

EL NIQUEL EN LA FONERIA

per Arthur EVEREST, B. Sc. Ph. D.

(Universitat de Birmingham)

No fa gaires anys encara, l'enginyer considerava la foneria de motlleig de profitosa aplicació, car al seu relatiu poc preu, s'ajuntava la facilitat de treball i d'obtenció. A part d'aquestes, ben poques altres virtuts se li concedien, i quan la pràctica de l'enginyeria, en la seva evolució normal, féu adonar que el ferro fos no resultava a propòsit, per suportar els creixents esforços mecànics i tèrmics que se li exigien, s'intensificà la tendència a bandejar-la, i substituir-la amb altres materials més estimats. L'acer fou el que es considerà com el més indicat per a certes parts dels pesants motors de combustió interna que treballen a altes o variables temperatures. En créixer aquestes i les pressions del vapor, el constructor de turbines es veié obligat a canviar no solament el material, sinó, també, el traçat de diafragmes, de les envoltes i de les caixes de vàlvules de les seves màquines; en altres casos, però, àdhuc en petits motors de combustió interna, hem vist la foneria substituir l'acer en aquelles parts sotmeses a tensions i fregaments.

No obstant, avui els metallúrgics es convencen més cada vegada, de les possibilitats del ferro, el qual, demés de posseir qualitats de resistència molt superiors a les que abans se li atribuïen, gaudeix de la valuosa propietat d'ésser resistent al desgast i al fregament, a la corrosió i a l'oxidació, qualitats que, per a determinades aplicacions, el fan, encara, superior a l'acer i altres competidors.

Aquest canvi de punt de vista ha estat degut a investigacions sistemàtiques que han portat a remarcables progressos en la tècnica de la fosa i en el tractament tèrmic del ferro colat i, segonament, han menat a l'ús, a semblança dels acers, d'elements d'addició especials.

Per aconseguir una bona fosa especial, cal inspeccionar curosament el ferro utilitzat com a base de l'aliatge; aquest bon resultat serà, encara, augmentat amb l'ús d'addicions especials. Mitjançant addicions de níquel i crom s'han assolit resistències encara més grans, que en determinats casos han assolit la valor de 47'6 tones per polzada quadrada, o siguin, 75 kg/mm².

Entre els elements especials emprats per a millorar el ferro de foneria, el níquel pot aspirar al lloc davanter.

BREU RESSENYA HISTORICA

Crida l'atenció el fet que quan el níquel era, encara, un metall "nou", ja foren observades les seves avantatjoses qualitats per emprar-lo en la foneria, car ja en 1799 es concedia una patent anglesa ¹ per a la construcció de calderes de foneria alligada amb 2'5 a 25 per cent de níquel, per tal d'augmentar llur resistència a l'oxidació i a la corrosió.

Diversos investigadors efectuaren experiències sobre aquesta qüestió; però no fou feta cap investigació sistemàtica fins a l'any 1907, en què GUILLET ² demostrà que el níquel actúa com el silici que torna grises les foneries blanques, les quals, però, amb una més forta proporció de níquel resultaven austenítiques.

De tant en tant, s'han fet públics altres treballs, principalment a França, Alemanya, Amèrica i Anglaterra, pels quals es posa de manifest que sota determinades condicions pot afegir-se níquel a la foneria per tal de millorar alguna de les seves propietats o totes elles. Durant aquests darrers anys, ha pres novament interès aquest assumpte.

PIWOWARSKY, afegint níquel a foses ordinàries, trobà que sota determinades condicions es produïa una clara reducció del tamany del gra del metall ³, i que l'addició de 1 % de níquel millorava les seves característiques mecàniques; la resistència del material resultant assolía un màxim, més enllà del qual tota nova addició de níquel, en les condicions dels seus assaigs, era perjudicial.

DONALDSON ⁴, a Anglaterra, observà, també, que petites addicions de níquel milloraven les propietats del ferro-colat.

A França, GALIBOURG ⁵, en un extens examen de l'ús del níquel en la foneria, indicà que aquest element torna la perlita sorbítica, augmenta el límit d'elasticitat i la duresa, la resistència a la tracció i al xoc, i millora les condicions de resistència al desgast.

Sembla, no obstant, que l'estudi més aprofundit ha estat fet als Estats Units, on MERICA ⁶, WICKENDEN i VANICK ⁷ han demostrat els positius avantatges assolits mitjançant l'addició de níquel al ferro-colat, en el do-

¹ S. S. HICKLING, Brit. Pat. 2296/1799.

² L. GUILLET, "El Níquel en la foneria", *C. R. Acad. des Sci.* 1907/145/552, París.

³ E. PIWOWARSKY: "Millorament de la foneria per l'addició de metalls alligats", *Stahl und Eisen*, 1925/45/289.

⁴ J. W. DONALDSON: "Tractament a baixa temperatura de les foneries especials", *Foundry Trade Journal*, 1925, 31, 517; "Influència d'elements especials en la foneria gris", *Foundry Trade Journal*, 1925, 32, 553.

⁵ J. GALIBOURG: "L'ús del níquel en les foneries de ferro americanes", *L'Usine*, 1927, pàg. 26.

⁶ P. D. MERICA: "Foneria alligada amb níquel", *Iron Steel*, Canadà, 1925, 8, 86.

⁷ T. H. WICKENDEN i J. S. VANICK: "El níquel i el cromo-níquel en la foneria", *American Foundry Association*, 1925, 33, 347.

ble aspecte de la resistència mecànica i al desgast, i de la superior aptitud per al treball. L'aspecte econòmic de l'afer ha estat estudiat per HOUSTON⁸ i, més recentment, l'ús de la foneria al níquel per a determinades peces d'automòbil exposades al desgast, ha fet l'objecte d'una memòria de WICKENDEN⁹.

