

Resistenza alla corrosione in ambiente di alluminio liquido di acciai per stampi di pressocolata

M. Rosso, A. Borello, G. Crivellone

Attualmente l'unica tecnologia di pressocolata industrializzata per le leghe di alluminio è quella in camera fredda e le parti stampanti sono realizzate essenzialmente con acciai tipo H11 e H13. Questi ultimi hanno il loro limite termico di utilizzo intorno ai 450°C. Al di sotto di questa temperatura, canonicamente superiore a quella di regimazione dello stampo, le caratteristiche di tenacità e durezza non decadono se non dopo migliaia di ore di esercizio. Le innovazioni in questa tecnologia riguardano l'impiego di stampi non convenzionali in cui alcune parti stampanti saranno in contatto continuo con la lega allo stato liquido cioè ad una temperatura di circa 700°C: ciò, evidentemente, comporta l'individuazione di materiali innovativi. I requisiti di questi materiali dovranno essere:

- elevata durezza a "caldo": non più a 300°C bensì a 700°C;
- elevata resistenza alla corrosione in ambiente di alluminio liquido. Il lavoro sperimentale, qui presentato, prende in esame questo secondo aspetto e si propone di fornire un'indicazione sul comportamento ed eventuale utilizzo di alcuni materiali e rivestimenti come parti di stampi ad una temperatura di 600-700°C.

Parole chiave: acciaio, corrosione, metalli fusi

INTRODUZIONE

La sempre maggiore competitività abbinata alle esigenze di risparmio energetico e di salvaguardia dell'ambiente ha generato a livello industriale una vigorosa forza spingente verso la ricerca di miglioramenti ed innovazioni a livello di tecnologia, di processi e di materiali. In particolare si assiste ad una domanda sempre maggiormente crescente di componenti "leggeri", da questo punto di vista le leghe a base di alluminio giocano oggi un ruolo di primo piano e rappresentano un settore altamente strategico. Pertanto, al fine di migliorare proprietà e prestazioni delle leghe leggere si assiste a continui interventi sulla composizione, sui trattamenti termici e su processi e tecnologie di fabbricazione [1, 2].

Tra i differenti processi di formatura ed in particolare di produzione di getti in lega leggera, la pressocolata gode di ampia diffusione, grazie alla possibilità di ottenere getti caratterizzati da forme complesse e pareti sottili. Essa è anche una tra le tecnologie in cui i materiali impiegati per la costruzione degli utensili (stampi) sono sollecitati molto severamente [3], infatti oltre agli intensi sforzi meccanici ad elevata temperatura, gli stampi devono sopportare shocks termici, fatica termica, oltre a processi di corrosione ed erosione da parte delle leghe metalliche allo stato fuso. Per tale motivo gli stampi per pressocolata sono tradizionalmente costruiti con acciai da lavorazione a caldo, in particolare gli acciai tipo AISI H11 e AISI H13 risultano essere quelli maggiormente impiegati [4].

Sono innumerevoli i parametri che influiscono sulle prestazioni degli stampi ed è necessario ottenere la migliore combinazione di proprietà che spesse volte risultano essere contrastanti. Infatti, le proprietà desiderabili in un acciaio per

stampi da pressocolata rispondono a: duttilità, tenacità, elevata resistenza e durezza a caldo, resistenza al rinvenimento, ridotta dilatazione termica, elevata conducibilità termica e resistenza chimica. Pertanto è evidente che bisogna raggiungere dei compromessi ed il primo passo è sicuramente riferibile al processo produttivo dell'acciaio il quale ne determina la purezza e la omogenea distribuzione degli elementi in lega e dei carburi [5, 6]. Inoltre, la corretta esecuzione dei trattamenti termici garantirà buone caratteristiche di tenacità, duttilità e resistenza a caldo [7], mentre l'esecuzione eventuale di trattamenti termochimici addizionali o l'applicazione di rivestimenti [8 - 12] può contribuire a ridurre i danneggiamenti superficiali, aumentando la resistenza alla fatica termica, ai fenomeni di erosione, abrasione e corrosione con conseguente prolungamento della vita degli utensili.

I fattori coinvolti nei processi di danneggiamento degli stampi per pressocolata sono quindi molteplici e sono riferibili a: errori di progetto, rinvenimento con perdita di durezza, comparsa di cricche causate da fatica termica, o da shock termici, o ancora da caratteristiche microstrutturali non idonee, fenomeni di adesione e di erosione oppure processi corrosivi dovuti al metallo fuso.

Gli aspetti precedenti, uniti alla necessità di poter impiegare stampi capaci di operare in continuo contatto con il metallo liquido e quindi ad una temperatura di circa 700 °C, hanno fornito lo spunto per l'inizio di un'attività di ricerca rivolta allo studio del comportamento di alcune leghe e di rivestimenti potenzialmente impiegabili come parti di stampi e quindi in grado di poter mantenere elevate durezze fino a 700 °C e di resistere alla corrosione da parte delle leghe fuse. Nel presente lavoro vengono presentati e discussi i primi risultati ottenuti.

