

## ELS METALLS LLEUGERS EN LA INDUSTRIA

S'HA dit, i amb molta raó, que la nostra època, tècnicament parlant, es caracteritza per l'empleu cada dia més accentuat dels metalls i aliatges lleugers. Poc podia creure's a rel de llur descobriment, el paper extraordinari a què estaven destinats després d'un temps relativament curt: el ràpid desenvolupament de l'Aeronàutica i la conveniència de reduir pesos inútils, àdhuc en els transports terrestres, aparellat amb les increïbles qualitats que també en altres aspectes presenten els metalls lleugers, han fet el miracle.

És ben de lamentar el desinterès que han demostrat els nostres tècnics davant dels aliatges de feble pes específic, molt més quan som nosaltres, que no posseïm sinó molt petites quantitats de bauxita, els que més ens hauríem de preocupar en la recerca de mètodes d'obtenció partint d'altres primeres matèries.

Entre els metalls lleugers que actualment tenen un interès industrial hi ha, el primeríssim lloc, com tothom sap, l'alumini. Barrejat amb altres metalls, pesats i lleugers, s'obtenen una sèrie d'al·ligacions, de propietats ben diverses, l'única característica comuna de les quals és posseir un pes específic comprès entre 2'60 i 3'15. En aquests aliatges, pròpiament anomenats lleugers, els metalls diferents de l'alumini hi estan en una proporció molt petita, sense sobrepassar del 15 %

Segueix en importància el magnesi, que en estat de puresa s'usa encara menys que l'alumini. Les al·ligacions que contenen menys d'un 20 % de metalls diferents del magnesi, constitueixen els metalls ultra-lleugers, el pes específic dels quals no arriba a 2.

Darrerament, per fi, s'han fet proves amb un altre metall anomenat per uns glucini i per altres berili; però fins ara només pot dir-se que ha tingut èxit aliant-lo en petita quantitat a altres metalls, generalment pesats, amb la qual cosa guanyen duresa.

Successivament anirem estudiant les propietats de tots ells.

## I. — Metalls lleugers

## NOTES HISTORIQUES

Data tot just d'un segle la primera obtenció de l'alumini al laboratori. En 1827, WÖHLER, sol o per indicació d'OERSTED, l'obtingué reduint el clorur d'alumini mitjançant el potassi. El producte obtingut era molt impur i com és de suposar caríssim, però fou la porta oberta perquè anys després altres savis i industrials busquessin la manera d'obtenir-lo en més gran quantitat i amb menys despeses. St. CLAIRE DEVILLE (1853) industrialitzà la producció d'aquest metall, encara seguint el procediment químic i substituint el potassi pel sodi que no resultava tan car; durant aquest període però, l'alumini sols s'usà en orfèbreria i treballs de luxe, degut al preu elevat (300 francs quilo) a què s'obtenia. La descoberta del procediment electrofític d'obtenció de l'alumini, encara avui usat amb lleugeres variants, feta quasi simultàniament per HÉROULT a França i HALL als Estat Units, fou el que, en realitat, possibilità la gran popularitat que ha guanyat en la tècnica moderna. Després d'ella, la producció d'aquest metall ha augmentat d'una manera insospitada i ràpida: mentre que l'any 1885 solament van produir-se'n 13 tones en tot el món, se n'obtenen 7000 tones en l'any 1900, 160.000 en 1920 i 228.000 en 1928.

En el que es refereix a les al·ligacions a base d'alumini, llur història és encara més curta i brillant. Des de principis de segle, en tots els països s'han donat infinitat de patents d'invenció d'aliatges lleugers i de tractaments nous per a millorar-los. Entre elles, té especial interès l'obtinguda en 1910 per WILM, en la qual s'indica el tractament tèrmic per a una al·ligació d'alumini que conté magnesi. WILM, però, no arribà en els seus posteriors treballs a explicar científicament les causes del fenomen del tremp en el duralumini, la qual cosa fa suposar a GUILLET que aquesta descoberta fou en bona part obra de l'atzar. Més tard, les experiències i els treballs efectuats en els laboratoris de les Societats productores d'alumini han donat plena explicació dels tractaments tèrmics emprats en el millorament de les característiques mecàniques del duralumini i han permès generalitzar-los a quasi tots els restants aliats lleugers.

## ALUMINI PUR

*Obtenció*

La primera matèria actualment emprada per a l'obtenció industrial de l'alumini és el mineral anomenat *bauxita*. Químicament, la *bauxita* és

un hidròxid d'alumini, més o menys impurificat per la sílice i els òxids de ferro i titani; està llargament estesa per tot el món, però els jaciments més importants trobats fins ara corresponen al Sud-Est de França (és a dir, a la Catalunya francesa) i als estats d'Arkansas i Geòrgia a Nord-Amèrica. Uns anys enrera van descobrir-se alguns jaciments de bauxita a la "província" de Barcelona, que feren néixer moltes esperances; més tard s'ha vist que no tenen la importància que es creia al començament i en l'actualitat serveixen només per a la fabricació de productes refractaris <sup>1</sup>.

El mètode seguit en la metallúrgia de l'alumini comporta dues etapes clarament distintes: Primer. Fabricació de l'alúmina a partir de la bauxita; segon. Fabricació de l'alumini a partir de l'alúmina.

El procediment BAYER generalment emprat per a extreure l'alúmina pura de la bauxita, es basa en la propietat que té l'HONa, com tots els àlcalis fosos o dissolts, de reaccionar amb l'alúmina per a transformar-la en aluminats solubles, mentre que l'O<sub>3</sub>Fe<sub>2</sub> no es modifica. La sílice que, en canvi, tendeix a formar silicats alcalins solubles, és perjudicial i convé tractar només bauxites com més pobres millor en O<sub>2</sub>Si. L'aluminat de sosa format es descomposa després novament en contacte de petites quantitats d'hidrat d'alúmina i sota la influència d'una agitació mecànica. Amb aquest procediment, per terme mig, cada dues tones de bauxita, en donen una d'alúmina, la composició de la qual ve a ésser: O<sub>3</sub>Al<sub>2</sub> 98 % O<sub>2</sub>Si, 0'05 %; O<sub>3</sub>Fe<sub>2</sub>, 0'15 %; OCa, 0'06 %; ONa<sub>2</sub>, 0'60 %, i H<sub>2</sub>O, 0'80 %.

La reducció de l'alúmina s'efectua en cèl·lules electrolítiques, construïdes de palastre i recobertes interiorment amb carbó aglomerat amb reïna. L'electròlit està compost de criolita i fluorina foses que tenen en dissolució l'alúmina; la calor necessària per a mantenir la barreja fosa a 920 - 1000°, és subministrada pel corrent mateix. La part inferior del cossi serveix ja de càtode, mentre que l'ànode està constituït per cubs de carbó de la millor qualitat, muntats sobre una barra movable anomenada *pont*. (Figura 1) El consum d'electrodes és de prop de 800 kg per tona d'alumini produït.

Els cossis electrolítics es col·loquen en sèrie i són travessats per un corrent d'una intensitat de 10.000 ÷ 30.000 Amp.; pot comptar-se una pèrdua de potencial de 7 volt per cossi. A les fàbriques modernes, amb personal expert s'arriba correntment a tenir un consum d'energia de 25 kWh per Kg d'alumini.

L'alumini així obtingut conté sempre ferro (fins a 1 %) i silici (fins a

<sup>1</sup> Sobre aquest tema pot veure's: CHARRIN. "Les bauxites de Catalogne", *Le Genie Civil*. Vol. XCVII, 1 nov. 1930, pàg. 444.

0'50 %); poden també trobar-s'hi molt petites quantitats d'alúmina i sodi. En conjunt, però, el tant per cent d'alumini sol estar comprès entre 98'5 i 99 %. La purificació industrial d'aquest alumini fins a obtenir un contingut de 99'98 % es verifica pel procediment HOOPER, també electrolític.

