



Annalisa Pola

(UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI BRESCIA)

Leghe e processi per la pressocolata: recenti indirizzi della ricerca

Come sapete l'Università, quella di Brescia in particolare, da anni offre un servizio di didattica mirato a quelle che sono le realtà del nostro territorio quindi ci sono corsi sulla fonderia, in particolare sulla pressocolata, corsi sui metalli non ferrosi con particolare attenzione all'alluminio e alle leghe di zinco unitamente a laboratori di fonderia e metallurgia dove i ragazzi imparano non solo ad utilizzare le tecniche di laboratorio, ma anche a progettare stampi, a simulare con i software il riempimento e la solidificazione nell'impronta.

Ovviamente come Università non ci occupiamo solamente di didattica, ci occupiamo anche di ricerca legata alla definizione, in particolare, delle caratteristiche dei materiali, della valutazione e individuazione di difetti nonché della determinazione di quelle che sono le cause di cedimento dei componenti, grazie alle strumentazioni all'avanguardia che abbiamo a disposizione presso il nostro Ateneo.

Dal precedente Diecasting Day, quindi negli ultimi due anni, sono stati affrontati diversi temi di ricerca per

quanto riguarda il processo di pressocolata, legati sia alla parte di innovazione del processo delle leghe utilizzate in pressocolata, sia all'ottimizzazione e comprensione di quello che è il processo tradizionale, per capirlo meglio al fine di poterlo utilizzare con la migliore qualità possibile.

Di recente, e per recente intendo dire l'inizio dell'anno, è partito lo studio della corrosione di getti in lega d'alluminio e in lega di magnesio. Giusto per darvi un paio di informazioni circa queste ricerche che stiamo sviluppando presso il nostro Ateneo, uno degli argomenti più grossi che stiamo affrontando è quello della progettazione di nuove leghe da applicare al processo in semi solido. Come noto infatti la pressocolata soffre del limite legato alle porosità che si vengono a creare per effetto dei moti turbolenti all'interno dello stampo che precludono le caratteristiche meccaniche e quindi anche l'applicazione per la realizzazione di componenti strutturali. Una soluzione possibile a questo inconveniente viene data dall'utilizzo del processo in semi solido che però

L'Università offre oggi:

- didattica (+ stage)
- **ricerca** (+ phd, assegni di studio)

→

- fonderia
- metalli non ferrosi
- laboratori di fonderia e metallurgia
- ecc...

Numerosi laboratori per la caratterizzazione dei materiali

- definizione delle proprietà meccaniche
- individuazione/valutazione difetti
- determinazione cause cedimenti
- prove in temperatura

Alcune strumentazioni a disposizione dell'Università:

Diecasting Day 2006 A. Pola 2



Alcuni temi sviluppati negli ultimi 2 anni presso il nostro Ateneo:

- preparazione di nuove leghe con caratteristiche thixotropiche;
- studio del comportamento fluidodinamico di leghe semisolide;
- analisi variazione colabilità EN 46100 in funzione della % di elementi chimici;
- analisi dei regimi termici nei contenitori di iniezione e progettazione di sistemi per la loro termoregolazione;
- studio della perdita di Al per ossidazione durante la fusione;
- caratterizzazione dei carburi negli acciai per stampi;
- corrosione getti Al e **Mg**;
- ecc..

Diecasting Day 2006

A. Pola

3



Preparazione di nuove leghe con caratteristiche thixotropiche

I pressocolati presentano porosità dovuta ad intrappolamento d'aria = peggioramento delle caratteristiche meccaniche => potenziale soluzione l'impiego del **semisolido**.

Uno dei limiti alla diffusione di questo processo è dato dalla restrizioni nella composizione chimica delle leghe utilizzabili.

Numerosi gli studi in letteratura sulla applicabilità di leghe alternative alla AISi7 (es. da deformazione plastica), pochi valutano l'adattabilità al processo unita alla potenzialità di rafforzamento mediante trattamento termico.

Lo studio in atto fa riferimento ai risultati della termodinamica computazionale (CALPHAD) => intervallo di solidus-liquidus, frazione di solido in funzione della T°, possibilità di eseguire invecchiamento, ecc..