Els ferros colats al níquel poden dividir-se, especialment, en dos grups: al·ligacions pobres en níquel, amb addicions de menys del dos per cent; i al·ligacions riques en níquel, amb estructura austenítica. Aquestes últimes s'han estès comercialment a causa de llurs propietats no magnètiques i anticorrosives. Entre aquests dos grups, es situen al·ligacions martensítiques, dures i no susceptibles d'ésser treballades.

L'objecte d'aquesta memòria, és tractar de les propietats dels ferro-colats esmentats en primer terme, amb solament petites dosis de níquel.

De l'estudi del què ha estat publicat sobre aquestes últimes al·ligacions, es desprèn que existeixen a llur favor determinats avantatges generals. Llurs propietats comprovades es resumeixen com segueix:

I. El níquel redueix la tendència del metall a endurir-se per refredament sobtat.

II. El níquel afina el gra.

III. Augmenta la duresa en les grans seccions; però degut a què disminueix la tendència a blanquejar-se per refredament sobtat, les peces resulten amb una duresa més homogènia, que augmenta, per tant, llur facilitat d'ésser treballades.

IV. Incrementa les propietats resistents.

V. El níquel, en afinar el gra i l'estructura perlítica, intensifica la resistència al desgast.

És degut a totes aquestes propietats que el níquel, sol o unit al crom, troba avui una aplicació creixent com element addicional de la foneria per a peces d'automòbil, tals com blocs de motor, camises de cilindre i èmbols exposats al desgast; per fabricar matrius, engranatges, lleves i altres parts en què es necessita un material dur i resistent al desgast; sempre que s'exigeixen propietats especials, com en les graelles de resistència elèctrica, en les quals interessa una determinada flexibilitat mecànica i, en general, per a peces de petita secció, que requereixen excel·lents propietats.

L'addició de crom i níquel sembla que gaudeix en l'actualitat de més importància que la de níquel sol.

⁸ D. M. HOUSTON: "La valor econòmic del níquel i el crom en la foneria gris", *Trans. Amer. Soc. Steel Treating*, gener 1928, 13, 1, 1905.

⁹ T. H. WICKENDEN: "Dades sobre les condicions de treball i resistència al desgast dels ferro-colats", *Soc. Auto Engineers U. S. A.*, gener 1928.

MANERES D'EFECTUAR L'ADDICIÓ DE NÍQUEL

Les addicions de níquel, amb el propòsit ja esmentat, poden fer-se de diverses maneres: *a)* en el cubilot o altre forn de fusió, en els quals es carrega junt amb els demés materials; *b)* afegint-lo al metall fos en el gresol o avantgresol, o en la cullera.

Les formes més convenients del níquel per a les addicions poden reduir-se a aquestes:

- a)* Llengot de ferro contenint níquel natural.
- b)* Llengot de ferro contenint níquel afegit.
- c)* Ferro-vell d'acer-níquel.
- d)* Llengot de níquel o de les seves al·ligacions.
- e)* Granalla de níquel pur o al·ligat en vehicles apropiats.

El millor llengot de ferro amb níquel natural és el Mayari, que ha estat emprat amb èxit per alguns fonadors. L'ús del llengot amb níquel sintètic—que conté fins 20 per cent de níquel—o amb ferro-vell d'acer carregat de níquel, dona, encara, millors resultats.

Alguns operadors han obtingut bons resultats afegint al cubilot llengot de níquel o d'al·ligacions de níquel (per exemple, níquel-silici).

Per a emmotllar peces petites o variades, donarà, probablement, millor resultat afegir el níquel, a l'estat de perdigons, al ferro després de sortir del gresol del forn.

La temperatura de fusió del níquel és de 1452° C, mentre que la del ferro fos ordinari pot oscil·lar, en general, entre 1250° C i 1480° C. Encara que el níquel pur és moderadament soluble en el ferro fos, en general no és aconsellable afegir perdigons de níquel de tamany ordinari (uns 6-10 mm de diàmetre) pel perill d'una dissolució incompleta. Aquesta eventualitat és evitada emprant perdigons de níquel pur, del dit. "mostassa" amb diàmetre menor de 1 mm. Poden, igualment, emprar-se perdigons de níquel al·ligat, el punt de fusió del qual és semblant al del llengot de ferro.

En tots els seus treballs fins a la data, l'autor ha emprat una al·ligació formada, principalment, de níquel i silici, coneguda per *perdigó F*. Es tracta d'un producte de la seva pertinença que conté 92 per cent de níquel, i el punt de fusió del qual és uns 200° C més baix que el del níquel pur.

EXPERIMENTS RELATIUS A L'ÚS DEL NÍQUEL EN LA FONERIA

La majoria dels experiments en què es basen les conclusions anteriorment ressenyades, han estat efectuats als Estats Units. Alguns assaigs que l'autor

ha emprès a Anglaterra, amb ferro-colats anglesos, semblen tenir interès en relació amb moltes d'aquestes conclusions.

En aquest treball s'estudia la influència de petites proporcions de níquel, en general de l'ordre de 1 o 2 per cent, sobre diverses qualitats de ferro-colat. Excepte dels primers assaigs fets sobre ferro-colats especials, s'ha parlat sempre de productes fosos en cubilots ordinaris, procedents de diverses qualitats de llogot i ferro-vell en forma que resulti pràctic i econòmic el propòsit d'explotar aquests materials amb petites addicions de níquel.

Aquests experiments s'han fet solament amb ferro-colats per a "enginyeria", és a dir, amb aquelles qualitats que contenen 0'55 per cent o més de carboni combinat, en els espessors normals de secció de les peces colades, o sigui amb foneries "perlíiques". Sembla probable que l'addició d'elements especials a ferro-colat de més baix contingut de carboni combinat fóra menys avantatjosa.

INFLUENCIA DEL NÍQUEL EN LES BARREGES CORRENTS DE FONERIA

S'han fet experiments sobre l'addició de níquel a diverses menes de foneria ordinària, foses en les condicions normals, i s'han colat barretes d'assaigs del ferro-colat de composició corrent i del mateix amb diverses addicions de níquel.