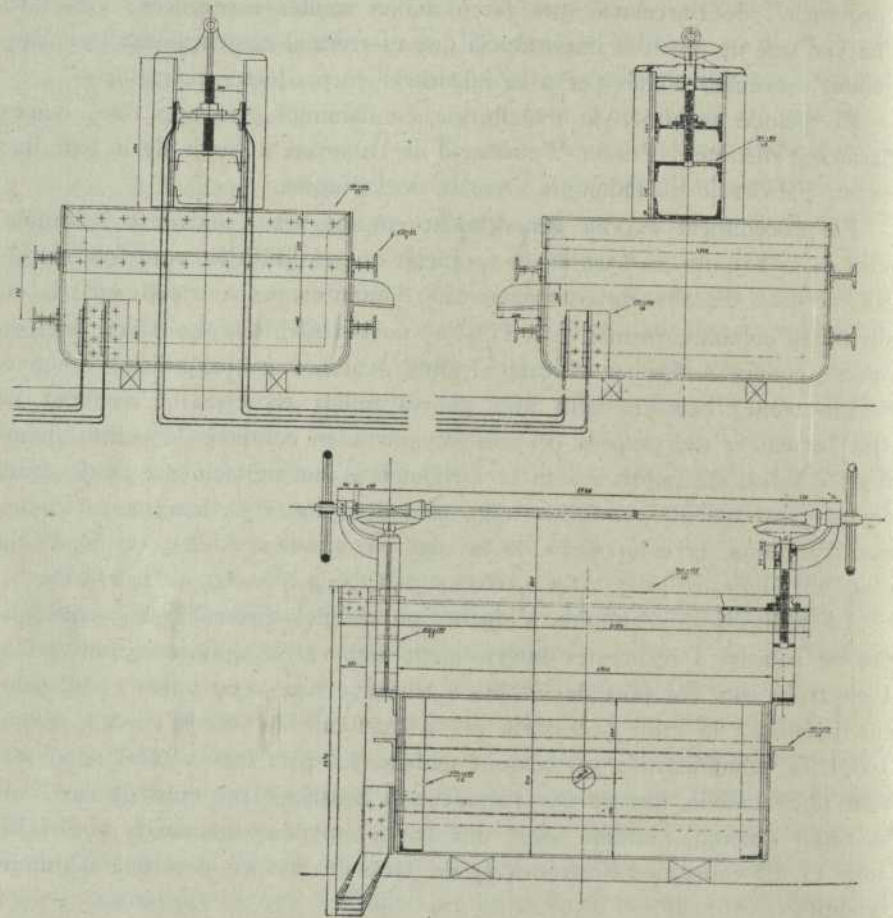


Fig. 1

Forn elèctric per a l'obtenció de l'alumini. Les dimensions d'aquests cossis, així com la producció (50 Kg/dia) i la intensitat del corrent necessari (5000 A.) són bastant inferiors a les dels més moderns

L'ànode està format per una al·ligació alumini-coure-silici fosa, en el fons del cossi; l'electròlit està constituït per una sal de sodi i d'alumini i fluorur de bari; una capa d'alumini fos, ja purificat, que sobreneda serveix de càtode. Hi han, doncs, en el cossi electrolític tres capes líquides superposades per ordre de densitats. L'alumini és transportat al càtode en un

estat de puresa remarcable. Veus-ací l'anàlisi d'una proveta d'alumini pur, extret de GUILLET<sup>2</sup>:

Fe 0'005 %, Si 0'005 %, Cu 0'007 %, Al 99'983 (per diferència).

Comercialment, l'alumini es classifica en tres categories, atenent la suma d'impureses que conté:

Primera categoria. Metall amb més d'un 99'5 % d'Al.

Segona categoria. Metall amb un contingut comprès entre 99 i 99'5 %.

Tercera categoria. Metall amb un contingut comprès entre 98 i 99 %.

### Propietats

L'alumini de primera categoria, que pot considerar-se ja com a pur, té les següents característiques:

Propietats físiques:

Densitat a 20° : 2'70.

Calor específic (de 17° a 100°) : 0'2173.

Coefficient de dilatació lineal entre 0 i 100° :  $23 \times 10^{-6}$

Conductibilitat tèrmica : 0'504 cal. per cm. per seg. i per grau.

Punt de fusió : 658°.

Punt d'ebullició a la pressió atmosfèrica : 1800°.

Resistivitat elèctrica a 15° : 2'86 microhms cm/cmq.

Coefficient de temperatura : 0'0037.

Potencial electrolític entre 18° i 25° en relació amb l'hidrogen : -1'276 Volt.

Propietats mecàniques:

Estat del metall	Càrrega rupt. en Kg/mm <sup>2</sup>	Límit elast. en Kg/mm <sup>2</sup>	Allarg. %	Mòdul elast. en Kg/mm <sup>2</sup>	Duresa Brinell
Colat . . . . .	8 ÷ 10	3 ÷ 5	15 ÷ 25 <sup>(3)</sup>	6750	—
Laminat i recuit . . . . .	8 ÷ 9	4	30 — 35	6 50	30
Agre'dur . . . . .	17 ÷ 20	15 ÷ 16	4 ÷ 5	6750	60

Propietats químiques:

Pes atòmic (O = 16) : 27.

Equivalent electroquímic : 0'00009355 g.

<sup>2</sup> "Les récents progrès des alliages légers d'aluminium". *Le Genie Civil*. Tom XCVI 3 maig 1930, pàg. 428.

<sup>3</sup> Diferents autors donen aquestes xifres com a valors de l'allargament en l'alumini colat. No obstant, el distingit enginyer Sr. E. J. FERRER ha tingut l'amabilitat d'indicar-me que en repetides experiències per ell verificades amb alumini en aquestes condicions, no ha aconseguit mai obtenir un allargament superior al 2 %.

L'alumini molt dividit es combina amb l'oxigen amb gran desenrotllament de calor (fonament de l'aluminotèrmia). No obstant, en grans masses només es produeix una oxidació superficial, que el preserva de tota ulterior oxidació.

No dividit també és inalterable per l'aigua destil·lada en fred i en calent, i per les aigües potables, a menys de contenir grans quantitats de clorurs alcalins i sals calcàrees, que l'ataquen superficialment.

No l'ataquen l'àcid nítric i acètic purs, anhídres i en fred; l'àcid sulfúric pur de 66° Bé.; àcids carbònic, sulfhídric i orgànics en general. L'ataquen els àcids clorhídric, diluït i concentrat, i els fluorhídric i fosfòric.

Es combina amb el nitrogen, bor, silici i carboni per a formar, respectivament, nitrur, borur, siliciur i carbur d'alumini.

Els àlcalis, amoníac i llurs compostos hallogenats i carbonats en solució dissolen l'alumini i formen aluminats solubles. Reacciona, també, amb les solucions de clorurs de calci i magnesi i amb les seves pròpies sals; substitueix la plata, el coure, el plom, el zinc i el mercuri en llurs combinacions solubles.

És interessant l'acceleració de l'oxidació de l'alumini en contacte de les solucions mercurials: en pocs instants es recobreix d'abundants flocs d'alúmina que augmenten progressivament.

Tot això es refereix a l'alumini amb menys d'un 2 % d'impureses, ja que amb elles augmenta generalment bastant la corrosió <sup>4</sup>.

