

Influenza dell'atmosfera del forno sulla sinterizzazione di componenti in acciaio

M. R. Pinasco, E. Stagno, M. G. Ienco

La ricerca si è occupata delle possibili interazioni fra le atmosfere gassose dei forni industriali di sinterizzazione e il materiale soprattutto in relazione al tenore di C nel pezzo finito. Scopo del lavoro è verificare la trasferibilità, su scala industriale, dei dati ottenuti con esperienze di laboratorio circa il comportamento di alcune atmosfere controllate nei confronti del contenuto in carbonio durante la sinterizzazione di acciai. Le atmosfere prese in considerazione sono gli ENDOGAS e NH_3 dissociata perché maggiormente utilizzate dai sinterizzatori. L'atmosfera NH_3 dissociata/ CH_4/N_2 è da considerarsi un endogas di sintesi.

I materiali studiati sono rappresentativi delle leghe di base usate nella sinterizzazione di componenti in acciai al carbonio e precisamente: leghe Fe/Cu/C ottenute per miscela meccanica di polveri degli elementi puri e leghe Fe/Cu/Ni/Mo/C di tipo diffusion-bonded.

Per rendere comparabili i dati ottenuti e focalizzare l'attenzione sull'effetto esercitato dall'atmosfera si sono scelti pezzi processati in forni continui a nastro di tipo Cramer caratterizzati da profili termici simili con temperatura della zona calda di 1120° C e tempo di permanenza in tale zona variabile da 25 a 30 min.

Le atmosfere di sinterizzazione di tipo endogas sono molto diffuse a causa del basso costo e della facilità di produzione, purificazione ed essiccamento.

Data la complessità composizionale (CO , CO_2 , H_2 , H_2O , N_2) all'interno del forno si realizzano numerosi equilibri, noti dalla termodinamica, che possono essere facilmente alterati da minime variazioni delle condizioni operative interne ed esterne al forno con conseguente difficile controllo del potenziale di carbonio. Da ciò derivano, spesso, sensibili variazioni composizionali del tenore di carbonio nell'acciaio sia nel senso di un arricchimento sia di un pericoloso depauperamento. Ciò è stato verificato nel corso del nostro studio in cui, solo in pochi casi, si è verificata l'inerzia dell'atmosfera. Relativamente all'atmosfera di ammoniaca dissociata, la semplicità della composizione, difficilmente modificabile alle temperature di esercizio dei forni, la rende semplice da gestire e quindi affidabile soprattutto per le applicazioni nelle quali è necessario uno stretto controllo del tenore di carbonio nella lega.

Si è verificato che l'ammoniaca dissociata generalmente non modifica i rapporti composizionali tranne in qualche caso accidentale di scorretto controllo del tasso di umidità nell'atmosfera.

La ricerca, svolta utilizzando tutte le metodologie atte alla caratterizzazione fisico-strutturale, ha avuto nell'analisi microstrutturale un sensibile mezzo di controllo del comportamento delle atmosfere nei confronti del potenziale di Carbonio. Infatti, da un attento esame del rapporto delle fasi presenti e/o della loro distribuzione è stato possibile valutare decarburazioni anche di pochi mm non rilevabili con altre tecniche.

INTRODUZIONE

La metallurgia delle polveri si sta sempre più imponendo come tecnica industriale per la produzione di componenti meccanici di alta precisione.

Tale tecnologia permette, infatti, di ottenere pezzi in serie di forme complesse ad un costo relativamente ridotto e con ottime tolleranze dimensionali e sempre più elevate caratteristiche meccaniche atte a soddisfare le esigenze dei più svariati campi di applicazione.

Sotto lo stimolo delle esigenze industriali per la realizzazione di prodotti sempre migliori e sempre più rispondenti alle specifiche di mercato, negli ultimi trenta-quaranta anni sono stati numerosi i lavori di ricerca, svolti su campioni di laboratorio, al fine di studiare gli equilibri intercorrenti tra i vari componenti delle atmosfere di processo ed il carbonio disciolto in lega. (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7)

Dato però l'elevato numero di parametri che caratterizzano il processo industriale, necessariamente ridotti e/o semplificati per la conduzione di esperimenti di laboratorio, nessun lavoro di ricerca descrive con completezza quanto accade nella pratica industriale.

Scopo del lavoro è quello di verificare la trasferibilità, su scala industriale, dei dati ottenuti con esperienze di laboratorio circa il comportamento di alcune atmosfere controllate nei confronti del contenuto in carbonio durante la sinterizzazione di acciai.

Poiché i vari aspetti del processo produttivo e degli equilibri chimico fisici che si stabiliscono tra carbonio e gas costituenti le varie atmosfere di sinterizzazione sono dagli autori stati ampiamente trattati in articoli precedenti (8), in questa sede sono discusse le caratteristiche fisico-strutturali in funzione delle atmosfere di sinterizzazione.

