

Mikroegituraren eragina altzairu- en zailtasunean

M.A. Linaza, J. M. Rodriguez Ibabe
eta **J.J. Urkola**

CEIT eta Donostiako Injineru Industrialen
Goi Mailako Eskola
P.K. 1555, 20009 Donostia

Abstract

Some non-metallic inclusions in steels can provide sites for cleavage initiation and subsequent brittle fracture. It has been demonstrated that in microalloyed forging steels at room temperature crack propagation depends critically on microstructural parameters: a fine ferrite-pearlite microstructure inhibits brittle cracking, giving place to ductile fracture mechanisms. Similar behaviour has been observed with a fine acicular ferrite introduced through thermomechanical treatments.

Sarrera

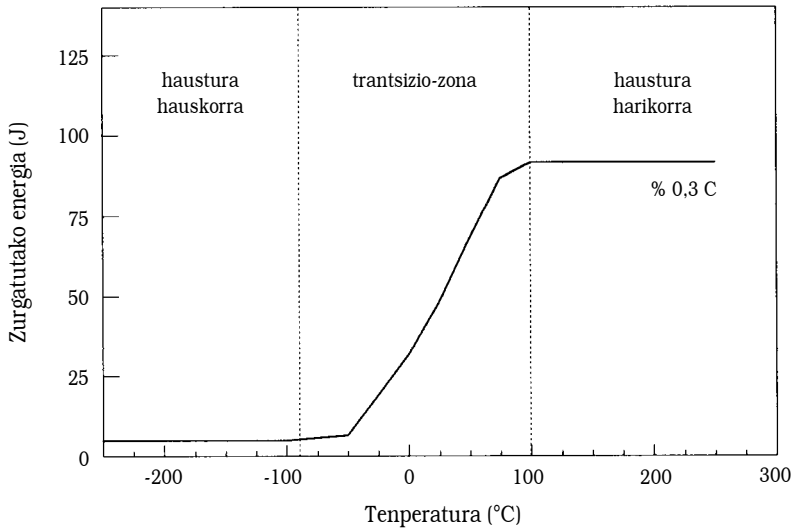
Altzairuen erabilpen askotan, erresistentzia mekanikoaz gain garrantzi handia duen beste propietate bat zailtasuna da. Hautsi baino lehen material batek zurgatzen duen energiari zailtasuna deritzo. Energia horren balioa handia baldin bada, zailtasun handiko materiala izango da (kasu gehienetan bere portaera harikorra izanik) eta bere erabilpena zenbait aplikazio berezitarako egokia izango da. Aldiz, zurgatutako energia txikia denean, materiala hauskorra dela kontsideratzen da.

Zailtasunarekiko portaera neurri handi batean materialaren mikroegiturazko parametro desberdinen bidez kontrolatuta dago (hemen temperatura konstante kontsideratzen da, bere eragina kontutan hartu gabe). Beraz, pieza ala osagai batek eduki dezakeen propietate makroskopiko horren portaera, tamaina txikiko parametroez (ale-tamaina, partikula

eta abarrez) kontrolatzen da. Artikulu hone-tan zehar egiturazko eta forjaketarako altzairu desberdinetan mikroegiturazko zenbait parametroren eragina zailtasunean aurkeztu-ko da.

Hauskor/harikor trantsizioa

1. irudian Charpy-ren saiakuntzaren bidez altzairu baten zailtasunarekiko portaera tenperaturaren funtziotan erakusten da. Hiru zona desberdin bereizten dira. Behe-temperaturetan oso energia txikia zurgatuz izaten da haustura, zona horretan altzairuaren portae-ra guztiz hauskorra izanik. Goi-temperaturetan zurgatutako energia askoz handiagoa da eta materialaren portaera guztiz harikorra. Bukatzeko, trantsizio-zona bat dago, non mek-anismo hauskorrak eta harikorrak batera azaltzen baitira. Diseinuaren ikuspuntutik,



1. irudia.
Charpy-ren kurba
(zurgatutako
energia versus
temperatura).

