

POLITECNICO DI TORINO

**Corso di laurea Magistrale
in Ingegneria dei Materiali**

Tesi di laurea Magistrale

**Studio di difetti in componenti in lega di alluminio prodotti mediante
colata a pressione con particolare riferimento alle porosità in filettature**



Relatore

prof. Roberto Doglione

firma del relatore

.....

Candidato

Macrì Flavio
matricola 219772

firma del candidato

.....

A.A. 2018

Sommario

| | |
|---|----|
| INTRODUZIONE | 3 |
| Parte Prima: LA LEGA | 6 |
| ORIGINI E CARATTERISTICHE DELL'ALLUMINIO..... | 6 |
| METALLURGIA | 6 |
| PROPRIETÀ | 7 |
| PROCESSO PRODUTTIVO | 8 |
| LEGA PRIMARIA E SECONDARIA..... | 8 |
| PROPRIETA' TERMO-MECCANICHE TIPICHE DI PRINCIPALE IMPORTANZA DELLA LEGA 46000 (NORME SAE)..... | 12 |
| DIAGRAMMA DI FASE AL-SI | 13 |
| Parte seconda: FASI E CARATTERISTICHE PRINCIPALI DEL PROCESSO FUSORIO | 15 |
| ROTTAME..... | 15 |
| CARICA ROTTAME..... | 16 |
| COLATA..... | 17 |
| APPROVVIGIONAMENTO | 19 |
| DIFETTI TIPICI DELLA PRESSOCOLATA..... | 23 |
| Porosità..... | 23 |
| Ritiri e cavità | 23 |
| FLUIDITÀ DELLA LEGA..... | 25 |
| STAMPO..... | 26 |
| LUBRIFICAZIONE | 27 |
| FUNZIONE SEPARANTE | 28 |
| FUNZIONE LUBRIFICANTE | 29 |
| LUBRIFICAZIONE STATICA | 30 |
| LUBRIFICAZIONE DINAMICA | 31 |
| LUBRIFICAZIONE DELLE PARTI MOBILI DELLO STAMPO | 31 |
| FUNZIONE RAFFREDDANTE | 32 |
| FUNZIONE ATTUTENTE..... | 33 |
| AGGANCIO DEI PRODOTTI ATTIVI ALLO STAMPO | 34 |
| DEGRADO E DISTRUZIONE DEL FILM | 36 |
| AZIONE USURANTE DELLO SCORRIMENTO DI LEGA SUL FILM | 37 |
| ASCIUGATURA DEL LUBRIFICANTE ED EVACUAZIONE DELL'ARIA..... | 37 |
| SISTEMI DI LUBRIFICAZIONE AUTOMATICI..... | 39 |
| MATERIALI PER LA LUBRIFICAZIONE | 41 |

| | |
|--|----|
| Parte terza: APPROCCIO AL PROBLEMA SPECIFICO, STADI DELLA FASE SPERIMENTALE | 45 |
| 1. IL COMPONENTE | 45 |
| 2. CLASSIFICAZIONE E STATISTICA DELLE POROSITA' NEL COMPONENTE | 47 |
| 2.1. RUOLO DEL LUBRIFICANTE (remind)..... | 50 |
| 3. NORME/LINEE GUIDA DI ACCETTABILITA' INTERNA DI PEZZI CONTENENTI POROSITA' | 50 |
| 3.1 DETERMINAZIONE FORZA DI TRAZIONE APPLICATA | 52 |
| 4. PROGETTAZIONE AFFERRAGGIO PROVE DI TRAZIONE | 53 |
| 4.1 SPECIFICHE PRINCIPALI ACCIAIO 34CrNiMo6 | 53 |
| 5. PROVE MECCANICHE SU CAMPIONI CONTENENTI FORI FILETTATI ESTRATTI DAI COMPONENTI Fondalpress | 57 |
| 6. RISULTATI PROVE MECCANICHE | 58 |
| 7. CONCLUSIONI..... | 62 |
| Parte quarta: SVILUPPI FUTURI..... | 65 |
| BIBLIOGRAFIA ESSENZIALE | 69 |
| Appendice: Grafici ottenuti dalle prove di trazione | 70 |

INTRODUZIONE

Il processo di pressocolata consiste nel versare in forme permanenti d'acciaio leghe di Al, Mg, Zn allo stato liquido e trova convenienti applicazione per getti che richiedono una buona finitura superficiale, una forma complessa con discreti valori di caratteristiche meccaniche e con caratteristiche dimensionali costanti, e produzioni in serie di grandi quantità per giustificare i grossi investimenti in impianti ed attrezzature.

Il processo si divide in:

- pressocolata a camera calda, con gruppo iniezione immerso nel forno, per la fusione di leghe a basso punto di fusione e poco aggressive all'acciaio come Ottone e Zama;
- pressocolata a camera fredda, con gruppo iniezione esterno al forno, per la fusione di leghe aventi un punto di fusione relativamente alto come Al (660°C) e Mg (650°C) per realizzare getti di grandi dimensioni come ossature di plance, schienali, radiatori, oggetti di arredamento, componentistica del motore, etc.

In questo volume ci si è dedicati al processo di pressocolata a camera fredda orizzontale utilizzato presso l'azienda Fondalpress S.p.A. Via Statale, 27 – 14033 – Castell'Alfero (Asti), impegnata nella produzione di scatole cambio, scatole trasmissione e supporti motori in lega di Al.



Figura 1 Ingresso dello stabilimento presso località Castell'Alfero (AT)

Le fasi essenziali del processo fusorio si possono così riassumere:

1. Riempimento dello stampo con versamento della lega fusa nel contenitore d'iniezione, iniezione del metallo nella cavità dello stampo, aumento della pressione sul metallo in fase di solidificazione;
2. Fuoriuscita dell'aria dalla cavità per evitare che essa venga inglobata nel getto, dando luogo al fenomeno indesiderato della porosità;
3. Solidificazione del metallo con modalità diverse, secondo l'intervallo di solidificazione, temperatura del metallo, spessori del pezzo e tipo di lega;
4. Estrazione del getto allorché la sua temperatura sia scesa a valori di $250\div 350^{\circ}\text{C}$, per evitare possibili deformazioni;
5. Lubrificazione dello stampo, effettuata allo scopo di facilitare l'estrazione del pezzo, impedire la saldatura tra Al e stampo, isolare termicamente il metallo fuso durante la fase di riempimento del getto, impedendo una solidificazioni troppo anticipata.

I principali vantaggi del processo sono:

- l'iniezione è molto rapida, impiegando una pressione di alimentazione elevata;
- la solidificazione è molto rapida e consente di ottenere una microstruttura fine;
- le leghe di impiego in pressocolata hanno una percentuale di Si intorno al valore eutettico e quindi sono caratterizzate da un intervallo di solidificazione limitato;
- l'economicità del singolo getto prodotto.

I principali svantaggi del processo sono invece:

- genesi non complessa e quindi la non possibilità di realizzare getti con angoli in sottosquadro;
- presenza, nella matrice di Al, di aria inglobata durante l'iniezione, che può portare a caratteristiche meccaniche non elevate.

Quest'ultima caratteristica ha come effetto negativo l'impossibilità di effettuare, sui getti pressocolati, successivi trattamenti termici che richiedano il riscaldamento oltre i 300°C . Infatti all'aumentare della temperatura la bolla di gas rimasta imprigionata nella superficie solida a volume costante subisce un aumento di pressione e contemporaneamente le caratteristiche della lega diminuiscono: la concomitanza di

questi due fenomeni può causare la frattura di pareti di pori adiacenti e dare origine a delle microfessure, che possono ridurre la vita dei componenti sollecitati. Questo fenomeno è dovuto principalmente alla solubilità dell'idrogeno, presente nel vapore acqueo e nella matrice metallica in fase liquida.