MATERIALI E METODI

I campioni utilizzati per la nostra ricerca sono stati scelti tra pezzi rappresentativi della produzione corrente di componenti meccanici sinterizzati.

La figura 1 mostra la tipologia dei componenti esaminati: bielle e boccole di piccole dimensioni, ingranaggi, pistoni. I materiali studiati sono rappresentativi delle leghe di base usate nella sinterizzazione di componenti in acciai al carbonio:

- Leghe Fe/Cu/C ottenute per miscela meccanica di polveri degli elementi puri

M. R. Pinasco, E. Stagno, M. G. Ienco,
Dipartimento di Chimica e Chimica Industriale,
Sezione di Chimica Inorganica e Metallurgia, Università di Genova

Memoria pervenuta il 18 luglio 2000

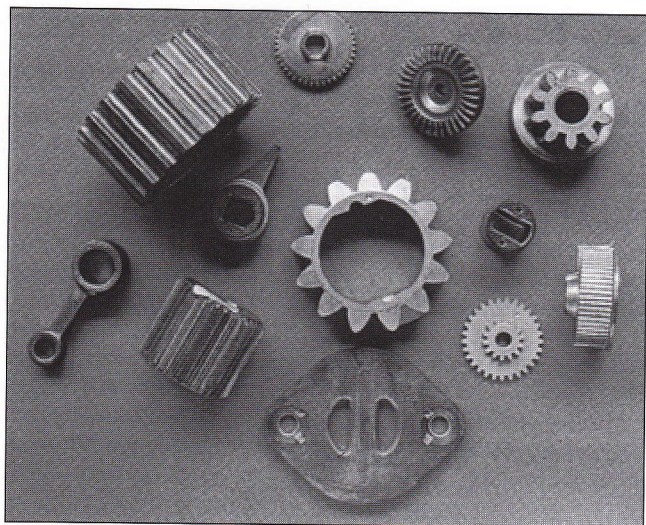


Fig. 1 - Alcuni dei componenti oggetto della ricerca.

Fig. 1 - Some of the examined components.

• Leghe Fe/Cu/Ni/Mo/ C di tipo diffusion-bonded. Relativamente alle atmosfere controllate, sono state prese in considerazione: ENDOGAS e NH₃ dissociata perchè maggiormente utilizzate dai sinterizzatori. L'atmosfera NH₃ dissociata/CH₄/N₂ è da considerarsi un endogas di sintesi. Per rendere comparabili i dati ottenuti e focalizzare l'attenzione sull'effetto esercitato dall'atmosfera si sono scelti pezzi processati in forni continui a nastro di tipo Cramer caratterizzati da profili termici simili con T della zona calda di 1120° C e tempo di permanenza in tale zona variabile da 25 a 30 min.

Tra i campioni esaminati, in tabella 1 sono riportati i più rappresentativi delle diverse interazioni.

I pezzi sono stati sezionati in modo da ottenere una serie di provini opportuni per le diverse determinazioni sperimentali:

- Massa volumica con metodo standardizzato (9,10)
- Analisi porosimetrica quantitativa con le seguenti tecniche:
 - metallografia quantitativa (analisi d'immagine)
 - porosimetro a Hg
 - calcolo teorico da dati di massa volumica
- Misure di durezza HV5
- Analisi elementare EDS
- Esame del C medio con tecnica LECO
- Analisi metallografica ottica ed elettronica.

RISULTATI E DISCUSSIONE

I dati ottenuti relativi alla massa volumica, porosità aperta e media, carbonio medio, durezza sono riportati in funzione delle differenti atmosfere nelle tabelle 2 e 3.

I dati di porosità media ottenuti mediante analisi di immagine sono confrontabili con quelli ottenuti dalla formula:

$$\epsilon = 1 - d/D$$

ϵ = porosità media

d = massa volumica del sinterizzato misurata

D = massa volumica del corrispondente materiale allo stato massivo.

Numero campione	C medio	Massa volumica	Porosità Aperta*	Porosità media**	HV5
1	0.37	6.52	11.7	16.9	95
2	0.27	6.54	16.7	16.9	81
3	0.55	6.36	8.1	19.2	107
4	0.73	6.48	13.6	17.3	99
5	0.17	6.97	14.3		127
6	0.37	6.69	14.3	14.8	149
7	0.58	6.76	9.9	13.1	207
8	0.43	6.94	12.8	11.6	202

Tab. 2 - Risultati analisi su pezzi processati in ENDOGAS.

*valutata col porosimetro a mercurio.

**misurata mediante analisi di immagine.

Table 2 - Analysis results on ENDOGAS processed pieces.

*evaluated by Hg porosimeter.