Les proves s'han efectuat sobre tres classes de ferro-colats per a aplicacions d'enginyeria.

La colada dels llogotets s'efectuà sempre verticalment i després de trencats en la prova de flexió, es tragué de la meitat inferior de cada barra una proveta per a l'assaig de tracció. Per a l'estudi de la variació de duresa, es féu una fosa esglaonada, i per a l'estudi del blanquejament es colaren també altres peces.

INFLUENCIA DEL NÍQUEL EN LA FONERIA D'ALTA QUALITAT PER A AUTOMOBILS

La composició del ferro-colat emprat en aquest assaig fou la següent:

Carboni total	3'30
Carboni combinat	0'60
Grafit	2'70
Silici	2'08
Manganès	0'96
Sofre	0'10
Fòsfor	0'18

S'hi afegí níquel per obtenir barretes d'assaig les quals contenien 0, 0'7, 1'12 i 1'84 per cent de níquel.

Les peces per als assaigs, les quals portaven aletes de secció prima per tal de posar de relleu el grau de tendència del metall al blanquejament, ensenyaren clarament que la profunditat de l'enduriment es reduí amb l'addició de níquel.

Les xifres de resistència junt amb les valors de duresa obtingudes en la colada esglaonada, es resumeixen en la Taula I.

TAULA I

BARRETES D'ASSAIG	A 20	A 21	A 22	A 23
Contingut de níquel %.	0	0.699	1.12	1.84
Relació C G C T (carboni-grafit a carboni total)	81.5	81.8	81.4	81.2
Màxima resistència a la flexió Kg.	1.288	1.296	1.355	1.248
Fletxa » mm.	9.39	10.16	10.88	9.34
Coefficient de ruptura Kg. /mmq	52.9	54.3	55.7	51.3
Màxima resistència a la tracció Kg. /mmq	20	20.6	20.8	21.2
Duresa Brinell:				
Secció 1 "	192	197	199	207
» 1/2 "	192	199	210	217
» 1/4 "	229	229	292	235
» 1/8 "	229	235	235	241

L'examen microscòpic de les mostres ens diu que amb les primeres addicions de níquel es féu quelcom més bast el grafit; aquest prengué, no obstant, forma més fina amb 2 per cent de níquel.

Totes les mostres, en atacar-les, han resultat, perlíques, amb parts de fosfur i cristalls de sulfur de manganès, uniformement repartits. La primera addició de níquel no produí efecte apreciable en l'estructura; però les addicions següents donaren a la perlita una estructura més fina cada vegada.

Aquest afinament de la perlita és un dels efectes característics del níquel i, indubtablement, la causa fonamental de l'augment experimentat pel ferro-colat, en l'assaig de Brinell i al taladre, la qual cosa, junt amb la fina forma del grafit, condueix a millorar molt les propietats mecàniques.

En un altre assaig, s'afegí níquel—0'65 i 0'80 per cent—a una fosa de la composició següent:

Carboni total	3'61
Carboni combinat	0'85
Grafit	2'76

Silici	1'27
Manganès	0'69
Sofre	0'12
Fòsfor	0'63

Els resultats obtinguts són els de la Taula II.

TAULA II

BARRETES	S 22	S 21	S 20
Contingut de níquel %	0	0.65	0.87
Resistència màxima a la flexió Kg.	1.105	968	1.076
Fleixa m/m	8.1	7.1	7.6
Coefficients de ruptura Kg./mmq	45.5	40.5	44.4
Resistència a la tracció en Kg./mmq	19.1	17.6	19.4
Dureza Brinell; Secció 1''	190	196	203
» » 1/2''	205	205	202
» » 3/4''	227	223	228
» » 1''	240	243	245

L'examen microscòpic de les mostres revelà una gran quantitat de grafit. La foneria matriu era principalment perlítica, però no s'observà, en aquest cas, que s'afinés la perlita.

De les xifres indicades es desprèn que el níquel en el cas d'aquesta fosa ha influït poc en les seves propietats, si no és l'eliminació de la lleugera tendència a blanquejar en seccions molt primes. És probable que la forta dosi de carboni total d'aquest ferro-colat, hagi influït en les propietats mecàniques atenuant els beneficiosos efectes de l'addició de l'al·ligació de níquel.

S'han fet també addicions de níquel a un ferro-colat igual al que s'empra en la fabricació de cilindres de maquinària pesada. La seva composició era:

Carboni total	3'40
Carboni combinat	0'80
Grafit	2'60
Silici	1'56
Manganès	0'49
Sofre	0'099
Fòsfor	0'74

S'afegí níquel per tal d'obtenir les composicions de la Taula III, que detalla, també, els resultats de l'assaig.

L'examen microscòpic ensenya que amb la primera addició de níquel el grafit es féu més groller i que amb successives addicions s'afinà novament.

TAULA III

	M. 0	M. 1	M. 2	M. 3
Contingut en níquel %	0	0.5	1.13	2.08
Resistència màxima a la flexió en Kg.	1.126	1.152	1.072	1.058
Fletxa mm	6.5	7.1	6	6.1
Coefficient de ruptura Kg. /mmq	46.2	48.9	44.1	43.4
Resistència a la tracció. Kg. mmq	24.3	23.5	22.6	21.4
Duresa Brinell: Secció 1 "	217		228	221
» » » 1/2 "	228		228	228
» » » 1/4 "	235		241	255
» » » 1/8 "	269		269	262
Duresa al taladre	108		137	109

Totes les mostres presentaren un fons perlític amb fòsfor uniformement repartit. La influència de petites addicions de níquel és, com en el cas anterior, indefinida. En general, hi ha tendència a una petita disminució de la resistència mecànica, mentre que la duresa augmenta lleugerament.