Diecasting Day 2006

A. Pola

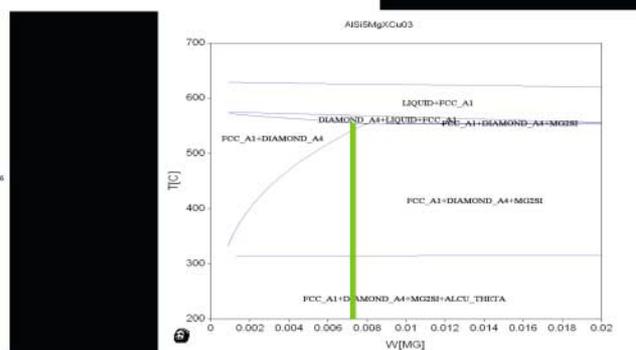
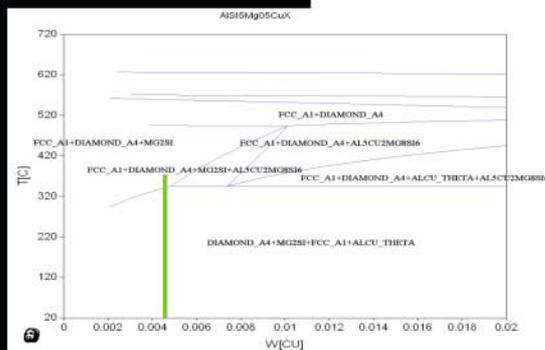
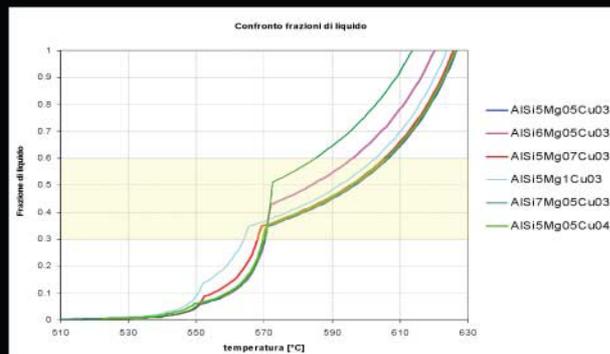
4

trova una scarsa applicazione un po' per i costi, un po' per la difficoltà di gestione di questo tipo di processo, e in parte anche per le limitate composizioni chimiche di leghe che si possono utilizzare in semi solido.

Quello che si trova in letteratura normalmente è la classica lega A356 che è la tradizionale lega per semi solido e tutta una serie di studi fatti su altre tipologie di leghe sia da fonderia sia da lavorazione per deformazione plastica per lo più incentrati sulla possibilità di ottenere una struttura da semi solido quindi con il ben noto sistema di agitazione che sia meccanico piuttosto che elettromagnetico o mediante viti gemelle. Solitamente ci sono, o studi solo mirati su questa caratteristica oppure solo su leghe che possono essere trattate termicamente.

Difficilmente si trovano studi che contemplino tutti gli aspetti quindi la possibilità di applicare effettivamente in fonderia: L'ottenimento di una lega allo stato semi solido e che poi sia anche trattabile termicamente presenta il vantaggio di non avere porosità nel getto pressocolato.

Lo studio che stiamo conducendo da circa un anno e mezzo anche con il supporto di altre due unità, Genova e Ancona, riguarda appunto la nuova composizione chimica che cerchi di rispondere a tutte queste esigenze. La fase iniziale dello studio



Diecasting Day 2006

A. Pola

5

è stata fatta mediante analisi computazionale con software di simulazione. Simulando il comportamento delle leghe per cui data la composizione chimica si hanno dei risultati come le temperatura di liquido, di solido piuttosto che la variazione della frazione di solido in funzione della temperatura; sulla scorta di questi risultati si può individuare quella che può essere una lega abbastanza promettente. Qui vedete alcuni dei risultati legati alle leghe che sono state indagate intorno a 5/6% di silicio con variazioni di magnesio tra lo 0,5 – 0,7 e di rame intorno allo 0,3%. Quello che si vede da queste curve è che effettivamente ne esistono alcune particolarmente idonee e questo si riesce a capire osservando, a parte l'intervallo liquido/solido che, come noto, deve essere sufficientemente ampio per le leghe da semisolido per facilitare l'agitazione e quindi l'ottenimento della lega in condizioni semi solide, anche il riempimento completo dell'impronta senza solidificazioni premature.

