

Extractes i Traduccions

METAL·LOGRAFIA D'ALTA POTÈNCIA

ALGUNS RECENTS DESENVOLUPAMENTS EN FOTOMICROGRAFIA I EN INVESTIGACIÓ METAL·LURGICA

Francis F. Lucas.—*Journal of The Franklin Institute*
Febrer, 1926. Filadèlfia

L'article del Sr. Francis F. Lucas que extractem és una ben lligada síntesi del grau de perfecció a què s'ha arribat en l'estudi de l'estructura dels metalls, especialment el ferro. Les notes que segueixen donaran una idea del procés a seguir en l'estudi microgràfic i les interessants microfotografies que reproduïm diuen el grau de sensibilitat a què ha estat possible arribar mitjançant els dispositius d'alta potència. L'examen d'aquests gravats permetrà seguir, àdhuc al lector no especialitzat, el procés íntim de l'evolució dels constituents de l'acer.

La concepció usual de metallografia d'alta potència sembla ésser de dilatada extensió, de definició confosa i mancada d'anàlisi. Els seus resultats han estat classificats generalment sota l'epígraf d'*ampliació superficial*, car han deixat de veure molts detalls que han estat vistos a amplificacions més baixes i amb objectius de menor poder destriador.

La fig. 1 és un exemple d'ampliació superficial que ens mostra l'estructura normal d'un acer de poc carboni, vist a alta amplificació. És evident que un punt de l'objecte esdevé un halo en la imatge o, expressat d'altra manera, el cercle de confusió és tan gran que la imatge es veu confosa. La imatge és excessivament plana degut a la difusió de la llum i a la interposició dels halos.

La metallografia de gran potència, com ací es presenta, consisteix en mostres metallúrgiques preparades de tal manera que permetin obtenir imatges vigorosament brillants i fotografiades a gran potència.

L'objecte de l'estudi present és d'ensenyar l'apli-



Fig. 1
Exemple d'amplificació superficial sense anàlisi

cació d'aquest nou element per a l'estudi de les estructures metàl·liques, la natura de les quals ha conduït a moltes especulacions i a amplies diferències d'opinió.

Un objectiu d'obertura numèrica donada, quan és usat amb llum de determinada longitud d'onda, té un límit fixe de descomposició. Per descomposició hom

entén la propietat d'un sistema de lentes que permet destriar com a unitats separades i distintes fins detalls estructurals poc espaiats un de l'altre.

Els millors objectius de gran potència, d'obertura numèrica 1,40, són capaços, teòricament, de destriar unes 140.000 línies per polzada si s'empra un filtre que transmeti llum blava o blau-violeta o de longitud d'onda de 4.000 a 5.000 unitats Angstrom¹.

La potència d'un objectiu per destriar detalls depèn, teòricament, de la seva obertura numèrica i de la longitud d'onda de la llum emprada. La relació és expressada, numèricament, per l'equació

$$N = \frac{2ON}{\lambda^1}$$

aquesta fórmula demostra que si l'obertura numèrica ON de l'objectiu és augmentada o la longitud d'onda λ de la llum disminuïda, el nombre de línies N capaç d'ésser destriat o descompost serà augmentat.

Actualment, el límit pràctic per a l'obertura numèrica dels objectius de la sèrie apocromàtica és 1,40, tot i que objectius d'obertura major siguin avui de possibilitat experimental. La longitud d'onda de llum usada pot ésser confinada a la regió de l'espectre visible entre 4000 y 5000 Angstrom, la qual permet exposicions curtes. De manera que els límits pràctics són fixats, en l'extensió de l'espectre visible, per l'operador.

És evident que el destriament i l'amplificació han de tenir una relació. Un objectiu té certa facultat potencial de destriament² la qual pot o no pot ésser completament utilitzada en la pràctica. La facultat de destriar detalls és una característica inherent a les lentes. L'amplificació no augmenta el destriament, sinó que separa el detall.

¹ Una unitat Angstrom = 10^{-7} mm.

² Els francesos en diuen "separament" i també "poder separador".