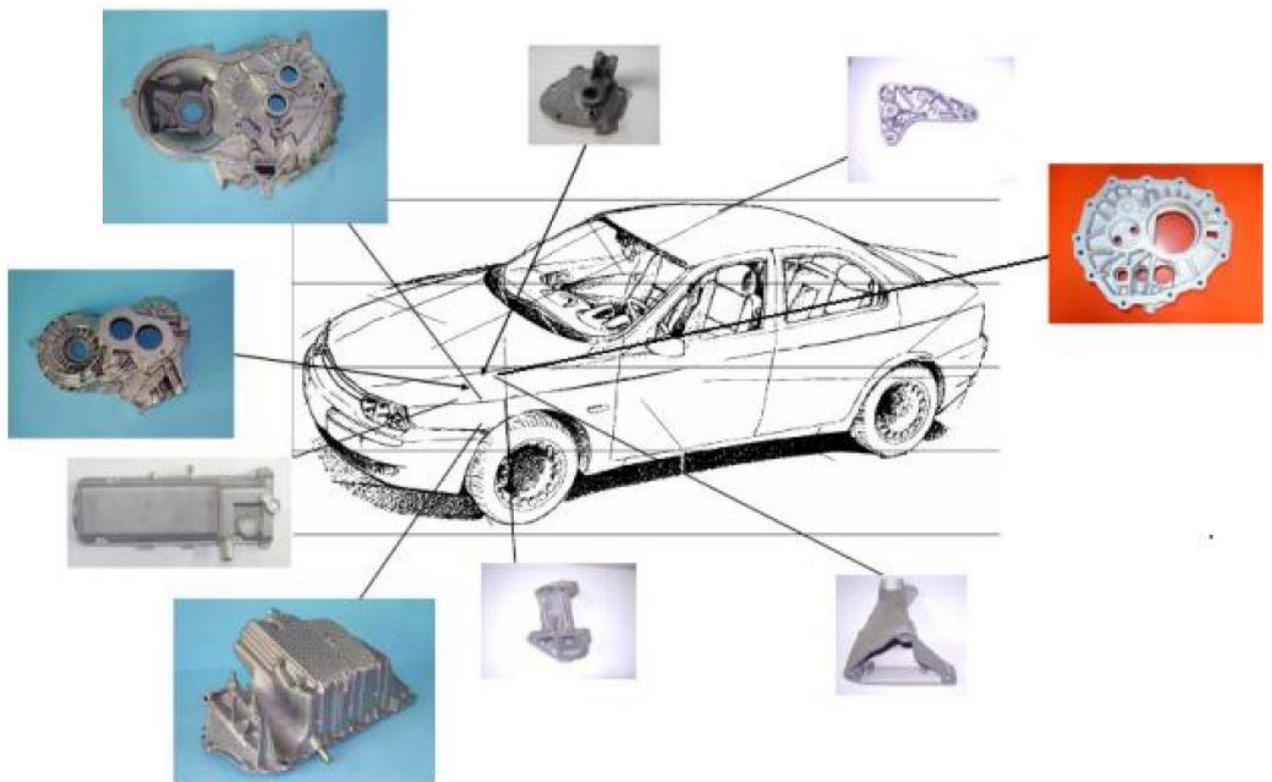


Figura 2 Esempi di componenti in alluminio presenti in una generica automobile

Parte Prima: LA LEGA

ORIGINI E CARATTERISTICHE DELL'ALLUMINIO

L'alluminio è il terzo elemento, dopo l'ossigeno e il silicio, per diffusione sulla terra, e costituisce l'8% in peso della litosfera [5]. Il più significativo minerale che lo contiene è la bauxite ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$).

Scoperto all'inizio del XIX secolo, fu per diversi decenni utilizzato nella produzione di oggettistica di lusso; infatti, le notevoli spese energetiche di produzione lo rendevano un metallo prezioso quanto i metalli nobili.

Nel 1886 fu messo a punto il processo di Hall-Héroult per mezzo del quale si è reso possibile l'isolamento del contenuto di alluminio a partire dalla bauxite. In seguito questa procedura è stata ripresa e perfezionata da Bayer, il quale è riuscito a renderla applicabile anche in un contesto industriale.

Ben presto si scoprì che era possibile, tramite l'aggiunta di elementi in lega, esaltare diverse caratteristiche di questo metallo in modo tale da sostituire, seppur parzialmente, l'acciaio, specie nei settori automobilistico e aeronautico.

Nel 1910 si cominciarono ad effettuare i primi trattamenti termici sui cosiddetti durallumini (leghe alluminio-rame) ottenendo caratteristiche meccaniche paragonabili alle leghe ferrose, mantenendo però i vantaggi delle leghe di alluminio.

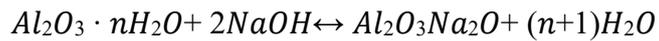
Agli albori del 1920, a seguito della scoperta delle eccellenti proprietà fusorie delle leghe alluminio-silicio si ebbe la consacrazione definitiva di questi materiali in ambito industriale.

METALLURGIA

La procedura di isolamento del contenuto di alluminio risulta molto complesso e passa attraverso due processi successivi:

1. Bayer: processo con il quale si estrae l'allumina pura (Al_2O_3) dalla bauxite;
2. Hall-Héroult: elettrolisi dell'allumina in soluzione di criolite ($3\text{NaF} + \text{Al}_3\text{F}$)

Per ricavare l'allumina pura, la bauxite viene prima macinata ed essiccata, poi miscelata in apposite autoclavi con una soluzione concentrata di soda caustica (NaOH) in opportune condizioni di temperatura e pressione (150-200MPa e 200°C). In queste condizioni, l'alluminio solubilizza come alluminato sodico [6]:



Tramite un processo di decantazione, vengono eliminati i fanghi contenenti le impurezze presenti nella bauxite di partenza e si ottiene una soluzione acquosa, la quale viene fatta stazionare in appositi reattori chimici per un tempo di circa 100 ore;

a questa vengono aggiunti dei cristalli che fungono da centri di germinazione, giungendo così alla formazione di cristalli di idrossido di alluminio $Al(OH)_3$, che vengono infine separati e calcinati in forni rotativi a $1200^\circ C$. Ciò porta all'ottenimento di allumina ad elevata purezza, con un consumo energetico di circa 0,5 t di carbone per ogni 1000 kg di prodotto. Da questa, disciolta in criolite in ragione dell'8-10% al fine di ridurre la temperatura di funzionamento della cella, si ricava l'alluminio puro per elettrolisi. Regolando la distanza fra gli elettrodi, la corrente, per effetto Joule, mantiene la temperatura sui valori necessari ($960-980^\circ C$). Durante l'elettrolisi, il metallo si deposita sul catodo (fondo), mentre l'ossigeno, liberandosi, muove verso l'anodo consumandolo rapidamente per combustione. L'alluminio fuso che si deposita sul fondo della vasca viene prelevato tramite un sistema di aspirazione a vuoto, il quale consente di evitare ogni tipo di rimescolamento.

L'alluminio così ottenuto ha un grado di purezza minimo del 99% (Fe e Si sono i principali elementi che costituiscono le impurezze). Nel caso si voglia ottenere una purezza del 99,99%, si procede ad una raffinazione mediante una seconda elettrolisi su alluminio fuso in una miscela di cloruri e fluoruri a circa $750^\circ C$ [7].

Il costo energetico, necessario per la produzione di 1kg di alluminio puro a partire da 4 kg di bauxite, è di circa 20-25 kWh.

PROPRIETÀ

L'alluminio è un metallo bianco brillante che cristallizza nel sistema cubico a facce centrate, con dimensione reticolare pari a $4.04 \cdot 10^{-9}$ mm; è caratterizzato, inoltre, da una temperatura di fusione di $660.4^\circ C$, un calore specifico di 0.94 kJ/kg·K, un calore latente di fusione di 394.5 kJ/kg e da una conduttività termica di 238 W/m·K .

Questo metallo presenta delle proprietà come una bassa densità, un'ottima conducibilità termica, un'elevata plasticità, notevole colabilità e la possibilità di raggiungere elevate caratteristiche meccaniche quando legato con altri metalli, le quali hanno favorito la diffusione dell'alluminio su larga scala industriale.

In particolare la colabilità dell'alluminio, ma soprattutto delle sue leghe, è tale che questi metalli costituiscono oggi una delle principali classi di materiali da fonderia.

PROCESSO PRODUTTIVO

La tecnologia di fusione e raffinazione della lega di Al si è sviluppata in seguito all'evoluzione del processo produttivo della fonderia; fino a qualche tempo fa non era posta particolare attenzione, se non per processi e prodotti estremamente qualificati, alla qualità metallurgica ed ai costi di fusione ma ci si focalizzava solo sulla quantità di metallo fuso. L'utilizzo dell'Al nel mercato automobilistico ha imposto di rivedere completamente la politica e la tecnica per l'ottenimento di queste leghe.

Il capitolo seguente vuole fornire una descrizione sull'arte e sulla tecnica di produzione di leghe di Al secondarie utilizzate nella pressocolata, dal parco rottame al prodotto raffinato e pronto per colare nello stampo.

LEGA PRIMARIA E SECONDARIA

L'Al di prima fusione è ottenuto direttamente dalla riduzione elettrolitica dell'ossido di Al, che ha un titolo medio del 99,5% ma, senza trattamenti opportuni, ha limitate caratteristiche meccaniche; inoltre i costi di acquisto sono elevati e quindi è poco usato in applicazioni industriali.

L'Al di seconda fusione, usato invece abbondantemente per applicazioni industriali, è ottenuto dalla rifusione e dal recupero di rottami, ritagli, sfridi etc., con l'aggiunta di eventuali elementi di lega che migliorano la lavorabilità e la resistenza.

Le leghe adottate in pressocolata sono prevalentemente leghe secondarie ottenute dalla rifusione di rottami; in pressocolata è richiesto che la lega abbia come proprietà principale una temperatura di fusione inferiore ai 700°C, affinché si possano utilizzare stampi in acciaio, lavorati alle macchine utensili con estrema precisione dimensionale e buona finitura superficiale.

L'impiego di leghe di Al comporta:

- ridotto intervallo di solidificazione, pari, per alcune particolari leghe, a pochi gradi centigradi;
- elevata affinità con l'umidità presente in atmosfera;

- elevata affinità con l'O₂ presente in atmosfera, causando la formazione di ossidi di Al nel bagno metallurgico se questo non è protetto.

Queste leghe presentano una bassa densità relativa che varia in funzione della quantità di elementi leganti, assumendo valori prossimi a quella dell'alluminio puro.

Oltre alla massa ridotta, queste leghe combinano buone caratteristiche meccaniche e ottime proprietà fusorie, quali: basse temperature di fusione, trascurabile solubilità dei gas (eccetto l'idrogeno), ottima colabilità, buona lavorabilità e buona resistenza alla corrosione.

Sono però da prendere in considerazione anche alcuni aspetti negativi di queste leghe, che si identificano nei difetti fusori: film e bi-film di ossidi, micro e macro cavità da ritiro e porosità da gas. Tuttavia, la problematica principale durante un processo di colata è l'influenza delle condizioni di solidificazione sulla microstruttura finale, che a sua volta regola il comportamento meccanico statico e a fatica.

Uno dei maggiori inconvenienti dei getti in lega di alluminio è rappresentato dal ritiro volumetrico, compreso tra il 3.5% e l'8.5%, che si presenta durante la solidificazione; tale coefficiente di ritiro deve essere preso in considerazione a partire nella progettazione dello stampo in modo da ottenere quell'accuratezza dimensionale che consenta di evitare la formazione di cricche a caldo e cavità da ritiro.

