPa)
330	313,5	67,0		33,3	50,2	1060
340	323,0	67,6		34,4	51,1	1090
350	332,5	68,1		35,5	51,9	1120
360	342,0	68,7		36,6	52,8	1160
370	351,5	69,2		37,7	53,8	1190
380	361,0	69,8		38,8	54,4	1220
390	370,5	70,3		39,8	55,2	1260
400	380,0	70,8		40,8	56,0	1290
410	389,5	71,4		41,8	56,8	1330
420	399,0	71,8		42,7	57,5	1360
430	408,5	72,0		43,6	58,2	1400
440	418,0	72,3		44,5	58,8	1430
450	423,0	73,3		45,3	59,4	1470
460	432	73,6		46,1	60,1	1500
470	442	74,1		46,9	60,7	1540
480	450	74,5		47,7	61,3	1570
490	456	74,9		48,4	61,6	1610
500	466	75,3		49,1	62,2	1650
510	475	75,7		49,8	62,9	1680
520	483	76,1		50,5	63,5	1720
530	492	76,4		51,1	63,9	1760
540	500	76,7		51,7	64,4	1790
550	509	77		52,3	64,8	1830
560	517	77,4		53,0	65,4	1870
570	526	77,8		53,6	65,8	1910
580	535	78,0		54,1	66,2	1940
590	543	78,4		54,7	66,7	1980
600	552	78,6		55,2	67,0	2020
610	560	78,9		55,7	67,5	2060
620	569	79,2		56,3	67,9	2100
630	577	79,5		56,8	68,3	2140
540	586	79,8		57,3	68,7	2180
650		80,0		57,8	69,0	2220
660		80,3		58,3	69,4	
670		80,6		58,8	69,8	
680		80,8		59,2	70,1	
690		81,1		59,7	70,5	
700		81,3		60,1	70,8	
720		81,8		61,0	71,5	
740		82,2		61,8	72,1	
760		82,6		62,5	72,6	
780		83,0		63,3	73,3	
800		83,4		64,0	73,8	
820		83,8		64,7	74,3	
840		84,1		65,3	74,8	
860		84,4		65,9	75,3	
880		84,7		66,4	75,7	
900		85,0		67,0	76,1	
920		85,3		67,5	76,5	
940		85,6		68,0	76,9	

3.5.- Erresilientzia-saiakuntzak edo hozkadun probeten aurkako talka bidezko makurdura-saiakuntzak

Batzuetan, trakzio-saiakuntzatik atera daitezkeen ezaugarri mekanikoak ez dira aski, elastikotasun-mugara iritsi gabe gerta baitaiteke materiala haustea, metala hauskor portatzen deneko baldintzen pean.

Hauskortasuna eragiten duten faktoreak hauexek dira:

- hiru ardatzetako tentsio-jarduera: hori kontuan izanik, probetak hozkatu egiten dira
- tenperatura jaistea
- deformazio-abiadura handiagotzea
- piezaren tamaina handiagotzea

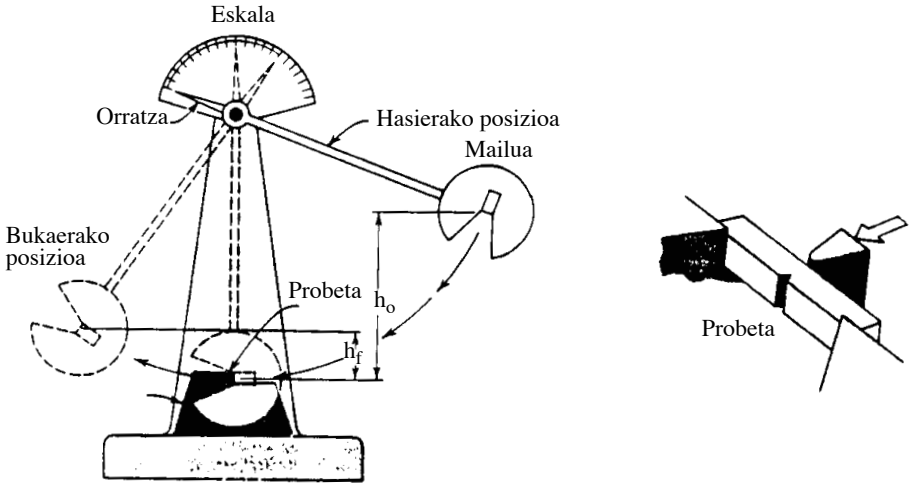
Materialen talkarekiko erresistentzia (hau da, beren erresilientzia) neurtzeko oso bide zaharra izan arren, gaur egun ere oso erabilia da Charpy saiakuntza edo Hozkadun Probeten aurkako Talkazko Makurdura Saiakuntza ere deritzona.

Bere zentroan hozka duen probeta bat talka batez haustean datza saiakuntza, probetak muturrak finkatuta dituelarik, hots, makurdurapean dagoelarik, eta xurgatutako energia neurtzen delarik.

Erresilientziaren balioak hausturan xurgaturiko energia (jouletan) edo azalera unitateko (joule/cm^2) bezala adierazten dira. Lehenengo kasuan, KU eta KV ikurrak erabiltzen dira. Bigarrenean, aldiz, KCU eta KCV, non U eta V letrak hozka-formari dagozion (3.22. irudia).

3.5.1.- Entseiu-makina

Entsegu-makinak zati hauek ditu: plano bertikalean oszilatzen duen masa pendularra, horren egitura zurruna, pendulu honek egiten duen lanaren neurgailua eta probeta finkatzeko blokea.



3.21. irudia. Charpy-ren penduluaren eskema.