D'aquests assaigs deriva la conseqüència que el níquel té beneficiosa influència sobre les barreges corrents de foneria, en les quals redueix o elimina tota tendència a endurir-se per refredament; s'obté, així mateix, una duresa més homogènia en les peces de secció variable. En canvi, no s'ha notat una clara influència sobre l'estructura del grafit, encara que, en general, un u o dos per cent de níquel torna la perlita més fina.

ASSAIGS SOBRE FONERIES AL GRESOL

S'ha vist que el níquel obra, essencialment, com agent que afavoreix la formació del grafit en la foneria i, per tant, és lògic deduir que per obtenir les millors propietats en addicionar níquel, cal reduir la proporció de silici, per tal de compensar l'esmentada influència. En aquest sentit, s'investigà l'acció del níquel sobre foneries poc silicioses.

Els assaigs en gran escala, sobre foses de cubilot, foren precedits d'altres efectuats sobre foses en gresol, en un forn escalfat amb oli, per tal de poder fixar les composicions de metall convenientes per a ulteriors investigacions.

En un assaig preliminar, es fongueren petites peces de metall de la composició assenyalada per la Taula IV.

TAULA IV

	X 1	X 2
Carboni total	3.178	3.120
Carboni combinat	2.50	1.144
Grafit	0.678	1.976
Silici	0.905	1.026
Manganès	0.49	0.49
Sofre	0.068	0.062
Fosfor	0.27	0.255
Niquel	Nul	2.055

Les barreges es calcularen per donar

Carboni total	3.31
Silici	1.22

Hom pogué observar que les minves del carboni i del silici foren iguals a les trobades en les esmentades foses fetes en el forn d'oli.

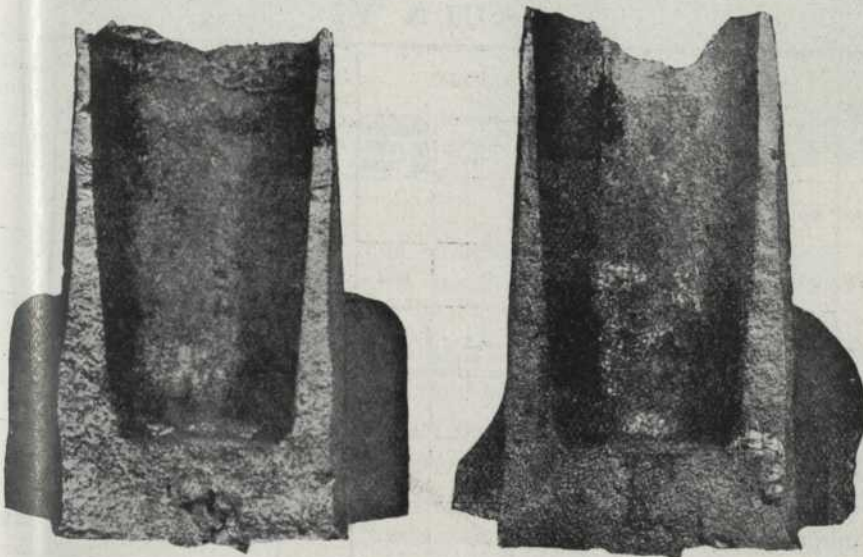


Fig. 1

Fig. 2

Les provetes fetes amb el ferro-colat de base, pobre en silici, presentaven fractures blanques. La figura 1 mostra la fractura d'una peça en forma de barrilet obert per una base i amb un gruix de paret creixent; la

fig 2 mostra la fractura corresponent al ferro-colat alligat X2. Es veu que l'addició de níquel ha donat una fractura gris, fina i compacta, que presenta solament 15 mm de blanquejament en el costat prim de la paret del barrilet.

S'efectuaren, després, tres noves experiències amb diferents barreges de ferro-colat amb addicions de níquel de 1 i 2 per cent. Els anàlisis dels materials que serviren de base són els que s'indiquen en la Taula V; la Taula VI detalla les característiques mecàniques.

TAULA V

	A 3	A 4	A 5
Carboni total	3.25	3.	3.10
Silici	1.05	0.90	1.30
Manganès	0.42	0.41	0.56
Sofre	0.07	0.07	0.063
Fòsfor	0.21	0.226	0.217

TAULA VI

Barreta N.º	ANALISIS			Profunditat de l'enduriment	FLEXIÓ			Tracció resistència Kg. mmq	DURESA BRINELL				Xocs repetits N.º de cops
	Si	Ni	CC *		Max resistència Kg.	Fletxa mm.	Coefficient de rupt. Kg. mmq		1"	1/2"	1/4"	1/8"	
A 40	0.9	0		Tota blanca					326	375	375	430	
A 41	0.9	1.0	0.87	Molejada	1.614*	8	66.3	28.5	231	332	375	444	
A 42	0.9	1.8	0.87	25 mm.	1.458	6.8	59.9	29.5	228	248	241	402	1143
A 30	1.04	0		50 mm.					217	228	248	402	
A 31	1.05	1.07	0.80	25 mm.	1.437	7.7	59.1	26.8	217	231	248	302	1609
A 32	1.10	2.03	0.73	15 mm.	1.411	7.2	58.1	26.7	231	238	235	255	2290
A 50	1.3	0		32 mm					217	223	241	400	
A 51	1.31	1.03	0.71	16 mm.	1.334	8.1	54.7	24.7	226	226	228	302	1316
A 52	1.36	1.93	0.70	12 mm.	1.5378	7.7	56.5	27.2	227	238	235	262	1219

* Carboni combinat en les barretes de 1 1/2 polzades de diàmetre.

Per a usos generals, presenten, en conjunt, millors propietats les del grup *A* 3, puix si bé les resistències mecàniques són més baixes que les del grup *A* 4 tenen, no obstant, aptituds més acceptables per al treball i s'endureixen amb més regularitat en refredar-se.