Le proprietà fisiche e meccaniche dei getti in alluminio possono subire alterazioni attraverso:

- **Composizione chimica** – La composizione della lega è strettamente correlata a quelle che sono le proprietà fisiche e meccaniche del componente che verrà realizzato; in tal senso, l'interazione con gli elementi leganti promuove una fase microstrutturale che presenti determinate caratteristiche. Una grande varietà di elementi in lega possono essere aggiunti all'alluminio [9]. Gran parte degli elementi sono solubili nell'alluminio, tuttavia silicio, rame, magnesio, manganese e zinco sono gli alliganti più comunemente utilizzati per la produzione delle leghe di alluminio.
- **Velocità di raffreddamento** – Le condizioni attraverso le quali ha luogo la solidificazione di una lega determinano le caratteristiche strutturali che influenzano le proprietà fisiche e meccaniche della lega stessa.

- Processo di colata – In ambito industriale, vi sono diversi tipi di processi di colata, ognuno dei quali è caratterizzato da diversi gradi di asportazione del calore e diverse velocità di solidificazione.
- Trattamenti termici – Trattamenti termici post-solidificazione sono in grado di alterare le proprietà meccaniche del getto.

Si è deciso di prendere in considerazione due tra le molteplici leghe di Al presenti sul mercato essendo attualmente le più utilizzate in pressocolata: 46000 e 46100. Esse coprono circa l'80÷85% dei volumi di utilizzo nel mercato europeo della pressocolata.

| NOMENCLATURA | | |
|--------------|----------|--------------------|
| 46000 | UNI 5075 | EN AB-AlSi9Cu3(Fe) |
| 46100 | UNI 5076 | EN AB-AlSi11Cu2 |

Tabella 1 Corrispondenza tra le diverse nomenclature

| Lega | Si | Mg | Cu | Zn | Ni | Cr | Fe | Mn |
|--------------|-----------|-----------|---------|---------|---------|---------|-----------|---------|
| 46000 | 8,0÷11,0 | 0,15÷0,55 | 2,0÷4,0 | 1,20max | 0,55max | 0,15max | 0,60÷1,10 | 0,55max |
| 46100 | 10,0÷12,0 | 0,30 max | 1,5÷2,5 | 1,70max | 0,45max | 0,15max | 0,45÷1,00 | 0,55max |
| Lega | Ti | Pb | Sn | Ca | Na | Sb | Impurità | Al |
| 46000 | 0,20max | 0,35 max | 0,25max | 160ppm | 0,1max | 0,05max | 0,25 max | resto |
| 46100 | 0,25 max | 0,25 max | 0,25max | - | - | - | 0,25 max | resto |

Tabella 2 Composizione chimica delle principali leghe usate in pressocolata

| Lega | R _m [Mpa] | R _{p 02} [Mpa] | A% | Durezza [HB] |
|--------------|----------------------|-------------------------|-----|--------------|
| 46000 | 220 | 150 | 1,0 | 85 |
| 46100 | 270 | 160 | 1,0 | 85 |

Tabella 3 Caratteristiche meccaniche minime delle due leghe usate in pressocolata (riferite al grezzo di colata)

Queste leghe di Al utilizzano le stesse materie prime e sono ideali per il processo di pressocolata poiché hanno:

1. ciclo di raffinazione molto simile;
2. bassa temperatura di fusione, avendo una percentuale di Si prossima all'eutettico che diminuisce la temperatura di fusione;
3. elevata colabilità per riempire la cavità dello stampo, riproducendo esattamente i getti richiesti con buone caratteristiche fisiche e meccaniche anche in presenza di forme o geometrie complesse e sottili;
4. una discreta resistenza meccanica a caldo che permette all'operatore di poter estrarre i getti dallo stampo ad una temperatura di 260÷290°C, maneggiarli senza incorrere in danneggiamenti di forma e sbavarli con utensili;
5. formazione di strutture eutettiche che portano alla creazione di strutture di elevata finezza utilizzando un rapido raffreddamento.

Consideriamo adesso i principali elementi che vanno a modificare le caratteristiche di queste leghe di Al, valutando i pro e i contro.

La presenza del Fe (max 1,1%) rende meno aggressiva la lega di Al nei confronti degli stampi e delle altre parti in acciaio, riduce il rischio di metallizzazioni, favorisce l'estrazione del getto e migliora la resistenza agli strappi a caldo del pressocolato.

La presenza dello Zn (max 1,7%) migliora la resistenza meccanica, aumenta la lavorabilità alle macchine utensili, favorisce la plasticità, ma induce il getto ad una fragilità a caldo, favorendo anche la corrosione.

La presenza del Mg (max 0,3%) aumenta la durezza, accresce il carico di rottura, migliora la resistenza alla corrosione, favorisce la lavorabilità e la lucidabilità ma diminuisce la colabilità aumentando la fragilità di ritiro.

Gli altri principali elementi disciolti nel bagno di Al che devono essere maggiormente controllati durante le varie fasi sono: Si e Cu.

Principali applicazioni di queste leghe sono: parti per macchine pulitrici, componenti per l'industria automobilistica ed elettrica, come parti di motori ed alloggiamenti.

Hanno bassa saldabilità e discreta resistenza alle elevate temperature. Tuttavia risultano essere le leghe più usate in fonderia.

**PROPRIETA' TERMO-MECCANICHE TIPICHE DI PRINCIPALE
 IMPORTANZA DELLA LEGA 46000 (NORME SAE)**

Proprietà Meccaniche

- Resistenza a trazione:** 330 Mpa
- Tensione di snervamento:** 165 Mpa
- Allungamento a rottura:** 3%
- Resistenza al taglio:** 195 Mpa
- Modulo elastico:** E, 71 Gpa; G, 26.5 Gpa
- Resistenza alla fatica:** A 5×10^8 cicli,
138 Mpa
- Densità:** 2.71 g/cm³ a 20 °C (68°F)

| Temperature | | Tensile strength | | Yield strength | | Elongation, % |
|-------------|-----|------------------|-----|----------------|-----|------------------|
| °C | °F | MPa | ksi | MPa | ksi | |
| 24 | 75 | 330 | 48 | 165 | 24 | 3 |
| 100 | 212 | 310 | 45 | 165 | 24 | 4 |
| 150 | 300 | 235 | 34 | 150 | 22 | 5 |
| 205 | 400 | 165 | 24 | 110 | 16 | 8 |
| 260 | 500 | 90 | 13 | 55 | 8 | 20 |
| 315 | 600 | 50 | 7 | 30 | 4 | 30 |

Tabella 4 Tipiche proprietà a trazione di una lega 46000 a elevate temperature

Proprietà termiche

- Temperatura Liquido:** 595 °C
- Temperatura solido:** 540 °C
- Coefficiente di espansione termica:** (Da 20 a 200 °C) 22.0 µm/m · K
- Calore specifico:** 963 J/kg · K a 100 °C
- Calore latente di fusione:** 389 kJ/kg
- Conduttività termica:** 96.2 W/ m · K a 25 °C
- Temperatura di fusione:** 650 ÷ 760 °C
- Temperatura di colata:** 635 ÷ 705 °C
- Temperatura di ricottura** (per aumentarne la duttilità): 260 ÷ 370 °C, dalle 4 alle 6 h; raffreddamento all'aria
- Temperatura di rilassamento:** 175 ÷ 260 °C, dalle 4 alle 6 h; raffreddamento all'aria

DIAGRAMMA DI FASE AL-SI

L'analisi microstrutturale di una lega passa attraverso lo studio del diagramma di stato, un grafico nel quale sono indicate le fasi di un sistema al variare di pressione e temperatura. Questo strumento consente di comprendere i processi che avvengono in seno alla lega durante il processo di colata e durante i trattamenti termici.

Data la complessità della composizione chimica delle leghe impiegate nei processi fusori, si utilizza un diagramma di fase semplificato che prende in considerazione soltanto il sistema eutettico binario Al-Si:

