

CONGRES INTERNACIONAL DE LA FONERIA *

BARCELONA, ABRIL DE 1928

LA INSPECCIÓ DE LA FABRICACIÓ EN LA FONERIA

per Albert PORTEVIN

I.—CONSIDERACIONS GENERALS

Una de les manifestacions més clares i més útils de la influència de l'esperit científic, o senzillament, de l'esperit de mètode, en la foneria, recolza en la introducció i en el desenrotllament dels procediments d'inspecció i assaig; no solament els que regulen la definició i qualitats del producte fabricat, sinó, també, els que estudien totes les variables que intervenen en la fabricació per tal que els productes finals satisfacin la inspecció o comprovació de sortida, si no en la seva totalitat, almenys en proporció suficient perquè l'explotació resulti remuneradora.

La inspecció de la fabricació pròpiament dita constitueix, per tant, un engranatge indispensable, una condició necessària perquè una fabricació industrial sigui digna de tal nom. La seva existència implica el coneixement de les variables que intervenen en les diverses operacions i en l'apreciació, si bé el mesurament no és factible, de totes elles, d'una manera tan segura, ràpida i econòmica com sigui possible.

Això requereix la introducció en el taller de mètodes d'inspecció que intervinguin en totes les fases del procés industrial, amb l'objecte de què cap operació pugui ésser confiada a l'atzar.

Els procediments d'inspecció i assaig cal que siguin adequats per qualificar la propietat o el caràcter que es tracta de fer ressortir, o, almenys, per mesurar una magnitud que sigui, directament i exclusivament, funció de l'esmentada propietat.

Així, per exemple, si es vol apreciar l'aptitud d'un material a ésser treballat, haurà d'efectuar-se un assaig de fabricació; si es vol conèixer la resistència d'un metall a la corrosió, caldrà estudiar l'acció del reactiu en les condicions d'ús; si es vol determinar una temperatura, serà necessari emprar termòmetres o piròmetres; si es desitja conèixer la quantitat

* Vegi's CIENCIA, vol. III, núm. 24, pág. 255 i núm. 25, pág. 314.

de silici d'un ferro colat, s'haurà de procedir a una dosificació analítica.

En realitat, aquesta forma d'apreciació directa és excepcional; el més freqüent és haver de recórrer a assaigs indirectes o de substitució, que qualifiquin una magnitud o un caràcter que sigui funció del que es tracta de conèixer. Però, procedint d'aquesta manera, s'introdueix la influència de variables suplementàries, les quals cal mantenir constants per tal que siguin comparables els resultats dels assaigs.

És en aquest domini on les nocions i l'educació científica haurien d'omplir el rol més important. Cal, en efecte, conèixer totes les variables del problema i llur influència relativa, si es vol evitar la deducció de conclusions errònies i sense valor, com ocorre sovint; i, per a això, cal estar al corrent de les lleis que regeixen el problema plantejat i dels experiments i estudis fets sobre aquest particular.

En la inspecció de les operacions es recorrerà als procediments d'assaig directes i qualitatius, sempre que ho imposin les altres condicions enunciades, en especial, la rapidesa i senzillesa. Per exemple, en el procediment Martin bàsic, la proporció de carboni del bany d'acer varia tan massa depressa que no permet recórrer a l'anàlisi químic; en aquest cas cal apreciar el grau de carboni per l'examen de la fractura i de l'angle de flexió de les provetes forjades i trempades. En aquests procediments qualitatius ràpids, la pràctica i l'educació de la vista tenen un rol importantíssim. És així que en el procediment Thomas, per exemple, es dedueix la proporció de fòsfor després del refinament, per l'examen del tamany del gra de la fractura. Assolida la pràctica, s'arriba fins a apreciar la proporció de coure de les tornejadures de llautó per l'examen de llur color.

Contràriament, sempre que sigui possible, caldrà recórrer a la qualificació més apropiada. Així, per a les peces de ferro-colat que, en servei, hagin de trobar-se sotmeses a esforços de compressió i de flexió, no és lògic definir les propietats mecàniques per l'assaig de tracció, tant més quan els assaigs de compressió i flexió són més senzills, més precisos, més ràpids i més econòmics.

L'assaig ha de comportar, també, una mesuració, el resultat de la qual, obtingut en condicions ben determinades, pugui expressar-se numèricament, tant per fer possible l'establiment de comparacions i classificacions segons els resultats, com per deixar de banda la influència de les apreciacions personals de l'operador i evitar les discussions.

Estem, encara, lluny de què això sigui possible en tots els casos. Existeixen propietats el mesurament de les quals numèricament és impossible o bé molt difícil: són, per exemple, el color, la conductibilitat tèrmica, la sonoritat, el gra d'una fractura, l'aspecte microgràfic. En tals casos, es pot, correntment, procedir per comparació amb una escala o gama de

tipus agrupats per ordre creixent d'intensitat del caràcter que es tracta d'apreciar.