En aquestes mostres, el níquel sembla que no influeix marcadament en l'estructura del grafit. La poca quantitat de silici és eficaç per produir, ini-

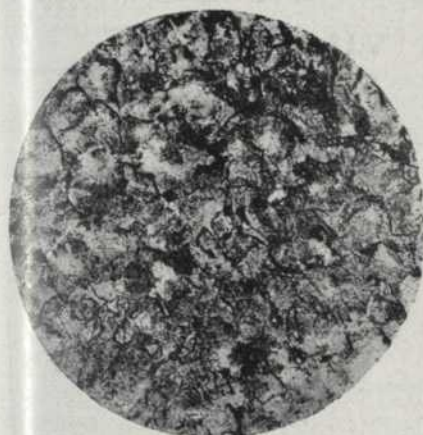


Fig. 3



Fig. 4

cialment, un grafit fi i sembla que les addicions de níquel obren d'una anàloga manera. Amb ferro-colats de níquel poc siliciós, resulten estructures molt compactes.

Un exemple típic d'elles ens el dona la fig. 4, que reproduïx una microfotografia de la mostra *A* 41 amb 1 per cent de níquel, ($\text{Si}=0.9$). L'estructura general d'aquesta mostra es veu en la figura 3.

Una afinació anàloga de l'estructura general es nota en la sèrie 3 (Silici 1.1 per cent), en la qual s'observa l'absència de vastos nuclis de perlita; contenen, probablement, un excés de carbur per les altes dosis de níquel.

ASSAIGS EN EL CUBILOT

Els assaigs en el cubilot descrits, mostraren que la composició aproximada més convenient de la fonèria per a posteriors treballs experimentals, és la següent:

Carboni total	3.2 %
Silici	1.2 %
Manganès	0.6 %
Fòsfor	0.2 %
Níquel	1 0 2 %

D'ací que en les següents etapes de la investigació hom tractà d'obtenir metalls d'aquesta composició, per tal d'ajustar-se més a les exigències de la pràctica industrial corrent.

TAULA VII

	BARRETES D'ASSAIG	
	B 11	B 12
Carboni total	3.38	3.43
Carboni combinat	0.90	1.01
Grafit	2.48	2.42
Silici	1.29	1.35
Manganès	0.65	0.72
Sofre	0.096	0.097
Fòsfor	0.116	0.110
Níquel	0.93	1.84

Els materials de composició segons la Taula VII, sotmesos a les proves de duresa i de refredament, han donat els resultats de la Taula VIII.

TAULA VIII

	B 10	B 11	B 12
Profunditat de blanquejament mm.	50	10	5
Resistència màxima a la flexió kg.		14.11	14.22
Fletxa mm.		8.6	8.8
Coefficient de ruptura kg. mmq		55.5	58.8
Resistència màxima a la tracció			
Barretes de 1,2" diàmetre		26.5	26
» 0,75 »		30.9	32.7
Xocs repetits: cops			
Duresa Brinell: sec. 1"	228	212	225
» 1/2"	250	228	241
» 1/4"	364	242	251
» 1/8"	340	251	256

L'examen d'aquests resultats mostra que la foneria és de molt bona qualitat. S'observa una altra vegada que el níquel redueix l'enduriment en refredar.

Amb aquest metall, que conté 1 i 2 per cent de níquel, s'han fos alguns blocs de cilindres amb refrigeració per aire i altres blocs petits amb refrigeració per aigua que, després, es trencaren per a llur examen. Les parets d'aquests cilindres presentaren sempre una fractura fina i compacta, i llur examen microscòpic revelà un repartiment uniforme del grafit en lamine-tes mitjanament fines. En tots els casos, el ferro-colat era perlític de fina estructura laminar.

En conjunt, els cilindres fosos asenyalaren una lleugera tendència en els angles a una duresa no convenient, la qual cosa aconsellà per a ulteriors treballs, partir d'una foneria de base amb una proporció de silici quelecom major.

ALTRES ASSAIGS EN EL CUBILOT

El resultat de les proves efectuades amb el cubilot d'assaig fou tant satisfactori, tenint en compte les restriccions que imposava l'ús d'un forn tan petit, que es projectaren noves experiències, emprant un cubilot corrent, adaptant-se, així, a les condicions de la pràctica industrial ordinària.

Els assaigs són, encara, incomplets; però hom pot avançar la conclusió que és convenient treballar amb 1.5 per cent de silici en presència de 1 per cent de níquel.

CONCLUSIÓ

S'ha vist en aquesta memòria que els experiments fets per l'autor afegint níquel a ferro-colats anglesos, han donat resultats anàlegs als obtinguts pels investigadors d'altres països, i que sota condicions determinades, es poden assolir propietats excepcionals i, indubtablement, bones, amb l'ús del níquel com element d'alligació. Està, no obstant, clarament demostrat que per obtenir amb l'ús del níquel els efectes més beneficiosos, cal emprar, com a base de l'alligació, foneries de composició inspeccionada. El contingut de carboni cal que sigui normal i el de silici rebaixat, per tal de compensar l'acció del níquel afegit, favorable a la formació de grafit.

Donat un ferro-colat base de composició convenient, s'ha demostrat que la alligació de níquel:

Primer: Redueix la tendència als efectes d'enduriment pel refredament, i millora, sobretot, la facilitat del seu treball mecànic.

Segon: Millora la resistència mecànica sense perjudicar l'elasticitat, tal com han evidenciat les valors de les fletxes obtingudes en els assaigs de flexió, degut, en part, al gra fi d'aquests ferro-colats.

Tercer: Augmenta la duresa de les grans seccions, acompanyat d'un lleuger augment en la duresa al taladrat.

Quart: Millora la resistència als xocs repetits.

Quint: Dóna una perlita fina que millorarà, probablement, la resistència al desgast.

També es dedueix que encara que el níquel no millora d'una manera apreciable els ferro-colats de composició inadequada, tampoc no produeix cap efecte perjudicial, de manera que no és d'esperar cap pertorbació per la introducció de níquel en les barreges ordinàries, deguda a l'ús accidental de desferra d'acer al níquel.