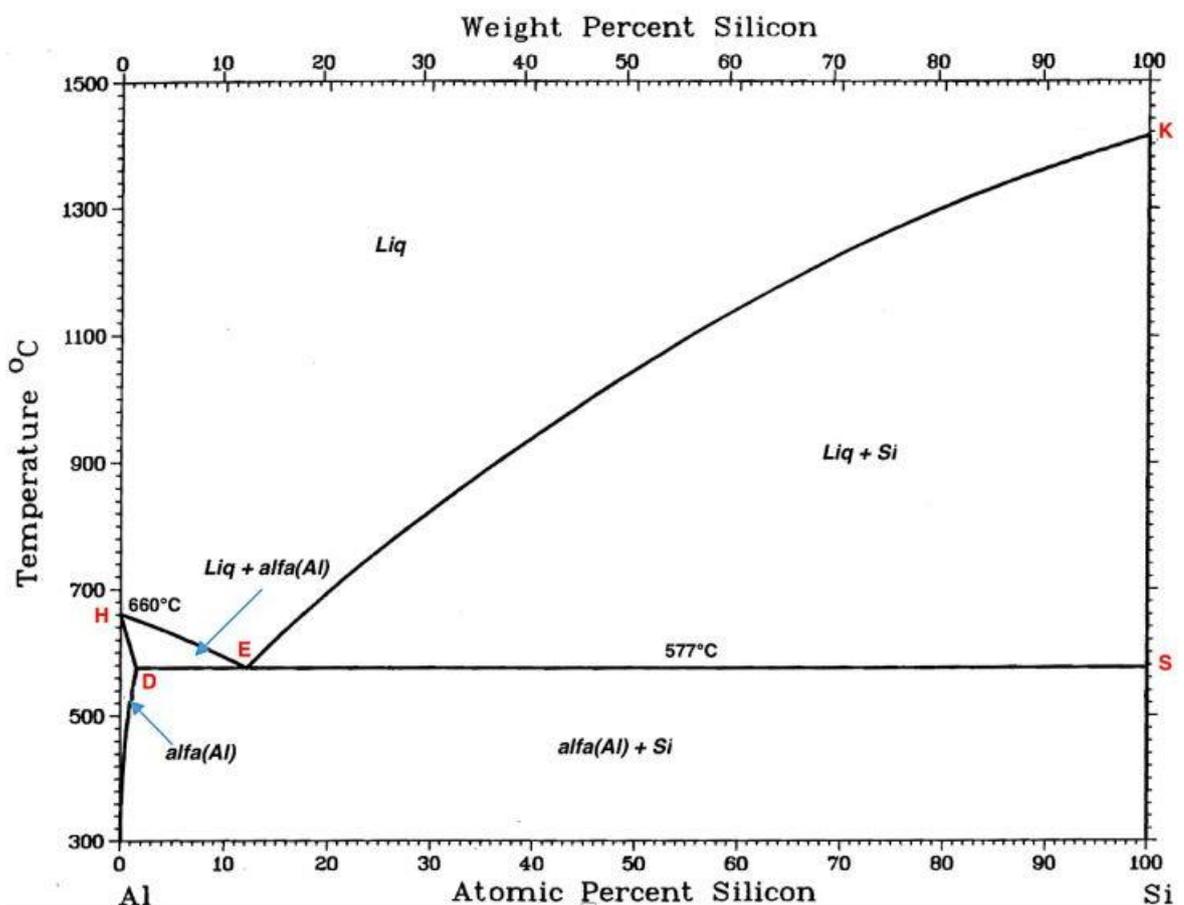


Figura 3 Diagramma di fase Al-Si

Nella zona alta del grafico, sopra la spezzata HEK, si ha il campo di esistenza della sola fase liquida, mentre il punto E rappresenta l'eutettico.

La spezzata HDO racchiude il campo di esistenza della soluzione solida α del silicio nell'alluminio. All'aumentare della temperatura, aumenta la % di silicio che può essere sciolta in soluzione solida nel reticolo cristallino dell'alluminio.

Il triangoloide HDE racchiude, invece, il campo bifasico di equilibrio tra la fase solida α di alluminio e la fase liquida.

In base alla composizione chimica, si può fare la seguente classificazione delle leghe Al-Si:

- *Lega ipoeutettica: a sinistra dell'eutettico con $< 11.7\% \text{ Si}$*
- *Lega eutettica: composizione chimica pari a $11.7\% \text{ Si}$*
- *Lega ipereutettica: a destra dell'eutettico con $> 11.7\% \text{ Si}$*

Parte seconda: FASI E CARATTERISTICHE PRINCIPALI DEL PROCESSO FUSORIO

ROTTAME

La materia prima è principalmente costituita da vecchi rottami di leghe di Al che hanno terminato il loro ciclo di vita (carter di autovetture, radiatori, cerchioni, pentolame, etc), da nuovi rottami di leghe di Al che provengono dalla fonderia (sfridi, boccame, materozze, canali di colata, etc) e da vecchi rottami di Al primario (lattine pressate). Una prima classificazione del rottame, quando arriva presso la raffineria di Al, viene eseguita in accettazione, in base alla dimensione. Si distinguono in questo modo pezzature fini di Al (spezzettato, frantumato, flottato, torniture varie) da rottame di grandi dimensioni (carter, radiatori, cerchioni, pentolame, stoviglie, vasellame, lastre pressate).

Di norma le aziende che raccolgono e poi vendono il rottame eseguono una preselezione ed una classificazione in modo che sia possibile acquistare il rottame desiderato già cernito.

Con l'arrivo del rottame in raffineria, e dopo la verifica del peso, viene eseguito un controllo sulla qualità prelevando dei campioni ed analizzandoli, per identificare gli elementi nocivi e la composizione chimica (in gergo si parla di calo¹) e quantificare la resa di fusione che corrisponde alla percentuale di prodotto finito. Queste operazioni sono eseguite in manuale da un addetto alla campionatura utilizzando dei piccoli fornelli di fusione.¹

A partire dalle analisi eseguite e dal tipo di lega che si vuol ottenere si determina il mix di carica scegliendo tra il parco rottame disponibile i materiali opportuni nelle quantità ottimali.

Un buon parco rottame deve essere custodito in un ambiente protetto, privo di umidità e con assenza di residui oleosi; è buona norma far acclimatare all'interno della raffineria il materiale prima di inserirlo nel forno, per evitare grosse dispersioni termiche durante la carica del forno e quindi migliorare il rendimento energetico.

¹ Di norma il calo tra il rottame da fondere ed il prodotto finito è del ordine del 5÷6%.

CARICA ROTTAME

Tutti i materiali di piccola pezzatura (torniture, flottato, frantumato e spezzettato) vengono inseriti in una tramoggia e caricati in un essiccatore rotante al cui interno agisce un sistema di coclee interne per l'avanzamento del materiale.

All'inizio della tramoggia, inoltre, è installata una griglia di sicurezza per non permettere a grossi rottami entrare nel ciclo.

La temperatura all'interno dell'essiccatore è di $150\div 300^{\circ}\text{C}$ ed è necessaria per eliminare la maggior parte dei materiali non metallici che fondono a basse temperature: vernici, oli, grassi, acqua ed inerti in questo modo vengono eliminati e non contaminano il bagno, abbassando la resa finale. I fumi che escono dall'essiccatore vengono raccolti e convogliati in un post-bruciatore che, lavorando a 850°C , riduce le componenti incombuste abbassando il potere inquinante dei fumi. Dopo l'essiccatore i rottami passano nel vibro-vagliatore, dove perdono la componente polverulenta; in seguito le polveri scorrono sotto un cilindro magnetico, che serve per separare le polveri di Al da quelle di Fe: è importante che le polveri di Al non entrino nel forno fusorio perché brucerebbero a contatto con il metallo fuso. I rottami vagliati scorrono sotto un altro cilindro magnetico che serve per separare gli inserti o le parti in Fe ancora presenti; in seguito, si ha la caduta dei rottami vagliati e puliti nel forno fusorio.

Per migliorare la produttività è possibile installare una pompa, realizzata in materiale refrattario, che crea un vortice nel metallo liquido: in questo modo i piccoli rottami appena inseriti vengono risucchiati al di sotto della superficie del metallo liquido, fondono con una velocità maggiore e non vengono a contatto con agenti ossidanti presenti nel forno.

Tutti i materiali di grossa pezzatura (carter, radiatori, cerchioni, etc.) vengono invece cerniti a mano mediante controllo visivo: si separano così dal rottame parti in Fe, Cu, Inox, etc.; in seguito il rottame di elevata dimensione, con l'aggiunta di materozze e canali di colata provenienti dagli scarti di fonderia, viene caricato tramite pala meccanica nel forno ad una temperatura di $650\div 700^{\circ}\text{C}$. L'utilizzo di forni rotativi permette di eliminare la componente di Fe, utilizzando tempi e temperature di processo diversi: il Fe non riesce a fondere e quindi viene trattenuto nella scoria e non viene poi inserito nel forno fusorio.

COLATA

La lega secondaria può essere fornita allo stato solido oppure allo stato liquido.

Mantenere la lega allo stato liquido genera vantaggi energetici (risparmi sui costi di colata e di rifusione), economici (non si ha il calo di fusione) e metallurgici (si hanno meno ossidi e lega più omogenea).

Nella fornitura allo stato liquido il metallo deve arrivare ad una temperatura di circa 720°C, ammettendo che il raffreddamento durante il trasporto debba essere di massimo 10°C/h.

La colata del metallo liquido avviene con il ribaltamento del forno e la raccolta nelle siviere riscaldate in precedenza; durante questa fase il liquido può essere depurato per eliminare le inclusioni: a tale fine si utilizzano filtri in materiale ceramico, in allumina, in carburi di Si o in grafite; una volta colato il metallo nella siviera è importante che essa venga chiusa prima del trasporto anche all'interno della fonderia.



Figura 4 Forno d'attesa

La fornitura in forma solida viene effettuata colando il liquido in una lingottiera per produrre panetti da rifusione. Per realizzare i lingotti si può spillare il liquido ad una temperatura più bassa ma è necessario preriscaldare le forme dei pani per eliminare ogni traccia di umidità e per limitare sbalzi termici. I lingotti così realizzati e solidificati vengono messi in pedane e successivamente reggettati e identificati con un cartello che indica conformità e indicazioni della colata.



Figura 5 Siviera appena riempita e pronta a sversare l'alluminio nel forno d'attesa

APPROVVIGIONAMENTO

Le fonti di approvvigionamento delle leghe di Al di una fonderia di pressocolata possono essere:

1. Approvvigionamento di lingotti certificati: all'arrivo dei pani, di circa 7 Kg di peso ciascuno ed in cataste di circa 1000 Kg regettate e fasciate con film di plastica, viene verificato il peso rispetto a quello dichiarato sul documento di trasporto; quindi si effettua in reparto un controllo dell'analisi chimica prima della fusione attraverso un test su un provino, sezionato e lucidato da un lingotto, utilizzando lo spettrometro ottico. Nel caso in cui i lingotti non superino il controllo si rifiuta la lega che viene stoccata in un'area asciutta per limitare il più possibile l'esposizione all'umidità presente nell'aria. In deroga si può accettare fino al 3% delle forniture settimanali che non superano il controllo, non consecutive, per ciascun fornitore di pani.
2. Approvvigionamento di lega liquida: circa il 50÷60% del fabbisogno potrebbe arrivare mediante lega liquida. Il materiale viene trasportato con appositi camion e consegnato in siviere isolanti della capacità variabile di 7÷17 t; prima dell'accettazione si deve controllare il peso dichiarato sul documento di trasporto, la temperatura (670÷770°C), la composizione chimica attraverso campioni prelevati da una siviera e analizzati con lo spettrometro, ed il controllo dei gas disciolti attraverso micrografie e controlli visivi su provini solidificati sotto vuoto. Il pelo del bagno che si forma nella siviera deve essere costituito solo dal naturale film di ossido di alluminio che fornisce una certa auto-protezione al materiale liquido; per verificare ciò è necessario che la siviera sia dotata di una bocchetta di ispezione.