**evaluated by image analysis.

Numero campione	C medio	Massa volumica	Porosità Aperta	Porosità media	HV5
9	0.45	6.37	17.6	18.5	50-100*
10	0.92	6.10	21.4	22.0	59
11	0.65	6.51	17.1	17.8	164

Tab. 3 - Risultati di analisi su pezzi processati in NH₃ diss.

* I valori sono valori medi relativi alle due parti i del pezzo che a causa della sua geometria presentano un diverso grado di porosità.

Table 3 - Analysis results on cracked NH₃ processed pieces.

* The two values are related to different parts of component which have different porosity because of the piece geometry.

Camp.	C	Cu	Ni	Mo	MnS	Atmosfera	Tipo di polvere
1	0.5	2			0.5	endogas	MIX
2	0.4	0.7			0.5	endogas	MIX
3	0.5	2.0				endogas	MIX
4	0.7				0.5	endogas	MIX
5	0.2	1.5	4.0	0.5		endogas	DB
6	0.5	1.5+0.3	1.75	0.5		endogas	DB
7	0.6	1.5	4	0.5		endogas	DB
8	0.5	1.5	4.0	0.5		NH ₃ diss/CH ₄ /N ₂ *	DB
9	0.6	1.5				NH ₃ dissociata	MIX
10	1.0	1.0				NH ₃ dissociata	MIX
11	0.7	1.5	1.75	0.5		NH ₃ dissociata	DB

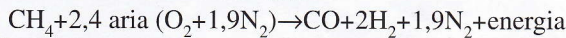
Tabella 1 - Composizione nominale in peso % (Ferro resto) dei pezzi forniti dalle aziende produttrici Atmosfera di processo e natura delle polveri di base
* L'atmosfera NH₃diss./CH₄/N₂ è da considerarsi un endogas di sintesi.

Tabella 1 - Nominal composition (Weight %)(Fe balance) of the components furnished from the manufacturing industries. Process atmosphere and base powder nature.
*The atmosphere cracked NH₃/CH₄/N₂ is considered a synthetic endogas.

Influenza dell'atmosfera Endogas sulla composizione del materiale

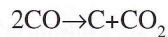
Le atmosfere di sinterizzazione di tipo endogas sono molto diffuse a causa del basso costo e della facilità di produzione, purificazione ed essiccamento.

Generalmente sono prodotte per combustione parziale di idrocarburi secondo la reazione:



Affinché la reazione generi solamente sostanze riducenti si opera in difetto di aria rispetto alla quantità stechiometricamente richiesta per la combustione completa. Il rapporto aria metano è solitamente tra 2,5 e 3, la temperatura di circa 1060-1100°C. (11)

All'uscita del reattore si abbassa la temperatura del forno fino a circa 400°C, facendo passare l'atmosfera in un refrigerante con camicia ad acqua allo scopo di inibire l'instaurarsi ed il decorrere della reazione:



Il gas, libero da polveri di carbonio, può essere ulteriormente raffreddato.

È molto importante il controllo della temperatura di reazione per evitare combustioni parziali che porterebbero a deposizione di carbonio sul catalizzatore (solitamente basi porose permeate di ossido di nichel) riducendone l'attività con conseguente produzione di miscele con potenziale di carbonio non definito.

L'atmosfera endogas è versatile ed operando sul punto di rugiada si possono ottenere miscele in equilibrio con acciai a diverso tenore di carbonio.

Data però la complessità composizionale (CO, CO₂, H₂, H₂O, N₂) all'interno del forno si realizzano numerosi equilibri, ben noti dalla termodinamica, che possono essere facilmente alterati da minime variazioni delle condizioni operative interne ed esterne al forno. Conseguenza di ciò è un difficile controllo del potenziale di carbonio causa, a sua volta, di sensibile variazioni composizionali del tenore di carbonio nell'acciaio sia nel senso di un arricchimento sia di un pericoloso depauperamento.

Nella maggior parte dei campioni esaminati gli esami strutturali ed analitici eseguiti hanno messo in evidenza una decarburazione talvolta estesa a tutto il pezzo (esempio 1, 2, 6), talvolta limitata alla superficie (esempio 8)

Nel caso di alcuni campioni (esempio 3, 7) è stato esercitato un ottimo controllo dell'atmosfera del forno che è risultata inerte nei confronti del tenore di carbonio.

Nei campioni nei quali si è osservato un effetto carburante (esempio 4 e 5), tale effetto è risultato limitato all'estremo bordo.

I campioni 1 e 2 ottenuti da miscele meccaniche di polveri (MIX) hanno una struttura costituita da ferrite poligonale, perlite e carburi nastriformi con distribuzione omogenea dal bordo al centro del componente. Si osserva una notevole eterogeneità della soluzione solida dovuta alla presenza del rame più evidente al bordo in accordo con la maggior porosità della zona.

Il campione 6, ottenuto da polveri diffusion bonded con aggiunta di grafite (DB) ha una struttura costituita da ferrite poligonale, perlite fine, bainite, tracce di austenite residua in via di trasformazione e carburi nastriformi.