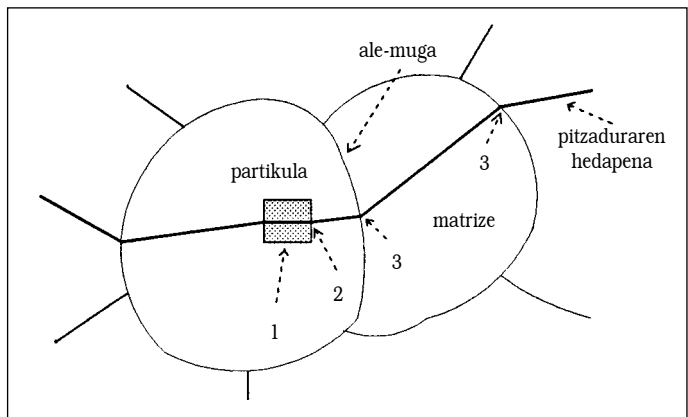
piezaren funtzionamendu-temperatura haustura-mekanismo harikorren zonan dagoela ziurtatzea oso garrantzitsua da.

Mikroegiturazko parametroak ondo kontrolatuz hauskor/harikor transizio-zona temperatura baxuagotan izatea posible da. Beraz, tenperaturaren balio baterako, giro-tenperatura adibidez, altzairuaren konposizio kimikoa eta mikroegitura egokitzuz zailtasun handiko portatera lor daiteke.

Hausturaren mikromekanismo hauskorra

Metal gehienetan haustura hauskorren prozesu fisikoa hiru aldi desberdinetan bana daiteke (2. irudia) (1). Hasierean mikroegiturazko elementu batean (ale batean, inklusio zeramiko batean, fase hauskor batean eta abar) mikropitzadura bat (ala batzuk) sortzen d(ir)a. Ondoren, mikropitzadura horren hazkundera izaten da

eta horretarako partikula/matrize muga gainditu behar du. Hori gertatzeko mikropitzadura diharduen tentsio-egoera lokalak gutxienez balio kritiko bat eduki behar du. Amaitzeko, mikropitzadura materialean zehar hedatzeko mikroegiturazko oztopo desberdinak (ale-mugak batipat) zeharkatu behar ditu. Prozesua dinamikoa denez, hiru fase



2. irudia. Haustura hauskorra izateko behar diren fase desberdinen eskema. 1. fasea: partikula bat haustean mikropitzadura sortzea; 2. fasea: mikropitzadurak partikula/matrize muga gainditu behar du eta 3. fasea: haustura hauskorra hedatzeko mikropitzadurak angelu handiko mugak (matrize/matrize) zeharkatu behar ditu.

desberdin horiek segidan izaten dira, piezaren edo osagaiaren haustura katastrofikoak (bapateko haustura) izanik.

Altzairu batean dauden partikula hauskorren artean inklusio zeramikoak aipatu behar dira. Material zeramikoak oso hauskorrak direnez, tentsioak dihardutenean hautsi egiten dira. Beraz, partikula horien hausturaren ondorioz, altzairuetan tamaina txikiko pitzadurak izan daitezke, berauen tamaina $1 \div 10$ m-ren artekoa izanik. Inklusioen kasuan, partikula horiek altzairuaren lorpen-prozesuaren ondorio dira (oxidoak, sulfuroak, nitruroak eta abar), bere presentzia ezabatzea zaila izanik. Beste kasuetan, partikulak altzairuaren mikroegituraren osagaiak dira eta berauei esker materialak propietate berezi batzuk ditu (azken kasu honen adibidea karburoak dira).

Hauskortasunaren ikuspuntutik, inklusio-mota guztiak ez dira kaltegarriak. Kaltegarrienetarikoa oxido konplexuak (aluminato kaltzikoak eta silikatoak adibidez) eta nitruroak (TiN) dira. Inklusio horien zabalkuntza-koefizienteak burdinarena baino txikiagoak direnean matrizean gutzitx berturik izaten dira (2). Aldiz, MnS inklusioak kasu gehienetan ez dira haustura hauskorren sortzaile (bere zabalkuntza-koefizientea burdinarena baino handiagoa denean, matrizearekin duen lotura oso apala da eta tentsioaren eraginaren bidez dekohesioa sortzen da). Hau dena ikusita, altzairuaren zailtasuna hobetzeko lehenengo pausoa partikula kaltegarri horien frakzio bolumetrikoa jaitea da. Horretarako zenbait kasutan altzairua fintzea garrantzitsua da (oxidoen kasuan). Bestalde, partikulen tamaina jaitea ere ona da zailtasunaren portaeraren ikuspuntutik. Hori lortzeko, TiN inklusioen kasuan altzairuaren solidotze-prozesuak azkarragoa izan behar du (ohizko isurketarekin konparatuz, isurketa jarraia egokiagoa da (3)).