PARTE SPERIMENTALE

Sono stati considerati tre materiali appartenenti a tre classi distinte di acciai (tra parentesi la simbologia di seguito adottata): il classico AISI H13 (H 13), un acciaio per valvole (APV) ed un acciaio maraging (Maraging). Ognuno è stato

M. Rosso, A. Borello

Dip. di Scienza dei Materiali e Ing. Chim. - Politecnico di Torino

G. Crivellone

Teksid SpA Innovazione Centrale

Memoria presentata al Convegno "Impianti e processi per la lavorazione a caldo delle leghe di alluminio", Torino, 8 marzo 2000, organizzato da AIM

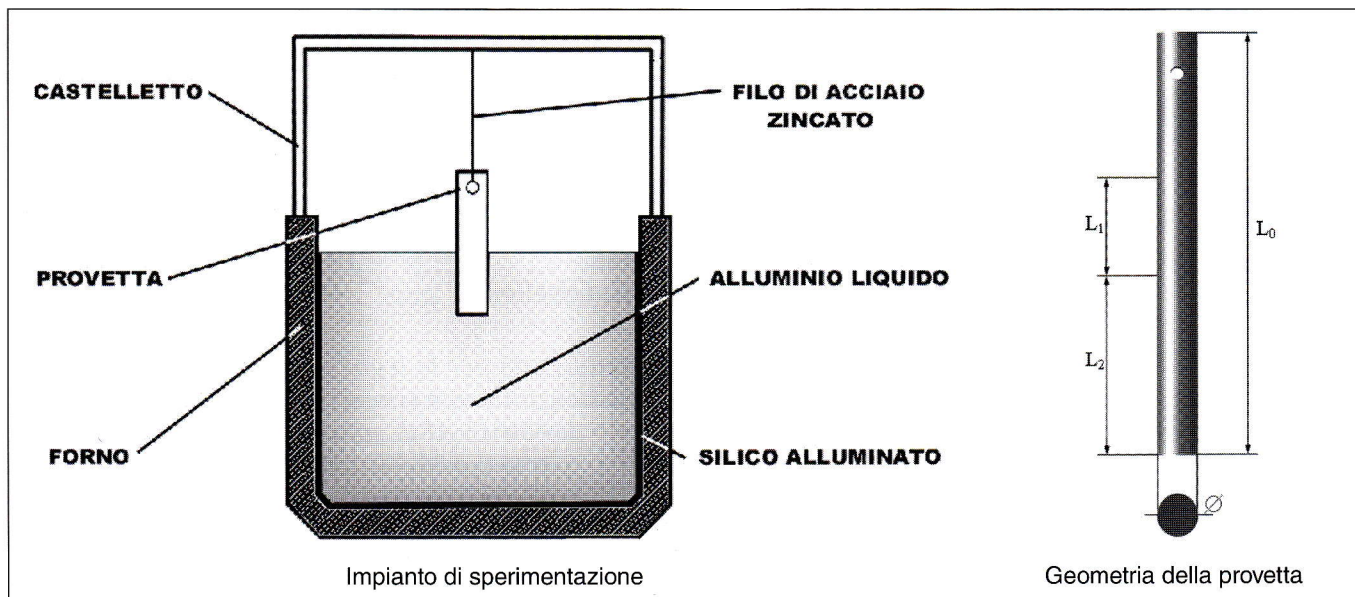


Fig. 1 - Descrizione dell'impianto di sperimentazione e della geometria delle provette.

Fig. 1 - Description of the experimental equipment and of the samples geometry.

sottoposto ad indagine senza alcun rivestimento (NR) o dopo l'applicazione di due differenti tipi di rivestimento, uno costituito da nitrato di titanio ed alluminio (TiAlN), è stato ottenuto mediante processo PVD, mentre l'altro, tipo Protalcar (vernice), era costituito semplicemente da una vernice, applicata alle superfici dello stampo sottoposte a contatto con il metallo fuso.

La resistenza alla corrosione per immersione statica è stata valutata misurando la riduzione di superficie esposta al bagno di alluminio liquido. Ogni accoppiamento acciaio/rivestimento è stato testato nelle due diverse condizioni, con tempi di immersione rispettivamente di 24 e di 48 ore.

L'impianto utilizzato per la sperimentazione e la geometria delle provette sono descritti nella figura 1. Nella stessa figura sono anche visibili le differenti lunghezze di immersione adottate.

MATERIALI

Acciaio AISI H13

Costituisce il materiale attualmente utilizzato per la costruzione di stampi per la pressocolata delle leghe di alluminio ed è quindi stato esaminato per avere un termine di paragone fra le sue prestazioni e quelle degli altri materiali e rivestimenti presi in considerazione.

Denominazione DIN		Denominazione UNI			
X40CrMoV 5 1		X40CrMoV 5 1 1 KU			
Composizione chimica media percentuale					
C	Si	Mn	Cr	Mo	V
0.39	1.00	0.40	5.10	1.30	1.00
Durezza in HRC in funzione della temperatura di rinvenimento					
400°C	500°C	550°C	600°C	650°C	700°C
54	55	54	50	40	32

Tab. I - Denominazione DIN e UNI, composizione chimica media e durezza, HRC, in funzione della temperatura di rinvenimento dell'acciaio AISI H 13.

Table I - DIN and UNI code, average chemical composition and HRC hardness as a function of the tempering temperature of AISI H13 steel.