Xurgatutako energia neurtzeko, hasieran penduluak bere altuerari dagokion energia potentziala besterik ez duela jotzen da ($E_o = mgh_o$). Probeta haustean energia hori hein batean galdu egingo du, eta penduluak aurrera segitzen badu ere, altuera txikiagora igoko da ($E_f = mgh_f$). Altuera--diferentzia horrek ematen digu xurgatutako energiaren balioa.

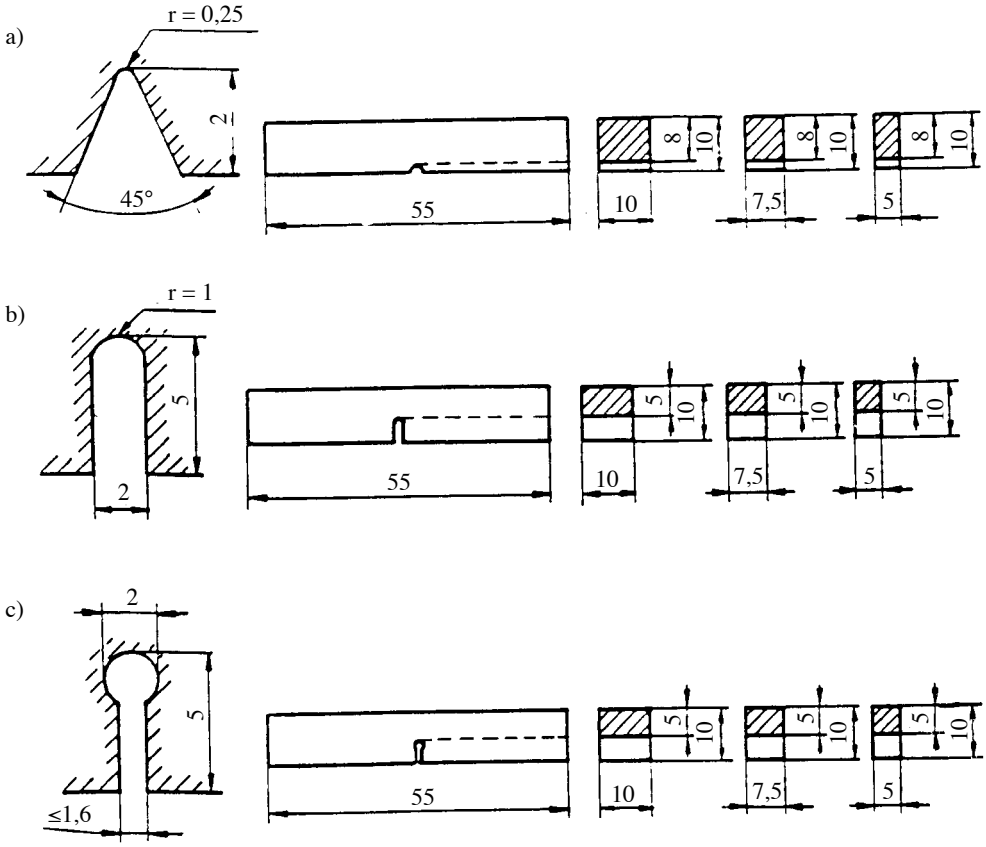
Altuera neurtzeko, penduluak erortzean orratz bat bultzatzen du zirkulu graduatu batean. Horrela adierazten ditu altuera maximoak.

Eskalaren graduazioak energia maximoaren neurria ± % 0,5eko errore maximoaz ematen digu. Saiakuntza normalean, energia maximoa (hasierakoa) 300 joulekoa da.

3.5.2.- Probetak

Erabat mekanizatuak izan behar dute probetek. Probeta normala 55 mm luzekoa eta 10 mm zabaleko ebakidura karratuduna da. Alde luzearen erdian V, U edo sarraila-zuloaren formako hozka du (3.22. irudia).

Hozkaren simetria-planoa probetaren luzetarako ardatzarekiko elkartzut izan behar da.



3.22. irudia. UNE 36403-81 araberako probetak. a) U erako hozkaduna, b) V erako hozkaduna; c) Sarraila-zuloaren erako hozkaduna.

Batzuetan, zenbait produkturentzat probeta txikiak erabiltzea onartzen da: 10 mm baino zabalera txikiagokoak, erabilitako arauak dioenari jarraituz.

3.5.3.- Saiakuntza egitea

Penduluaren ertzak hozkaren kontrako aldean jotzeko moduan ipintzen da probeta (3.21. irudia).

Pendulua energia maximoari dagokion altueraraino igo ondoren, probeta bere lekuan ipintzen da eta pendulua askatu egiten da. Hausturan xurgatutako energia apuntatu egiten da.

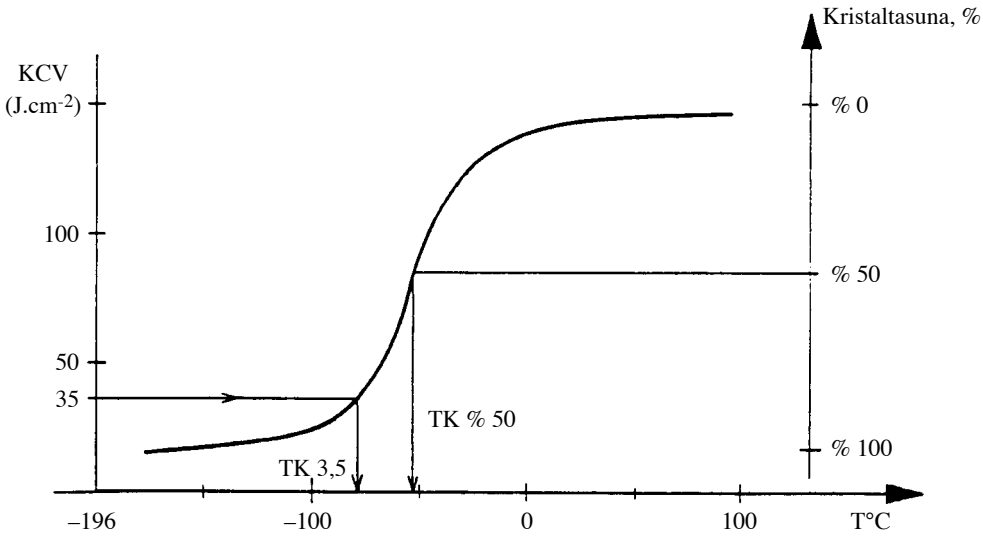
Arauak eskatzen duen tenperaturan egin behar da saiakuntza. Kasu guztietan, saiakuntza egiten deneko unean probetak duen tenperatura aipatu egin behar da.