3. Scarti interni e ritorni dalle linee: per questi specifici lotti, costituiti da scarti interni di processo e scarti derivanti dalle linee di lavorazione del cliente, la lega è già certificata ma è necessario controllare che i getti non abbiano impurità liquide come oli minerali e lubrificanti di lavorazione meccanica e che non abbiano inserti di acciaio o in altri metalli come dime, raccordi, tappi etc., che inquinano la composizione chimica del bagno.



Figura 6 Lingotti certificati divisi in cataste



Figura 7 Cassone contenente scarti di lavorazione pronti per essere rifusi



Figura 8 Siviera mentre viene riempita dal materiale fluido proveniente dal forno fusorio



Figura 9 Siviera mentre sversa il materiale (filtrato in superficie) nel forno di attesa

L'informativa di non accettabilità viene inviata al grossista di materia prima; in alcuni casi la fonderia può eseguire operazioni per sanare la non conformità ma i costi per tali operazioni saranno a carico del fornitore. In generale non sono accettate forniture con particelle radioattive: questa verifica viene eseguita secondo la normativa nazionale in vigore utilizzando contatori Gayger sui pani presenti in magazzino.

Per ottenere un miglioramento qualitativo ed una riduzione dei costi si deve stabilire un rapporto di collaborazione duraturo e di fiducia tra il fornitore della lega e la fonderia. Il ricorso a laboratori esterni qualificati avviene in caso di grosse contestazioni di analisi chimiche: i costi dovuti a tali analisi sono a carico di chi è competente sulla non conformità della lega.

La professionalità di un fornitore viene valutata anche in base alla presenza di una scorta di sicurezza, conservata presso la propria sede, per una eventuale consegna nel caso di un rifiuto di una normale fornitura.



Figura 10 Forno fusorio di grosso tonnellaggio

DIFETTI TIPICI DELLA PRESSOCOLATA

Porosità

La presenza di questo genere di difetti va ad influenzare, prevalentemente, le proprietà meccaniche e la finitura superficiale del getto.

Le porosità da gas si presentano come vuoti di forma sferica o ellissoidale (*vedi figura 11*) e i gas possono derivare dalla lega (presenza di idrogeno), dalla forma (vaporizzazione dei leganti o umidità) o aria inglobata dal metallo liquido che entra nella forma a forte velocità. Solo un'attenta analisi morfologica dei difetti può, pertanto, fornire le cause che hanno originato gli stessi.

Processi come il degassaggio in siviera, il riscaldamento prolungato delle attrezzature a contatto con il bagno, l'installazione di canali di sfiato dei gas dalle forme e l'aumento della pressione metallostatica, sono alcuni degli interventi più efficaci per far fronte a questo problema.

Le microporosità da ritiro si formano in prossimità delle zone inter-dendritiche e possono essere contrastate con il posizionamento di materozze.

Solitamente, i microritiri hanno luogo nelle zone caratterizzate da basse velocità di raffreddamento, quindi un aumento della velocità di raffreddamento o un miglior direzionamento del carico termico agiscono nel senso di ridurre questi fenomeni.

Ritiri e cavità

Questi difetti possono riscontrarsi nei punti in cui, per ragioni di varia natura, la temperatura si mantiene elevata (ad esempio sugli spigoli vivi del getto, in cui si verificano degli accumuli di calore). Le macroporosità si trovano in quelle zone del getto che solidificano per ultime, alle quali non viene fornito liquido di alimentazione. Le cavità, qualora non vengano generate dai ritiri, sono dovute alla presenza di materiale di formatura incluso nella sabbia. Più la solidificazione è direzionale e migliore sarà il risultato dal punto di vista delle porosità e dei ritiri; di contro, però, un'elevata direzionalità della solidificazione produce un aumento delle tensioni residue, le quali possono causare delle rotture. (*vedi figura 12*)

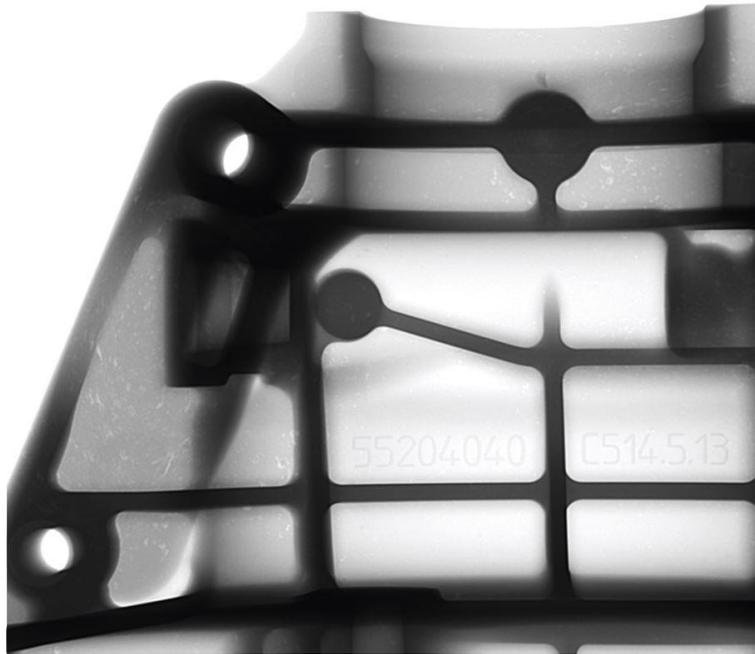


Figura 11 Radiografia ai raggi X di un componente affetto da porosità da gas (parte sinistra e in alto)

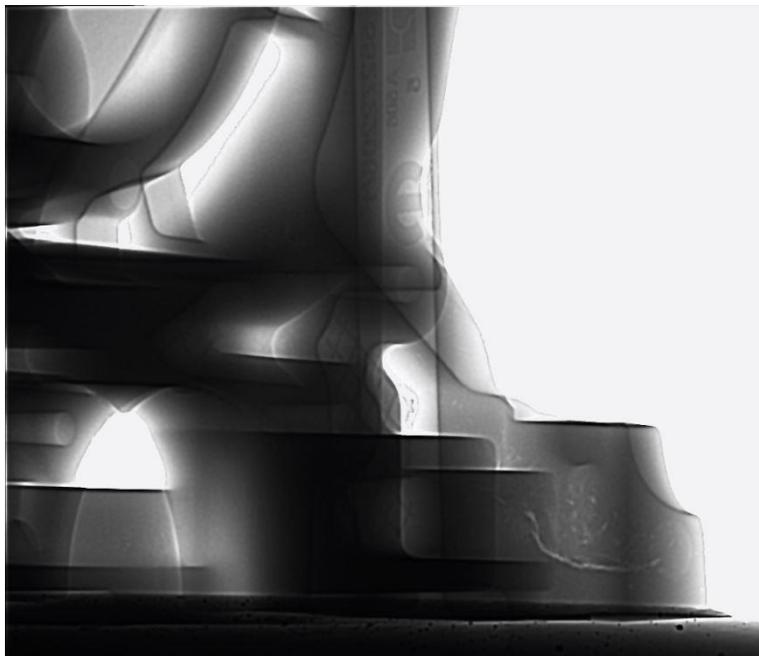


Figura 12 Radiografia ai raggi X di un componente affetto da porosità da ritiro in corrispondenza della flangia in cui è presente un foro filettato (in basso a destra)

FLUIDITÀ DELLA LEGA

Dati attendibili sulla fluidità delle leghe di alluminio da fonderia non sono di facile reperibilità nella letteratura, nonostante questi siano di primaria importanza per l'ottimizzazione dei processi di riempimento degli stampi durante la solidificazione dei getti. Nella pratica di fonderia, il termine "fluidità" è utilizzato per indicare la distanza che il metallo fuso percorre in un canale a sezione costante prima di giungere a solidificazione [18]. Questa definizione differisce da quella di natura fisica che descrive la fluidità come l'inverso della viscosità che, come visto precedentemente, è una proprietà dei liquidi dipendente dalla temperatura.

Esistono diverse procedure per determinare la fluidità di una lega ma, attualmente, le due più utilizzate sono:

1. *Spiral-shaped fluidity test*: misura la distanza che il metallo liquido percorre all'interno di un canale a spirale ricavato nello stampo.
2. *Vacuum fluidity test*: misura la distanza che il metallo liquido percorre all'interno di un canale stretto quando, tramite una pompa, viene creato il vuoto all'interno di un crogiolo.

La fluidità è una proprietà che risulta particolarmente complessa da definire, anche a causa dei diversi fattori da cui essa dipende:

- Variabili del metallo: composizione chimica, intervallo di solidificazione, viscosità e calore di fusione (energia necessaria per modificare lo stato di un grammo di sostanza, da solido a liquido, senza cambiare la sua temperatura).
- Variabili dell'interfaccia metallo-stampo: coefficiente di trasmissione del calore, coefficienti di conducibilità termica per il metallo e per lo stampo, densità del metallo e dello stampo, calori specifici e tensioni superficiali.
- Variabili del test: contenuto di ossidi, diametro del canale e temperatura di colata.

Solo una corretta selezione e combinazione di questi parametri può rendere la fluidità un fattore controllabile.