És indispensable, i mai s'insistirà massa sobre aquest punt, eliminar, o almenys, reduir a un mínim, la influència o coeficient personal de l'operador en l'apreciació del resultat: no és una opinió allò que es cerca, sinó una evaluació, i aquesta condició és indispensable en la inspecció de sortida o de recepció, en la qual s'oposen interessos i mentalitats diferents.

Caldrà, també, adoptar com a mitjà d'inspecció, procediments que donin resultats numèrics, amb preferència registrables independentment de l'operador o que deixin una prova de llur pas material; per exemple, els aparells per a assaigs mecànics han de donar un diagrama i per a l'assaig de la duresa s'ha de preferir el mètode de BRINELL, que deixa un senyal comprovable, al mètode de rebot, el resultat del qual ha d'agafar-se al vol.

Existeix, no obstant, una categoria d'importància capital en la tècnica de la foneria que surt d'aquestes regles. Tal és el cas dels defectes físics: cavitats, bufats, esclotxes, etc., tant més quan llur gravetat depèn de la importància que presentin, de llur posició en la peça, de llurs freqüència i densitat. En aquest sentit, la "Nota sobre els defectes de foneria en els projectils de ferro-colat acerat", establerta en febrer de 1916 per la "Inspecció d'Estudis i Experiències Tècniques de l'Artilleria", de França, constitueix un exemple digne d'imitació.

L'assaig ha d'ésser tan precís com sigui possible. Aquesta condició implica el coneixement de les causes d'error, de llur importància relativa sobre el resultat i de la sensibilitat de l'assaig.

Un assaig determinat, convenient per a una categoria de materials, serà totalment inacceptable per a una altra. Si l'apreciació microgràfica del contingut de carboni pot ésser utilitzable d'acord amb determinades condicions, per als acers ordinaris amb menys de 0'90 per cent de C, en canvi és inaplicable als acers especials i hipereutectoides. L'assaig de tracció, convenient per als acers i els ferro-colats malleables, resulta completament inadequat per als materials amb dèbil allargament de ruptura, tals com els ferro-colats emmotllats, els acers durs trempats, els vidres, etc.

Les causes d'error i la multiplicitat de variables que influeixen sobre els resultats d'un assaig impedeixen, freqüentment, les comparacions. D'aquí dimanen les divergents opinions anunciades en diferents llocs, l'origen de les quals resideix en conclusions deduïdes precipitadament d'experiments isolats, en lloc d'emprendre l'estudi del conjunt del fenomen. El capítol d'investigacions no figura en els pressupostos, en els quals hauria de tenir un lloc assenyalat, tan necessari com el de la publicitat comercial.

Com ja hem exposat més amunt, l'interès que existeix a recórrer a pro-

cediments d'inspecció senzills, econòmics i ràpids, es contraposa als caràcters que acabem d'examinar. Així mateix, en la inspecció de fabricació es recorrerà als procediments de classificació ràpida per comparació, amb preferència als mètodes massa complicats o excessivament costosos. L'examen microgràfic i el de les fractures estan ací en llur lloc; l'examen de les arenes per decantació, l'apreciació de les temperatures dels metalls fosos mitjançant el grau de colabilitat i, per els forns de recuit, per les piràmides de SEGER, podran utilitzar-se amb avantatge. L'estima de la malleabilitat per doblegament a torsió serà preferida al mesurament de l'allargament de ruptura; i l'assaig de la duresa pel mètode de BRINELL servirà per fer-se càrrec de la resistència, encara que no sigui possible establir una relació constant entre aquestes magnituds. Igualment, en certs casos particulars, es podrà recórrer a la sonoritat, a l'aspecte de les espurnes que es produeixen amb el treball a la mola, etc.

En resum, per a la inspecció de sortida definida pels plecs de condicions, convindran, abans que res, assaigs adequats i eficaços, definits i precisos, que deixin el menor marge possible a la discussió, mentre que en la inspecció de fabricació, amb el fi d'assolir la rapidesa, la simplicitat i la precisió desitjables, s'utilitzaran en major escala els assaigs indirectes i qualitius, establint termes de comparació o referències esglaonades i operant en condicions definides que haurien de mantenir-se constants.

II.—APLICACIÓ AL CAS DE LA FABRICACIÓ DE FERRO-COLAT MALLEABLE

En la fabricació del ferro-colat malleable, tal com el seu nom indica, s'ha d'obtenir un producte que posseeixi condicions de malleabilitat i presenti, per tant, un remarcable allargament de ruptura. L'assaig eficaç o adequat per qualificar el producte final, és l'assaig de tracció, que donarà una expressió numèrica de l'esmentat allargament.