ESTUDIS MICROSCOPICS SOBRE LA INFLUENCIA DEL FOSFOR EN L'ESTRUCTURA DE LA FONERIA RECUITA

per l'Eng. R. BAZANT

QUAN la foneria gris és exposada a escalfaments i refredaments repetits, o bé quan es manté durant un temps considerable a temperatures elevades, les seves qualitats, estructura, dimensions i pes, experimenten determinades modificacions. Les dimensions, el mateix que el pes, augmenten de manera notable; a l'ensem, la seva estructura inicial esdevé preponderantment heterogènia i les seves qualitats mecàniques disminueixen de tal manera que el material esdevé completament inadequat per al servei. Aquesta qualitat desfavorable és de gran importància en aquells casos en què el ferro colat es troba exposat a l'acció de temperatures elevades, com per exemple, en les estufes, en les màquines tèrmiques, o durant els incendis.

CHARPY i GRELOT, atribuiren aquest fenomen especialment a la descomposició de la cementita o carbur de ferro, segons l'equació: $Fe_3C = 3Fe + C$. Posteriorment, OUTERBRIDGE efectuà les primeres mesures relatives a aquest fenomen. Aquest autor havia observat que després d'un període definit, l'augment de volum prenia una valor límit, i deduí que l'aug-

ment no es produeix si l'acció de recuit no ve acompanyada d'un refredament.

Més recentment, diversos investigadors s'han preocupat de la influència de les diverses impureses, per tal de determinar les causes de l'augment de volum.

CARPENTER i RUGELL ¹ assenyalaren com a elements favorables a l'augment de volum el silici i el grafit i remarcaren que els gasos ocluits no exerceixen cap influència en el fenomen.

CARPENTER ², per la seva banda, arribà a les conclusions següents:

- a) El Fòsfor fa l'augment de volum més lent i més regular.
- b) El Sofre manca, probablement de tota influència.
- c) El Manganès disminueix el creixement i obra de manera oposada al Silici, element que en la solució sòlida Fe-Si és el primer agent de l'augment de volum.
- d) El grafit és indispensable per a la producció del fenomen i obra de manera indirecta.
- e) El Carboni combinat té, solament, una influència secundària.

En aquest nou treball CARPENTER admet que els gasos ocluits manifesten així mateix llur influència, encara que limitada als ferro-colats de gra compacte.

HURST ³, per tal d'explicar l'augment de volum establí una teoria, segons la qual l'agent principal de la modificació d'estructura són les forces que es desenrotllen entre les diverses capes, durant una diferència de temperatura determinada.

Molts d'altres autors, entre els quals són d'esmentar ANDREW i HEYMAN ⁴, PEARSON ⁵, BENEDIKS i LOFGUIST ⁶, s'han ocupat de l'estudi de l'augment de volum; però de llurs treballs no és possible derivar-ne una explicació completa del fenomen.

L'autor s'ha ocupat de la qüestió ben detingudament; les seves opinions es basen en els nombrosos experiments i mesuracions efectuades en el "Institut per a l'Examen i Assaig de Materials de Foneria" de l'Escola Politècnica Tcheca de Brno ("Vyzkumny a zkusebni ústav pro slevárenstvi na České vysoké škole technické y Brne) dirigida pel professor Dr. MONT. FR PISEK.

L'estudi microscòpic objecte d'aquesta conferència forma part d'un treball més extens efectuat sota la direcció del Dr. PISEK, per tal de contri-

¹ *Journal of The Iron and Steel Institute*, 1909-11.

² *Journal of The Iron and Steel Institute*, 1911.

³ *The Foundry Trade Journal*, 1925.

⁴ *Journal of The Iron and Steel Institute*, 1924.

⁵ *Carnegie Scholarship Memoirs*, 1926.

⁶ *Journal of The Iron and Steel Institute*, 1927.

buir a l'estudi de la qüestió relativa a la influència del fòsfor en l'augment de volum o creixement de la foneria gris.

S'efectuaren la sèrie d'assaigs següents:

1. Assaigs de recuit en atmosfera fortament oxidant.
2. Assaigs microscòpics.
3. Assaigs dilatòmètrics realitzats amb l'auxili del dilatòmetre registrador diferencial de CHEVENARD.

Les notes següents es refereixen, solament, als assaigs microscòpics.

Les mesuracions efectuades han posat de manifest que a base d'una oxidació intensa, un major contingut de fòsfor redueix l'augment de volum de la foneria gris. Cal, ara, determinar de quina forma el fòsfor impedeix l'augment de volum.

En efectuar aquests assaigs ens servirem de dues menes de ferro-colat, de composició química aproximadament igual, i amb distinta dosificació de Fòsfor.

	% = C	Grafit	Si	Mn	P	S
Foneria I	3.6	2.6	2.2	0.65	0.4	0.03
Foneria II	3.67	2.7	2.2	0.60	1.4	0.03

Amb aquests dos materials s'emmotllaren provetes de 20 mil·límetres de diàmetre que foren tornejades fins a reduir-les a 15 mil·límetres de diàmetre i recuïtes lentament en un forn elèctric, de mufla, fins a la temperatura de 900° en la qual es mantingueren durant 3 hores, després de les quals es deixaren refredar gradualment dins del forn. En conjunt, s'efectuaren 21 recuits. Després de cada un es tallà un tros de les provetes suficientment gran per poder preparar una mostra destinada a l'examen microscòpic.

MOSTRA I

L'estructura de colada (vegi's fig. 5) mostra l'aspecte normal de la foneria gris amb poca quantitat de fòsfor.

L'estructura és formada de grafit, perlita i steadita; no existeix ferrita lliure ni cementita. La perlita és molt fina, de manera que no és possible distinguir francament la constitució laminar. Durant el primer recuit, com resultat de l'exposició constant a alta temperatura i del lent refredament en el forn, el carbur que forma part de la perlita es descomposa donant ferrita i grafit. Després del primer recuit, aquesta descomposició pot qualificar-se de completa. Solament en l'aspecte macroscòpic (fig. 1) hom pot veure en el caire de la proveta, una ratlla de perlita, com una línia estreta i fosca. PEARSON ha explicat aquest fenomen, per l'oxidació del Silici.