STAMPO

Lo stampo è costituito da un insieme di elementi metallici, di norma di acciaio per lavorazioni a caldo H13 (X40CrMoV5-1), che realizzano in posizione di chiusura il profilo di una cavità avente forma del getto da produrre e dei diversi condotti del sistema di alimentazione (colata) nei quali è iniettato il metallo fuso.

Lo stampo deve soddisfare a numerose esigenze:

- riprodurre esattamente la forma e la dimensione del getto;
- prestarsi dopo la solidificazione del metallo ad una espulsione del getto senza rotture e deformazioni;
- assicurare a caldo i movimenti relativi degli elementi mobili e di estrazione;
- resistere agli sforzi termici e meccanici dovuti alla colata/iniezione.

Uno stampo (*figura 13*) è composto da una parte fissa, ancorata alla piastra fissa della macchina, e da una parte mobile, legata al piano mobile dello stampo. Sulla parte mobile, e talvolta anche sulla fissa, troviamo in taluni casi dei tasselli mobili chiamati radiali o corsoi: la loro presenza è determinata dalla forma del getto, che presenta dei sottosquadri, o dalla necessità di creare nel pezzo dei fori il cui asse non giace sul piano di divisione. Il prezzo di uno stampo è sempre molto elevato e viene ammortizzato sul numero dei getti da produrre (come ordine di grandezza il costo può raggiungere anche 1 Mln di €); una durata in servizio inferiore a quella prevista aumenta proporzionalmente il costo dei getti.

La durata di uno stampo può essere notevolmente prolungata scegliendo materiali adeguati e osservando scrupolosamente i trattamenti termici ai quali i materiali vengono sottoposti ed i cicli di lavorazione.

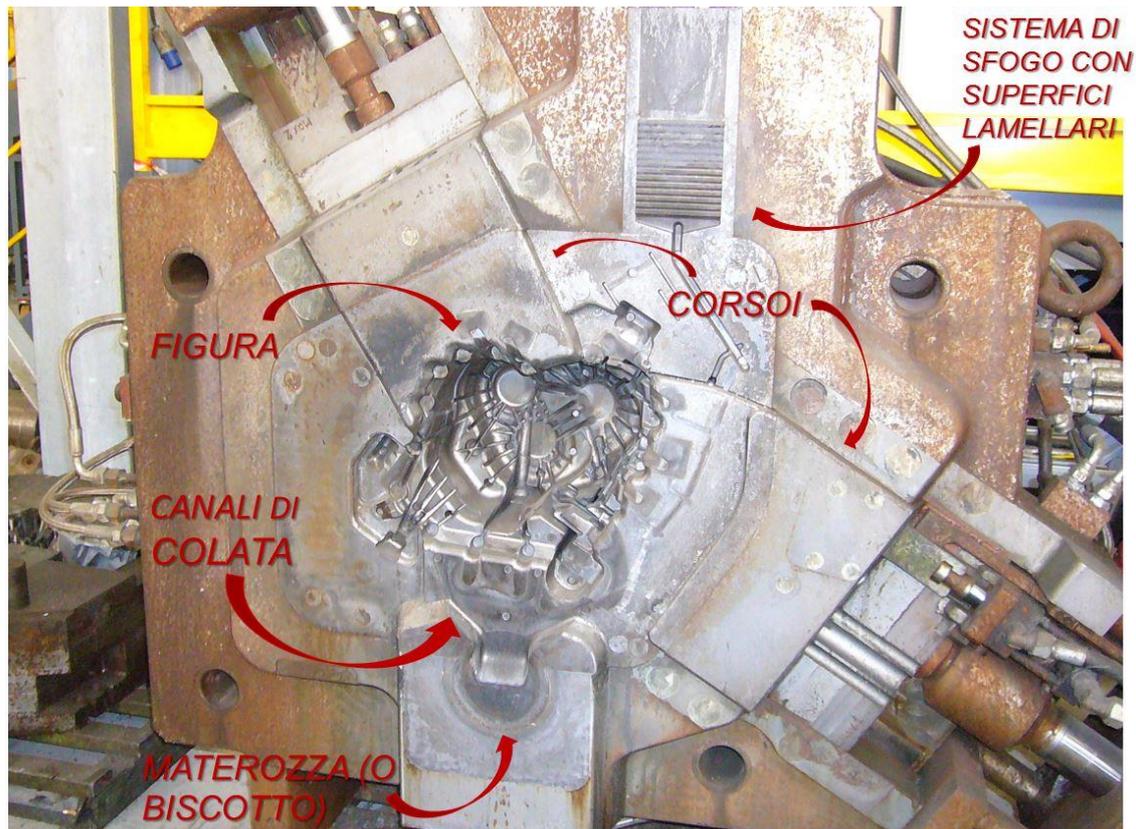


Figura 13 Matrice, parte di uno stampo. Sono evidenziate le parti caratteristiche

LUBRIFICAZIONE

Per lubrificazione delle impronte si intende l'operazione di deposizione di uno o più prodotti lubrificanti sulle superfici di lavoro degli stampi e conseguente formazione su di esse di una patina o film atta a garantire un miglior distacco del getto dallo stampo. La lubrificazione delle impronte, che comprende le fasi di spruzzatura ed asciugatura, è uno dei fattori determinanti nelle operazioni di pressocolata e possiamo senz'altro affermare che essa costituisce una chiave determinante per l'ottenimento della qualità in questo processo.

Le funzioni principali della lubrificazione dello stampo si possono riassumere come segue:

- formazione di uno strato separante termo-fisico tra la lega e lo stampo;
- formazione di un film lubrificante tra le stesse, allo scopo di agevolare l'estrazione ed il movimento delle parti mobili;

- raffreddamento della superficie dello stampo, allo scopo di permettere al lubrificante stesso di lavorare entro il proprio range e contribuire al mantenimento dell'equilibrio termico;
- funzione protettiva/attutente dallo schiaccio dell'iniezione di lega nei confronti dello stampo

FUNZIONE SEPARANTE

Questa funzione è svolta dallo strato di ossido amorfo prodotto dalle reazioni chimiche innescate per l'elevata temperatura della pelle dello stampo e dai prodotti attivi poggiati sull'ossido non interessati dalle reazioni.

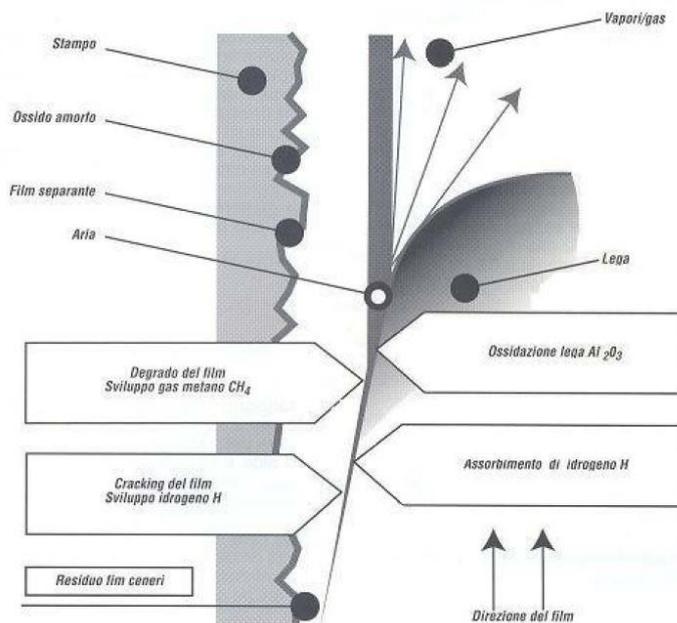


Figura 14 Deposizione e caratteristiche del film lubrificante

Il film impedisce il contatto diretto fra il metallo fuso e l'acciaio, contatto che può comportare una minore qualità del getto ed una minor vita utile dello stampo, senza contare la sospensione della produttività della macchina.

Alla base della necessità di scongiurare un simile contatto vi è il fatto che l'Al, a temperature superiori ai $700^\circ C$, tende a comportarsi da solvente universale (si dice che l'Al degrada lo stampo) e disciogliere pertanto il Fe contenuto nell'acciaio dello stampo (oltre il 90%) secondo la seguente reazione:



Per impedire che ciò avvenga, le impronte vengono spruzzate con del lubrificante in modo da garantire una barriera tra i due metalli. Se questa barriera non ci fosse o venisse a distruggersi sotto l'azione del flusso di lega entrante nella cavità, i risultati sarebbero molto probabilmente la metallizzazione della cavità dello stampo o vere e proprie saldature tra lega e stampo.

L'agente separante, oltre ad impedire l'aggressione dell'Al verso lo stampo, esplica anche una funzione di isolamento termico. La pellicola lubrificante possiede infatti una conducibilità termica piuttosto bassa e ciò rallenta lo scambio termico tra lega e stampo, ritardando la solidificazione della lega fusa e diminuisce il salto termico sulla superficie dello stampo durante un ciclo.

Peraltro il film costituisce una barriera non solo solida ma anche aeriforme, in quanto per effetto dell'elevata temperatura della lega alcune frazioni di lubrificante si trasformano in gas e vapori creando un micro-cuscinetto, come si illustrerà meglio nel seguito.

FUNZIONE LUBRIFICANTE

Dopo l'iniezione, il film precedentemente formatosi sullo stampo dalla spruzzatura risulta assottigliato o distrutto e di esso non rimangono che una frazione residua e le sue ceneri; è in questo momento che si esplica l'azione lubrificante.

Risulta evidente che nella fase di lubrificazione in senso ampio avvengono due serie di trasformazioni:

- quella per il contatto lubrificante-stampo, che produce prima vapore, poi ossidi;
- quella per il contatto aria di asciugatura-lubrificante, che assottiglia o rimuove il lubrificante in eccesso;
- quella per il contatto lega-lubrificante, che produce gas², ceneri e frazioni residue di lubrificante.