La inspecció de sortida s'efectuarà, doncs, mitjançant un assaig de tracció i definint minuciosament les condicions de preparació de les provetes, llurs dimensions, la velocitat de l'assaig i els resultats que s'hagin d'obtenir.

Com que la deformació abans de la ruptura és força notable, no serà necessari recórrer als procediments que amplifiquen les dites deformacions, com són la flexió a la torsió; la flexió particularment, es transforma en doblegament o en enrotllament. Aquestes formes d'assaigs, al contrari, poden utilitzar-se amb profit per a la inspecció ràpida dels productes fabricats, car la grollera apreciació qualitativa de la deformació que s'obté és suficient a causa de llur amplitud.

La malleabilitat assoleix la valor màxima quan el producte està constituït únicament per la ferrita i el grafit de recuit, en nòduls; disminueix amb la presència de perlita, i la cementita o el grafit de solidificació la fan insignificant. En aquest cas, l'examen microgràfic serà excellent per descobrir les causes dels fracassos i convindrà assegurar-se de l'abundància de grafit de solidificació, després de la colada de les peces, la qual cosa s'apreciarà per la seva fractura. Com a conseqüència de tot el que ha estat dit, caldrà procedir: *a)* a la inspecció, després de la colada, de l'absència de grafit de solidificació, valent-se de l'examen de la fractura i, *b)* a la inspecció final, mitjançant l'examen microgràfic, solament en cas de resultats defectuosos.

Segons això, la fabricació pot resumir-se, esquemàticament, de la següent manera:

Obtenir peces de ferro-colat blanc, emmotllades en arena verda, lliures de defectes, i fer desaparèixer de seguida el carboni combinat, adés transformant-lo en grafit de recuit, adés eliminant-lo per oxidació. Cal conèixer i inspeccionar els factors que permeten satisfer aquesta triple condició.

1) *Obtenció de peces sanes:*

Això depèn:

a) De la forma de concebre i executar els motllos. Per a això, cal l'ús d'arena adequada, amb una compressió apropiada.

b) Per la velocitat d'alimentació del motllo que ve donada per la secció de l'orifici d'alimentació i per l'altura de sobreeximent.

Una vegada determinats experimentalment aquests factors per a cada tipus de motllo, és possible, segons ha indicat M. REMY, mantenir llur constància utilitzant mascles calibrats que fixin l'orifici d'alimentació, i aconseguir això n'hi ha prou a mantenir l'abeurador constantment ple durant la càrrega del motllo.

c) De la colabilitat, que ve qualificada, directament, per la proveta de colabilitat en espiral que intervé com a procediment d'inspecció de colada. Aquesta colabilitat depèn dels següents factors elementals: Composició química del ferro-colat (en particular, proporcions de C, Si, S, P) i temperatura de colada.

2) *Obtenció d'un ferro-colat blanc:*

Els principals factors que obren en la formació del grafit de solidificació són:

a) La temperatura de colada, inspeccionada ja en la forma que s'acaba d'indicar;

b) La velocitat o llei de refredament, que ve caracteritzada per l'espessor de la peça, tenint en compte que el poder refrigerant del motllo es manté sensiblement constant, segons s'ha dit més endavant, i

c) La composició química (particularment les proporcions de carboni i de silici). És necessari, per tant, acomodar la composició química a l'espessor mitjà de les peces. Dita composició química depèn de la composició del llit de fusió i de la marxa del cubilot. Amb l'objecte de reduir el nombre de variables, es procurarà mantenir constants tots els elements, exceptuant el silici, que variarà amb l'espessor de les peces.

Serà convenient comprovar, de tant en tant, l'absència de grafit de solidificació i constatar, així, les conclusions deduïdes de les provetes trempades.

3) Formació de grafit per recuit:

La formació de grafit per recuit en un ferro-colat blanc, és funció de l'estat inicial (composició química ja investigada) i de la finor de l'estructura, que depèn de l'espessor de les peces i de la corba de recuit, que dóna les variacions de la temperatura T en funció del temps.

Implica, especialment, un període de permanència mínima a la temperatura màxima de recuit T_m i una velocitat màxima de refredament en l'interval T_m-700° , i a proximitat de 700° .

Les condicions de recuit vénen definides amb relació a l'aptitud del ferro-colat per formar grafit de recuit, la qual aptitud depèn de la seva composició química.

L'esmentada tendència a la formació de grafit pot qualificar-se directament per anàlisi dilatomètric, tota vegada que la formació de grafit es posa clarament en evidència per l'expansió que l'acompanya.

En tots els casos, després del recuit es procedirà a la inspecció ràpida de l'operació, per ruptura de provetes, o de peces recuïtes, per assaig de doblegament o per assaig amb la bola Brinell.