#### ALIATGES ALUMINI-SILICI

En les al·ligacions que el silici pot formar amb l'alumini, aquell no es troba mai com a combinació, el que fa que el diagrama tèrmic (fig. 2) sigui d'una gran senzillesa. El líquidus està format per dues corbes descendents que es reuneixen en el punt eutèctic; el sòlidus està constituït per dues corbes quasi verticals unides per l'horitzontal que passa pel punt susdit. Els treballs efectuats per diferents experimentadors a l'objecte de determinar exactament el diagrama tèrmic en les immediacions de l'alumini pur, no han donat resultats gaire concordants. De totes maneres, tal com pot veure's en el diagrama de GWYER, PHILIPS i MANN <sup>5</sup> (fig. 3) pot assegurar-se que ad-

<sup>4</sup> És interessant de recollir ací el que digué M. TRILLAT referint-se a la corrosió en els aliatges d'alumini: "Jo voldria saber com ha entrat el ferro en els nostres hàbits. En l'època en què aquest metall era encara una curiositat, quin no devia ésser el seu descrèdit quan hom veié aparèixer sobre la seva superfície aquesta lepra que anomenem rovell!"  
<sup>5</sup> "The Constitution of the Alloys of Aluminium with Silicon and Iron", *Journal of the Institute of Metals*, Vol. XL, núm. 2, 1928.

huc a la temperatura ordinària existeixen traces de silici dissoltes en l'alumini en solució sòlida i que a la temperatura d'uns 525° arriba a haver-n'hi més de 1 %.

D'aquests diagrames es dedueixen propietats molt interessants des del punt de vista industrial.

Notem, primerament, que l'existència d'una solució sòlida prop de l'alumini pur, la concentració màxima en silici de la qual varia amb la tempera-

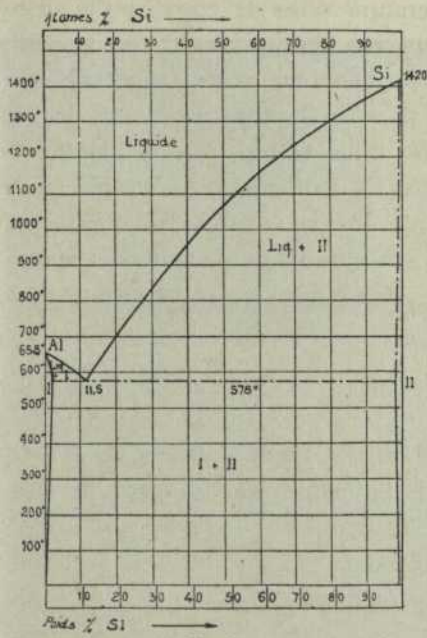


Fig. 2  
Diagrama tèrmic dels aliatges alumini-silici

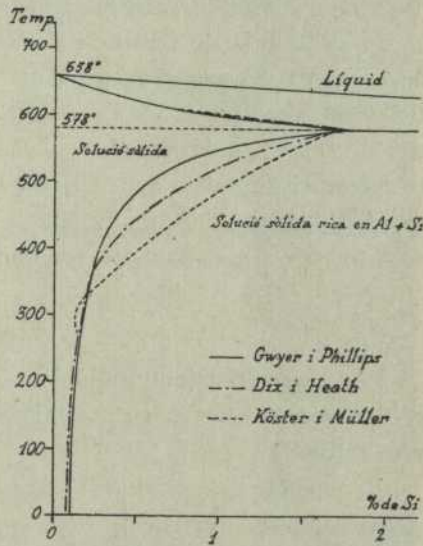


Fig. 3  
Detall del diagrama tèrmic dels aliatges alumini-silici

tura, ja indica la possibilitat d'un fenomen de tremp. Per tant, l'alumini comercial, que conté sempre com impureses quantitats més o menys grans de Si, haurà de prendre el tremp. En efecte, les experiències realitzades, entre altres, per GUILLET i pel Servei de recerques de la "Cie. Alais, Froges et Camargue", així ho demostren. En canvi, el revingut no té cap acció sobre l'enduriment, fenomen que s'explica per la facilitat amb què es solden els petits cristalls de silici i que impedeix la permanència d'aquest element en un estat gaire dividit.

Un altre punt interesant és l'existència de l'eutèctic al voltant d'un 13 % de Si. Aquest eutèctic, afinat especialment, constitueix un aliatge molt emprat en foneria, descobert pel doctor PACZ, d'Ohio, i que s'anomena *Alpax* o *Silumini*, segons els països.

## ALPAX

*Preparació i afinament*

Correspon a una composició:

Si,  $13 \pm 0,5 \%$ ; Fe  $< 0,7 \%$ ; Al. resta

Per a l'obtenció i afinament d'aquest aliatge s'opera així: es fon alumini pur, escalfant-lo fins a una temperatura veïna de  $1000^\circ$ , i s'hi dissol la quantitat necessària de silici, d'una puresa almenys de  $97 \%$ , a petites fraccions. Es deixa refredar i quan la temperatura arriba a  $930^\circ$  s'hi afegeix una barreja de fluorur i clorur alcalins (en conjunt un  $3,5 \%$  del pes de l'aliatge). S'escuma l'escòria que neix i es cola vers  $730^\circ \div 750^\circ$ . Actualment, s'utilitza per a l'afinatge de l'alpax sodi metàl·lic introduït en un  $0,08 \div 0,12 \%$  moments abans de la colada, quan el metall fos es troba a una temperatura de  $780^\circ - 800^\circ$ . Els resultats són, si fa no fa, els mateixos, encara que l'afinament amb sals alcalines dóna, potser, un xic menys de seguretat, sobretot per a les peces poc voluminoses.

*Propietats*

Les característiques mecàniques de l'alpax, algunes de les quals serveixen per a controlar el recíprocament de l'afinatge, són les següents (provetina normal):

Resistència a la tracció :  $> 19 \text{ Kg/mm}^2$ .

Límit elàstic aparent <sup>o</sup> :  $9 \div 10 \text{ Kg./mm}^2$ .

Allargament:  $5 - 8 \%$

Duresa Brinell (10 mm/500 Kg)  $52 \div 55$ .

Mòdul d'elasticitat:  $7700 \text{ Kg/mm}^2$ .

El frotament de l'alpax sobre la fundició i el magnesi dóna bons resultats, però no el frotament alpax sobre alpax.

Els angles de ruptura al doblegament i a la torsió són  $54^\circ$  i  $420^\circ$  respectivament.

Resumirem les altres propietats físiques i químiques:

Densitat:  $2,65$ .

Conductibilitat calorífica:  $0,39 \text{ cal/seg}$ .

Coefficient de dilatació entre  $0^\circ$  i  $300^\circ$ :  $21 \times 10^{-6} \div 22,5 \times 10^{-6}$ .

Resistivitat elèctrica a  $20^\circ$ :  $4,5 \div 5,59 \text{ microhm. cm/q}$ .

La resistència de l'alpax als agents químics és veïna de la de l'alumini

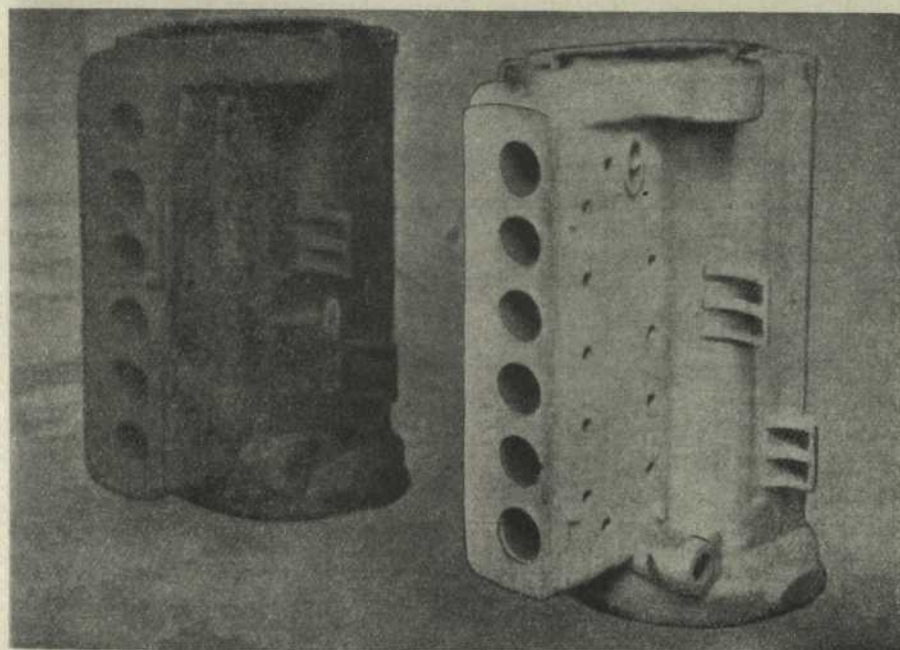
<sup>o</sup> Corresponent a  $0,2 \%$  d'allargament permanent.



pur, és a dir, superior a la dels aliatges lleugers correntment emprats en foneria. Pot, doncs, usar-se avantatjosament en les diverses indústries químiques.