Nei tre casi descritti il rapporto tra le fasi non risulta compatibile col tenore nominale dato dal sinterizzatore (tabella 1), ma con un valore inferiore pari a circa 0,3 corrispondentemente ad una avvenuta decarburazione. Il dato analitico (tabella 2) è risultato in perfetto accordo con le osservazioni metallografiche. Figure 2,3,4,5.

La distribuzione omogenea delle fasi porta a concludere che la decarburazione, facilitata dalla elevata porosità del materiale, si estende a tutto il pezzo.

Il campione 8 (DB) ha una struttura costituita da perlite fi-

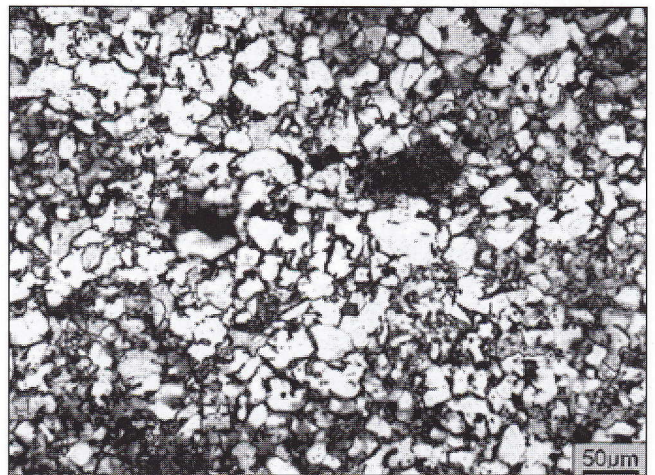


Fig. 2 - Campione 1 al centro: ferrite e perlite.

Fig. 2 - Sample 1 interior: ferrite and perlite.

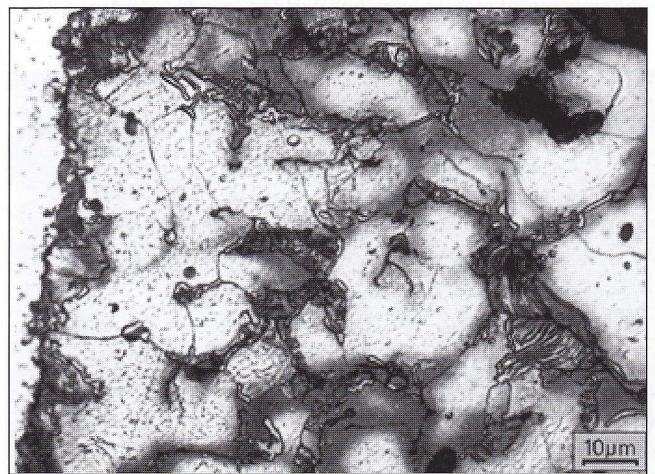


Fig. 3 - Campione 1 al bordo: segregazione del rame messa in evidenza dalla maggior velocità di attacco. Visibili carburi nastriformi.

Fig. 3 - Exterior zone of sample 1. Copper segregation evidenced by higher etching rate. As ribbon carbide are visible.

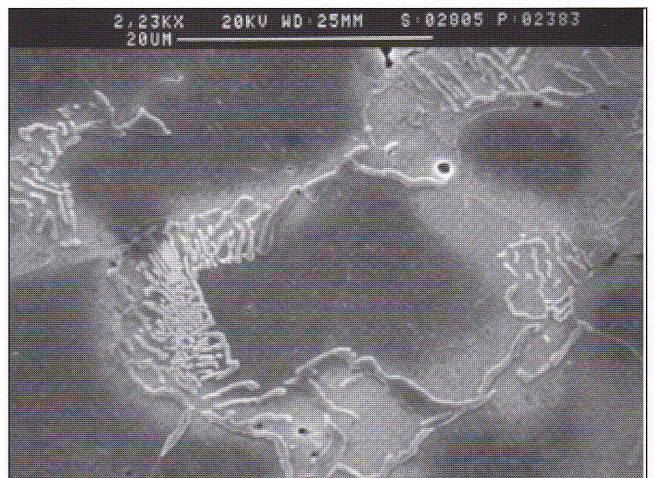


Fig. 4 - Campione 1: grani in cui è particolarmente evidente la segregazione del rame.

Fig. 4 - Sample 1: in the grains the copper segregation is well evident.



Fig. 5 - Campione 6 al centro: austenite in via di trasformazione, bainite con varie morfologie, perlite finissima

Fig. 5 - Sample 1 interior: transforming austenite, bainite with different morphologies, very fine perlite.



Fig. 8 - Campione 4 al bordo: evidente nella zona più esterna presenza di martensite

Fig. 8 - Exterior zone of sample 4: martensite is present in the extreme edge.