L'objectiu produeix la imatge, l'ocular i l'extensió de la manxa augmenten l'amplificació. Abans de fotografiar la imatge cal enfocar-la; però, abans d'enfocar el detall de l'estructura ha de mirar-se amb l'ull sobre la pantalla d'enfocament. Per tant, la facultat de l'ull a percebre detalls de la imatge esdevé un factor. La relació serà compresa per una analogia: és tan fàcil comptar pessetes com duros quan les monedes són sobre una taula davant de nosaltres. A la mateixa distància els duros són més visibles que les pessetes i necessitem una amplificació per veure les pessetes fàcilment. Les monedes noves són mostres ben preparades, puix que les marques són fines i distintes i brillantades, és a dir, els detalls ajuden perfectament a un enfocatge fi. Les monedes antigues, amb les marques gastades i arrodonides, són mostres preparades pobrement, puix que els detalls no estan bé i si hom amplia molt es confonen entre ells o amb el fons.

Cap sistema de lentes no és capaç de reproduir un punt en l'objecte com un punt en la imatge. El punt esdevé un disc o una àrea circular, la qual ha estat anomenada *fals disc*. Aparentment, trobaren els primers investigadors que el diàmetre d'aquest disc fals excedeix $1/100''$ i la imatge esdevé indistinta, el què conduí a evaluar el diàmetre del fals disc en funció de l'amplificació, de la longitud d'onda de llum i de l'obertura numèrica. El resultat d'aquesta fórmula és evaluat, aproximadament, com 1.000 vegades l'obertura numèrica de l'objectiu emprat; de manera que usant un objectiu de 1,40ON, el límit d'amplificació aprofitable fóra d'uns 1.400 diàmetres.

Si hom ha d'usar l'alta amplificació, cal preparar les mostres amb gran cura, per tal de presentar amb brillantor i contrast els elements particulars de l'estructura que hom desitja fotografiar. Cal partir d'una mostra molt plana i ben polida, de manera que no és visible a l'alta potència cap rascada ni imperfecció; la superfície és curosament gravada a l'aiguafort i l'estructura examinada de temps en temps fins que el grau de contrast requerit ha estat desenvolupat en el constituent particular que hom desitja examinar; aquest examen deu fer-se negligint tota la resta.

ALGUNES APLICACIONS DE LA METAL·LOGRAFIA D'ALTA POTÈNCIA.

El procés de descomposició de l'austenita a la perlita en un acer corrent amb 0,5 per cent de carboni.

Cinc són els constituents de l'acer reconeguts actualment d'una manera general pels metallúrgics: austenita, martensita, troostita, sorbita i perlita, en ordre de transformació des del més alt al més baix. Respecte a les cinc diferents formes estructurals de l'acer fa poc que hi ha acord; en el que no preval

cap acord és en l'exacta natura d'alguns d'aquests constituents o del procés pel qual són assolides les transformacions de l'un a l'altre.

L'austenita és, generalment, mirada com una solució sòlida de carbur de ferro o de carboni en el ferro *gamma*³; és la condició de l'acer estable en l'estat crític. No és magnètica; és troba, però, tenaç i resisteix completament els reactius corrossius.

Hom considera la martensita com un producte de descomposició de l'austenita. És el constituent més dur i es compon de cristalls de forma de llança. Diverses hipòtesis han estat avençades per explicar la seva naturalesa. Una obra nova⁴ en el camp de la metal·lografia de gran potència ha ensenyat que la martensita és una descomposició al llarg dels plans cristal·logràfics de l'austenita i que és sensible a l'acció de dos reactius corrossius enterament dissimilars: un que selecciona la ferrita, però no ataca el carbur i l'altre que colora el carbur de ferro i no afecta la ferrita. L'austenita respon feblement per un igual, sota les mateixes condicions, a ambdós agents corrossius. D'aquesta evidència podem concloure raonablement que la martensita és un agregat de ferro, probablement en l'estat *alfa*, i de carbur de ferro.

Per altra part, el microscopi d'alta potència mostra de forma concloent que sota determinades condicions de gravatge les agulles martensítiques lluen colors de nacré. Això suggeria que l'estructura era laminar, la qual cosa sembla clarament confirmada. D'igual manera sembla cert que els cristalls components, elements o partícules, que componen la martensita, són d'un tamany justament veí de l'extensió present de l'augment microscòpic. Les agulles martensítiques no responen a una prova per cristallinitat, això és: no presenten cap fenomen d'orientació quan hom les gira al voltant de l'eix òptic del microscopi.