La seva contracció veïna de la de la fundició (12 mm/m) és força inferior a la dels altres aliatges d'alumini.

No és fràgil durant el període de solidificació. Aquesta propietat, junt amb l'anterior, permet realitzar les peces més voluminoses sense témer esquerdes internes ni pèrdues apreciables. Les propietats precedents fan pos-



Colat en fundició: 300 Kg.

Fig. 4

Colat en alpax: 98 Kg.

Càrter de motor per a camió Saurer

sible també la inserció de peces metàl·liques en l'alpax, mentre és fos, sense risc d'esquerdes durant el refredament, ni tensions internes durant la utilització.

La fluïdesa és molt gran. Les peces surten amb una perfecció remarkable, àdhuc colant en motllos de sorra amb espessors de 2 mm.

#### *Alpaxos especials*

Alguns assaigs recents semblen demostrar que l'addició d'un 0'8 % de Cu a l'alpax corrent millora molt la resistència als xocs repetits. D'al-

tra part, els aliatges hipersiliciats que contenen 18 ÷ 20 % de Si, augmenten la temperatura de fusió, devenen més durs i disminueixen el coeficient de dilatació. Són, doncs, particularment indicats per als pistons de motors d'explosió. Per al treball d'aquests aliatges s'han d'usar les noves eines a base de carbur de tungstèn.

#### ALIIATGES ALUMINI-COURE

El diagrama tèrmic dels aliatges binaris alumini-coure (fig. 5) és força més complex que el dels alumini-silici que acabem d'estudiar, especialment en la porció que correspon als tants per cent elevats en Cu (bronzes d'alu-

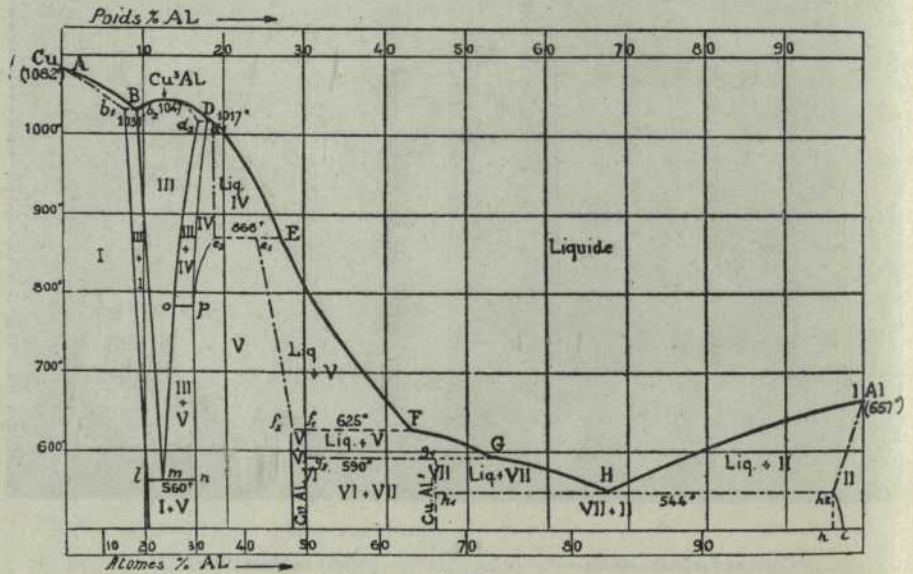


Fig. 5

Diagrama tèrmic dels aliatges alumini-coure.

mini). La part corresponent als aliatges rics en alumini, que són els que en aquest estudi ens interessen, és més senzilla i té les següents particularitats:

El Cu pot dissoldre's en l'alumini en solució sòlida, fins a un 4'5 % a 548°, disminuint aquesta solubilitat a mida que la temperatura s'abaixa, fenomen anàleg al que havem trobat amb el Si. La proporció de Cu dissolt depèn, doncs, de la velocitat de refredament i la duresa de l'aliatge augmenta amb la quantitat de coure dissolt en l'alumini.

Entre 32'79 i 33'32 % de Cu, segons els autors, es troba un eutèctic que solidifica als 548°. Aquest eutèctic està format per la solució sòlida anteriorment citada i per la combinació  $Al_2Cu$ . En la fig. 6 es resumeixen els treballs efectuats per diferents experimentadors, entre els quals són de remarcar els deguts recentment a DIX i RICHARDSON.

La disminució de la solubilitat del coure en refredar-se l'aliatge indica la possibilitat de trempar-lo. GUILLET ha fet sobre aquesta qüestió interessants experiències i ha descobert que el tremp en les al·ligacions Al-Cu es verifica sense que es passi a través de cap línia de transformació.

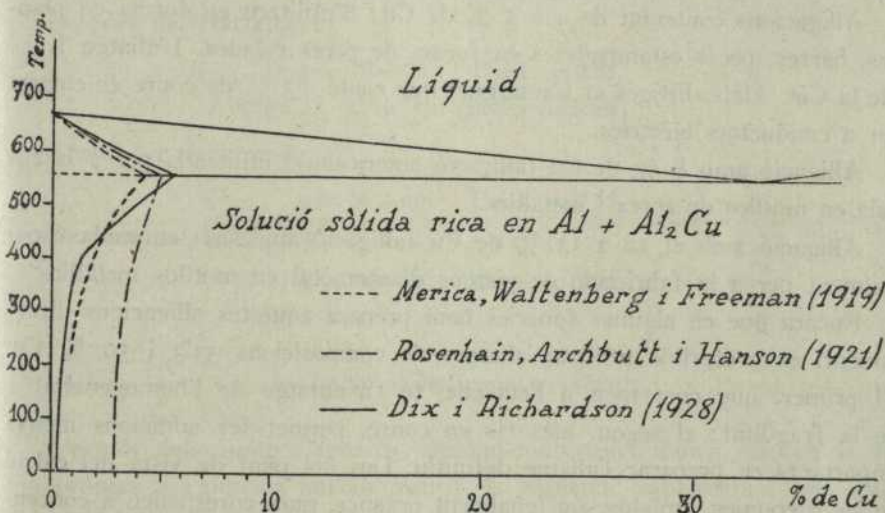


Fig. 6

Detall del diagrama tèrmic dels aliatges alumini-coure

Altres experiències del mateix GUILLET, junt amb GALIBOURG, han indicat que la duresa d'aquestes al·ligacions augmenta amb el tant per cent de coure i també amb la duració i la temperatura (dins uns certs límits) del revingut. S'obtingueren les màximes dureses amb un tremp de 525° en aigua, després de 30 minuts d'escalfament i revingut a 100° durant 48 hores. Les dureses Brinell obtingudes eren:

Aliatge amb	5 % Cu	68'2
" "	10 % Cu	101
" "	15 % Cu	121
" "	20 % Cu	126'8
" "	33 % Cu	182

S'ha de fer notar que en aquestes al·ligacions, que no contenen magnesi, no s'observa el fenomen de revelliment a temperatura ordinària o sigui que s'obtenen resultats idèntics tant si s'efectua el revingut immediatament després del tremp com si es fa al cap d'un temps bastant llarg.