3.5.4.- Tenperaturaren eragina

Erresilientzia tenperaturaren arabera irudikatzen bada, lortzen den kurbak hauskor/harikor trantsizio-zati bat du.

Haustura harikorra bada —materiala hautsi baino lehen deformatu egiten da (adibidez, plastikoa)— energia handia behar da probeta hausteko.

Haustura hauskorra denean, berriz, energia apur bat nahikoa da (beiraren kasuan, adibidez).



3.23. irudia. Hauskor/harikor trantsizio-kurba.

Ia material guztiak hauskorrak dira tenperatura baxuetan eta harikorrak gorenetan.

Normalean, trantsizioa samurra izaten da eta trantsizio-tenperatura aukeratzeko hitzartutako irizpideak erabili behar dira.

Irizpide erabilienak ondoko hauexek dira:

– Trantsizio-tenperaturatzat energia ezagun bati dagokiona hartzen da (normalean, 35 J/cm^2 → TK35).

– % 50eko kristaltasunari dagokion tenperatura hartzen da trantsizio--tenperaturatzat (→ TK% 50).

Haustura-gainazala honelakoa izaten da:

a) kristal-itxurakoa (ale distiratsuak agerian), haustura hauskorra izan den zatian: xurgaturiko energia txikia;

b) zuntz-itxurakoa (matea), haustura harikorra izan den zatian: xurgaturiko energia handia.

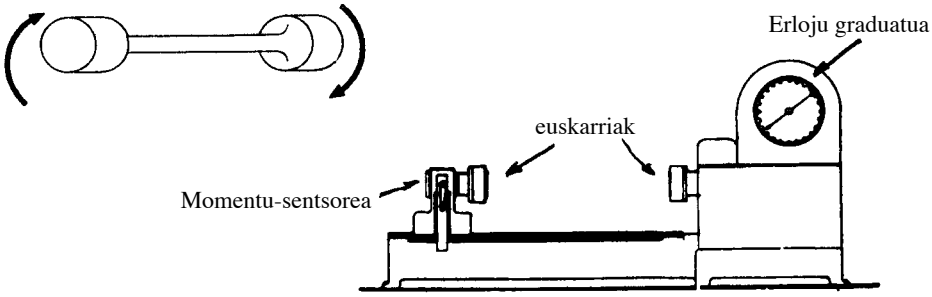
Kristaltasun-portzentajea azalera kristalino edo distiratsuaren eta azalera osoaren arteko erlazioa da. Zati hauskorrean 100 balio du. Harikorrean, berriz, 0. Beraz, TK % 50eko trantsizio-tenperatura haustura-azaleraren % 50 kristal-itxura duenekoa da.

Trantsizio-tenperaturaren garrantzia honetan datza: harikor izateko diseinatu den (materiala horretarako hautatu da) egitura bat tenperatura baxuegian lan egitera behartzen bada, baliteke hauskorki haustea, hots, hausteko energia txikiagoa nahikoa izatea, trantsizio-tenperatura baino baxuagoan erabili delako.

3.6.- Bihurdura-saiakuntza

Probetari mutur batetik eutsi egiten zaio, beste muturra birarazten den bitartean. Probetaren sekzioa zilindrikoa izaten da normalean.

Behar den momentua eta eragindako biraketa-angelua neurtzen dira.



3.24. irudia. Bihurdura-saiakuntza.

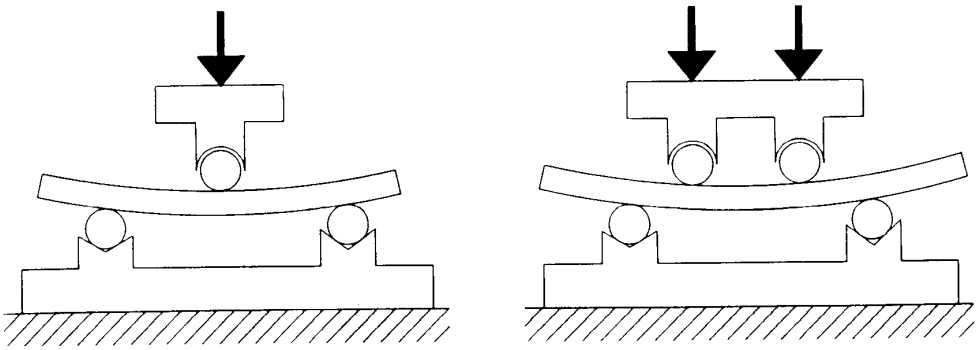
Saiakuntza hau materiala asko deformatu nahi denean (trakzioan ahal dena baino gehiago) edota ardatzen eta barauts helikoidalen portaera mekanikoa jakin nahi denean erabiltzen da.