Le principali proprietà di questo materiale sono la buona resistenza alla fatica termica e il mantenimento delle proprietà meccaniche (durezza e resistenza a snervamento) anche ad elevate temperature. Caratteristica importante di questo acciaio è l'elevato contenuto di vanadio che comporta una consistente dispersione di carburi molto duri, responsabili dell'elevata resistenza all'usura.

Acciaio per valvole

Gli acciai per valvole di motori a combustione interna hanno una forte resistenza al rinvenimento e contemporaneamente buona resistenza all'ossidazione, caratteristiche necessarie in relazione con le alte temperature alle quali, in opera, questi acciai devono essere sottoposti. In questo caso il cromo serve ad impedire la grafitizzazione e ad aumentare le caratteristiche d'inossidabilità e durezza a caldo.

La struttura di quest'acciaio è di tipo austenitico.

Acciaio Maraging

E' un acciaio in cui il nichel costituisce l'elemento speciale largamente preponderante (circa il 18%) associato generalmente con cobalto e molibdeno. L'acciaio è così suscettibile, dopo tempra di solubilizzazione, d'indurimento di tipo martensitico mediante invecchiamento. Tale indurimento martensitico è spesso associato a fenomeni d'indurimento per

Denominazione DIN		Denominazione UNI					
X53CrMnNiN 21 9		X53CrMnNiN 21 9					
Composizione chimica media percentuale							
C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	N
0.48÷0.58	≤0.25	8÷10	≤0.05	≤0.03	20÷22	3.25÷4.50	0.35÷0.50
R_t [N/mm²]							
100°C	200°C	300°C	400°C	500°C	600°C	700°C	800°C
-	-	-	-	650	550	450	300

Tab. II - Denominazione DIN e UNI, composizione chimica media e resistenza a trazione, R_t, in funzione della temperatura di rinvenimento dell'acciaio per valvole.

Table II - DIN and UNI code, average chemical composition and tensile strength, R_t, as a function of the tempering temperature of the valve steel.

Tab. III - Denominazione DIN e UNI, composizione chimica media e resistenza allo snervamento, $R_{p0.2}$, in funzione della temperatura di rinvenimento dell'acciaio maraging.

Table III - DIN and UNI code, average chemical composition and yield strength, $R_{p0.2}$, as a function of the tempering temperature of the maraging steel.

Denominazione DIN						Denominazione UNI					
X2 NiCoMo 18 8 5 modificato						X2 NiCoMo 18 8 5 modificato					
Composizione chimica media percentuale											
C	Si	Mn	Mo	S	P	Ni	Al	Co	Ti	Zr	B
0.011	≤0.02	≤0.02	4.73	≤0.002	≤0.005	18.38	0.09	8.19	0.44	≤0.01	0.0026
Rp _{0.2} [N/mm ²]											
100°C			200°C			300°C		400°C		500°C	
1520			1420			1325		1180		930	

precipitazione, segnatamente in presenza di piccoli quantitativi (intorno all'1%) di elementi capaci di formare composti intermetallici con nichel, come titanio e alluminio.

Rivestimento Protalcar (semipermanente)

Questa vernice di rivestimento è stata applicata sulle provette attraverso l'utilizzo della seguente tecnologia:

- Preriscaldamento a 100±10°C
- Applicazione con pistola nebulizzatrice con getto a rosa
- Preriscaldamento a 120±10°C
- Applicazione con un piccolo pennello di setole
- Si ripete quest'ultima operazione eseguendo step successivi con tappe di preriscaldamento a 150±10°C, 180±10°C, 200±10°C.

Si ottiene uno strato di vernice dello spessore di circa 1.5÷2mm (questo valore dipende molto dall'abilità manuale dell'operatore che ha eseguito il rivestimento).

La vernice Protalcar è mediamente costituita da: Silicato di alluminio, magnesio 3%, Silicato di sodio 7%, Carbonato di calcio 37,5%, Acqua 52,5%.

Rivestimento di TiAlN (permanente)

Questo rivestimento in nitrato di titanio e alluminio è stato realizzato con un processo di deposizione tipo PVD a temperature inferiori a 500°C.

Lo spessore dello strato di rivestimento è di circa 1÷5µm: il rivestimento ha una microdurezza di circa 3000HV.

Caratteristiche del bagno

Per le prove di corrosione è stata impiegata una lega di alluminio tipo A356, la cui composizione media è indicata nella Tabella IV.

METODOLOGIE DI PROVA

Caratterizzazione pre-prova

La singola provetta è stata caratterizzata nel modo seguente:

- dimensionale: lunghezza e diametro
- massivo: peso
- superficiale: rugosità
- visivo: fotografia.

Prova di immersione

La singola provetta è stata tenuta immersa nel bagno di A356 mantenuta alla temperatura di 720÷730°C in un crogiolo della portata di 250 kg, per una data lunghezza per un periodo di 24 ore. La medesima provetta, allo scadere delle 24 ore, è stata ulteriormente immersa per altre 24 ore per una lunghezza maggiore rispetto alla precedente. Si sono

così ottenute le due zone di lunghezza rispettivamente L_1 e L_2 come mostrato in figura.