En general, sembla inferir-se que un gra d'austenita és convertit en un gra de martensita i aquesta en un gra de troostita. El microscopi d'alta potència ens diu distintament que hi han dos tipus de troostita. L'un és nomenat *troostita nodular*, per causa dels aspectes nodular o globular en què es forma. El segon tipus l'anomena l'autor *troostita floccular o vellutada*, per raó de la seva aparença i perquè usualment apa-

³ El ferro químicament pur deixa d'ésser magnètic a 863° i l'acer amb 0,85 de carboni ho deixa d'ésser a 700°. Mentre el ferro és magnètic és anomenat ferro *alfa*.

De 863° al punt de fusió o sigui a 1530° el ferro no és magnètic, com tampoc no ho és l'acer esmentat entre els 700° i el seu punt de fusió. Aquest estat del ferro és dit ferro *gamma*.

OSMOND deia que existia un estat allotròpic del ferro entre els 863° i 900° i l'anomenava ferro *beta*; però l'anàlisi mitjançant els raigs X ha demostrat la inexistència d'aquest estat.

⁴ "The Micro-structure of Austenite and Martensite" *Trans. Am. Soc. for Steel Treating*, Desembre, 1924.

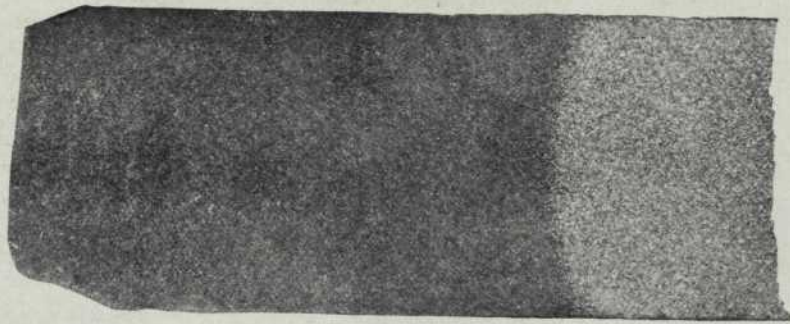


Fig. 2
Secció longitudinal d'una mostra d'acer comercial amb 0,5 % de carboni. Dimensions: 25 x 10 mm. Augment, 2'2 diàmetres (5 1/2).⁵
Transformació de l'austenita i martensita d'aquest acer a perlita laminar

Fig. 3
Sobre el fons d'austenita (blanc diàfan) i agulles de martensita (to brú clar), es desenrotllen betes rosques de troostita, dintre de les quals es veuen taques blanques de ferrita. Gravada amb àcid picric. Augment, 1700 diàm. (3230)

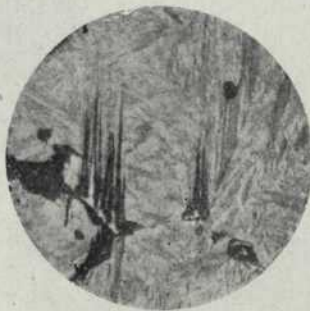


Fig. 4
Movent la mostra en el sentit longitudinal, trobem que la troostita augmenta en forma granular i que es separa més ferrita lliure a l'interior dels cristalls de troostita. Gravada amb àcid picric. Augment, 1700 diàm. (3230)

Fig. 5
Ací la troostita ha disminuït considerablement, per donar lloc a la formació d'àrees de ferrita lliure. Noti's sobre el fons d'austenita i martensita l'aparició de petits punts foscos, els quals marquen el començament de la precipitació de la ferrita. Gravada amb àcid picric. Augment, 1700 diàm. (3230)

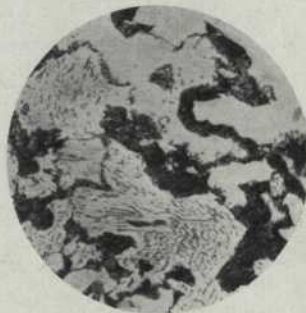


Fig. 6
Els pics de ferrita han augmentat considerablement i comencen a allargassar-se; la troostita residual s'ha allargat al voltant de les àrees de ferrita lliure. Gravada amb àcid picric. Augment, 1700 diàm. (3230)

Fig. 7
Les àrees d'austenita i martensita s'han transformat en perlita laminar.