3.7.- Makurdura-saiakuntza estatikoa

Ebakidura uniformeko (angeluzuzen edo zilindrikoko) laginak erabiltzen dira. Probeta muturretan finkatzen da eta haren erdian indarra eragiten duen arrabol bat edo biren bitartez makurrarazi egiten da, hautsi arte.

Saiakuntza honen bitartez haustura-erresistentzia (trakzioan lortutakoarekiko desberdina) eta E elastikotasun-modulua neurtzen dira. Bigarren hori, trakzioz baino errazago.

Hiru ala Lau Puntuko Makurdura izan daiteke. Bigarrenak balio zehatzagoak eskaintzen ditu.

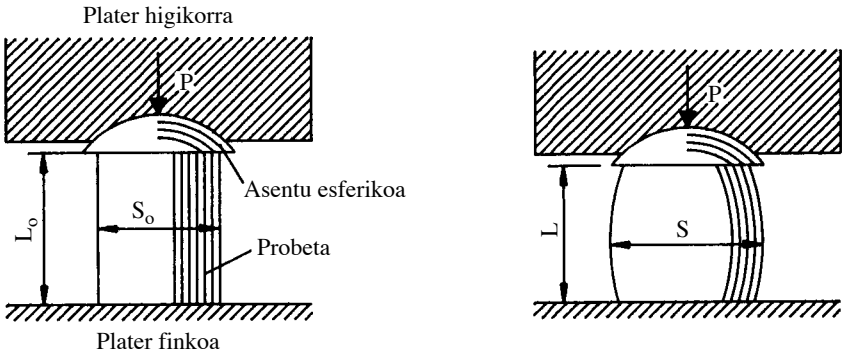


3.25. irudia. Hiru eta Lau Puntuko Makurdura Saiakuntzak.

Material hauskorrak aztertzeko erabiltzen da: burdinurtuak, zeramikak, eta abar.

3.8.- Konpresio-saiakuntza

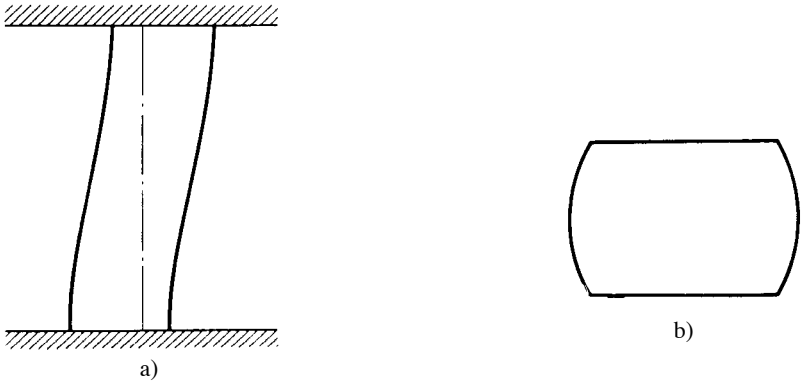
Trakziokoaren antzekoa da, baina tiratu beharrean konprimitu egiten da.



3.26. irudia. Konpresio-saiakuntza.

Saiakuntza honetan, estrikziorik gertatzen ez denez, trakzioan baino deformazio plastiko uniforme handiagoa lor daiteke.

Dena den, beste akatsik ere badago: probeta lerdenetan (hots, h/D handia dutenetan) gilbordura gerta daiteke. Probeta motzek (hau da, h/D handia dutenek) aldiz, upel-itxura har dezakete.



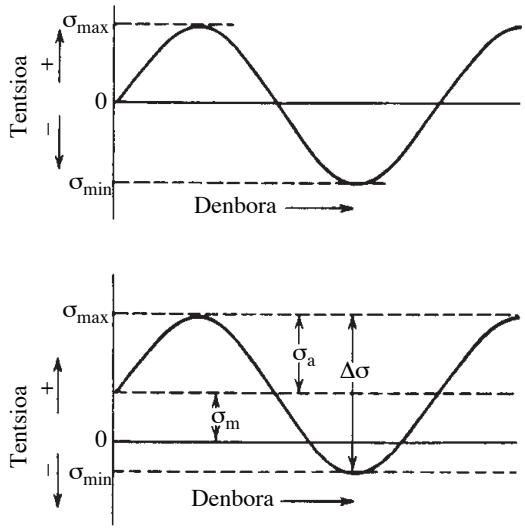
3.27. irudia. Konpresio-saiakuntzak sortzen dituen akatsak: a) gilbordura b) upel itxura.

Hala eta guztiz ere, h/D egokia eta labaingarriak erabiltzen direnean, e = 1 (% 100) deformazio uniformea lor daiteke. Trakzioz, berriz, e < 0,5 (% 50) bakarrik lor daiteke.

3.9.- Neke-saiakuntza

Batzuetan (materiala dardarapean dagoenean, adibidez) duen erresistentzia mekanikoa baino karga txikiagoarekin hauts daiteke. Materiala nekeak hautsi duela esaten da horrelakoetan.

Materialaren nekearekiko erresistentzia aztertzeko, denbora luzez (egunetan) karga desberdinak ezartzen zaizkio. Karga desberdin hauek (irudikoak) izan daitezke, edota bi trakzio-karga desberdinen arteko aldaketak, edota trakzio/konpresio aldaketak.



3.28. irudia. Neke-saiakuntzan ezarritako kargak.