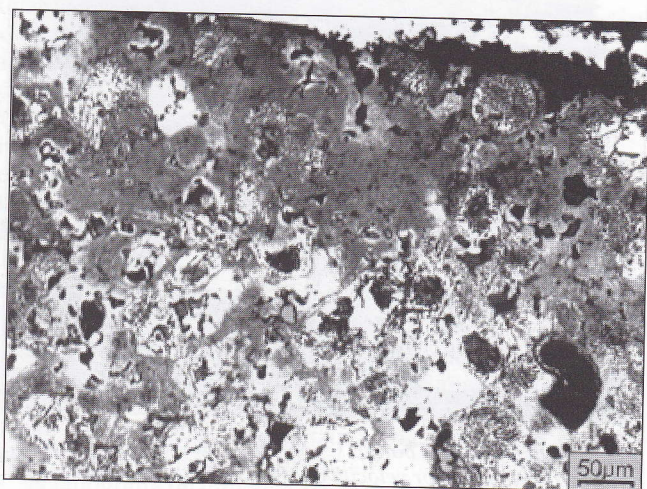


Fig. 6 - Bordo campione 8: evidente, nella zona più esterna, una matrice completamente trasformata priva di austenite residua.

Fig. 6 - Exterior zone of sample 8: A completely transformed matrix is evident in the extreme edge. Residual austenite is absent.

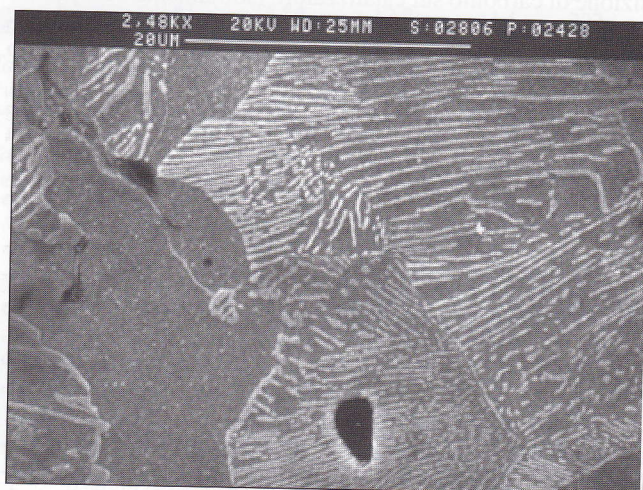


Fig. 9 - Campione 4 al centro: ferrite e perlite.

Fig. 9 - Sample 4 interior: ferrite and perlite.

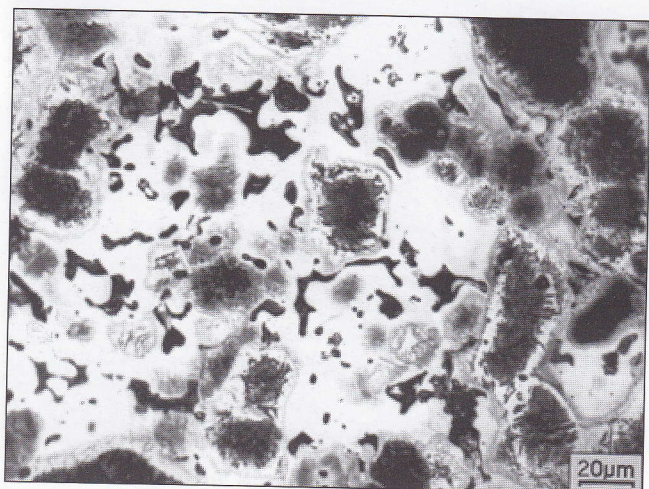


Fig. 7 - Campione 7: perlite finissima, austenite in via di trasformazione, austenite residua.

Fig. 7 - Sample 7: very fine perlite, transforming austenite, residual austenite.

nissima, bainite, austenite in via di trasformazione, austenite residua.

Nonostante i valori del carbonio nominale e di quello misurato siano in buon accordo l'esame metallografico ha permesso di evidenziare, nella zona di bordo, per uno spessore variabile ma sempre limitato (max. 120-150µm), una matrice completamente trasformata con assenza di austenite residua, presente invece nelle zone più interne. La completa trasformazione dell'austenite testimonia una decarburazione. Figura 6

Consideriamo i campioni 3 (Mix) e 7 (DB). Il campione 3 ha una struttura analoga a quella descritta per i campioni 1 e 2. La struttura del campione 7 è costituita da perlite finissima, austenite in via di trasformazione, austenite residua. Per il campione 3 il rapporto tra le fasi⁽¹⁾ e per il campione 7 la natura delle fasi è in pieno accordo col valore nominale del carbonio che risulta identico al valore misurato. Da ciò si deduce che il controllo dell'atmosfera del forno è stato ottimale e non si è avuta alcuna alterazione del contenuto di carbonio. Figura 7

⁽¹⁾ Vedi confronto con microstruttura del campione 5 analogo per natura delle polveri e composizione tranne che per il tenore di carbonio.