Caratterizzazione post-prova

La singola provetta è stata caratterizzata nel modo seguente:

- dimensionale: lunghezza e diametro
- massivo: peso
- visivo: fotografia
- adesione e incollaggio
- microscopia: analisi delle interfacce, individuazioni di intermetallici, alterazioni di fasi preesistenti, caratterizzazione del danneggiamento.

APPROSSIMAZIONI DEL MODELLO

1. Le zone corrose dopo 24h e 48h sono approssimate a superfici cilindriche (figura 2)
2. Temperatura costante in ogni punto del bagno
3. Composizione uniforme in ogni punto del bagno.

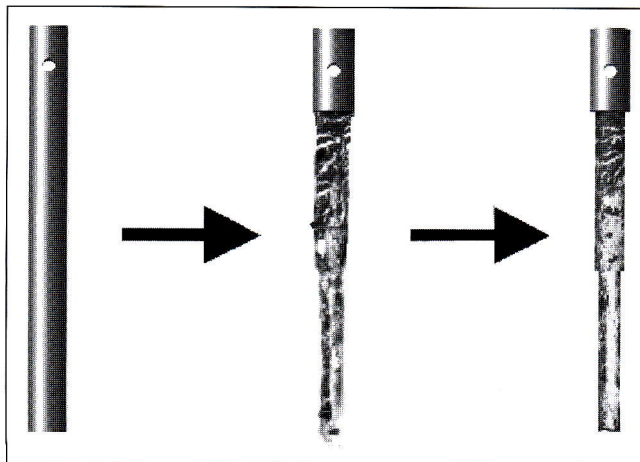


Fig. 2 - Evoluzione delle zone di corrosione delle provette.

Fig. 2 - Growth of corrosion zones on the samples.

RISULTATI

I risultati delle prove di corrosione a 24 ed a 48 h, per ognuno dei tre acciai distinti per le tre diverse condizioni superficiali, sono rappresentate nelle figure 3, 5 e 7 come variazione percentuale della superficie esposta all'azione corrosiva della lega fusa.

Nelle micrografie delle figure 4, 6 e 8 sono rappresentate e

Si	Mg	Cu	Zn	Ni	Fe	Mn	Ti	Pb	Sn	Ca
6.50÷7.50	0.25÷0.40	max 0.10	max 0.10	max 0.05	max 0.15	max 0.10	0.10÷0.20	max 0.05	max 0.05	max 50ppm

Tab. IV - Composizione media per la lega utilizzata per le prove di immersione.

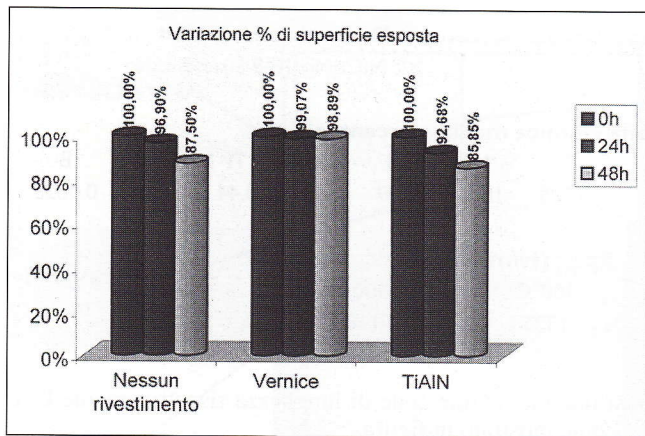


Fig. 3 - Variazione percentuale della superficie esposta dell'acciaio AISI H 13 con o senza rivestimenti.

Fig. 3 - Percentage change of the surface exposed to corrosion of the uncoated or coated AISI H 13 steel samples.

descritte le caratteristiche microstrutturali degli acciai nelle differenti condizioni di rivestimento dopo la prova di corrosione. L'influenza del tempo di immersione per brevi periodi è documentata in figura 9 per l'acciaio Maraging senza alcun rivestimento, mentre in figura 10 sono illustrate le analisi eseguite al SEM sulla superficie dell'acciaio AISI H 13 non rivestito, è evidente la formazione di composti intermetallici.

Acciaio AISI H13

- Il comportamento dell'acciaio senza rivestimento è in generale abbastanza buono nelle prime 24h. Solo nelle successive 24h si ha una riduzione significativa di superficie esposta del 13,5%.
- La vernice funziona molto bene mantenendo sostanzialmente invariata la variazione % di superficie esposta (1%) per tutta la durata della prova.

- Il TiAlN non ha un buon effetto: già dopo 24h la riduzione di superficie è circa del 7% che diventa del 14% dopo le successive 24h.

Acciaio per valvole

- L'APV non rivestito si comporta decisamente male: la riduzione di superficie è del 9% dopo 24h e del 18% dopo 48h.
- La riduzione di superficie nell'APV verniciato è solo apparente perché rappresenta quasi interamente lo strato di vernice scalzato insieme all'alluminio: la vernice ha svolto ottimamente il suo compito.
- Il rivestimento di TiAlN migliora il comportamento dell'acciaio per valvole nudo: infatti, il TiAlN rappresenta una barriera che una volta distrutta consente il normale avanzamento del fenomeno corrosivo. Dopo 48h si ha una riduzione della superficie esposta del 12÷13%.