Questi elementi più o meno combustibili devono assolvere al compito di lubrificare il getto nella fase di estrazione ad una temperatura compresa tra 280÷350°C, leggermente superiore a quella dell'acciaio dello stampo. Nel caso specifico la lubrificazione

esercitata assolve a compiti di tipo statico, dinamico e funzionale alle parti mobili, come meglio spiegato nel seguito.

LUBRIFICAZIONE STATICA

Il lubrificante interposto tra lo stampo ed il getto impedisce la coesione tra i due metalli che sono tra loro pressati a $60\div 100$ MPa e riduce lo sforzo iniziale di distacco del getto. Lo sforzo di distacco deve essere contenuto a mezzo del lubrificante nei limiti di resistenza a caldo offerti dalla lega; in caso contrario si determinano deformazioni o sfondamenti. Va infatti sottolineato che a temperature dell'ordine dei 300°C la lega solidificata è ancora relativamente plastica ed in particolari punti del getto può essere ancora in stato di fragilità.

Lo sforzo iniziale di stacco viene anche ridotto da una certa pressione che i vapori e i gas prodotti dal film lubrificante esercitano in fase di decomposizione. Sotto questo profilo è desiderabile che il film non venga completamente distrutto in fase di iniezione così che la frazione rimasta continui la sua decomposizione³ anche dopo l'iniezione, di modo che i gas che si sviluppano, non trovando via d'uscita, possano esercitare una pressione sul getto favorendo così il distacco.

² I gas che si liberano durante l'iniezione includono anche vapori d'acqua in quanto l'asciugatura:

- non rimuove tutta l'umidità molecolare;
- spesso non è dimensionata correttamente, producendo zone troppo asciugate ed altre troppo poco;
- non tiene conto che la formazione in spruzzatura degli ossidi può determinare che sacche umide sul lato che guarda allo stampo in quella fase restino imprigionate (in iniezione poi la cavità umida crea una leva di rimozione dell'ossido).

³ La produzione di gas da parte del film durante l'iniezione ha dunque origine sia fisica che chimica.

LUBRIFICAZIONE DINAMICA

L'aspetto dinamico della lubrificazione si manifesta quando, in fase di estrazione, il getto deve scorrere sulla forma d'acciaio che lo ha generato determinando un attrito di tipo radente. Non esistono in letteratura dati precisi sul coefficiente di attrito tra acciaio ed Al a temperature elevate ma per dare un'idea delle grandezze in gioco si pensi che tale coefficiente di attrito, a secco, tra acciaio duro ed Al a 20°C, è 0,65. Considerato lo stato di relativa plasticità dell'Al a temperature comprese tra 280÷350°C si può supporre che il coefficiente di attrito sia più alto, e ragionevolmente stimarlo in valori prossimi a 0,9. I valori sopra citati sono molto elevati: di qui la necessità di ridurli drasticamente a mezzo di un opportuno lubrificante. I residui del film devono quindi anche effettuare una lubrificazione di tipo semi-secco in presenza di attrito radente tra acciaio ed Al. Un'insufficiente o inadatta lubrificazione in questa fase può provocare deformazioni, incrinature e rotture del getto.

La lubrificazione dinamica risulta tanto più critica quanto più la geometria del pezzo tende ad essere ostile all'estrazione, ad esempio a causa di angoli di sforno ridotti o porzioni di figura in sottosquadro. In tali casi è raccomandabile una lubrificazione più generosa.

LUBRIFICAZIONE DELLE PARTI MOBILI DELLO STAMPO

La spruzzatura delle cavità dello stampo inevitabilmente investe anche parti fuori figura, ove possono essere localizzati corsoi, tasselli mobili, spine etc. Questa forma di lubrificazione spesso non è progettata come effetto diretto ma si dimostra abitualmente molto utile. Le parti mobili infatti operano a temperature comprese tra 100÷200°C e spesso scorrono su piste o lardoni trattati termicamente (bonificati). A causa dei movimenti che essi realizzano si sviluppano degli attriti di tipo radente, generalmente tra acciaio ed acciaio. Il coefficiente di attrito è molto più basso che non nel caso dell'estrazione, valendo a 20°C circa 0,39: le esigenze poste al lubrificante sono pertanto più modeste.

Generalmente queste parti mobili sono lubrificate al montaggio con speciali paste, come Cu-Pb, grassi grafitati e bisolfuro di molibdeno. La lubrificazione è successivamente mantenuta proprio dalla porzione di film che viene a formarsi, specie sulle parti terminali

interne, in conseguenza della spruzzatura delle cavità dello stampo; il degrado del film (in queste zone meno accentuato) è sotto questo aspetto non molto favorevole.

La formazione di grosse molecole viscoso mantiene in posizione i lubrificanti di base degli elementi mobili, che altrimenti scorrerebbero via a causa della temperatura. In generale si osserva come la lubrificazione indiretta dalla spruzzatura sia sufficiente a consentire il regolare funzionamento di detti elementi. Casi particolari possono richiedere l'applicazione, una tantum, di prodotti speciali anzidetti.

FUNZIONE RAFFREDDANTE

La funzione raffreddante della spruzzatura si manifesta nella fase di bagnatura dello stampo per effetto dell'impatto della nube d'acqua polverizzata contro le impronte. Questa funzione non rappresenta un obiettivo diretto ma diventa di fatto propedeutica alle altre funzioni in quanto il film possiede un range di lavoro, al di fuori del quale non si forma. Più specificamente, al di sopra del range il film non riesce ad aderire alle cavità; al di sotto, il principio attivo non si trasforma in ossido amorfo e gli shock termici lega-stampo diventano eccessivi⁴.

La polverizzazione del prodotto distaccante è realizzata con l'uso di aria compressa. Lo spruzzo sarà quindi composto da aria e goccioline di emulsione. Anche l'aria esercita una funzione raffreddante, ma molto più blanda (in questo contesto si intende l'aria di polverizzazione, non quella di asciugatura). Il calore asportato dall'aria non è determinabile in quanto il rapporto emulsione/aria di polverizzazione non è un valore fisso ma può variare secondo le necessità. Per dare una dimensione della quantità di calore asportata mediante lubrificazione e facendo le seguenti ipotesi:

- rapporto emulsione/aria: 1:600;
- temperatura assunta dall'aria: 100°C;
- calore specifico dell'aria: 1J/g·°C.

⁴ Sarebbe sempre meglio, in via del tutto teorica, se lo stampo si raffreddasse il meno possibile in modo da allungare la propria vita utile, scongiurare le solidificazioni premature, ridurre il consumo di lubrificante ed i tempi di lubrificazione.

Si può affermare che la spruzzatura di un litro di emulsione sullo stampo, posto che questa venga completamente trasformata in vapore, sottrae allo stampo 266 kJ (637Kcal), pari a quelle cedute in fase di solidificazione e raffreddamento fino alla temperatura ottimale di estrazione, per un getto di 3,5 Kg raffreddato con questo unico mezzo. Va sottolineato che nella pratica non tutto il litro di emulsione spruzzato si trasforma in vapore perché una parte non si riscalda abbastanza e cade a terra.

In definitiva quindi il lubrificante spruzzato sulle impronte può:

- evaporare senza raggiungere le impronte;
- evaporare in seguito al raggiungimento di esse;
- ancorarsi alle impronte senza evaporare;
- precipitare a terra prima del raggiungimento della superficie;
- precipitare dopo il raggiungimento, per l'eccessiva quantità spruzzata.

La percentuale di principio attivo del liquido spruzzato è molto variabile e dipende dalle modalità dello spruzzo, dalla geometria e dalla temperatura delle impronte. Si stima comunque che un'emulsione con principio attivo al 20÷40% (percentuale rilevata prima della miscelazione con la base) sia sufficientemente efficace agli effetti del raffreddamento. L'azione di raffreddamento data dalla spruzzatura è molto efficace ed occorre sottolineare che è anche più immediata, rispetto a quella dei circuiti refrigeranti, in quanto asporta il calore dalla pelle termica dello stampo. L'importanza del raffreddamento dato dalla spruzzatura diviene via via più elevata in rapporto alla cadenza di produzione.

FUNZIONE ATTUTENTE

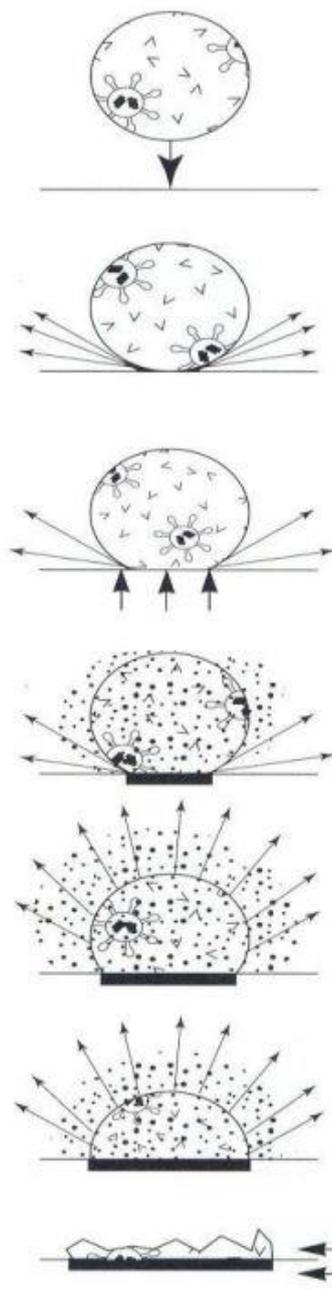
Questa funzione indica il comportamento ammortizzante del lubrificante, il quale è il primo elemento ad esser colpito dal getto di lega liquida. La velocità di iniezione del metallo supera i 50 m/s, pertanto la possibilità che lo stampo si danneggi per via di questo "schiaffo" esiste. Il lubrificante in tal senso tende a scongiurare questa eventualità.