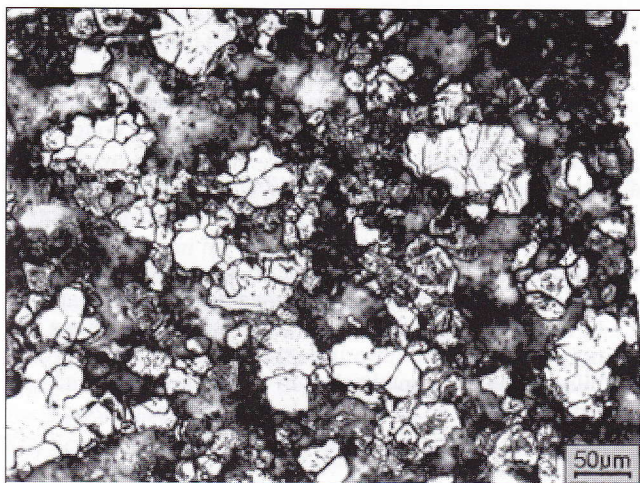


Fig. 10 - Campione 5 al centro: ferrite, bainite, austenite in via di trasformazione.

Fig. 10 - Sample 5 interior: ferrite, bainite, transforming austenite.

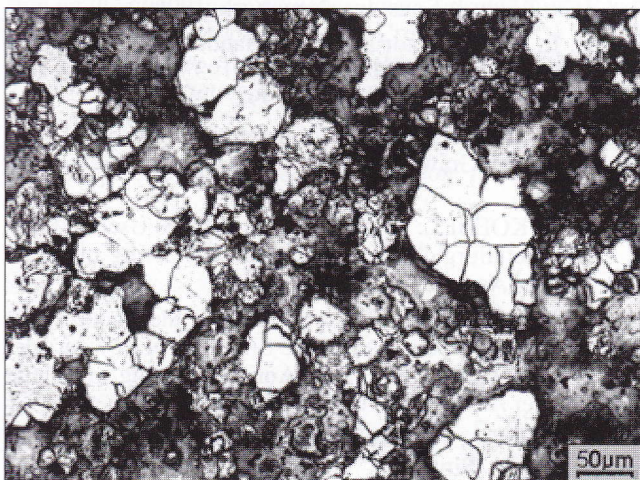


Fig. 11 - Campione 5 al bordo: le aree ferritiche sono in minor numero rispetto al centro.

Fig. 11 - Exterior zone of sample 5: the ferritic zones are not so numerous as at the core of the sample.

Nei campioni 4 (Mix) e 5 (DB) il dato analitico relativo al carbonio non è discordante dal dato nominale. L'esame metallografico, tuttavia, ha permesso di evidenziare un effetto carburante dell'atmosfera limitato però a spessori molto piccoli (max. 50-60 µm). Infatti la struttura del campione 4 risulta costituita da perlite e ferrite tranne che all'estremo bordo in cui si osserva presenza di martensite a testimonianza di un arricchimento in carbonio dell'austenite alla temperatura di sinterizzazione. Figure 8, 9.

Nel campione 5 si osserva una struttura costituita da ferrite, bainite, perlite finissima, austenite in via di trasformazione con presenza di eterogeneità legata alla segregazione del rame; all'estremo bordo però la ferrite è in quantità decisamente inferiore rispetto al centro in conseguenza di un arricchimento in carbonio alla superficie del campione. Figure 10,11.

Influenza dell'atmosfera NH₃ dissociata sulla composizione del materiale

Questa atmosfera, grazie alla composizione ricca di gas ad elevata capacità termica, permette velocità di raffreddamento maggiori e quindi conduce alla realizzazione di strutture



Fig. 12 - Campione 10: bainite, austenite in via di trasformazione, austenite residua, tracce di perlite finissima.

Fig. 12 - Sample 10: bainite, transforming austenite, residual austenite, traces of very fine perlite.

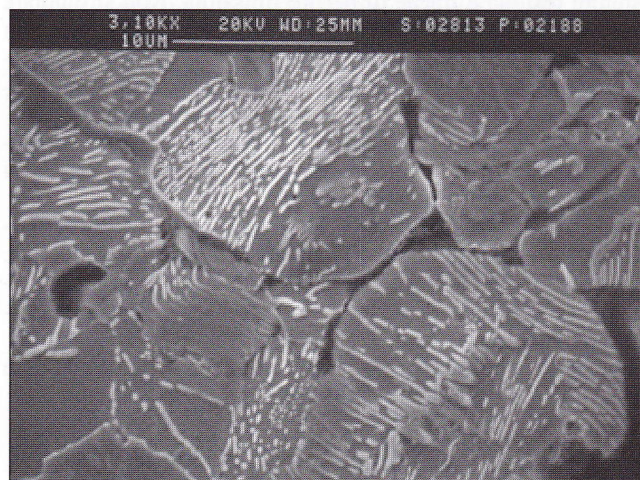


Fig. 13 - Campione 10: bainite con varie morfologie.