3 b) Descarburació per oxidació:

a) De la corba $T = f(t)$ i de la composició química, inspeccionada com s'ha dit anteriorment.

b) De l'espessor de les peces.

c) Del poder descarburant de la barreja mineral, que depèn de la seva composició química i granulomètrica i de la seva textura.

És poc coneguda la relació que existeix entre aquests dos últims factors i el poder descarburant; el seu coneixement donaria una inspecció indirecta sense cap eficàcia.

Per la nostra banda hem proposat una inspecció directa i eficaç de la descarburació, collocant dins de les caixes de recuit peces-testimoni, de diàmetre conegut i de composició química constant. Com que és gairebé impossible assolir aquesta última condició amb els ferro-colats, personalment hem utilitzat testimonis d'acer pur amb una proporció de carboni pròxima a 0,90 per cent.

En aquestes condicions, l'aspecte microgràfic correspon a la perlita pura i la intensitat de la descarburació es distingeix netament sobre una mostra polimentada i atacada; això permet apreciar la descarburació per comparació amb una escala de mostres-tipus.

Igualment que abans, es pot, després del recuit, efectuar una inspecció directa de la malleabilitat, ja sigui sobre les peces, ja sobre les provetes. Com que el resultat depèn de l'espessor de les peces, l'ús de provetes de secció variable ve indicat en forma de falca aguda, de manera que una sola mostra presenta la gama d'espessors de les peces fabricades. El doblegament progressiu i fins i tot l'enrotllament, es determinen a cops de martell i la ruptura s'efectua segons una secció relacionada amb l'espessor límit de la capa feta malleable.

III.—INSPECCIÓ DELS DEFECTES FÍSICS DE LES PECES DE FONERIA

Es presenten dos problemes:

- 1) Trobar en un lot de peces fabricades les que presenten defectes físics, i
- 2) Investigar els defectes existents en una peça donada.

El primer d'aquests casos pot, solament, tenir una solució parcial; és a dir, poden retirar-se peces defectuoses; però sense cap certesa d'eliminar totes les que ho siguin.

Els efectes exteriors són posats en evidència netejant les peces amb el raspall de pues metàl·liques, amb el doll d'arena, o atacant-les pels àcids.

La visibilitat de les esclatxes fines és intensificada fent precedir l'acció del doll d'arena per la immersió en bany de petroli.

Els defectes interiors, quan són d'alguna importància, poden ésser evidenciats per qualsevol dels següents procediments:

Determinació de la densitat aparent

Mètode magnètic.—Imantar grollerament les peces i observar els espectres magnètics obtinguts en submergir-les seguidament en bany de petroli que tingui en suspensió polvors finíssims de ferro-colat.

Assaig de sonoritat.—Quan es tenen una sèrie de peces de forma idèntica, poden adquirir-se indicis de llurs deficiències per la qualitat del so

que emeten en ésser colpejades amb un martell en idèntiques condicions. L'observació de la *duració del so* permet assenyalar les peces que presenten esclatxes molt fines,

L'observació del to del so produït proporciona, en el cas del ferro-colat, un índex sobre la resistència del metall, independentment dels defectes físics, per la raó que el mòdul d'elasticitat varia amb la resistència, cosa que no ocorre amb els acers, el mòdul dels quals és sensiblement constant.

Assaig de porositat a l'aigua o a l'aire, sota pressió, per a les peces buides.

L'ús dels raigs X resulta complicat i requereix una instal·lació costosa.

Investigació dels defectes d'una peça determinada:

En primer lloc pot recórrer's als procediments que acaben d'indicar-se, exceptuant l'assaig de sonoritat, per requerir termes de comparació, així com la densitat aparent, que s'ha d'interpretar en relació a la d'una peça sana.

Quan no es vulgui sacrificar les peces, per ésser massa costoses (arbres de turbines) es pot recórrer a l'examen pels raigs X.

Quan es tracta d'una peça que constitueix l'assaig d'una modificació de les condicions de fabricació o és una mostra retirada d'una sèrie de peces idènticament fabricades, la qual es vol examinar des del punt de vista dels defectes sistemàtics, es sacrifica procedint a talls o fractures efectuats de manera molt curosa, i recurrent, en cas necessari, als procediments macrogràfics.

JUDICI CRÍTIC DELS MÈTODES D'ANÀLISI DEL CARBONI TOTAL EN ELS PRODUCTES FERRIS

per Ernest LLAMAS DEL TORO

DIVERSES MENES DE CARBONI EN ELS PRODUCTES SIDERÚRGICS

En els productes siderúrgics el carboni pot existir a l'estat lliure o formant combinacions químiques (carburs).

En el carboni a l'estat lliure es distingeixen dues formes: el grafit pròpiament dit i el designat amb el nom de carboni grafitic, de recuit.

Referent al carboni combinat es consideren, també, dues formes: el carboni de carbur (Fe_3C , cementita) i el designat amb el nom de carboni de tremp o carboni d'enduriment.