#### *Aliatges industrials*

Les al·ligacions alumini-coure que tenen més importància per ésser les més correntment emprades industrialment, són:

Alligacions contenint de 4 a 5 % de Cu: S'utilitzen en forma de planxes, barres, peces estampades i en forma de peces colades. L'aliatge J. L. (de la Cie. Alais, Froges et Camargue) que conté 4'5 % de coure és emprat per a conductors elèctrics.

Alligació amb 8 % de Cu (al·ligació americana): utilitzada per a la colada en motllos de sorra i metàl·lics.

Alligació amb el 12 a 13 % de Cu (al·ligació anglesa): emprada especialment per a la fabricació de pistons d'automòbil en motllos metàl·lics.

Encara que en algunes foneries hom prepara aquestes al·ligacions directament, és preferible utilitzar aliatges de composicions 33'3 i 50 % Cu. El primer, que correspon a l'eutèctic, té l'avantatge de l'homogeneïtat i de la fragilitat; el segon, més ric en coure, permet fer addicions menys importants en preparar l'aliatge definitiu. Des del punt de vista del càlcul de les càrregues, ambdós són igualment pràctics, puix corresponen a concentracions 1/3 i 1/2 respectivament.

Les condicions òptimes dels tractaments tèrmics vénen resumides en el quadre següent:

	Temp. de tremp	Durada de calef. tremp	Temp. de revingut	Durada de revingut
Aliatge 4 ÷ 5 % Cu. . . .	515°	2 hores	300°	—
» 8 % Cu. . . .	500°	2 »	275°	4 hores
» 13 % Cu. . . .	500°	2 »	250°	4 »

Les propietats mecàniques d'aquestes al·ligacions abans i després de sotmetre-les als tractaments tèrmics, són les següents <sup>7</sup>:

<sup>7</sup> GUILLET. Art. citat, pàg. 450.

Aliatge 4'5 % Cu (en planxes i barres)

Abans del tractament:

$$R = 30 \text{ Kg/mm}^2 \cdot E = 27 \text{ Kg/mm}^2 \cdot A \% = 5 \cdot \Delta = 70 \cdot \text{Dens.} = 2'75$$

Després del tractament:

$$R = 40 \text{ Kg/mm}^2 \cdot E = 27 \text{ Kg/mm}^2 \cdot A \% = 18 \cdot \Delta = 110 \div 120 \cdot \text{Dens.} = 2'75$$

Aliatge 8 % Cu (peces colades)

Abans del tractament:

$$\Delta = 50 \div 60 \quad \text{Dens.} = 2'85$$

Després del tractament:

$$\Delta = 70 \div 75 \quad \text{Dens.} = 2'85$$

Aliatge 13 % de Cu (peces colades)

Abans del tractament:

$$\Delta = 50 \div 60 \quad \text{Dens.} = 2'95$$

Després del tractament:

$$\Delta = 90 \div 95 \quad \text{Dens.} = 2'95$$

#### ALIIATGES ALUMINI-COURE-SILICI

L'estudi dels aliatges ternaris alumini-coure-silici indica que en la regió propera a l'alumini pur es troben els següents constituents: una solució sòlida de coure i silici en alumini; la combinació  $\text{Al}_2\text{Cu}$ ; el silici. La presència, difícil d'eliminar, del ferro fa que entre aquests constituents es trobi també sempre la combinació  $\text{Al}_3\text{Fe}$ .

Existeix un eutèctic que solidifica a  $525^\circ$ , la composició del qual és: Cu 30 %; Si 5 %, i Al 65 %.

*Aliatges industrials: Aliatge per colada sota pressió*

DIX i LYON<sup>8</sup> indiquen que els aliatges de composició 3 ÷ 5 % Si i 3 ÷ 5 % Cu tenen qualitats semblants al de 8 % Cu, usat també en fonèria, amb l'avantatge de sortir amb menys defectes. Entre ells destaca el de composició Cu 4 %; Si 5 %, per la seva bona fluïdesa i duresa suficient. La presència del ferro fa créixer el tamany del gra i perjudica l'aliat-

<sup>8</sup> *Proceedings of the American Society for testing Materials*, 1922, núm. 22, pàgina 250.

ge; dins d'uns certs límits pot corregir-se aquest defecte amb l'addició de manganès o crom.

#### Lautal

Correspon a la composició Cu 4 %, Si 2 %. El seu tractament tèrmic comporta un recuit a 480° ÷ 500° seguit immediatament d'un tremp en l'aigua freda i un revingut a 120°. Després del tractament, té les característiques:

$$R = 38 \div 42 \text{ Kg/mm}^2 \quad E = 22 \div 25 \text{ Kg/mm}^2 \quad A \% = 18 \div 25 \quad \Delta = 95 \div 115$$

#### ALIATGES ALUMINI-SILICI-MAGNESI

El magnesi, en presència del silici, forma la combinació  $Mg_2Si$  i aquesta dona amb l'alumini una solució sòlida la regió de la qual està limitada per una corba que té la convexitat vers l'eix d'ordenades. Aquests aliatges, per tant, prendran el tremp i el revingut, precipitant el  $Mg_2Si$  de la solució sòlida a un estat molt dividit, els endurirà.

Una propietat molt interessant de tots els aliatges que contenen magnesi és que el revingut s'efectua espontàniament, després del tremp, a la temperatura ordinària; aquest revingut rep el nom de *revelliment* i és més lent que el revingut pròpiament dit, que s'efectua a temperatures més elevades.

#### Almassilium

Té per composició: Mg. 1 %, Si. 2 %. S'utilitza sota forma de planxes, barres, perfils, peces estampades, etc., ja que encara que bastant inferior en característiques mecàniques al duralumini, l'avantatge en preu i en malleabilitat.

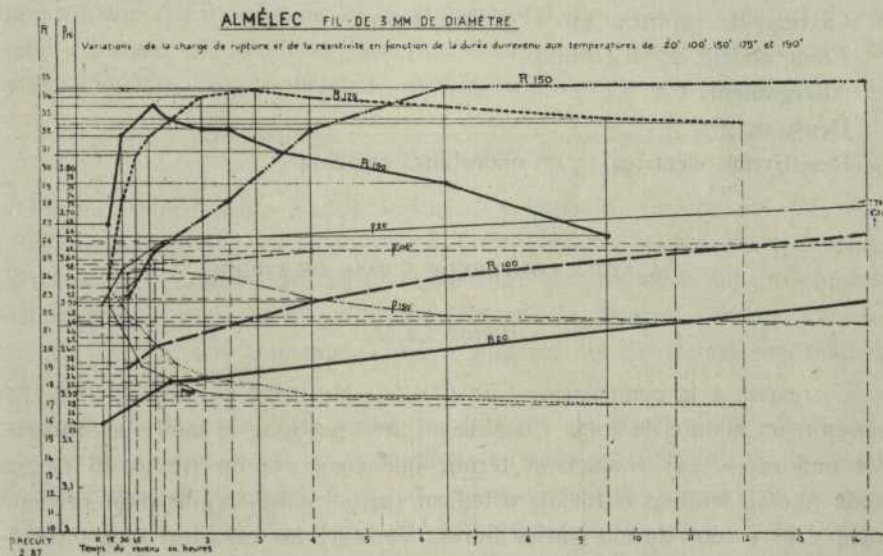
El tractament tèrmic consisteix en un tremp a 550°, revelliment a temperatura ordinària i revingut a 175°. Les propietats mecàniques en cada un d'aquests estats són:

Estat del metall	Càrrega ru. en Kg/mm <sup>2</sup>	Límit elast. en Kg/mm <sup>2</sup>	Allarg. %	Duresa Brinell
Recuit a 380° . . . . .	11	6	28	30
Trempat a 550° . . . . .	22	10	27	58
» a 550° i revellit . . . . .	28	15	27	80
» a 550°, revellit i revingut 6 ho- res a 175° . . . . .	34	30	12	100

## Almelec

La composició de l'almelec és: Mg. 0'75 %, Si. 0'5 %, Fe. 0'3 ÷ 0'4 % i s'utilitza per a conduccions d'energia elèctrica.