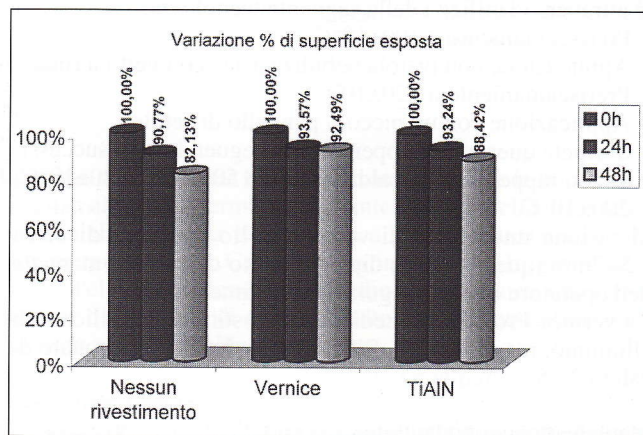


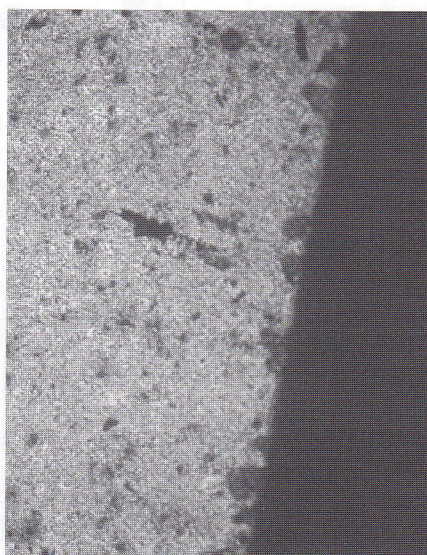
Fig. 5 - Variazione percentuale della superficie esposta dell'acciaio per valvole con o senza rivestimenti.

Fig. 5 - Percentage change of the surface exposed to corrosion of the uncoated or coated valve steel samples.



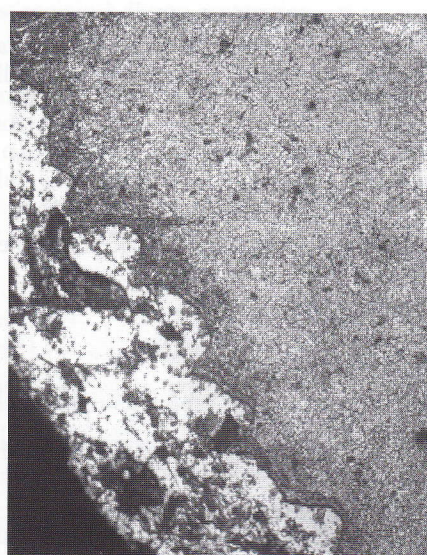
NR 48h - 200X

La corrosione segue siti preferenziali con formazione di crateri. Tra Al e H13 si vede una zona di transizione modificata.



Vernice 48h - 200X

Si nota che lo strato di vernice ha sostanzialmente resistito. Nei punti in cui la vernice ha ceduto si sono formati dei crateri.

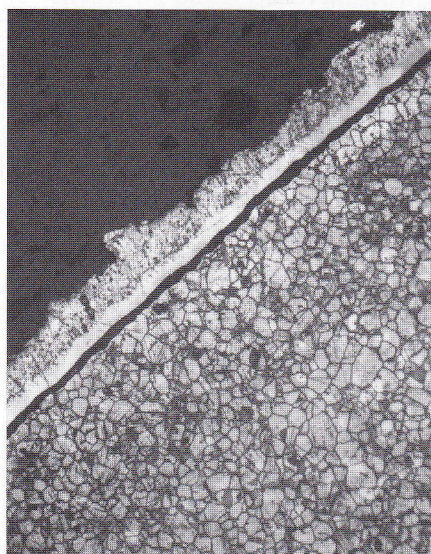


TiAlN 48h - 200X

Lo strato di TiAlN si craterizza drasticamente.

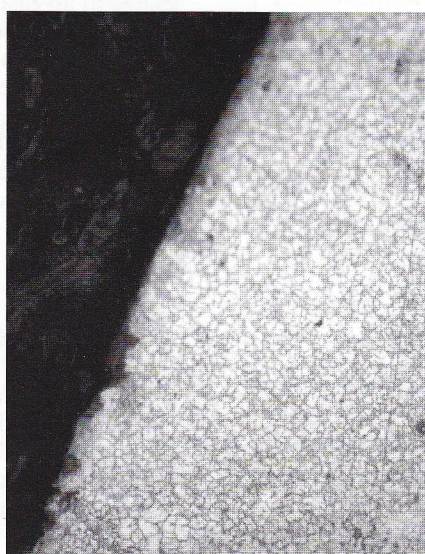
Fig. 4 - Caratteristiche morfologiche e microstrutturali dell'acciaio AISI H 13 nelle differenti condizioni di prova.

Fig. 4 - Morphological and microstructural characteristics of the AISI H 13 steel samples after the different test conditions.