La seconda caratteristica è che devono avere una pendenza non troppo marcata altrimenti significa che una variazione di T° di pochissimi gradi determina una solidificazione istantanea e anche la posizione di questo "naso" della curva definisce la percentuale di lega che resta liquida per più tempo, che viene notoriamente indicata come eutettico.

I diagrammi ottenuti mediante questi calcoli computazionali permettono anche di verificare se la lega sia poi adatta per il trattamento termico e scegliere così le composizioni idonee. Quella che è risultata la più promettente è quella che vedete qui indicata con una percentuale di silicio intorno al 5%, di magnesio intorno allo 0,5% e di rame intorno allo 0,3%. Sono stati poi approntati, presso i nostri laboratori, dei sistemi per ottenere delle leghe allo stato semisolido da cui sono state ricavate delle piccole billette con caratteristiche tixotropiche per essere poi iniettate all'interno di uno stampo anche questo da laboratorio che però ricalca perfettamente quello che è il comportamento di un metallo in uno stampo da pressocolata, cioè una variazione brusca di direzione del moto e l'effetto raffreddante dato dalla parete in acciaio e l'effetto anche di sforzo di taglio dato dallo scorrimento del metallo sulla parete. Il risultato della microstruttura con la

Studio del comportamento fluidodinamico di leghe semisolide

Scopo: valutare l'effetto dei parametri geometrici di canali di alimentazione e attacchi di colata sulla modalità di riempimento di una lega semisolido (funzione fs), mediante simulazione numerica.

Accoppiando parzialmente i canali si ottiene un miglioramento del riempimento.

Diecasting Day 2006

Diecasting Day 2006

A. Pola

Studio della colabilità della lega A380 EN AB-46000

	Si	Cu	Fe	Mg	Mn	Ni	Pb	Sn	Ti	Zn
MIN	8,0	2,7	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
MAX	10,0	3,5	1,0	0,3	0,5	0,3	0,2	0,1	0,2	1,0

Valutazione dell'effetto di variazione del tenore di alcuni elementi in lega sulla colabilità:

- a. silicio
- b. ferro
- c. rame

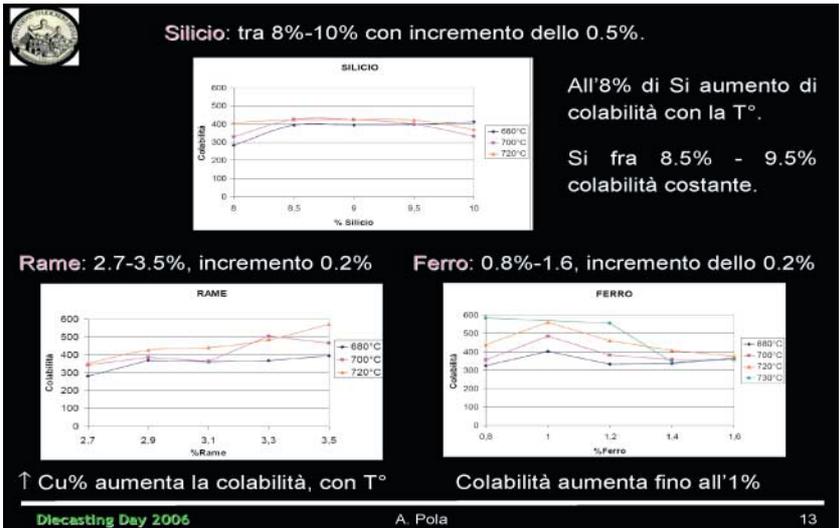
Sono state analizzate 19 composizioni di leghe all'interno dei range prestabiliti.

Diecasting Day 2006

A. Pola

lega diciamo inventata è quello che vedete riportato in questa immagine con una struttura tipicamente globulare che è quella che si ritrova in letteratura anche nelle pubblicazioni del Prof. Flemings che è l'inventore del

semi solido, e una dimensione dei globulo che è esattamente quella ritenuta ottimale intorno ai 100 micron. Un altro argomento di studio sempre legato al semi solido è stato lo studio del comportamento fluidodinamico



Analisi dei regimi termici nei contenitori di iniezione e progettazione di sistemi per la termoregolazione dei contenitori

Differenze di T° tra la parte inferiore e superiore del contenitore anche >150°C => **ovalizzazione** foro + differenza di T° tra parte anteriore e posteriore => **deformazione flessionale**.