L'examen macroscòpic (fig. 2) de la mateixa proveta, després del tercer recuit, mostra una extensió considerable de la perlita, mentre que després del quart recuit (fig. 3) la perlita ha penetrat ja fins el centre. A l'ensens, pot observar-se, també, que la seva vora exterior es trasllada progressivament vers el centre, el que, evidentment, és degut a què, en aquest

Fig. 1

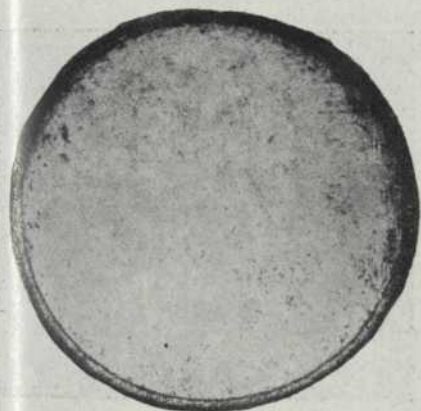


Fig. 2

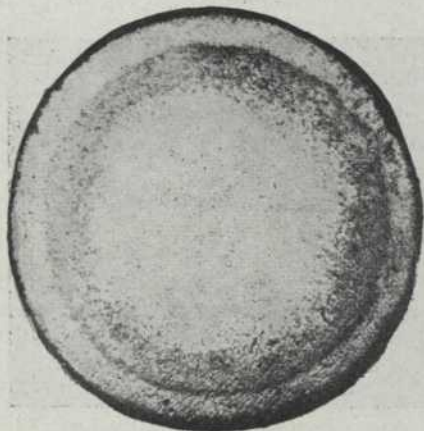


Fig. 3

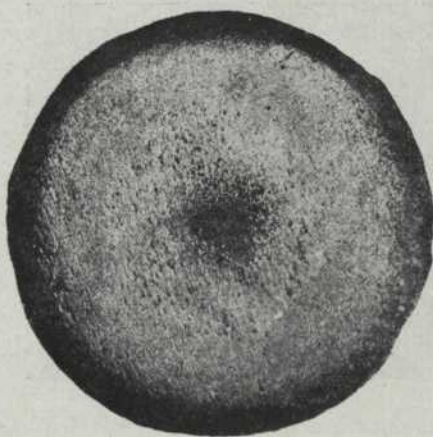


Fig. 4

punt, en el qual el Silici pot considerar-se com totalment oxidat, la perlita es descomposa molt lentament. L'examen, igualment macroscòpic, de la zona de la vora, mostra l'augment considerable de les partícules de grafit arrodonides.

Després del recuit vuitè, la perlita forma ja una superfície circular el diàmetre de la qual disminueix d'una manera continua i successiva. Per la

regularitat de la seva forma, pot deduir-se la uniformitat de l'avançament del procés.

Les darreres traces de perlita desapareixen després del recuit onzè. La figura 4 mostra l'aspecte del ferro-colat després d'aquest recuit.

En el centre subsisteix la resta d'un illot perlític, al voltant del qual

Fig. 5



Fig. 6

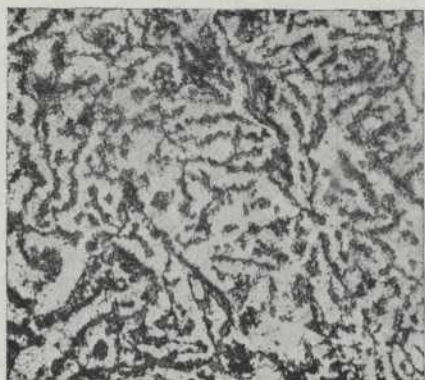
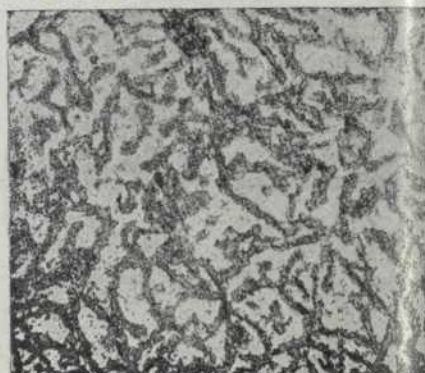


Fig. 7

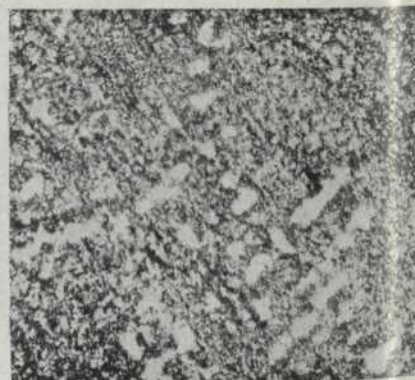


Fig. 8

s'observa una zona concèntrica en què el grafit ha augmentat considerablement, mentre que l'ample zona de la vora és molt més homogènia; el grafit, probablement, es troba ja lluny i les cavitats que ha deixat lliures són ara ocupades per òxids. La variació de l'estructura de la perifèria fins al centre, pot observar-se en les figures 6, 7 i 8, preses després del desè recuit. La vora representada en la fig. 6 es compon de ferrita, en la qual els òxids han penetrat de manera considerable, mentre que el grafit, pro-

bablement oxidat per complet, ha deixat cavitats que formen una compacta xarxa d'òxids. La unió recíproca d'aquestes cavitats engrandides que deixa el grafit, constitueix una via lliure per on poden penetrar els gasos oxidants. En la zona que precedeix, aproximadament fins a la meitat del diàmetre de la proveta (fig. 7) s'observen partícules arrodonides, molt engrandides, de grafit encara sense cremar; les làmines de grafit es troben voltades d'òxids en estat de formació, que penetren a llur interior, de manera que les vores de les partícules grafitiques no són tan llises com les cavitats deixades pel grafit en l'estructura precedent. El centre perlític, clarament visible en la figura 8, ha experimentat ja una penetració considerable de camps de ferrita, el que mostra la tendència a formar una estructura dentrífica, característica, segons HURST ⁷, de la foneria recuita amb poca quantitat de fòsfor dissolt. És versemblant que aquesta ferrita contingui fòsfor en dissolució ja que els illots de steadita, independents, no són absolutament visibles. Després de l'onzè recuit, la perlita desapareix del tot i l'acció va progressant fins que el material adquireix, per complet, una estructura com la que mostra la figura 6.