La troostita és estratificada. El fons es de ferrita lliure. Gravada amb àcid picric. Augment, 1700 diàm. (3230)

reix com a un bordó que volta l'àrea austenita-martensita.

La demostració puntualitza molt fortament el fet que l'acer al carboni normal, i també els acers mitjans que no continguin més de 0,5 per cent de carboni, poden retenir, en apropiades condicions atmosfèriques, quantitats apreciables d'austenita. Les es-

tructures són usualment trobades en alta potència com a mescles d'austenita i martensita o d'austenita i or-

⁵ Les micrografies de l'original són fetes a major augment que el reproduït per nosaltres. Així donem entre parèntesi al costat de l'augment que representa la nostra reproducció, el que assenyalava l'original.

drès més baixos de descomposició. La troostita nodular no és, necessàriament, un producte de descomposició de la martensita.

Si una mostra d'acer laminat i polit és escalfada a alta temperatura per un extrem mentre l'altre cap és mantingut a la temperatura ambient i, aleshores, s'immergeix tota la barra en una solució de glaç i salmorra, és evident que totes les fases de la transició seran trobades en la mostra. A l'extrem escalfat hi haurà l'austenita i la martensita i a l'altre cap la perlita laminar. La fig. 2 n'és un exemple: l'extrem fosc és tan dur que féu necessari tallar la barra amb una mola; l'altre extrem és tou i dúctil i fou tallat amb una serra de metalls.

Per a la primera sèrie d'il·lustracions, la mostra va ésser preparada completament en el sentit longitudinal i aleshores gravada amb un 5 % de solució alcohòlica d'àcid pícric. Aquest reactiu de gravatge ataca la ferrita, però no colora ni grava el carbur de ferro. La mostra era muntada sobre el disc mòbil del microscopi i passada davant l'objectiu des de l'extrem dur al tou. A intervals eren fetes fotografies per ensenyar millor i gradualment la completa seqüència dels resultats. L'augment és 3230 diàmetres. Figures 3 a 7.

Per tal de desenvolupar l'estructura de la troostita formada de poc, fou preparada i gravada molt fortament una mostra. Amb una atenció concentrada sobre la troostita i fent un considerable esforç per resoldre l'estructura, hom troba una massa floculent, granular, que conté algunes petites àrees blanques. Això és vist a la fig. 8. Aquesta forma de troostita sembla ésser ferrita en estat de desorganització de cristallinitat, però porta algun carboni o carbur de ferro. Les partícules corresponents de la troostita floculent són, probablement, cristallines, però no ho són en el present estat de l'anàlisi. No obstant, les partícules han d'orientar-se promptament en una forma regular sota l'acció d'algunes forces predominants, puix que la troostita desenvolupa aviat

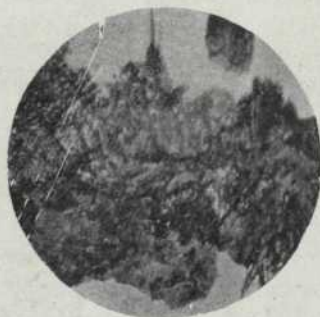


Fig. 8
Mostra de troostita de vores típiques. Apareix una massa floculent granular contenint petites àrees de ferrita lliure.
Gravada amb àcid pícric
Augment, 1700 diàm.
(3230)

àrees de ferrita orientada uniformement. Quan la composició de la massa troostítica floculent ha estat reduïda a proporcions eutectòides per aclariment de

l'excés de ferrita, la residual consisteix en un nucli d'austenita i martensita estratificades per formar perlita laminar.