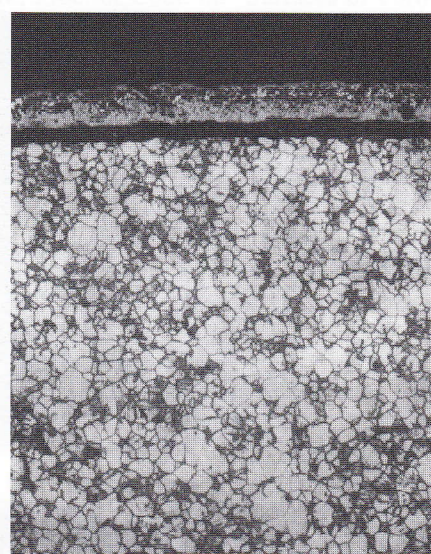
NR 48h - 200X

In questo caso si è in presenza di una corrosione generalizzata che procede mantenendo un fronte piano.



Vernice 48h - 200X

Nei punti in cui la vernice ha ceduto si è avuta corrosione localizzata con formazione di crateri: la presenza della vernice ha perciò modificato il meccanismo di corrosione sul medesimo substrato. Resta, comunque, la sostanziale planarità della superficie.



TiAlN 48h - 200X

Il rivestimento di TiAlN ritarda le modalità di corrosione generalizzata, caratteristica dell'acciaio per valvole senza alcun rivestimento.

Fig. 6 - Caratteristiche morfologiche e microstrutturali dell'acciaio per valvole nelle differenti condizioni di prova.

Fig. 6 - Morphological and microstructural characteristics of the valve steel samples after the different test conditions.

Acciaio Maraging

Il Maraging non rivestito o rivestito con TiAlN viene completamente corroso dall'alluminio liquido già dopo le prime 24h, mentre la vernice si dimostra efficace come mezzo protettivo.

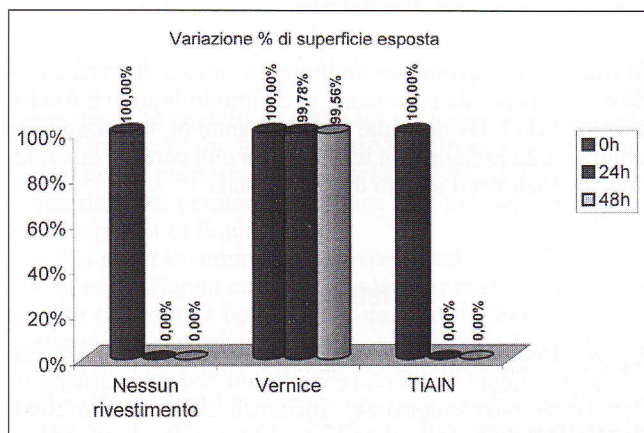


Fig. 7 - Variazione percentuale della superficie esposta dell'acciaio Maraging con o senza rivestimenti.

Fig. 7 - Percentage change of the surface exposed to corrosion of the uncoated or coated Maraging steel samples.

Il Maraging ha quindi una resistenza molto modesta e una immersione per 24 ore risulta troppo lunga. E' stata perciò eseguita un'ulteriore set di prove su un Maraging senza nessun rivestimento con il fine di caratterizzare il comportamento per tempi inferiori alle 24h.

Il risultato ottenuto è sintetizzato nel grafico di figura 9, dal quale si può osservare come il processo corrosivo, evidente anche per tempi brevi di immersione, subisca un deciso incremento già dopo appena tre ore.



Vernice 48h - 200X
Il fronte corrosivo procede in modo quasi planare: si notano frammenti di acciaio nell'alluminio del bagno.

Fig. 8 - Avanzamento del fronte corrosivo nel caso dell'acciaio Maraging

Fig. 8 - Progress of corrosion for the Maraging steel samples.

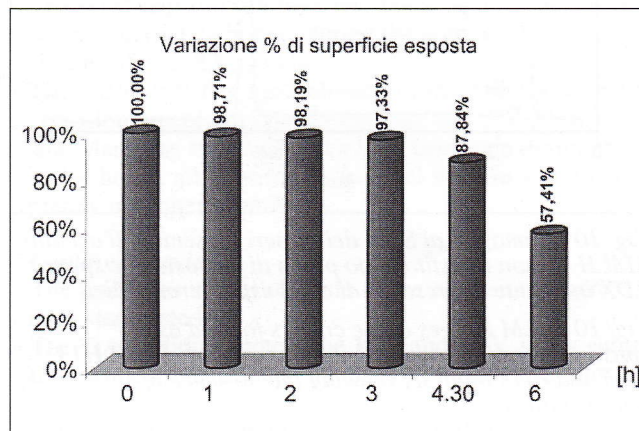


Fig. 9 - Variazione percentuale della superficie esposta dell'acciaio Maraging senza nessun rivestimento in funzione dei tempi di immersione nel bagno.

Fig. 9 - Percentage change of the surface exposed to corrosion of the uncoated Maraging steel samples as a function of the immersion time.