Fig. 13 - Sample 10: bainite with different morphologies.

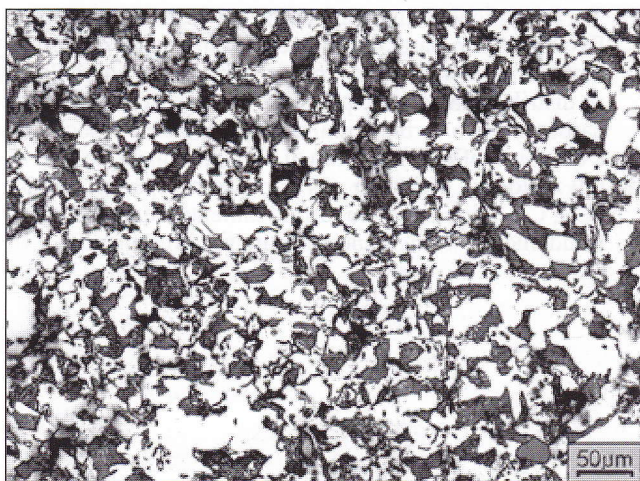


Fig. 14 - Campione 9: Ferrite poligonale, perlite fine e bainite.

Fig. 14 - Sample 9: polygonal ferrite, fine perlite and bainite.

fini, dure e di maggior pregio per applicazioni meccaniche dove sia richiesta una elevata resistenza del materiale.

La semplicità della composizione, difficilmente modificabile alle temperature di esercizio dei forni, rende questo tipo di atmosfera semplice da gestire e quindi affidabile soprattutto per le applicazioni nelle quali è necessario uno stretto controllo del tenore di carbonio nella lega.

L'atmosfera non apporta mai nitrurazioni e nei confronti del carbonio è solitamente inerte a meno, in pochi casi, di un leggero effetto decarburante.

Tale effetto è da attribuirsi ad un controllo non ottimale del tenore di umidità all'interno dell'atmosfera. Infatti solo in questo caso l'atmosfera può risultare ossidante e quindi decarburante.

L'entità della decarburazione può risultare importante se ad un elevato, accidentale tasso di umidità si unisce una elevata porosità del pezzo.

Nella maggior parte dei campioni esaminati si è osservato un effetto neutro dell'atmosfera. (Esempio 10, 11) In un campione, al contrario, si è osservata una notevole decarburazione estesa a tutto il pezzo. (esempio 9)

Le microstrutture dei campioni 10 (MIX) e 11 (DB) sono costituite da bainite, austenite in via di trasformazione, austenite residua e tracce di perlite finissima. Non si è notata nessuna variazione, passando dal centro alla periferia, sia nella natura delle fasi sia nella loro distribuzione. I dati relativi al carbonio nominale ed a quello misurato sono praticamente uguali. Figure 12, 13

Nel campione 9 (MIX) la microstruttura è costituita in prevalenza da ferrite poligonale e perlite fine con presenza di bainite a differenti morfologie.

Il rapporto fra le fasi pare indicare un tenore di carbonio inferiore a quello nominale. Il dato analitico conforta l'ipotesi. La distribuzione omogenea delle fasi in tutto il campione indica che la decarburazione si è estesa a tutto il pezzo facilitata da una alta porosità.

Tale evidente effetto decarburante è legato ad un accidentale scorretto controllo della umidità nell'atmosfera. Figura 14

CONCLUSIONI

- 1) I dati raccolti e le osservazioni fatte portano a concludere che i risultati ottenuti da esperimenti di laboratorio, e riportati in numerosa letteratura sull'argomento, sono in linea generale, descrittivi di quanto realmente si manifesta a livello industriale.
- 2) Tra le tecniche di indagine utilizzate l'esame metallografico è risultato particolarmente utile in quanto dall'osservazione della natura e dei rapporti fra le fasi e/o della loro distribuzione è stato possibile mettere in evidenza decarburazioni o carburazioni anche se limitate a pochi μm e quindi ininfluenti sul dato di carbonio misurato
- 3) Gli endogas, ricchi in gas con bassa capacità termica (CO , CO_2) impartiscono raffreddamenti più lenti e al raffreddamento si originano strutture più grossolane.

Inoltre a causa della loro difficile gestibilità raramente si sono dimostrati inerti nei confronti del tenore di carbonio desiderato nella lega. Accanto a casi in cui si è riscontrata una ben accetta carburazione superficiale sono stati osservati fenomeni di decarburazione a volte estesi a tutto il pezzo.