Per tal de traçar l'evolució de les làmines de carbur de la perlita, cal només preparar la mostra i gravar-la amb picrat sòdic calent en lloc de la solució d'àcid pícric usada abans. El picrat de sodi teneix de fosc el carbur, com ha estat notat, però no té cap efecte sobre la ferrita. Fig. 9 i 10. Les transformacions que tenen lloc en l'acer comercial al 0,5 per cent poden ésser resumides, sota les condicions definides per l'experiment, com segueix:

Fig. 9

És una mateixa mostra de la fig. 2, pròxima al costat dur. Com que ha estat atacada amb picrat sòdic, la troostita es veu grisa, la ferrita blanca i la martensita colorada en fosc.
Augment 1700 diàm.
(3230)

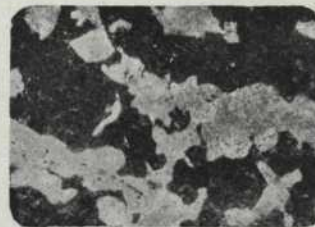


Fig. 10

Seguint el procés les àrees de martensita i austenita apareixen envoltades per vores d'aspecte granular. Aquesta figura mostra aquestes vores amb un augment de 3160 (6000) diàm. i són constituïdes per ferro i carbur de ferro en procés d'estratificació



En altes potències hom veu que l'extrem endurit consisteix en una xarxa d'agulles de martensita en l'austenita.

A mesura que el camp d'experimentació apropa la transformació abrupta, fosques ratlles de troostita apareixen al llarg d'algunes agulles martensitiqües. Petites àrees blanques, ferrita, apareixen aviat al centre de les àrees troostitiqües. Quan la troostita augmenta, apareix la formació d'un marge que inclou àrees relativament grans d'austenita i martensita. La troostita continua creixent fins que assoleix un màxim i, aleshores, decreix deixant grans àrees d'austenita i martensita sense transformar. A mesura que augmenta la troostita, les àrees centrals de ferrita decreixen ràpidament. Quan cap més troostita no és formada, les àrees de ferrita continuen creixent a expenses de la troostita causant d'aquesta manera el seu descens i, finalment, la desaparició, excepte en molt petites vores que envolten grans àrees de ferrita. Evidentment, aquesta troostita residual, com hom pot nomenar-la, és, aleshores, de proporcions eutectòides, de manera que s'estratifica i obra sobre l'orientació dels grans adjunts. Quan la troostita és transforma-

da en ferrita les àrees d'austenita-martensita comencen a desenvolupar petites cavitats cúbiques que augmenten en nombre al llarg dels plans de clivatge de l'austenita.

Si la mostra és polida i gravada amb picrat sòdic bullit els carburs són profundament colorits: les

criscopi d'alta potència proporciona l'evidència convincent que la troostita nodular és un graó definit i regular en la transformació. La troostita nodular apareix quan la mostra és refredada sota condicions aproximadament uniformes. En l'experiment suara descrit, la troostita floculent de vores típiques fou

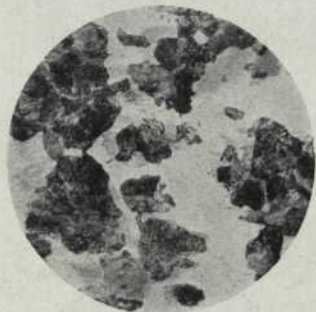


Fig. 11
Troostita nodular sobre fons d'austenita i martensita. Gravada amb àcid picric. Augment, 683 diàm. (1300)



Fig. 12
Els nòduls de troostita han anat creixent en forma esfèrica i alguns estan deformats per interferències d'altres grans. Gravada amb àcid picric. Augment, 1160 diàm. (2220)



Fig. 13
Nòdul troostític ben format. S'ha desenrotllat com una massa granular al voltant d'un nucli. Al centre apareixen petites àrees de ferrita lliure. Gravada amb àcid picric. Augment, 1700 diàm. (3230)

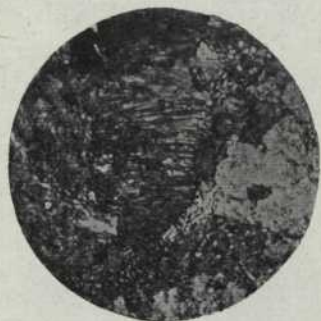


Fig. 14
Expulsió de la ferrita lliure i estratificació en un gra troostític nodular. Gravada amb àcid picric. Augment, 1700 diàm. (3500)

àrees troostítiques solament colorides finalment; la martensita és colorida de fosc i la ferrita no és colorida. La troostita és una massa floculent anàloga a un precipitat. Sota altes potències, no deixa veure cap orientació cristallina; però les partícules es disposen aviat d'una manera orientada regularment i passen a ferrita lliure.