Tentsio-kontzentrazioaren ondorioz partikula hausten baldin bada, ondoren mikropitzadura hori kaltegarria izateko altzairuaren matrizean zehar hedatu behar da, energi muga batzuk gaindituz. Partikula/matrize muga

zeharkatzeko, pitzadura diharduen tentsio lokalak balio kritiko minimo bat gainditu behar du. Pitzaduraren geometria zirkularra dela kontsideratuz, bere diametroa "a" izanik, tentsioaren balio kritikoak ondoko ekuazioak emana dago (4):

$$\sigma_{pm} = \left(\frac{\pi E \gamma_p}{(1 - \nu^2)a} \right)^{1/2}$$

non E elastikotasun-modulua, Poisson-en modulua eta γ_p partikulatik ferritara (matrizea) pitzadura hedatzeko behar den energia baitira. γ_p -ren energia esperimentalki neurtu da (5) bere balioa $13 \div 20$ J/m²-koa izanik. Partikularen tamaina $2 \mu\text{m}$ -koa baldin bada, tentsio kritikoaren balioa $2200 \div 2700$ MPa-koa da. Bestalde, σ_{pm} tentsioaren balioan partikularen eragina nabarmena da. "a" tamaina zenbat eta txikiagoa izan, hainbat eta zailagoa da pitzadura hedatzea.

Bukatzeko, hirugarren fasean pitzadura matrizean zehar hedatzen da, horretarako zenbait muga gaindituz. Oztopo garrantzitsuena ale-muga da. Muga hori zeharkatzeko pitzadura diharduen tentsioak gutxienez ondoko balio minimoa eduki beharko du:

$$\sigma_{mm} = \left(\frac{\pi E \gamma_{mm}}{(1 - \nu^2)(D + a)} \right)^{1/2}$$

non D ale-tamaina eta γ_{mm} matrizean zehar hedatzeko behar den energia baitira. Altzairuaren mikroegitura larria baldin bada, σ_{pm} tentsioa σ_{mm} baino handiagoa izango da eta ondorioz, partikula/matrize muga gainditu ondoren, pitzadura altzairuan zehar hedatuko da arazorik gabe. Kasu honetan partikularen tamaina mikroegiturazko parametro garrantzitsuena izango da.

$\sigma_{mm} > \sigma_{pm}$ izateko, hau da matrizean dauden ale-mugak haustura-mekanismoaren kontrolatzaileak izateko, ondoko erlazioa bete behar da:

$$\frac{\gamma_{pm}}{a} < \frac{\gamma_{mm}}{D+a} \rightarrow D < \left(\frac{\gamma_{mm}}{\gamma_{pm}} - 1 \right) a$$

Bibliografiako (4) zenbait daturen arabera $\gamma_{mm}/\gamma_{pm} \cong 5$ baldin bada, $D < 4a$ izan behar du. Ondorioz, partikularen tamainarekin konparatuz, ale-tamaina xehea ez baldin bada, ale-mugak ez du pitzadura geldiaraziko.

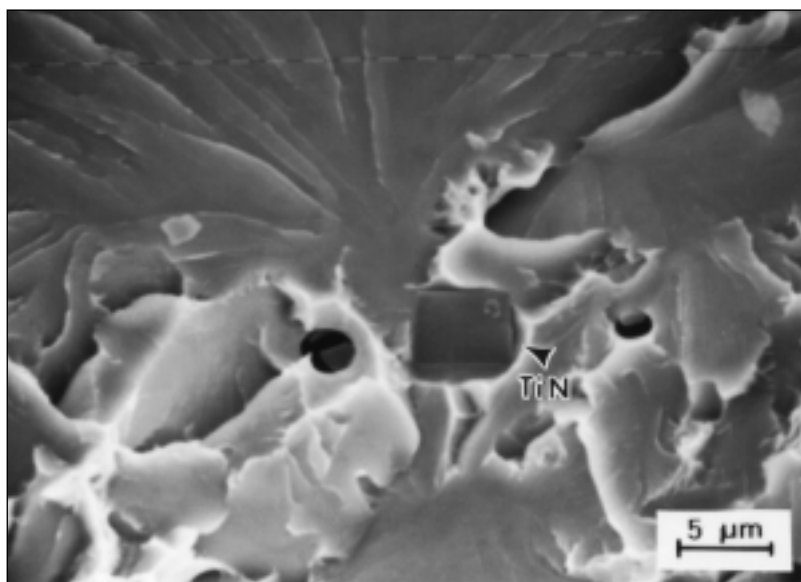
Forjaketarako altzairu mikroaleatuen zailtasunaren hobekuntza