- 4) In ammoniaca dissociata data l'elevata percentuale di H_2 si realizzano velocità di raffreddamento maggiori e quindi strutture a grano fine.

L'atmosfera si è dimostrata inerte nei confronti del tenore di carbonio nella lega nella maggior dei casi esaminati; in un solo caso si è osservata una decarburazione importante, estesa a tutto il pezzo, legata con ogni probabilità ad un accidentale elevato contenuto di umidità nell'atmosfera ed ad una notevole porosità del pezzo.

BIBLIOGRAFIA

- 1 - P. BEISS: "Thermodynamic of Protective Atmosphere Control", PM2 TEC' 96 World Congress, Washington, June, 1996
- 2 - R. M. GERMAN: "Sintering Theory and Practice", John Wiley & Sons, Inc. New York, 1996
- 3 - D. R. LIDE (Editor-in-chief) "Handbook of Chemistry and Physics", 73rd Edition, 1992-1993 CRC Press, Inc, Boca Raton (Florida), USA, 1992
- 4 - J. H. PERRY (Editor) - "Chemical Engineers' Handbook", McGraw-Hill Book Company, Inc., New York, 1950
- 5 - N. K. KOEBEL: "Sintering Atmospheres Used in Powder Metallurgy", Proc. 4th Annual Meeting of Metal Powder Association, USA, 1948, 6
- 6 - N. K. KOEBEL: "The Application of the Endothermic Atmosphere Generator to the Sintering of Powder Metallurgy Parts", Proc. 14th Annual Meeting of Metal Powder Association, USA, 1958, 42
- 7 - E. MOSCA: "Controlled Atmospheres in Powder Metallurgy", Sintering, Theory and Practice, Intensive short course, EPMA, Torino, Italy, October, 1996 (97-125)
- 8 - G.F. Bocchini, R. Cesari M. Rosa Pinasco, E. Stagno, "Sintering of carbon steels: controlled atmospheres, equipment, practical results." Materials Science Forum Vol. 299-300 (224-248)
- 9 - ASTM Designation : B 328-73 (Reproved 1986). Current edition approved 27/12/1973, published March 1974
- 10 - MPIF Standard 42. Issued 1980, revised 1986 (Formerly included in Standards 08,13,16 and 35)
- 11 - H.S. Nayar "Production Sintering atmospheres " Metals Handbook, 9th ed., vol.7, 1984, American Soc. Metals, Metals Park, Ohio, p.340

A B S T R A C T

**THE INFLUENCE OF FURNACE ATMOSPHERE
ON THE STEEL COMPONENT SINTERING**

The research was concerning with any possible interactions between P/M materials and the gaseous atmospheres of the sintering furnaces; special attention was paid regard to the carbon content in the finished product.

This study was focused to verify the transferability, in the industrial field, of the laboratory data, concerning with the behaviour of some controlled atmospheres towards the carbon content of the sintered steel.

The selected atmospheres were Endogas and cracked NH₃ because of their large use.

The "cracked NH₃/CH₄/N₂" atmosphere is to be considered a synthetic endogas.

The P/M alloys were selected among the most representative of the base alloys used in steel sintering. The examined alloys were Fe/Cu/C alloy obtained by the mechanical mixing of pure element powders and Fe/Cu/Ni/Mo/C (diffusion bonded powders).

In order to obtain comparable data and to focus the attention on the atmosphere influence, every selected sample was processed in continuous furnaces Cramer type with similar thermal profiles; the temperature of the hot zone was 1120°C and the time of staying ranged from 25 to 30 minutes.

The sintering endogas atmospheres are very common because of their low cost, easy production, purification and

desiccation; however the complex composition (CO, CO₂, H₂, H₂O, N₂) causes, inside the furnace, numerous equilibria well known by thermodynamics.

Any very small variation of the operating conditions (inside or outside the furnace) can alter the above-mentioned equilibria with a consequent difficulty in carbon potential control. Therefore, a considerable composition variation of carbon content frequently takes place. This variation may correspond to enrichment as well as a dangerous depletion.

Our study checked that, rarely, the atmosphere was inert.

The cracked NH₃ has a simple composition not easy to modify at the furnace exercise temperature. Thank to this characteristic the cracked NH₃ is considered a simple managing, reliable atmosphere especially when a close control of carbon content in alloy needs.

The study showed that cracked NH₃ generally results inert towards the carbon content, except in the case of an accidental incorrect control of the humidity degree in the atmosphere

The research developed using all the methodologies useful for the physic-structural characterisation; but the microstructural analysis resulted the best sensitive means to control the atmosphere behaviour in relation to the carbon potential. In fact, by a careful examination of the ratio of the present phases and/or their distribution, it was possible to evaluate any variation in the

carbon content even with a sensitivity of few micrometers, not detectable by other techniques.