Necessario raffreddare la parte inferiore e scaldare quella superiore.

Contenitore strumentato con 18 termocoppie + misura T° acqua di raffreddamento.

Diecasting Day 2006 A. Pola 14

Caratterizzazione non convenzionale di carburi in acciai per stampi (H11, H13)

Obiettivo: valutare la potenzialità dei metodi non convenzionali per offrire una descrizione completa dei carburi precipitati (attualmente possibile soltanto con il TEM).

TECNICHE UTILIZZATE

- 1) dissoluzione + calcinazione
- 2) OM e SEM/EDS
- 3) XRD
- 4) μXRD (sincrotrone Daresbury)

Risultati: i metodi non convenzionali hanno permesso di caratterizzare l'evoluzione in termini di morfologia, dimensione e composizione chimica dei carburi a seguito di diversi trattamenti termici.

Diecasting Day 2006 A. Pola 17

da cui ricavare poi dei provini per la misura della resilienza, quindi delle caratteristiche del materiale dal momento che lo stampo così progettato è in fase di costruzione e verrà montato sulle macchine presenti in laboratorio per poi fare anche dei test e verificare l'attendibilità dei risultati.

Attraverso una serie di simulazioni si è verificato come il metodo tradizionale, appunto, non sia valido. Le prime prove hanno mostrato quanto utile sia sfruttare l'effetto di contro pressione che il metallo subisce nel momento in cui riempie il canale principale, quindi un unico canale principale da cui si diramano canali secondari. Risultati ancora migliori si sono ottenuti mettendo i canali secondari in contro corrente anziché a favore di corrente questo perché il primo canale, più vicino all'asse di simmetria viene riempito più facilmente e la configurazione finale, quella che vedete qui illustrata, con un canale principale uniforme, quindi senza variazioni di sezione, e canali secondari in contro corrente.

Inizialmente la simulazione è stata fatta con la classica lega A356 da semi-solido poi sono state fatte una serie di test con velocità di riempimento diverse piuttosto che con composizioni chimiche diverse; quello che si è osservato è che effettivamente il comportamento è quello corretto, cioè un moto laminare quindi non turbolento, che quindi non ingloba aria dal momento che averlo in semi-solido più difficilmente da origine a inglobamento aria ma se lo stampo non è progettato correttamente comunque i difetti si hanno lo stesso e andando a riportare in un grafico la distribuzione di velocità nella sezione di attacco di colata approssimata con delle linee di tendenza di secondo grado si vede che il profilo è quasi perfettamente parabolico sia nel provino di trazione che in quello CRP dimostrando quindi che il comportamento è corretto.

Sono state poi testate velocità diverse, frazioni di solido diverse e anche composizioni chimiche, quindi leghe non tradizionali come la 7075 che è una lega da deformazione plastica o la TX425 che è una lega commerciale per semisolido.

Il pedice che vedete, massimo e minimo, sono stati indicati perché in realtà è stata scelta appunto una lega reperibile in commercio, ma osservando la composizione chimica stabilita dalla forcina, si osserva co-

del metallo all'interno dell'impronta più che altro volto a valutare la possibilità di determinare delle linee guida nella progettazione degli stampi per semi solido, dal momento che si è verificato che le linee guida quelle della

pressocolata tradizionale sembrano non essere idonee per questo tipo di processo. La geometria scelta dello stampo è abbastanza semplice, sono dei provini di trazione delle barrette prismatiche

me una variazione tra il minimo, medio e massimo di composizione, da', in realtà, un comportamento completamente diverso. Si è quindi scelta quella idonea per il semisolido con risultati che vedete qui indicati: ovviamente la 7075 da origine a dei difetti, ad un riempimento non uniforme nelle cavità mentre la TX425 presenta un comportamento migliore. Il risultato finale è stato comunque che ci sono, in funzione della geometria delle cavità, delle variazioni ovviamente di frazione di solido piuttosto che di velocità di riempimento ottimali, mentre le linee guida trovate per quanto riguarda lo sfruttamento della contro pressione risultano essere idonee in generale, indipendentemente dalla composizione chimica della lega.