3.10.- Saiakuntza teknologikoak

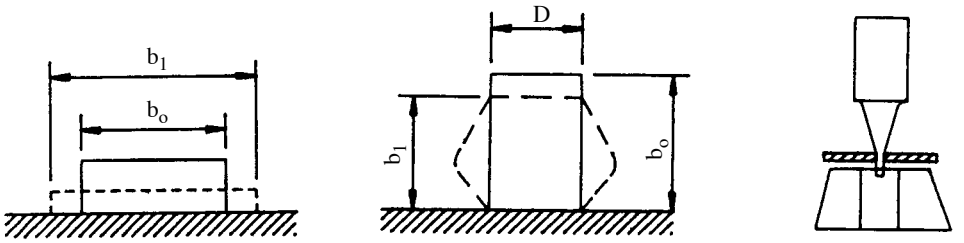
Beste saiakuntza-mota batzuk materialen konformaziorako gaitasuna ezagutzeko erabiltzen dira: entsegu teknologikoak dira.

Erabilienetarikoak hauexek dira:

– Forjaketa-entsegua

Materialaren forjagarritasuna neurtzen du. Pitzadurak izan arte forjatzen da probeta (zabalketaz, zanpaketaz, ...) eta forja-erlazioa neurtzen da

$$\left(\frac{b_o}{b_1} \times 100; \quad \frac{\ell_o}{\ell_1} \times 100; \quad \frac{d_1}{d_0} \times 100\right)$$

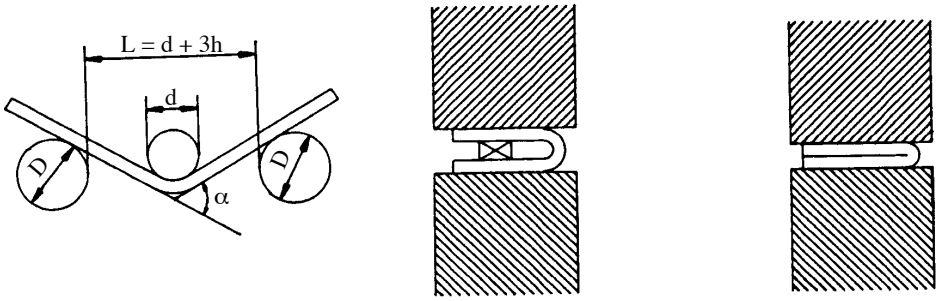


Zabalketa-saiakuntza Zanpaketa-saiakuntza Mandrinaketa-saiakuntza

3.29. irudia. Forjaketa-saiakuntzak.

– Tolestaketa-saiakuntza

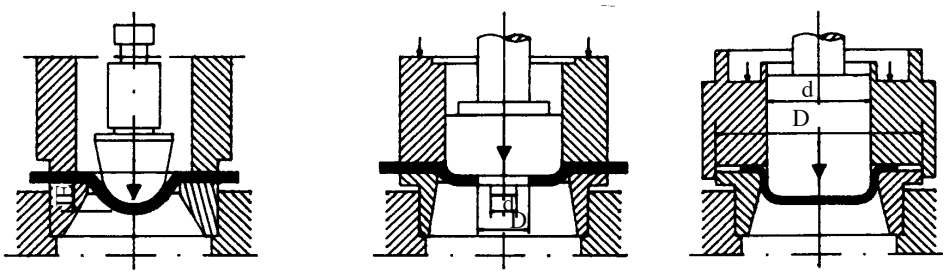
Materialari irudian duzuen formaren bat emanez tolestu eta pitzadurarik sortzen zaion ikusten da.



3.30. irudia. Tolestaketa-entseguak.

– Enbutizio-saiakuntza

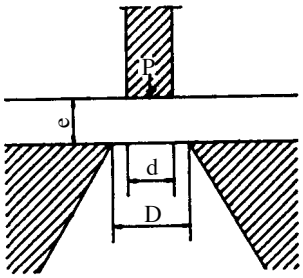
Kasu honetan materialaren enbutizioa jasateko gaitasuna aztertzen da (kartutxoak, latak, ... egiteko materialak). Entsegu-mota desberdinak daude, pitzadurak agertu orduko enbutizioa zein sakona izan daitekeen aztertzen dutenak.



3.31. irudia. Enbutizio-saiakuntzak.

– Puntzonaketa-saiakuntzak

Puntzonaketarekiko erresistentzia neurtzen da. Egitura erematxatuetan (lurrun-galdaretan eta abarretan) erabili behar diren materialei eragiten zaie.

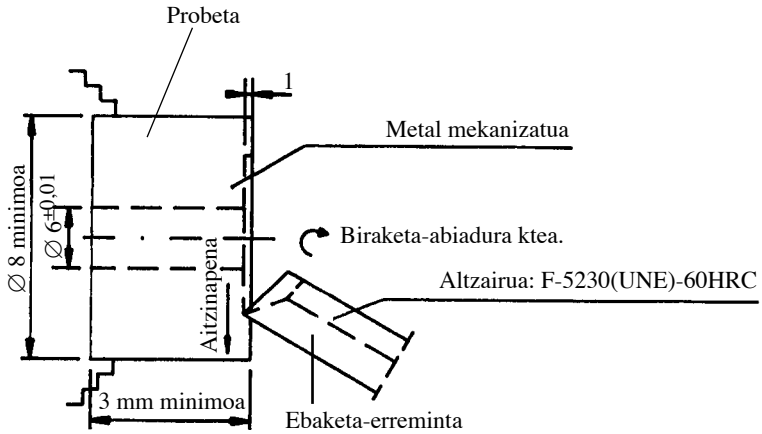


3.32. irudia. Puntzonaketa-saiakuntzak.