Quan el metall ha estat reduït a proporcions eutectòides per l'expulsió de la ferrita lliure, el remanent consisteix en un nucli d'austenita i martensita que estratifica i forma perlita laminar sense passar primerament per l'estat troostític.

TRIOOSTITA NODULAR

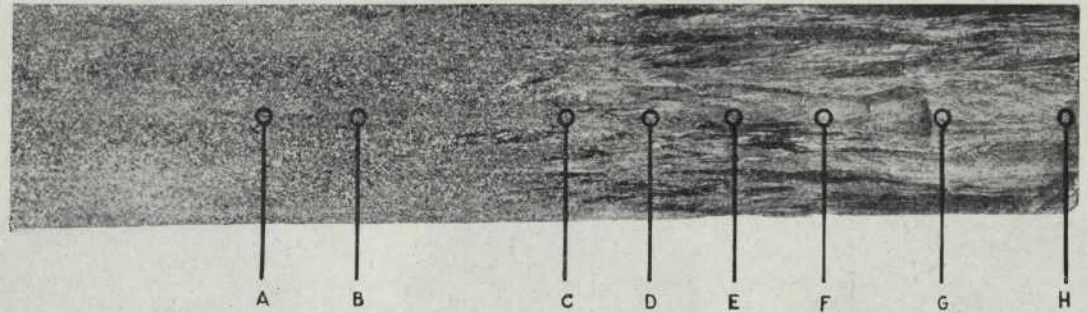
La troostita ha estat esguardada com a una mixtura no coagulada de productes de transició. El mi-

produïda en un acer comercial al 0,5 % de carboni; però escalfant uniformement i refredant una mostra d'aquest mateix acer apareix la troostita nodular.