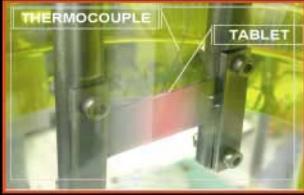
Oltre a questi argomenti di ricerca su tecnologie innovative si stanno facendo, come dicevo, delle ricerche anche sulle tecnologie tradizionali: uno di questi è lo studio legato alla colabilità in leghe normalmente utilizzate in pressocolata, come la A380, dalla quale si è valutato l'effetto della presenza di silicio, ferro e rame sulla colabilità. In particolare sono state analizzate 19 composizioni chimiche diverse all'interno di un range ristretto rispetto al valore medio.

Il metodo usato per le prove di colabilità non è esattamente quello standard della serpentina in colata in gravità all'interno di uno stampo in sabbia poiché si è ritenuto che questo sistema non fosse idoneo a rappresentare correttamente il processo di pressocolata che implica la presenza di un metallo sotto pressione a contatto con una parete metallica. Si è quindi sfruttato un sistema alternativo che consiste in un crogiolo all'interno del quale viene versato il metallo liquido da testare, un tubo di acciaio con rugosità interna controllata che viene collegato ad un serbatoio polmone e a una pompa; il metallo viene quindi aspirato dal crogiolo e, in sostanza, il concetto è lo stesso di quello della classica prova di colabilità. Si va a misurare la lunghezza percorsa dal metallo all'interno del tubo, solo che essendo aspirato, e quindi per effetto di una pressione e a contatto con una parete di acciaio che conduce bene, simula meglio il comportamento di uno stampo da pressocolata.

Le analisi hanno dimostrato che le variazioni del silicio, che è stata fatta variare tra l'8 e il 10% con uno scarto

Perdita di Al per ossidazione durante la fusione

Circa 4% della carica del forno è perso a seguito di fenomeni di ossidazione. Una delle cause: la reazione con i refrattari => corindone.

Accurate indagini mediante diffrazione ai raggi X su campioni posizionati in un forno sotto vuoto appositamente approntato.

E' stato dimostrato che:

$$4Al + 3SiO_2 \rightarrow 2Al_2O_3 + 3Si$$

Diecasting Day 2006 A. Pola 18

Altre ricerche universitarie a livello nazionale ...

- Influenza della porosità e dei difetti sulla resistenza a fatica;
- Valutazione della tenacità di pressocolati in lega di Mg;
- Studio e simulazione della fluidità delle leghe AISi;
- Valutazione del coefficiente di scambio termico getto-stampo;
- Aspetti innovativi nello studio della modifica eutettica al Na di leghe AISi;
- Effetto del trattamento termico sulle proprietà meccaniche di lega A319 per thixocasting;
- Caratterizzazione della risposta a trattamento termico di leghe commerciali ed innovative da pressocolata e da semisolido;
- ecc ...

Diecasting Day 2006 A. Pola 19

Thixoforming at the AMRC - Sheffield



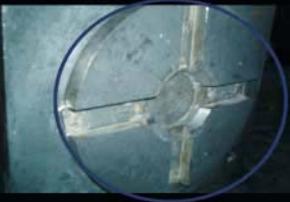



Diecasting Day 2006 A. Pola 20

dello 0,5% mostra come all'aumentare delle temperatura l'effetto del silicio aumenta in termini di colabilità, che esiste però un range intorno al 9%, quindi tra l'8,5% e il 9,5%, pressoché costante.

Allo stesso modo il rame, si vede come il suo effetto sulla colabilità determini un miglioramento all'aumentare della T° di colata del metallo anche se si vede in questa zona, un comportamento pressoché costante. Il ferro in-

Die materials




Aluminium alloys

Die properties	Tool steel (~250°C)	Graphite	Ceramic
Thermal conductivity (W/m K)	43-47	125	0.66
Specific heat (J/kg K ⁻¹)	473	710-830	816
Density (kg/m ³)	7801	1740	2000

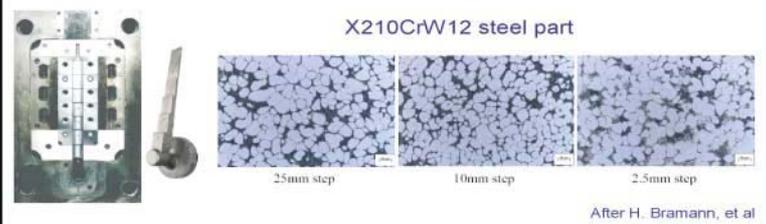
Diecasting Day 2006A. Pola21

Superleghe base Co Acciaio






X210CrW12 steel part



25mm step 10mm step 2.5mm step

After H. Bramann, et al

Diecasting Day 2006A. Pola25

Gold ?