– Mekanizagarritasun-saiakuntzak

Ezagunena Marthon entsegua da. Normalizatutako probeta bat barnetik kanpoalderantz aurpegitzean datza. Ebaketa-erreminta higatu egiten da; higadura hori neur daiteke. Higadura balio jakin batera (normalean, 0,2 mm-ra) iristen denean amaitzen da entsegua. Materialak zenbat eta mekanizagarritasun txikiagoa izan, hainbat eta azkarrago iristen da erreminta higadura-balio normalizatura.

Ebaketa-erremintaren higadura 0,2 mm-koa izan dadin probetak eduki behar duen diametroa izaten da emaitza.



3.33. irudia. Mathon-saiakuntza.

3.11. Saiakuntza ez-suntsigarriak

Saiakuntza egin ondoren elementuak beren funtziorako erabil badaitezke (entseguko eskakizunak gainditzen badituzte, noski), saiakuntza ez-suntsigarria dela esaten da.

Entsegu suntsigarriak (trakzioa, talka, metalografia, ...) garrantzi handikoak dira eta, askotan, ezinbestekoak ez-suntsigarriek ematen duten informazioa osatzeko. Lehenengoak diseinu-faseetan dira batez ere garrantzizkoak. Bigarrenak nahitaezkoak dira erantzukizun handiko piezen fabrikazio-prozesuetan (serie osoa egiaztatu behar denean).

Saiakuntza hauetan honako teknika hauek erabiltzen dira:

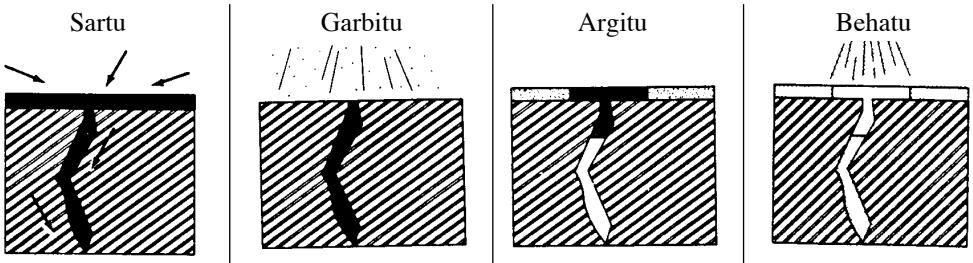
a) Likido sarkorrak

Teknika honen abantailak bere erraztasun eta ekonomian dautza, baita edozein material aztertu ahal izatean ere.

Metodo honen bitartez gainazalera zabalduriko etendurak aurki daitezke. Akatsetan sartu eta harrapatuta geratzeko bereziki formulatutako likido batzuk erabiltzen dira. Beste likido batek, argigarriak, sarkorra atera egiten

du eta etendura agerian geratzen da, kolore gorriz edo fluoreszentziaz ikusteko moduan.

Oso teknika egokia da hutsuneak eta mikrohutsuneak agerrarazteko.



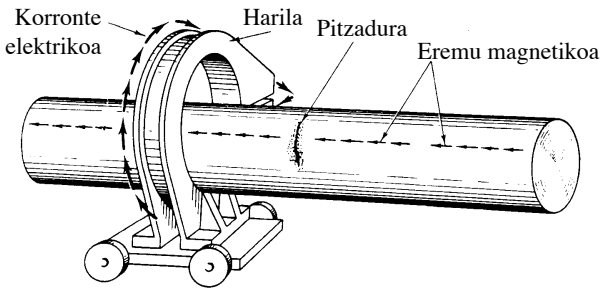
Sartu	Garbitu	Argitu	Behatu
Sarkor fluoreszentea pitzadurak xurgatzen du.	Ura garaztatzen da sarkorra gainazaletik kentzeko (ez pitzaduratik).	Argigarriak sarkorra xurgatu egiten du pitzaduratik kanpora.	Argi beltzak sarkorra fluoreszente agerrarazten du.

3.34. irudia. Likido sarkorrezko behaketa-metodoa.

b) Partikula magnetikoak

Urtze-prozesuaren eta tratamendu termikoen ondoren oso teknika erabilia da. Material ferromagnetikoetan baino ezin daiteke erabili eta gainazal- eta azpigainazal-akatsak (5-6 mm sakoneraino) agertarazten ditu.

Eremu magnetikoaren edo korronte elektrikoaren bidez magnetizatu behar da pieza. Magnetizazio-eragiketan gehitzen diren jariakin magnetikoek adierazten dituzte akatsak.



3.35. irudia. Partikula magnetikozko eragiketa.

c) Korronte induzituak

Entsegu honek gero eta garrantzi handiagoa du, automatizatu egin daitekeelako.

Eroale elektriko diren materialetan gainazaleko eta azpigainazaleko etendurak aurkitzeko balio du. Horrez gain, gogortasun-diferentziak eta egitura metalurgikoaren aldakuntzak argitaratzen ditu, tratamendu termikoen adierazgarri.

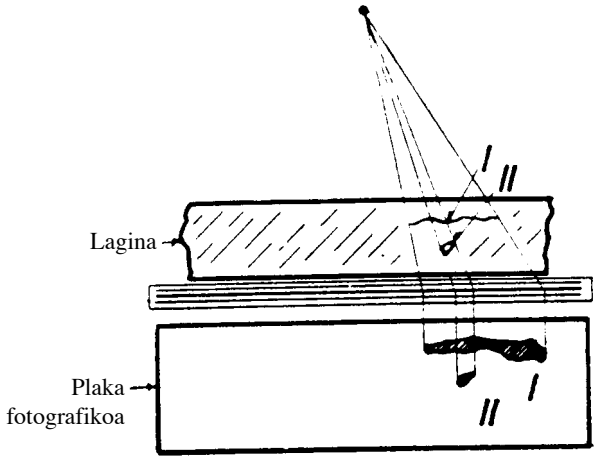
Induzitutako korronteek eragindako eremu magnetikoek jasaten dituzten aldakuntzetan datza. Korronte bera ere eremu magnetiko batek eragina edo induzitua da.