El seu tractament tèrmic té de tendir, per tant, a l'obtenció del màxim de resistència mecànica amb el mínim de resistivitat elèctrica. Segons les experiències verificades pel Servei de recerques de la Cie. Alais Froges et Camargue i publicades per l'enginyer en cap J. SUHR<sup>9</sup>, s'obtenen els millors resultats amb el tractament següent: Tremp de les corones de fil a l'aigua freda després de mantenir-les a un temperatura de 560° durant un quart d'hora; revingut a 175° durant 6 hores; trefilatge per



Variations de la càrrega de ruptura i de la resistivitat de l'almelec (fil de 3 mm. diàmetre) en funció de la durada de revingut, a diverses temperatures. (J. Suhr)

passos successius fins al diàmetre buscat, amb un coeficient  $100 \frac{D^2 - d^2}{d^2}$  pròxim a 525; recuit a 165° durant 10 hores. Les seves característiques mecàniques i elèctriques són, aleshores:

Càrrega de ruptura, 35 Kg/mm<sup>2</sup>.

Límit elàstic, 26 ÷ 27 Kg/mm<sup>2</sup>.

Allargament, 6 - 8 %.

Mòdul d'elasticitat, 6.500 Kg/mm<sup>2</sup>.

<sup>9</sup> *Revue de l'Aluminium*, núm. 18, abril-maig 1927.

Densitat, 2'7.

Resistivitat elèctrica, 3'12 - 3'22 microhms. cm/cmq.

Coefficient de temperatura, 0'0038.

Coefficient de dilatació lineal entre 0° i 100°,  $23 \times 10^{-6}$ .

#### Aldreï

Aquest aliatge té molta semblança amb l'anterior, tant per la composició com per les aplicacions. Conté: Mg. 0'4 %. Si. 0'6 %. Fe. 0'3 % i s'empra també en la fabricació de conductors elèctrics.

El tractament tèrmic de l'aldrèi comporta un tremp a 570° i revingut a 160°. Després del trefilatge i recuit, les característiques són:

Càrrega de ruptura, 33 - 36 Kg/mm<sup>2</sup>.

Límit elàstic, 27 Kg/mm<sup>2</sup>.

Allargament, 6'5 %.

Densitat, 2'7.

Resistivitat elèctrica, 3'17 microhms. cm/cm<sup>2</sup>.

#### ALIIATGES COMPLEXOS A BASE DE COURE

##### *Aliatge L. M.*

Correspon a la composició: Cu. 4'75 %. Mn. 0'75 %. Si. 0'75 %. És, sobretot, un aliatge de forja i laminació, però pot usar-se també en foneria. Pot millorar-se per tractament tèrmic que comporta un tremp en l'aigua freda (metall laminat o forjat) o bullent (metall colat) seguit d'un revingut entre 120° i 200° durant varies hores. Veus-ací les característiques mecàniques d'aquest aliatge després del tractament:

Estat del metall	Càrrega rupt. en Kg/mm <sup>2</sup>	Límit elast. en Kg/mm <sup>2</sup>	Allarg. %	Duresa Briell
Colat en sorra . . . . .	22 ÷ 28	18 ÷ 21	2 ÷ 3	100
» en motllos de metall .	25 ÷ 30	22 ÷ 24	8 ÷ 10	120
Laminat o forjat . . . . .	40	25	18	120 ÷ 140

##### *Duralumini*

La composició normal del duralumini és: Cu. 4 %, Mg. 0'5 %, Mn. 0'5 %, Si. 0'6 % i el reste alumini. S'usa especialment com a aliatge de forja



i laminació; però, també, pot usar-se en foneria quan hom desitja una gran duresa i la fragilitat no és un inconvenient.

La importància que ha adquirit entre tots els aliatges lleugers ha cridat l'atenció de molts experimentadors i malgrat la seva relativa complexitat, hom ha arribat a adquirir un coneixement exacte de les seves propietats per a poder usar-lo, quan convé, amb el màxim rendiment.

En el que es refereix als constituents de l'aliatge, el citat estudi de GWYEN, PHILIPS i MANN estableix que són: La solució sòlida Al-Cu-Si, rica en alumini; el silici, contenint potser una mica d'alumini en solució, i la combinació  $Al_2Cu$ . A aquestes fases, degut al Fe, que sempre impurifica l'alumini, cal ajuntar la combinació  $Al_2Fe$ , i un altre constituent, no gaire ben definit, que sembla ésser una solució sòlida Al-Cu-Si-Fe; les combinacions  $AlCu$  i  $AlCu_2$  no es troben més que en els aliatges rics en coure. El magnesi, afegit en quantitat convenient, forma amb el silici la combinació  $Mg_2Si$ , parcialment soluble en l'alumini a alta temperatura.

#### *Tractaments tèrmics*

Fariem interminable aquest article si volguéssim recollir ací tots els estudis que s'han fet per a explicar la influència del laminatge, del recuit, del tremp, del revelliment i del revingut sobre les propietats del duralumini. Solament indicarem els resultats obtinguts en la determinació de les millors condicions dels tractaments per a millorar les propietats mecàniques del duralumini.

Segons J. MATTER<sup>10</sup> la millor temperatura de tremp és de 500°, cuidant de no sobrepassar-la ni disminuir-la en més de 10° (fig. 8); la duració d'escalfament necessària abans del tremp depèn del tamany de la peça i n'hi ha prou amb el temps que cal per a portar-la fins al cor a la temperatura del forn. El tremp pot fer-se en l'aigua o en l'aire; en el primer, és avantatjós esperar prop de mig minut entre la sortida del forn i la immersió en l'aigua. El tremp en l'aire dóna característiques una mica inferiors al tremp en l'aigua, especialment si no s'accelera el refredament amb un ventilador; però pot convenir quan són de témer deformacions degudes al canvi bruscat de temperatura, que poden ésser molt fortes en les peces petites.

Hom ha constatat que immediatament després del tremp, les característiques del duralumini tractat no són les mateixes que al cap d'alguns dies assolirà deixat a la temperatura ambient. Com ja hem dit més amunt,

<sup>10</sup> "La metallurgie du Duralumin", *Revue de l'Aluminium*, nov-des., 1929, pàgina 915.

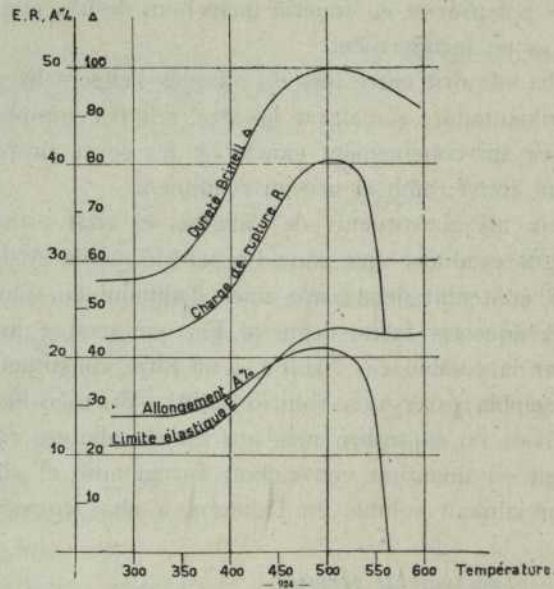


Fig. 8  
Variació de les característiques mecàniques del duralumini revellit en funció de la temperatura  
(J. MATTER)