As-received Longitudinal	860 °C	865 °C	868 °C
			
As-received Transverse	860 °C	865 °C	868 °C
			

Diecasting Day 2006A. Pola26

vece ha un comportamento opposto, o meglio, a parte una percentuale intorno all'1%, determina un decremento della colabilità e della fluidità indipendentemente dalla temperatura, quindi anche alzando la T° la pre-

senza di ferro in percentuale elevata non determina un miglioramento della colabilità. Altri studi che sono stati condotti sono stati fatti sui contenitori per l'iniezione soprattutto volti a determinare

un sistema di termoregolazione del contenitore che migliorasse le prestazioni e questo perché la parte bassa del contenitore è quella che resta in contatto con il metallo liquido per più tempo rispetto alla parte superiore, quindi ci sono delle deformazioni, delle ovalizzazioni del contenitore dovute a questo ΔT fra la parte bassa e la parte alta; ovalizzazioni che non si hanno invece nel pistone che determina una maggiore usura della parte interna dello stesso contenitore. A questo si aggiungono le differenze di temperatura tra la parte di testa e la parte posteriore del contenitore che danno origine a delle deformazioni di tipo flessionale.

E' stato quindi monitorato un contenitore con 18 termocoppie misurando poi la variazione di temperatura dell'acqua di raffreddamento del pistone e sono stati poi analizzati i risultati delle termocoppie su più cicli. Quello che si è constatato è che nella zona dove il metallo viene versato vicino alla bocchetta di ingresso del metallo, la T° del contenitore supera quella che è la T° dei trattamenti termici e termochimica, cioè si supera la T° di bonifica con il risultato che si perdono ovviamente gli effetti del trattamento termico e si supera anche la T° di nitrurazione con il risultato che è il trattamento termochimico che viene fatto per aumentare la resistenza usura e la durezza del materiale. Questo spiega che l'effetto di maggior usura della zona di caduta del metallo non è dovuto solo ad un fenomeno di contatto meccanico, quindi alla caduta del materiale, ma proprio al fatto che ci sia una riduzione notevole delle prestazioni a seguito dell'aumento di T° così elevato. Si è visto poi che nella zona di testa, vicino ai canali del ramo di colata, vi è una parte molto più calda rispetto ad un'altra parte che risente dell'effetto raffreddante della conto colata e andando a vedere nella parte inferiore del contenitore si nota una T° più elevata vicino alla zona di versamento e una T° più bassa vicino ai canali di colata con un comportamento completamente opposto invece per quanto riguarda la parte alta del contenitore. Sono state proposte quindi delle soluzioni al sistema e poi sulla scorta dei risultati ottenuti da questa prima modifica ne sono state suggerite delle altre come l'utilizzo di sistemi di termoregolazione appropriati. Altri studi poi che si stanno facendo presso il nostro Ateneo si riferiscono

alla caratterizzazione degli acciai per stampi con metodi non convenzionali, in particolare si stanno utilizzando tecnologie come la dissoluzione o le microdiffrazione ottenibile mediante apparecchiatura disponibile al Sincrotrone di Desbury per studiare i carburi precipitati degli acciai di dimensioni nanometriche. Per adesso quello che è stato fatto, è stata una caratterizzazione di questi carburi in termini di morfologia, quindi della forma che questi assumono, della dimensione e della loro composizione chimica al fine di verificare poi, facendo subire diversi trattamenti termici e cicli termici agli acciai, se questi carburi di dimensioni nanometriche possono, per effetto delle variazioni di T° subite dallo stampo, formare aggregati più grossi quindi diventare deleteri per lo stampo unitamente poi alla formazione di precipitati infragidenti a bordo grano come posso essere i composti col fosforo.