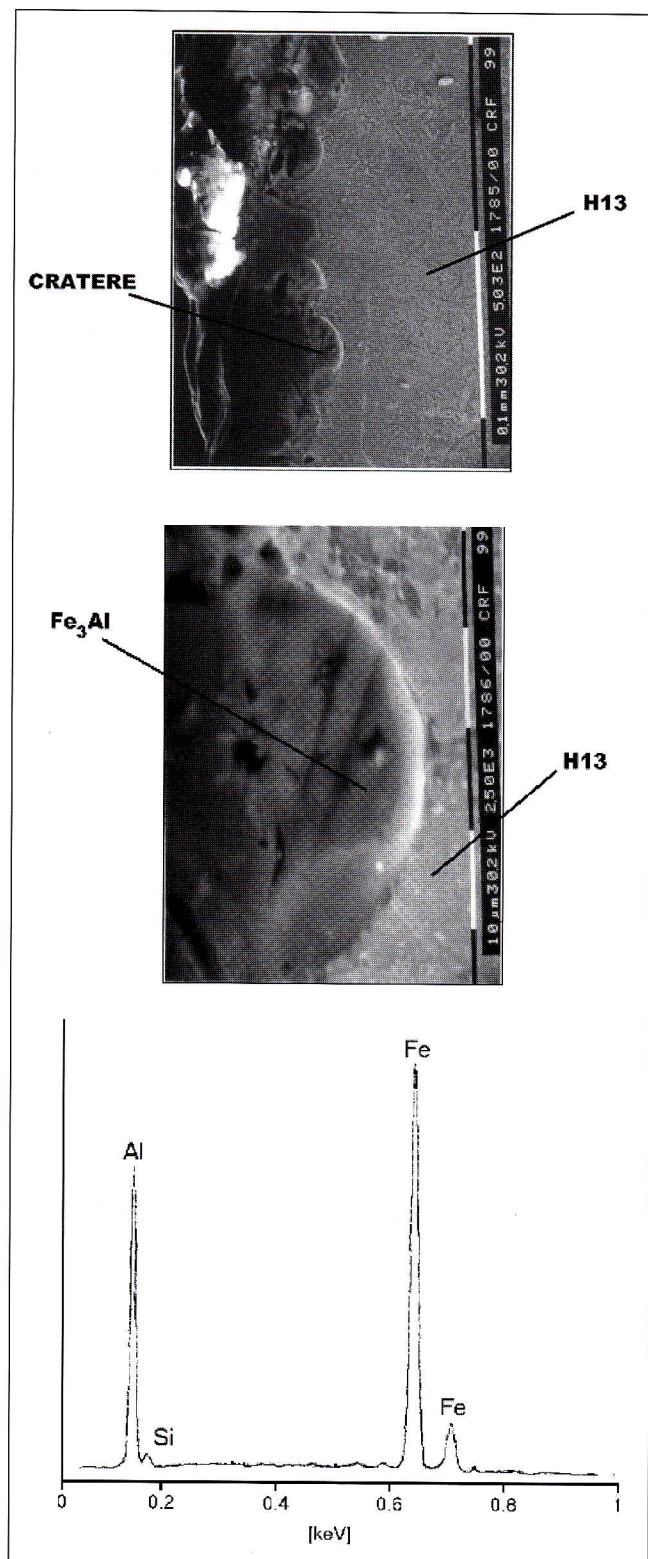


Fig. 10 - Immagini al SEM dei crateri presenti nell'acciaio AISI H 13 non rivestito dopo prova di corrosione e spettro EDX indicante la presenza di composti intermetallici.

Fig. 10 - SEM images of the craters formed as a consequence of the corrosion on the uncoated AISI H13 steel and EDX analysis showing the presence of intermetallics.

Esame di un caso particolare

I crateri che si sono formati nel caso dell'acciaio AISI H13 non rivestito sono stati esaminati al SEM, con identificazione delle fasi presenti mediante esecuzione di analisi EDX con microsonda, mettendo in evidenza la presenza di composti intermetallici, in particolare si è rilevata la formazione dell'intermetallico Fe₃Al, come previsto dal diagramma di stato Al-Fe. I risultati sono illustrati nelle figure 10.

CONCLUSIONI

Risultati generali

I meccanismi di corrosione individuati risultano di tipo generalizzato (APV e Maraging) o preferenziale (H13) e non mutano durante la prova.

L'analisi al SEM dei crateri di corrosione nell'H13 evidenzia la presenza di composti intermetallici tra Al e Fe, previsti dal diagramma di stato.

Valutazione degli acciai

- nelle prime 24h l'H13 presenta un'ottima resistenza alla corrosione che poi decade nelle seconde 24h.
- l'APV dopo 24h ha già subito una sostanziale corrosione che aumenta in modo lineare con il tempo per tutta la durata della prova.
- il Maraging non subisce un'apprezzabile corrosione solamente nelle prime 3-4h, a 24h è completamente passato in soluzione nel bagno.

Valutazione dei rivestimenti

- La vernice rappresenta una completa barriera alla corrosione su ciascun tipo di acciaio.
- Il TiAlN non nobilita il substrato di H13, mentre si comporta da parziale barriera alla corrosione soltanto sull'APV. Anche il comportamento del Maraging non è migliorato da questo rivestimento.

In sintesi il compromesso migliore tra elevata durezza a caldo e resistenza alla corrosione in alluminio liquido è fornito dall'AISI H13. Ovviamente il rivestimento di vernice a base acquosa è da escludere in utilizzazioni con contatti dinamici drastici quali negli stampi di pressocolata.