Erabiliena den teknika diferentzialean bi haril erabiltzen dira: bata erreferentziazkoa, patroi den piezan ipintzen dena, eta bestea harekiko edozein desberdintasun adierazten duena.

d) Erradiografia

Sorgailu batek igorritako erradiazio elektromagnetikoak dira X izpiak. Teknika honen bidez aztergai den objektuari jaurtitzen zaizkio izpi hauek.

Gaur egungo sorgailuekin, erradiazioak lodiera handiak zeharkatzen ditu eta barne-egituraren irudi zehatza ematen du. Irudi hori argazki-pelikula batean jasotzen da. Horrela, akatsen erregistroa (erradiografia) gorde egin daiteke, elkarren artean konparatzeko edo denborarekiko eboluzioa aztertzeko.



3.36. irudia. Akats baten irudia.

Teknika hau erabiltzen denean, ondoko parametroak hartu behar dira aintzat:

– erradiazio-mota
– pelikula-mota (badaude pelikularik gabeko teknikak ere)
– geometria zaileko piezetan, patroi-prestaketa
– izpien sarkortasuna, errebelatua, esposizioa, ...

Informazio handia eta zuzenean interpretatzekoa ematen badu ere, metodo hau oso garestia da eta langileak erradiaziotatik babestu egin behar dira.

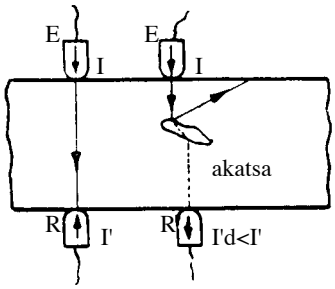
e) Ultrasoinuak

Barne-akatsak aurkitu eta aztertzeko egokia da teknika hau.

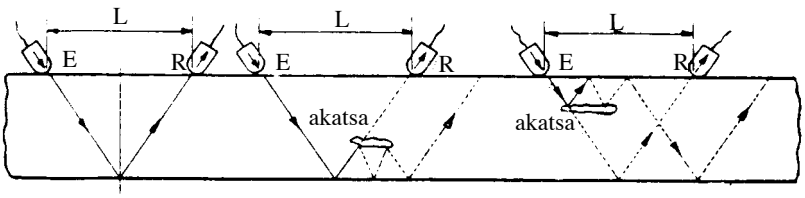
Erradiografia ordezkatzen ari da: ez du babes berezirik behar eta geometria sinpleko piezetan akatsen posizio eta dimentsioak erakusteko adinako sarkortasuna du.

Objektu bat zeharkatzean transduktore batek igorritako uhin ultrasonikoek jasaten duten ahultze-mailan datza. Ahultze horiek konparazioz detektatzen dira. Beraz, beharrezkoak dira patroiak.

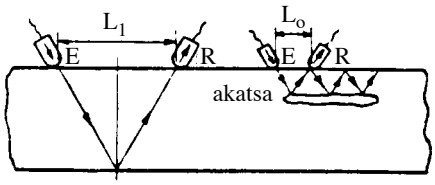
a)



b)



c)



3.37. irudia. Azterketa ultrasonikoa: a) gardentasunaz; b) intentsitate-ahulduraz; c) oihartzunaren posizioaz.

4.- GALDERAK

1.- Zer egin behar da materialen propietateak neurtzeko?

2.- Zein propietatek deskribatzen du:
elastikotasuna?
plastikotasuna?
zailtasuna?
hauskortasuna?

3.- Zein saiakuntza egin behar da 2. galderako ezaugarriek definitzen dituzten propietateak neurtzeko?

4.- Zer da haustura-karga?

5.- Zer da gogortasuna? Eta erresilientzia?

6.- Zein ezaugarri ateratzen da trakzio-saiakuntzatik?

7.- 15 mm diametroko altzairuzko barra batek trakziopean duen portaera aztertu nahi da. Arauari jarraituz, zein dimentsio izango luke probetak?

8.- Trakzio-makina batek L_k = 70 mm-ko probetekin saiakuntza egin dezake. 5 mm lodiko pieza badugu, zein izango lirateke probetaren forma eta dimentsioak?

9.- Zenbatekoa izango da 105 N-eko trakzio-jarduerapean dagoen altzairuzko probeta baten luzapena, haren hasierako dimentsioak 20 mm-ko diametroa eta 200 mm-ko luzera badira? ($E = 21.10^{10}$ $N.m^{-2}$).

10.- Altzairuzko probeta arautu bat (13,8 mm-ko ∅ eta 100 mm puntuen arteko distantzia) 60.000 N-eko kargapean dago, materialaren haustura-karga 95.400 N-ekoa delarik. Haustura-zatian diametroa

10,2 mm-koa da eta puntuen arteko distantzia, 115 mm-koa. Kalkulatu, $E = 21.10^4$ MPa eta elastikotasun-muga 500 MPa izanik:
a) tentsio unitarioa bi kasuetan;
b) luzapena 60.000 N-entzat eta haustura-luzapena;
c) estrikzioa.

11.- 13,8 mm-ko diametroa duen probeta zirkular bati 60.000 N eragiten zaizkio. Zein da jasaten ari den tentsioa (R)?

12.- Zein luzapen jasaten du 20 mm-ko diametroa eta 200 mm-ko luzera duen altzairuzko probeta batek 10.000 N-eko trakziopean deformazio elastikoko zatian badago? (E = 210000 MPa).