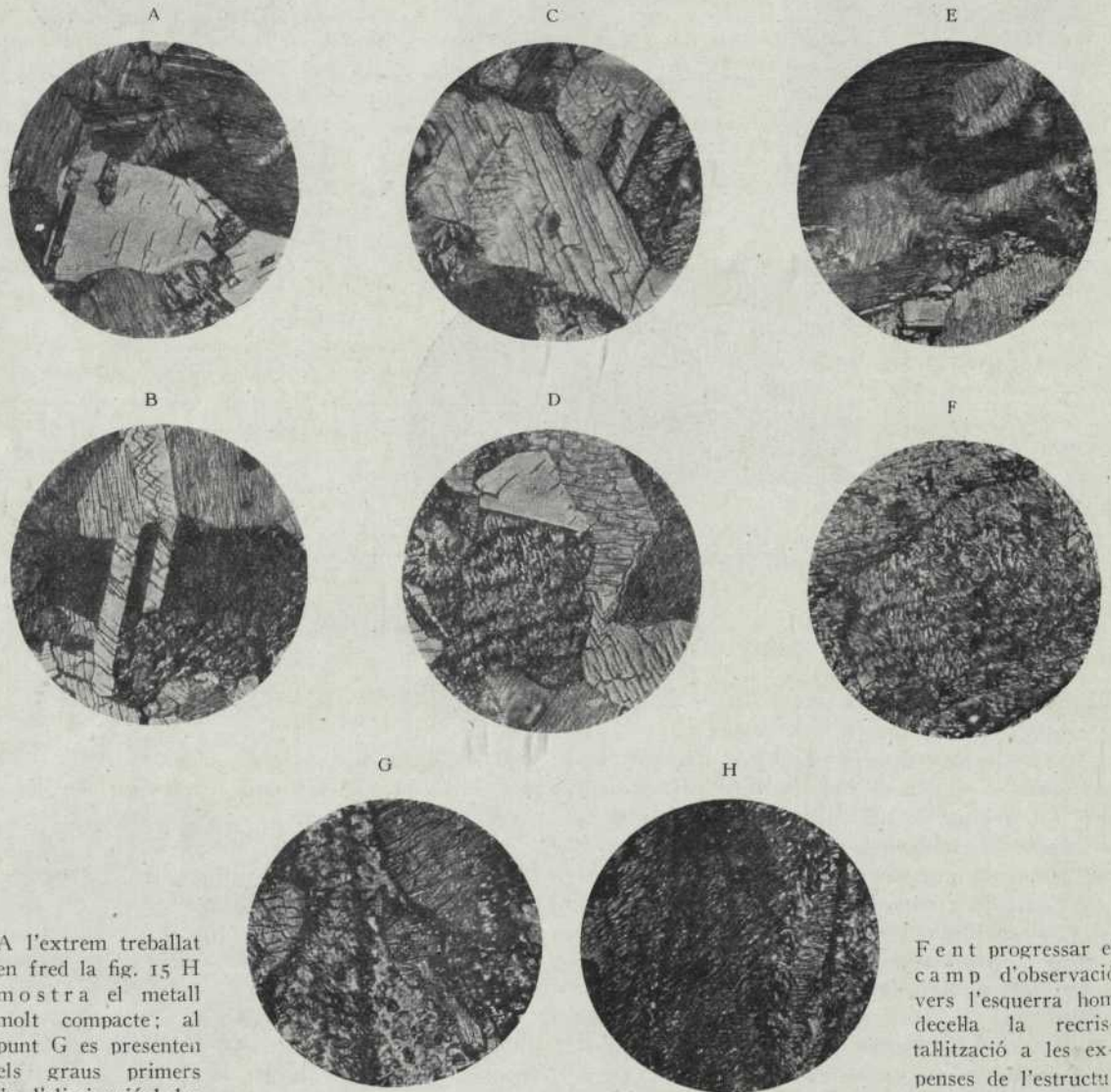
La troostita nodular pot desenvolupar-se directament de l'austenita o d'un nucli d'austenita i martensita. Usualment, té el seu origen en una agulla martensítica, al llarg de la vena central o a la juntura de dues agulles. Les figs. 11 a 14 il·lustren aquesta sèrie de transformacions.

És evident que si tota la massa del metall passa pel grau troostític nodular, prova que aquest constituent ha de contenir carbur o carboni sota alguna forma. Si el carbur està present en la troostita nodular com un agregat amb ferro, el tamany de les partícules de carbur ha d'ésser molt petit, per tal com la troostita nodular, quan és formada de poc en l'acer

Fig. 15



Treball en fred i regranulació en un aliatge ferro-níquel. Aquesta vista ha estat feta a 18 (23) augmentants i les del punts A a H a 1347 (2560)



A l'extrem treballat en fred la fig. 15 H mostra el metall molt compacte; al punt G es presenten els graus primers de l'eliminació de les tensions mecàniques i el punt F mostra l'inici de la reorientació de certes àrees, el qual procés és vist a un grau molt més avançat en la micrografia del punt E.

Fent progressar el camp d'observació vers l'esquerra hom decella la recristal·litització a les expenses de l'estructura forçada i retorta. L'efecte del recuit que fa desaparèixer gradualment les tensions mecàniques és encara il·lustrat en els detalls d'alta potència dels punts D, C, B i A.

comercial no es grava amb picrat sòdic. En el cas de la martensita, aquest reactiu de gravatge enfosqueix les agulles.

Si una massa globular es desenvolupa prop d'un nucli per creixement uniforme d'elements cristallins cúbics, sembla raonable d'esperar un canvi d'orientació. Quan la troostita nodular és sotmesa a la prova de cristallinitat es posen de manifest fenòmens d'orientació molt definits; per exemple: sembla que quan es desenvolupa la troostita nodular, un gra d'austenita no és convertit en un gra de troostita, sinó que dona origen a un determinat nombre de nòduls troostitítics, algun dels quals desenvolupa un petit nombre de grans radials.