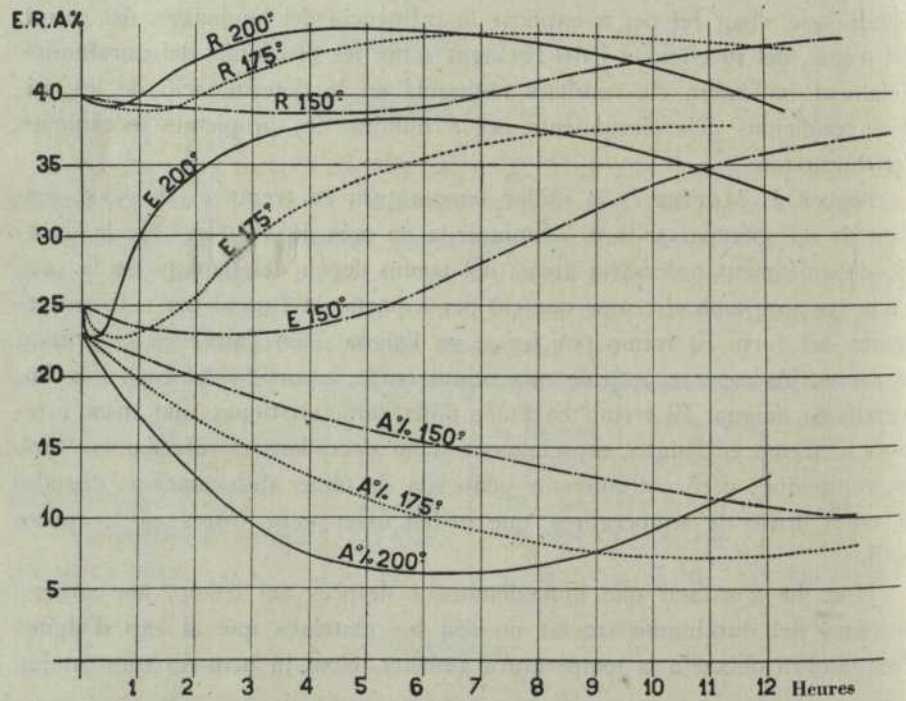


Fig. 9  
Influència de la durada del revingut sobre les característiques del duralumini (J. MATTER)

aquest fenomen s'anomena *revelliment* i s'explica per la precipitació en un estat molt dividit de les combinacions  $Al_2 Cu$  i  $Mg_2 Si$  dissoltes en l'alumini pel tremp. El revelliment pot accelerar-se efectuant un revingut després del tremp, o sigui rescalfant el metall a una temperatura que no passi de  $200^\circ$ ; a  $175^\circ$ , que és la millor temperatura de revingut, 6 hores són suficients per a obtenir les característiques cercades (fig. 9).

La millor temperatura per al recuit del duralumini és a  $400^\circ$ , la qual hom pot controlar perquè rosteix els encenalls i serradures de fusta sense que s'inflamin; en pocs minuts s'obtenen els efectes desitjats, però cal vetllar, després, que el refredament sigui molt lent.

### Propietats

A continuació donem una taula amb les característiques mecàniques i físiques del duralumini, en els seus tres estats: recuit, normal i dur:

CARACTERISTIQUES	RECUIT	NORMAL	DUR
Resistència a la tracció en Kg/mm <sup>2</sup> . . . . .	20 ÷ 25	38 ÷ 42	45 ÷ 55
Límit elàstic en Kg/mm <sup>2</sup> . . . . .	10 ÷ 15	25 ÷ 30	35 ÷ 45
Allargament en % . . . . .	16 ÷ 22	16 ÷ 24	3 ÷ 10
Duresa Brinell . . . . .	60	100	120
Resiliència en Kg/cm <sup>2</sup> . . . . .	—	4	—
Mòdul d'elasticitat . . . . .	—	7500	—
Resistivitat en microhms. cm/cm <sup>2</sup> a $0^\circ$ . . . . .	3'2	4'5	5'7
Coefficient de temp. entre $0^\circ$ i $150^\circ$ . . . . .	—	0'003	—
Calor específic entre $0^\circ$ i $100^\circ$ . . . . .	—	0'22	—
Coefficient de dilatació lineal . . . . .	—	$24 \times 10^{-6}$	—
Conductibilitat tèrmica absoluta . . . . .	—	0'44	—
Punt de fusió . . . . .	—	620 ÷ 650°	—
Calor latent de fusió en cal . . . . .	—	100	—
Densitat . . . . .	—	2,8	—

### Aliatge Y.

Aquest aliatge, fabricat principalment a Anglaterra, conté: Cu. 4 %, Mg. 1'5 %, Ni. 2 % i el Si que porti l'Al. S'assembla bastant al duralumini i s'empra com a metall de laminació i de colada. Comporta tractament tèrmic que consisteix, segons ROSENHAIN, en un tremp a  $350^\circ$  i revelli-

ment. Hom dona com a propietats de l'aliatge Y, després d'aquest tractament, les següents:

Estat del metall	Càrrega rupt. en Kg/mm <sup>2</sup>	Límit elást. en Kg/mm <sup>2</sup>	Allarg. %	Duresa Brinell
En forma de barra . . . . .	37'4	23'5	25	—
En forma de palastre . . . . .	43'3	32'5	17	—
Colat en sorra . . . . .	19 ÷ 22	16 — 19	0 ÷ 15	95
Colat en motllos metàl·lics	26 ÷ 31	22 ÷ 24	3 ÷ 6	100 ÷ 105

GUILLET diu que sembla que el tractament anterior ha estat modificat, i que el que dona la màxima seguretat s'obté trempant l'aliatge en aigua bullent, després de dues hores de mantenir-lo a 550°, i revenint a 250°. La càrrega de ruptura amb aquest tractament arribaria a 50 Kg/mm<sup>2</sup>.

#### ALIATGES A BASE DE ZINC

L'addició del zinc, en proporció de 10 a 12'5 %, a l'alumini, facilita la colada i millora les qualitats mecàniques; però augmenta la fragilitat en calent i allarga el període de solidificació. Això explica que el zinc fos el



Fig. 10

Taller de tractaments tèrmics de la fabrica del Bourget de la «Société du Duralumin». A primer terme els forns de nitrat de sodi

primer metall emprat a Europa per a aliar amb l'alumini i que més tard, descoberts altres aliatges que no tenien aquests inconvenients, les noves al·ligacions substituïssin les velles, a tal extrem que avui són ja pocs els aliatges lleugers a base de zinc que tenen un veritable interès industrial.

L'aliatge alemany està compost d'un 10 % de Zn i 2 % de Cu. Sembla que l'addició del Cu disminueix els defectes indicats; però, amb tot, no pot ésser emprat en la construcció de peces que han de treballar a temperatures elevades, tals com pistons d'automòbil.

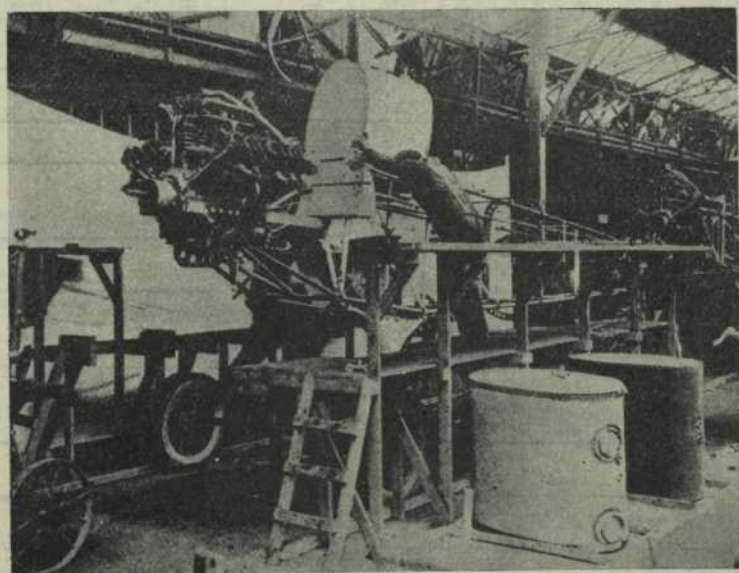


Fig. 11

Muntatge del pla superior sobre un avió en duralumini, del tipus Bréguet 19 amb el qual Costes i Le Brix realitzaren més de 650 hores de vol.