Eredu mikromekanistiko honetan oinarriturik, CEIT-en forjaketarako altzairu mikroaleatu batzuen (Ti eta Ti/V altzairuak) zailtasuna hobetu egin da tratamendu termomekanikoak aplikatuz. Material horietan kasu gehienetan TiN partikuletan sortzen dira mikropitzadurak (3. irudia). Partikula horiek oso tenperatura altutan azaltzen direnez (altzairu-egoera likidoan dagoenean), ohizko tratamenduen bitartez ez dira aldatzen. Beraz, tratamendu termomekaniko desberdinak aplikatuz partikula horien eragina azter daiteke, gainerako

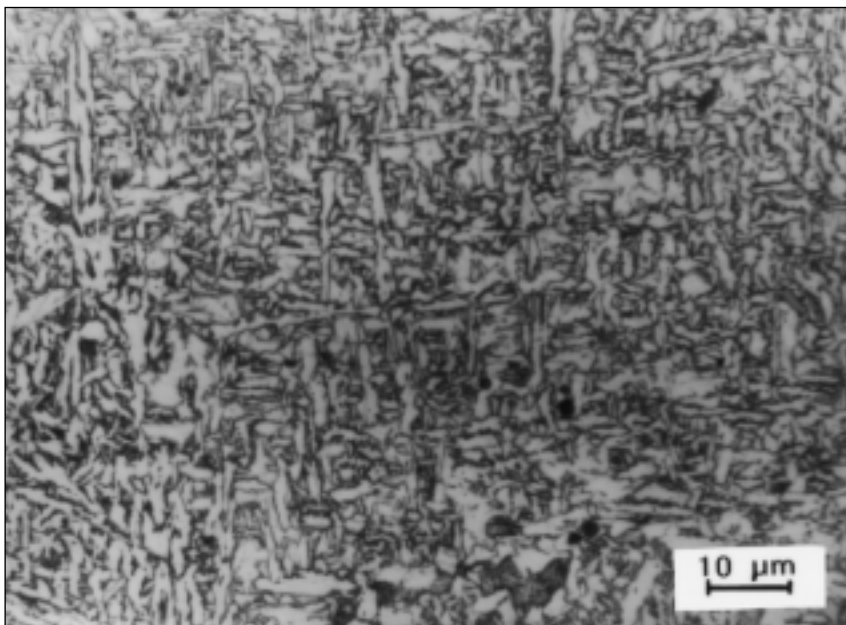
mikroegiturazko parametroak aldatuz (ale-tamaina, frakzio bolumetrikoa eta abar).

Ti/V altzairuaren kasuan (6), ohizko ijeketaren bitartez lortutako mikroegitura ferritiko/perlitikoan, zailtasunaren balioa 70 MPa√m da. Kasu honetan haustura batipat hauskorra izan da. Aldiz, altzairu bera tenperatura baxuagotan ijekten baldin bada, 850 °C-tan adibidez, lortutako egitura ferritiko/perlitikoa xeheagoa da (6) eta honi esker zailtasuna askoz altuagoa da (135 MPa√m). Haustura-mikromekanismoen aldaketa izan da, pitzaduraren hedapena guztiz harikorra izanik. Kasu honetan TiN partikulak hautsirik izan arren, pitzadurak ez du lortu ferrita/ferrita muga gainditzea: lehen aipatutako 3. aldiak kontrolatutakoaren adibidea da.