13.- 13,8 mm diametroko eta L_o = 70 mm-ko altzairuzko probeta baten trakzio-kurbatik taula hau atera da:

F(N)	0	1500	2000	2500	2850	3100	3400	3750	3820
ΔL (mm)	0	0,27	0,4	1	2	3	5	8,5	10
F(N)	3970	4000	4000	4030	4030	4000	3930	3800	
ΔL (mm)	14	15,5	17	20	23,5	25,5	28	29	

Haustura-karga: 3.500 N
Puntuen arteko distantzia hautsi ondoren: 98 mm
Haustura-sekzioaren diametroa: 117 mm.
Kalkulatu:
a) Diagrama konbentzionala
b) Young-en modulua, E
c) R_m edo trakzio-erresistentzia
d) Haustura-tentsioa
e) Haustura-luzapena
f) Estrikzioa

14.- Zein da trakzio-makina batek izan behar duen gaitasun maximoa 13,8 mm-ko ∅ duen altzairuzko probeta batekin saiakuntza egiteko (R_m = 1250 MPa)?

15.- Aipatu ezagutzen dituzun gogortasun-saiakuntzak.

16.- Zertan datza Rockwell saiakuntza?

17.- Zenbateko lodiera minimoa izan behar du altzairuzko lagin batek, 60 HRC gogortasuna neurtzen bazaio?

18.- Zertan datza Brinell metodoa?

19.- Zein lodiera minimo izan behar du lagin batek Rockwell B gogortasuna neurtu ahal izateko?

20.- Brinell entsegu batean 2,5 mm diametroko bola erabili da eta saiakuntza-konstantea 30 izan da: 1 mm diametroko hatza lortu da. Kalkulatu gogortasuna.

21.- 2,5 mm-ko lodiera duen letoizko xafla bati Brinell gogortasuna neurtu nahi zaio. Zein bola eta zein konstante erabili behar dira?

22.- Altzairu bati 100 mm diametroko bolaz eginiko Brinell saiakuntza batean 4 mm diametroko hatza lortzen da. Eman altzairuaren gogortasuna. Zenbatekoa da gutxi gorabehera haren trakzio-erresistentzia?

23.- Aluminio garratz baten Brinell gogortasuna neurtu nahi da, eta 110 HB 10/500/60koa izatea espero da. Zenbatekoa izan behar du probetaren lodiera minimoak? Gero, batezbestekoa kalkulatzeko gutxienez bi neurketa egin nahi badira, zenbatekoa izan behar du probetaren tamaina minimoak?

24.- Material baten gogortasuna bi metodoz neurtu da (Vickers eta Rockwell C metodoez) eta 760 HV10 eta 63 HRC lortu da. Logikoa al da?

25.- 30 kg erabiliz Vickers saiakuntzan 0,35 mm-ko hatz-diagonala lortu da. Kalkulatu gogortasuna.

26.- Zertan dautza talkazko makurdura-saiakuntzak?

27.- Charpy-ren mailu bat (m = 22 kg) 1,8 m-tik utzi da jausten. Probeta hautsi ondoren, 0,5 m-raino igo da berriro. Zenbat energia gastatu da entseguan?

28.- Zertarako balio du hauskor/harikor trantsizio-tenperatura ezagutzeak?

29.- Material batek TK35 = 10 °C. Siberiara bidali behar den makina bat kalkulatzeko balio al du? Eta Saharara bidaliko bada?

30.- Zer esan nahi du material batek 20 KU duela?

31.- Zein desberdintasun daude trakzio- eta bihurdura-saiakuntzen artean?

32.- Zein desberdintasun daude talkazko makurdura-saiakuntzaren eta makurdura estatikoaren artean?

33.- Zer da nekea?

34.- Zein motatako saiakuntza teknologikoa da zanpaketa-entseiua?

35.- Zer ikusten da tolestaketa-saiakuntzan?

36.- Zertarako balio du enbutizio-entseguak?

37.- Zein materialetarako izan daiteke erabilgarria puntzonagarritasun--entsegua?

38.- Ongien zein material torneatzen den jakin nahi dugu: karbono-altzairu bat ala aluminio-aleazio bat. Zein entsegu egingo zenuke?

39.- Zein desberdintasun daude saiakuntza ez-suntsigarrien eta saiakuntza suntsigarrien artean?

40.- Enpresako teknikari batek piezak pitzatuak iristen ote zaizkion susmoa du. Zer gomendatuko zenioke gaia argitzeko?

41.- Ba al dago metodo magnetikoa erabiltzerik aluminiozko pieza bat sendoa den ala ez ziurtatzeko?

42.- Ba al dauka metodo magnetikoak 20 mm lodiko piezaren zentroko pitzadura erakusterik?

43.- Zein dira metodo magnetikoen aplikazio-mugak? Eta korronte induzituenarenak?

44.- Zer ikus daiteke erradiografian?

45.- Zer abantaila ditu ultrasoinu-teknikak X izpienaren ondoan?

46.- Hutsunedun lagin batek hobeto ala okerrago transmititzen du soinua?

5.- BIBLIOGRAFIA

– “Conocimiento de materiales”; P. Coca eta J. Rosique; Ed. Cosmos, Valentzia, 1967.

– “Introducción a la Metalurgia física”; S. Avner; Mc Graw-Hill; Mexiko, 1979.

– “Conocimiento de materiales”; J.M. Sánchez-Marín eta J.M. Lasheras; Ed. Donostiarra; Donostia, 1987.

– “Mechanical Testing”; Metals Handbook, n. 8; ASM - 9. argit.

– “Altzairuen diseinurako Metalurgia fisikoa”; J.M. Rodriguez Ibabe eta J.J. Urkola; Elhuyar-Elkar S.A.; Donostia, 1993.