El *Scleron* no entra ben bé en les característiques que indicarem en classificar els metalls lleugers, puix que no arriba a contenir un 85 % d'Al; però és interessant per la seva alta resistència mecànica. La composició del *Scleron* és: Zn 12 %, Cu 3 %, Mn 0'60 %, Si 0'5 %, Fe 0'4 %, Li 0'05 ÷ 0,1 %. Sempre se li ha de fer sofrir un tractament tèrmic que consisteix en un tremp a 475°, seguit d'un revelliment a temperatura ordinària, durant 4 dies. Les característiques mecàniques d'aquest aliatge, laminat i tractat, són:

$$R = 42 \div 50 \text{ Kg/mm}^2 ; E = 25 \text{ Kg/mm}^2 ; A \% = 10 \div 15 \quad \Delta = 100 \div 120$$

## PRINCIPALS ALIATGES DE FONERIA (\*)

	Composició	Càrrega de ruptura en Kg/mm <sup>2</sup>		Limit elàstic aparent <sup>1</sup> en Kg/mm <sup>2</sup>		Allargament %		Es-tricció Motll. sorra	Duresa Brinell		Con-tracció	Coeficient de dilatació lineal entre 0 i 100°	Punt de fusió	Den-sitat	OBSERVACIONS
		Motll. sorra	Motll. metall	Motll. sorra	Motll. metall	Motll. sorra	Motll. metall		Motll. sorra	Motll. metall					
<b>Aliatges sense tractament tèrmic</b>															
Aliatge amb Si	Si 5	12	15	7	8	3	5		40	55		23x10 <sup>-6</sup>	620	2·67	Bona fluïdesa, feble contracció, bona resistència a la corrosió.
Alpax (2)	Si 13	17 a 19	20 a 22	9 a 10	9 a 10	4 a 6	4	12%	50 a 60	60 a 65	12	21x10 <sup>-6</sup>	575	2·65	Característiques més elevades, feble contracció, bona fluïdesa, sense porositat, bona resistència a la corrosió, difícil de treballar.
Aliatge americà	Cu 8	14 a 15	18 a 20	7 a 8	9 a 10	2	2·5	2%	45 a 50	65	14	25·11x10 <sup>-6</sup>	636	2·86	Molt emprat, dona satisfacció per a les peces corrents, característiques susceptibles d'ésser millorades per tractament tèrmic.
Aliatge anglès	Cu 12	16 a 18	20 a 22	9 a 10	10 a 12	1	0·3	1%	50 a 60	75	13		620	2·94	Duresa molt elevada, però molta fragilitat, conserva la seva resistència en fred, característiques susceptibles d'ésser millorades per tractament tèrmic. Es treballa bé.
Aliatge alemany	Zn 10 Cu 2	15 a 17	20 a 22	10 a 12		3 a 4	4 a 6		50 a 60	65	13·5	24·5x10 <sup>-6</sup>	625	3·1	Peces corrents de foneria, mal comportament en calent, poca resistència a la corrosió.
Aliatge per colada sota pressió	Cu 4 Si 5	15 a 17		12 a 14		3 a 4			65	13·5			2·75		Bona fluïdesa.
<b>Aliatges amb tractament tèrmic</b>															
Aliatge Y	Cu 4 Ni 2 Mg 1·5	19 a 22	26 a 31	16 a 19	22 a 24	1 a 2	2·5	3 a 6	1%	95	100 a 105	13·5		2·77	Difícil de colar, bon comportament en calent, bona resistència a la corrosió.
Duralumini	Cu 4 Mn 0·5 Mg 0·5	20 a 25	22 a 30	17 a 20	20 a 23	0·5 a 2	1 a 2		100	120	15		620	2·80	Duresa elevada, es poleix bé, però poca resistència al xoc, resisteix el desgast per abrassament.
L. M.	Cu 4·75 Si 0·75 Mn 0·75	20 a 25		12 a 13		5 a 8			65 a 75		15		645	2·80	Utilitzat amb motllos de sorra, característiques elevades, bona resistència als xocs.
L. M.		25 a 30		18 a 20		1 a 3			100 a 110		15		645	2·80	Característiques màximes. gran duresa, però molt fràgil.

(\*) Del llibre «Le Travail de l'Aluminium. - Fonderie». Ed. «L'Aluminium Français».

(1) Limit elàstic corresponent a 0·2 % d'allargament permanent. — (2) Les xifres incloues representen les característiques del metall afinat.

## PRINCIPALS ALIATGES AMB TRACTAMENTS MECANICS (\*)

Estat de l'aliatge	Denominació	Composició	Càrrega de ruptura	Límit elàstic <sup>(1)</sup>	Allargaments	Duresa Brinell	Densitat	Conduct. a 20°
<b>Aliatges de forja i laminació</b>								
Aliatge sense tractament tèrmic . . . . .	Alpax <sup>(2)</sup>	Si 13	26	10	5	—	2'6	
Aliatge amb revelliment natural . . . . .	Duralumini	Cu 4	38 a 42	26	18 a 22	110 a 120	2'85	
		Mg 0'5						
		Mn 0'5						
		Si 0'6						
Aliatges amb revelliment artificial . . . . .	Almassilium	Si 2	32 a 35	18	10 a 20	90 a 100	2'6	
		Mg 1						
		Cu 4'75						
	L. M.	Si 0'75	40	25	18	120 a 140	2'75	
		Mn 0'75						
<b>Aliatges per a conductors elèctrics</b>								
Aliatges que comporten un tractament tèrmic combinat amb un tractament mecànic . . . . .	Aldrei	Mg 0'4	33 a 36	27	6'5	—	2'6	31'5
		Si 0'6						
		Fe 0'3						
	Almelec	Mg 0'7	35	24	6	90 a 100	2'6	32
		Si 0'5						
		Fe 0'3						
J. L.	Cu 4'5	45	33	5	110 a 120	2'75	28'5	

(\*) Del llibre «L'Alumini i ses al·ligacions». Ed. «L'Alumini Français».

(1) Límit elàstic corresponent a 0'2 % d'allargament permanent.

(2) Les xifres indicades representen les característiques del metall afinat.

## ALTRES ALIATGES

Hom ha provat d'obtenir aliatges especials d'alumini mitjançant l'addició de metalls diferents dels estudiats fins ara; però encara que alguns d'ells forneixin qualitats més o menys interessants a les al·ligacions obtingudes, els inconvenients d'usar metalls especials no són prou compensats per a donar-los importància industrial.

Per exemple, el titani, àdhuc en petites quantitats (menys d'un 0'75 %) facilita en els aliatges a base de coure el tractament tèrmic, permetent reduir la temperatura de tremp i augmentant la profunditat dels efectes.

El cadmi, difícil d'introduir per la seva insolubilitat en l'alumini, disminueix la corrosió química. Per a obtenir-lo, s'ha de preparar, primerament, una al·ligació Cd-Mg de 75 % de Cd i ajuntar-la al bany d'alumini pur en les proporcions convenients.

L'addició del glucini, per fi, augmenta molt el mòdul d'elasticitat degut a que aquest metall el té molt alt (30.000 kg/mm<sup>2</sup>); però té l'inconvenient de no poder sofrir el tremp i, ara com ara, d'ésser obtingut el glucini a preu molt elevat.

J. TORRENS-IBERN