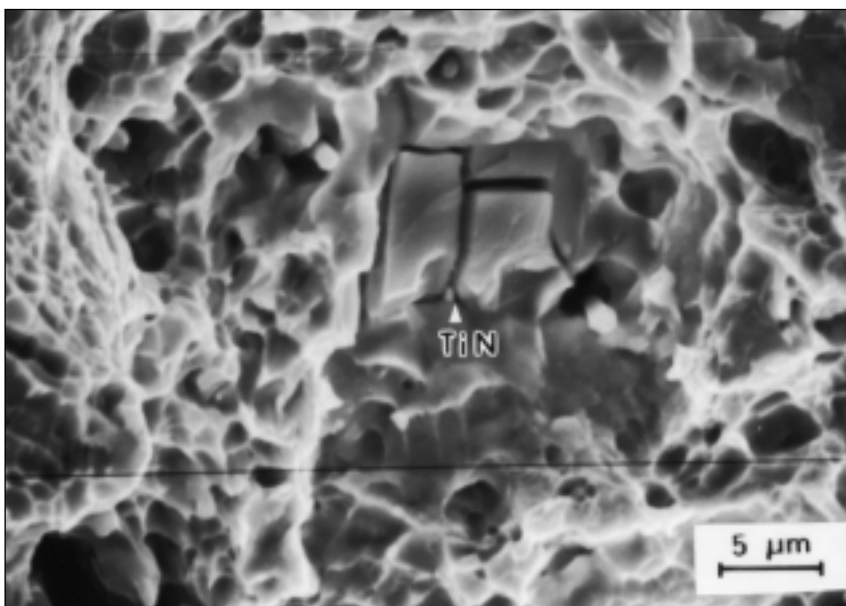
Industri arloan 850 °C-tan ijeketa egitea konplexua denez, ohizko ijeketan oinarriturik beste aukera bat aurkitzea interesgarria izan daiteke. 1.000 °C-tan ijestu ondoren, altzairua azkar hoztu 700 °C-raino eta ondoren airetan hozten utzi, oso xehea den orratz-ferritaz osatutako mikroegitura (4. irudia) lortzen da (7). Kasu honetan ere ale-mugak pitzaduraren hedapena kontrolatzen du, eta ondorioz, altzairuaren haustura guztiz hari-



3. irudia. TiN partikula batek altzairu ferritiko/perlitiko batean sortutako haustura hauskorra.



4. irudia. *Tratamendu termomekaniko baten bidez lortutako orratz-ferritazko mikroegitura Ti/V altzairu batean.*



5. irudia. *TiN partikula hautsita. Pitzadura ez da matrizean zehar hedatu eta haustura harikorra da.*

korra da (ikus 5. irudia), bere zailtasuna oso altua izanik (155 MPa \sqrt{m}).

Ondorioak

Altzairuen haustura hauskorra mikoegituraz-ko parametro desberdinen bitartez kontrolatuta dago. Parametro horiek egokituz haustura-mekanismoak alda daitezke, prozesua guztiz harikorra lortzea posible izanik.

Haustura hauskorren hasiera inklusioetan sortzen denean, tratamendu termomeka-

nikoen bidez ale xehea lortzen baldin bada, zailtasunaren ikuspuntutik inklusioak guztiz ezabaturik gelditzen dira, materialaren zailtasun makroskopikoa nabarmen handiagotuz.

Eskerrak

Lan honen emaitzak, CECA-k finantzaturako eta Aforasa-rekin (Azkoitia) batera egindako ikerlan baten ondorioak dira. M.A. Linazak tesia burutzeko emandako dirulaguntza eskertzen dio Eusko Jaurlaritzari.



Erreferentziak

- (1) Tweed, J. H. eta Knott, J.F.; Acta Metall., **35**, 1401, (1987)
- (2) Nicholson, A. eta Gladman, T.; Ironmaking and Steelmaking, **13**, 2, (1986).
- (3) Pickering, F.B.; "Materials Science and Technology", 7, 335, VCH, Weinheim 1992.
- (4) Curry, D.A. eta Knott, J.F.; Met. Sci., **12**, 511, (1978).
- (5) Linaza, M.A., Doktorego-tesia, Nafarroako Unibertsitatea.
- (6) Linaza, M.A., Romero, J.L., Rodriguez Ibabe, J.M. eta Urkola, J.J.; Script. Met. et Mat., **29**, 451, (1993).
- (7) Linaza, M.A., Romero, J.L., Rodriguez Ibabe, J.M. eta Urkola, J.J.; Scr3ipt. Met. et Mat., **29**, 1217, (1993).