MOSTRA II

L'estructura d'aquesta mostra es compon de perlita, grafit i steadita, dels quals elements metal·logràfics existeix una quantitat considerable, com a resultat de l'elevada dosificació del fòsfor.

El fòsfor contingut en el ferro fa menys precària l'estabilitat del sistema ferro-carbur. Aquesta circumstància té, segurament, gran influència en el procés de descomposició i en l'oxidació d'aquest ferro. Després del primer recuit, la perlita no ha desaparegut per complet com en el cas precedent; sobre tota la secció es troben residus de perlita.

Per poder observar les modificacions que durant el recuit es produeixen en la steadita i a causa, també, de què no es trobaven indicis de steadita en la regió en què la perlita estava ja descomposada, s'assajaren un nombre considerable de reactius d'atac. Els millors resultats obtinguts en aquest sentit foren assolits en l'atac per mitjà d'una solució de clorur cúpric acidulada amb àcid clorhídric i després d'un atac previ amb una solució alcohòlica d'àcid pícric pur. El reactiu d'atac presentava la composició següent:

Alcohol de 96°	100 cc
Aigua	10 cc
Cl ₂ Cu	1 gr
Àcid clorhídric	1 cc

⁷ *Journal of The Iron and Steel Institute*, 1927. I.

El poliment i atac, efectuats després del recuit quinze (figura 9), mostren un nucli perlític, al voltant del qual es troba una capa de ferrita blanca, no atacada pel reactiu i una capa de vores intensament tenyides, amb coloració que va del vermell-marró al morat. Com veurem més endavant, aquesta capa blanca és, probablement, rica en fòsfor i poc oxidada.

Seguint el curs de les modificacions d'estructura, veiem que després del recuit desè l'aspecte del grafit en la perifèrie, difereix considerablement del que es trobà en la figura 6, corresponent a la mostra I, després del mateix nombre de tractaments. Això demostraria que aquest ferro-colat està en condicions de resistir una oxidació molt superior, i és probable que aquesta cir-



Fig. 9

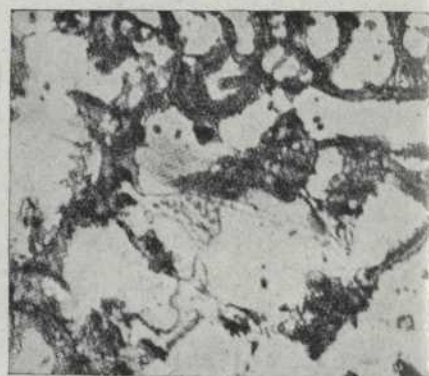


Fig. 10

cumstància sigui deguda a la influència del fòsfor. Tant aviat com desapareix el carboni combinat, el fòsfor pot dissoldre's en la ferrita i, a l'ensens, el carboni contingut en aquesta es separa en forma de grafit. Aquesta descomposició de la steadita és visible en la fotografia de la figura 10, obtinguda de la vora de la proveta després del sisè recuit. S'observa que la steadita es troba immediatament juxtaposada a les làmines de grafit, que la seva descomposició ha produït o, almenys agrandit. La steadita que subsisteix no ha tingut temps per descomposar-se.

En el centre de la mateixa mostra polida, l'estructura és perlítica; les partícules de grafit s'han agrandit considerablement a causa de la descomposició de la perlita. Les de steadita es troben en quantitat considerable formant, encara, grans illots d'estructura celular.

Durant l'atac pel clorur cúpric, queda, també, al voltant de la perlita, com en el cas de la fig. 9, una capa blanca sense colorir. De manera anàloga, s'observen en la perifèrie cadenes d'illots blancs no alterats pel reactiu d'atac.

Amb augments microscòpics bastants grans, després del recuit dotzè, s'observa que en aquesta capa blanca els cristalls de ferrita són molt petits i que presenten una forma més aviat celular que polièdrica, la qual recorda intensament, pel seu aspecte, la forma de la steadita. Probablement es tracta de ferrita molt rica en fòsfor. També, en aquest cas, s'observa perfectament que algunes parts d'aquest camp ferrític són perfectament atacades pel reactiu, mentre que aquests petits cristalls i els que els volten no ho han estat. És, doncs, evident que els cristalls rics en fòsfor tenen una gran resistència a l'oxidació.

Les microfotografies mostren, doncs, que la influència del fòsfor en l'estructura del ferro-colat es manifesta com segueix:

1.—Els cristalls de ferro mixtos, rics en fòsfor, s'oxiden difícilment, el que té per resultat un augment de volum més lent.

2.—Aquests cristalls mixtos, rics en fòsfor mostren, durant el curs del procés, una capa contínua que envolta la part interna del material i dificulta la penetració dels gasos a l'interior.

3.—La steadita, en descomposar-se, diposita el grafit separat en les clevelles produïdes en la matèria, determinant, per tant, un creixement lent.

4.—Durant la descomposició, la steadita envolta els cristalls de ferrita, protegint-los contra l'acció del gas oxidant.

Tots els resultats d'aquests estudis microscòpics han estat confirmats pels assaigs de recuit i per les mesures dilatomètriques esmentades anteriorment i efectuades al mateix temps que els primers.