Uno degli ultimi argomenti che andrò ad illustrare per quanto riguarda il nostro Ateneo è lo studio dei refrattari, dei forni fusori. E' noto infatti che circa il 4% della carica che viene inserita in un forno, viene persa a seguito di fenomeni di ossidazione legati sia alla formazione di scoria, di pellicole di ossido o di inclusioni non metalliche nel bagno e una parte anche alle reazioni che il metallo fa con i refrattari del forno fino a formare il corindone; Quest'ultima causa è quella che viene studiata da un gruppo del nostro Ateneo che sta appunto studiando gli effetti della reazione dei refrattari con l'alluminio utilizzando una strumentazione che consiste in un forno a vuoto in cui, mediante un sistema diffrazione di raggi X si cercano di studiare le reazioni che avvengono.

Il primo risultato molto importante che è stato trovato, è che effettivamente quella che si ipotizzava essere la reazione che avviene tra i refrattari e l'alluminio in realtà avviene in questo modo e quello che si sta facendo adesso è di ottimizzare i refrattari cercando di ridurre il più possibile la perdita di ossidazione dell'alluminio a seguito appunto della reazione con i refrattari. Ci sono poi altre numerose ricerche fatte a livello nazionale sull'alluminio, sulla pressocolata, quasi tutte rivolte o all'innovazione, quindi a nuove leghe piuttosto che a caratterizzazioni di nuove tecnologie. A livello internazionale vi cito come esempio l'università di Sheffield, perché è una delle università più famose,



Altri argomenti di ricerca a livello internazionale ...

- Application of a new analytical method for the assessment of the grain refinement of light alloys (University of Queensland, Australia)
- Fluctuations of alloy composition and their influence on sponge effect and fluidity of A356-NRC (LKR, Austria)
- Influence of HPDC parameters on the structure of [Mg] alloys (CAST, Australia)
- New heat resistant Al alloys (EDAS, Al Reinfelden) => AlMg3Si1+Sc, Zr o Cu
- Novel and advanced solidification process for the manufacture of high integrity Al cast components (Metal Processing Institute, USA)
- Evaluation of HTC between alloys and die (CEIT, Spain)
- ecc....

Diecasting Day 2006

A. Pola

28



La ricerca nazionale ed internazionale sembra orientata verso lo studio di leghe e/o processi innovativi.

A livello locale si sta cercando di spingere la ricerca sia verso l'innovazione sia verso la comprensione e quindi l'ottimizzazione delle tecnologie tradizionali, grazie anche al contributo di molte aziende del territorio.

annalisa.pola@ing.unibs.it

Diecasting Day 2006

A. Pola

29

qui sembra essere l'argomento di maggior interesse legato ancora al semisolido non solo dell'alluminio ma per lo più all'utilizzo di leghe e di metalli e di materiali alternativi.

In particolare materiali alternativi per lo stampo con degli inserti in grafite o in ceramica che, avendo una conducibilità termica completamente diversa rispetto a quella del classico acciaio per stampi, permettono in sostanza di termoregolare lo stampo con risultati molto buoni perché sono state fatte le simulazioni per verificare il comportamento sul raffreddamento, sulla previsione dei difetti sia poi una verifica sul pezzo prodotto effettivamente con questo tipo di materiali.

L'altro argomento che sembra essere molto interessante a livello internazionale è l'utilizzo, con la tecnologia del semisolido, di metalli alto fondenti quali possono essere le superleghe base cobalto piuttosto che gli acciai, come gli acciai inox fino addirittura

ad arrivare a pressocolare l'oro o il titanio che sembra essere uno dei metalli più promettenti per quanto riguarda le caratteristiche meccaniche.

Qui vedete poi un'altra panoramica di quelle che sono le ricerche a livello internazionale che si possono trovare in letteratura sia in Europa, che in America che in Australia, e come vedete la maggior parte sono legate per lo più alla scelta di nuove leghe alto resistenti, che resistono ad alte T° , che abbiano buona resistenza usura, che siano applicabili al semisolido o in magnesio oppure all'utilizzo di nuove tecnologie.

Quindi la ricerca che si svolge presso il nostro Ateneo si colloca perfettamente in quello che è il quadro internazionale con l'aggiunta però di un tentativo di comprendere il più possibile quella che è la tecnologia tradizionale per poterla ottimizzare, questo grazie anche al contributo di numerose aziende del territorio che ci hanno supportato in questa ricerca.