BIBLIOGRAFIA

1. Kaufmann H., Wabusseg H., Uggowitzer P.J., Proc. 6th International Conference on "Semi-Solid processing of Alloys and Composites", Torino 28-29 September 2000, EDIMET Brescia, p. 457.
2. Rosso M., Mus C., Chiarmetta G.L., Proc. 6th International Conference on "Semi-Solid processing of Alloys and Composites", Torino 28-29 September 2000, EDIMET Brescia, p. 209.
3. Andreoni L., Casé M., Pomesano G., Quaderni della colata a pressione delle leghe di alluminio, Vol. 3, EDIMET, 1994.
4. ASM Handbook, ASM International, v. 1: Properties and Selection: Irons, Steels, and High-Performance Alloys, 10 ed., USA, 1992
5. Roberts G.A., Cary R.A., Tool Steels, 4 ed., Ohio, American Society for Metals, 1980
6. Nicodemi W., Metallurgia, Milano, Masson Italia Editori, 1986

7. Krauss G., Steels Heat Treatment and Processing Principles, ASM International, 1990
8. ASM Handbook, ASM International, v. V: Surface Engineering, 10 ed., USA, 1992
9. Metals Handbook, ASM International, v. XIII: Corrosion, 9 ed., USA, 1987.
10. Sundquist M., Proc. of Conf. on "Surfaces of Forming Tools", Karlstadt (Sweden), 28-29 May 1997, p. 117.
11. Noström L.A., Svensson M., Öberg N., Metals Technology, 10 (1981), p. 376.
12. Faccoli M., La Vecchia G.M., Roberti R., Molinari A., Atti 27° Convegno Nazionale AIM, Orvieto 16-18 settembre 1998, Vol. 2, AIM Milano (1998), p. 128.

A B S T R A C T

**CORROSION RESISTANCE
IN MOLTEN ALUMINIUM ENVIRONMENT
OF TOOL STEELS FOR PRESSURE DIE CASTING**

Different processes are used in aluminum foundry in order to produce several kind of components.

When it is important to cast complex geometry with very thin wall thickness the high pressure die casting process is the preferred one, even if the mechanical characteristic will not be so good.

In this kind of process the materials used in order to build the dies have to assure high performance. Infact they have to support mechanical and thermal stresses during the work.

Further they have to be resistant to shock and fatigue thermal, as well as corrosion-erosion mechanisms.

Today the steel everywhere used for the dies are AISI H13 and AISI H11 steels, with good performance at high temperature (the maximum working temperature today are 350°C).

The main developments in HPDC process regard more high working temperature (700 °C against 350°C) with the goal to reduce the quantity of metal for each shot and the cycle time. Obviously the materials used up to now are not sufficient at this purpose, so a big field of R&D is opened to find materials and permanent coatings able to work in corrosive environment of liquid metal.

In this paper is summarized a experimentation with different steel and different coating in order to simulate the behavior while the contact between the die and the molten alloys is continuous

We considered three different metallic materials: steel AISI H13 (H13), steel for combustion valves (APV) and a maraging steel (Maraging). Each one has been investigated without coating (NR), with TiAlN coating applied by PVD process, with semi permanent coating named Protalcar (vernice).

Corrosion resistance in static immersion has been evaluated as a reduction of the external surface plunged in molten aluminum. Each couple meal base/coating has been tested for two different immersion time: 24 hours and 48 hours.

The equipment and the geometry of the specimens used in the trials are described in figure 1.

Before the corrosion test each specimen has been measured the length, the diameter, the weight, the roughness of the surface, and has been taken the picture.

Corrosion test

The specimens have been plunged in a crucible filled of molten aluminum alloy A356 at temperature of 720 -730°C,

for length L_1 during the first 24 hours and for length L_2 during the second 24 hours.

After the corrosion test for each specimen has been analyzed the length, the diameter, the weight, the adhesion between the alloy and material in testing. Using the SEM analysis have been investigated the alteration phases, and the damage at the interfaces.

Three great approximations of the experimental model are the follow:

1. the external surface after the test is cylindrical
2. the temperature is constant every point of the molten bath
3. chemical composition is the same every point of the molten bath

Results

Results of the corrosion tests after 24 hours and 48 hours are shown in each trials in the figures 3, 4, 5 as reduction of the external surface.

The damage mechanism advances in uniform mode for APV and Maraging steels and in preferential mode for H13 steel and doesn't change during the time test.

With the SEM support an intermetallic compound has been discovered according with the iron-aluminum equilibrium diagram (see figure 10).

Steels behavior

The H13 steel showed high resistance against the corrosion during the first 24 hours, during the second 24 hours the resistance decreased quickly.

The APV steel damaged already in the first 24 hours: the corrosion proceeded linearly until the end of the test.

The Maraging steel suffered a light corrosion during the first 3-4 hours, after 24 hours the steel went in solution completely in molten aluminum.

Coating behavior

The paint was a total obstacle to the corrosion progress for each steel tested.

The TiAlN didn't protect the H13 and APV steels substratum, while protected slightly the APV steel substratum.

After this experimentation we can say that the better compromise between the hardness at high temperature and corrosion resistance in molten aluminum was shown by H13 steel.

Further we have to specify that the paint coating is not the solution in the dynamic contact as in the die of high pressure die casting process.