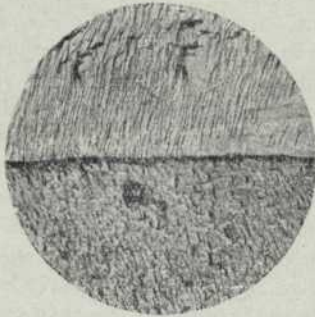


Fig. 16
Límit granular en
un aliatge ferro-
níquel
Augment 1347 diàm.
(2560)

EL TREBALL EN FRED I LA REGRANULACIÓ

Quan un metall treballat en fred és recuit regranula; d'aquesta guisa les tensions degudes al treball en fred són suavitzades i el metall esdevé tou i dúctil altre cop. El cicle de l'evolució pot representar-se gràficament per mitjà de la fotomicrografia de baixa i alta potència. Una tija de *permalloy* (78,5 % de Níquel i 21,5 % Ferro) estirada en fred, va ésser recuita d'un extrem tot mantenint fred l'altre cap.

L'extrem recuit, naturalment, regranulà i la regranulació es combinà en el metall, treballat en fred. Fou preparada, aleshores, una secció longitudinal per a l'examen metal·logràfic i fotografiada enterament a petit augment. Aleshores hom féu una sèrie de visites d'alta potència de l'extrem treballat en fred a l'extrem recuit, la situació de les quals es fixà sobre la fotografia a baixa potència, com deixa veure la fig. 15. Les figs. 15A a 15 H permeten seguir la variacions que presenta l'estructura metàl·lica al llarg de la tija estudiada.

La fig. 16 deixa veure com els límits granulars són la clau dels elements cristallins d'un gra en els elements d'un gra adjacent. Les bandes de rellicament són distorsions al llarg dels plans de clivatge, com el nom implica i les fisures incipients corresponents són presentades a la fig. 17.

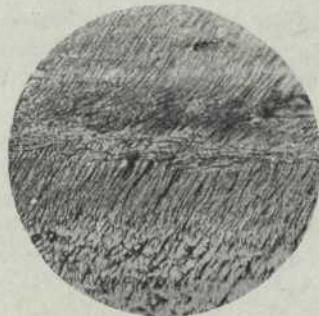


Fig. 17
Bandes mogudes en
un aliatge ferro-
níquel treballat en
fred
Augment 1347 diàm.
(2560)

En la fotografia de baixa potència hom notarà que pel treball en fred els grans produïts persisteixen amplament allargats en una mena de contorn fantasma, enc que el metall ha regranulat degut al recuit per llarg període de temps.

T. F. T. tr.

SOBRE LA UTILITZACIÓ DE L'ENERGIA TERMICA DELS MARS

L'eminent Georges CLAUDE, en companyia de Paul BOUCHEROT, han posat d'actualitat, amb aquesta nota presentada a l'Acadèmia de Ciències ¹ de París, l'interessant problema de Física Industrial que és la utilització de l'energia tèrmica dels mars per a la producció de força.

No és pas aquesta la primera vegada que homes d'estudi plantegen aquesta qüestió. M. CLAUDE mateix, en la sessió següent de l'Acadèmia ² reconegué les iniciatives que l'havien precedit. Aquest autor ha recordat que fou l'any 1913, en un article aparegut a *Engineering News*, on es donà la primera idea per a l'aprofitament de l'energia potencial que origina el

desnivell de temperatura existent entre les aigües superficials i les profundes del mar, valent-se com a agent intermediari d'un gas liquidat. Una aplicació pràctica d'aquesta idea fou suggerida l'any 1923 per Marius DORNIG i BOGGIA de Milan ³, els quals autors havien proposat d'utilitzar per a la producció de força motriu la diferència de temperatures que a l'estiu existeix entre les aigües superficials dels llacs italians i les del fons, refredades, aquestes darreres, per la fundició de les neus de les altes muntanyes. Aquesta utilització es basava, com en el cas precedent, en l'emprament com a agent intermediari d'un gas liquidat, l'amoniac.

Aquestes iniciatives i provatures no entelen, però, la glòria que pertany a MM. CLAUDE i BOUCHEROT,

³ *Elettrotecnia*, article del Sr. Tito ROMANELLI, gener 1923, Milan.

¹ C. R. de l'Acad. des Sci., vol. 185, núm. 21, Novbre, 1926.

² C. R. de l'Acad. des Sci., vol. 185, núm. 22, Novbre, 1926.