AGGANCIAMENTO DEI PRODOTTI ATTIVI ALLO STAMPO

In questa sede ci si riferisce all'aggancio del film lubro-separatore dovuto ad effetti fisici. Oli, cere e altre frazioni attive hanno propria viscosità ed adesività. Alla temperatura di aggancio essi evidenziano anche fenomeni di capillarità, cosicché essi si espandono sulle superfici e tendono a penetrare nella micro-porosità del materiale ed entro lo strato di ossido formato in precedenza dalla vaporizzazione. La penetrazione è facilitata dalla bassa tensione superficiale di questi prodotti.

La microrugosità della superficie favorisce e mantiene l'aggancio delle parti attive. Lo strato di ossido amorfo che si era creato è poroso ed anche in questo caso favorisce l'ancoraggio del film. Nella figura seguente sono visualizzati schematicamente i vari fenomeni che si manifestano durante la spruzzatura della superficie calda dello stampo. Quando la dimensione della goccia è troppo grande non c'è una quantità di moto delle particelle e più dell'85% del lubrificante cade a terra e va nei canali collettori; se invece le gocce sono piccole la perdita non supera il 20%.

Adeguatamente programmati, gli ugelli massimizzano l'efficacia del prodotto applicato che evapora quasi completamente.



FASE DI SPRUZZO

Le goccioline di emulsione che fuoriescono dall'ugello sono indirizzate, con una velocità proporzionale alla pressione dell'aria compressa, verso la superficie calda dello stampo.

FASE DI VAPORIZZAZIONE

L'effetto Linderfrost impedisce alla goccia di bagnare la superficie calda dello stampo.

REAZIONI CHIMICHE

Le particelle di prodotto attivo che vengono in contatto con la superficie calda dello stampo danno luogo a reazioni chimiche fra il prodotto e l'acciaio dello stampo.

FORMAZIONE DI OSSIDI

Il prodotto della reazione è un ossido amorfo inerte verso l'alluminio e con una bassa conducibilità.

FASE DI EBOLLIZIONE EVAPORAZIONE

Formazione del film.
Quando la goccia riesce a bagnare la superficie calda annullando l'effetto Linderfrost, si riscalda ed evapora depositando le parti attive che iniziano a creare il film.

INCREMENTO DEL FILM

Con la progressiva evaporazione della goccia le parti attive in essa contenute si depositano e si agganciano alla superficie.

Strato di parti attive della emulsione (film lubro/separante)
Strato di ossido amorfo

Figura 15 Fenomeni che si manifestano durante la spruzzatura del lubrificante sulla superficie calda dello stampo

DEGRADO E DISTRUZIONE DEL FILM

Il film, dopo che si è agganciato per contatto, assume la temperatura della zona dello stampo in cui si trova. Il riscaldamento del film provoca l'asciugatura dello stesso ed inizia il processo di degrado. Mantenendo per un certo tempo il film a temperatura pari o superiore al suo punto di ebollizione, il film emulsionante si ossida e libera le parti volatili in esso contenute. In queste condizioni gli idrocarburi, che costituiscono la parte preponderante dei componenti dei film, tendono a formare grosse molecole molto viscosi che si trasformano poi in depositi resinosi o asfaltici.

| SOSTANZA | PUNTO \ INTERVALLO DI EBOLLIZIONE |
|-----------------|--|
| Acqua | 100°C |
| Paraffina | 170÷190°C |
| Oli raffinati | 200÷230°C |
| Oli di sintesi | 230÷250°C |
| Siliconi | 250÷300°C |

Tabella 5 Temperature di ebollizione di alcune basi lubrificanti

A seconda delle caratteristiche dei componenti del film questi depositi possono essere gommosi o presentarsi sotto forma di lacche.

È stato osservato che gli oli di sintesi hanno minore tendenza a formare depositi in quanto contengono elementi che per un certo tempo fungono da solubilizzanti, rallentando la formazione di grosse molecole che costituiscono i depositi.

Le emulsioni a base siliconica invece non presentano questo inconveniente in quanto i siliconi sono stabili anche ad elevate temperature.

Una volta effettuata l'iniezione nella cavità dello stampo, la lega fusa che la raggiunge, ha una temperatura di 650÷700°C. Il film agganciato alle parti dello stampo viene così in contatto con la lega e viene profondamente alterato dall'elevata temperatura. Il gas generato dai prodotti formati da idrocarburi è principalmente metano (CH₄). Le molecole di idrocarburi vengono scisse e viene liberato idrogeno.

Il film così decomposto si assottiglia e di esso non rimangono che residui e ceneri: nel frasario corrente di fonderia si dice che il lubrificante "brucia". Ciò, tuttavia, non è del tutto esatto in quanto, affinché avvenga la combustione, è necessaria la presenza di O₂, e quindi

di aria. Nel sottile strato di aria che rimane imprigionato tra film e metallo fuso, l'O₂ presente non è disponibile in quanto è immediatamente catturato dall'Al per formare ossido (Al₂O₃). L'idrogeno liberato dalla reazione di scissione delle molecole di idrocarburi è immediatamente assorbito dall'Al, verso il quale ha grande affinità. Alla fine dell'iniezione, sulle superfici dello stampo in precedenza rivestite dal film non ne rimane che un'esigua frazione. La parte più o meno alterata che rimane con le ceneri residue sullo stampo dipende dai componenti del film, dalla loro quantità e dalla temperatura. Sono questi residui che provvedono alla lubrificazione statica e dinamica necessaria per estrarre il pezzo senza inconvenienti.

AZIONE USURANTE DELLO SCORRIMENTO DI LEGA SUL FILM

Quando la lega entra nella cavità, sollecita le pareti interne in maniera molto variabile e pertanto ha una capacità di rimozione del film parimenti variabile. Di solito i punti dove il lubrificante è più vulnerabile è nelle zone basse della figura, nelle aree in cui le traiettorie di scorrimento subiscono le modifiche più brusche, picchiando con maggior violenza contro le pareti.

Questo problema produce spesso come conseguenza la presenza di difettosità localizzate sul getto, per risolvere le quali si ricorre di norma a lubrificazioni localizzate molto intense, in modo da abbassare fortemente la temperatura ed ottenere così una minore interazione tra i metalli. Il problema di questa modalità è tuttavia l'incidenza dell'effetto blackhole e l'aumento localizzato del gradiente termico, aumentando così il rischio di solidificazioni precoci.

ASCIUGATURA DEL LUBRIFICANTE ED EVACUAZIONE DELL'ARIA

Subito dopo la spruzzatura e prima che la lega venga iniettata nelle cavità, il ciclo di lubrificazione prevede l'asciugatura degli stampi. L'asciugatura è un'operazione di soffiatura mediante aria compressa a temperatura ambiente, realizzata attraverso un apposito circuito collocato sulla testa di lubrificazione e movimentato allo stesso modo dei circuiti di spruzzatura; l'aria viene indirizzata mediante delle strutture tubolari dette cannette di asciugatura, tipicamente orientate dall'alto verso il basso secondo una logica di rimozione solidale alla gravità.

Questa operazione si rende necessaria in quanto dopo la spruzzatura le impronte restano normalmente umide o bagnate ed occorre eliminare queste frazioni in quanto possono essere dannose⁵.

L'aria esercita sulle gocce di lubrificante un'azione meccanica rimovente e di sollecitazione all'evaporazione a causa delle correnti che si formano presso le impronte umide.

L'utilità dell'asciugatura si riassume nei seguenti punti:

- se la lega fusa incontrasse all'interno delle impronte parti di liquido, esse potrebbero evaporare così velocemente da realizzare delle esplosioni;
- le zone dove il lubrificante non viene asciugato bene, rimanendo umide, tendono a presentare difettosità di varia natura, prime tra tutte delle antiestetiche macchie scure, a causa delle quali il getto viene considerato scarto;
- con l'asciugatura possono essere rimosse dalla superficie degli stampi eventuali impurità solide o pellicole di Al metallizzato o spruzzato, che determinerebbero difetti sul getto (visivi o rilevabili al controllo radiografico) o addirittura mancata chiusura della macchina.

Il ciclo di asciugatura è ovviamente legato nei tempi e nei modi a quello di spruzzatura, eventualmente tenendo presente che la geometria della stampo e l'influenza della gravità tendono a modificare la disposizione superficiale delle gocce e a creare zone di accumulo. Asciugature insufficienti possono determinare i problemi sopra esposti; in caso contrario, invece, non si segnalano particolari problemi processuali, senza contare però il non trascurabile inconveniente dell'allungamento del tempo ciclo.

L'espulsione dell'aria dalle impronte nella fase di iniezione è un fenomeno legato alla repentina immissione della lega nelle cavità. A causa di questa operazione si crea un moto efflussorio dell'aria molto turbolento il quale tende ad inglobare parte delle goccioline di lubrificante ancora presenti, che si staccano per via della perturbazione e vengono condotte nei punti di sfogo o nei pozzetti, se essi sono stati ben progettati, o comunque negli ultimi punti raggiunti dalla lega.

Nel bilancio di materia relativo al lubrificante quindi si deve tener conto anche di questo fenomeno. Altro aspetto di cui già si accennava nei paragrafi precedenti è la liberazione di gas e vapori dal film per contatto con la lega, a causa dell'elevata temperatura.

⁵ Per assurdo, se la spruzzatura venisse progettata e realizzata perfettamente, non occorrerebbe asciugare.

Il cuscinetto d'aria così formatosi viene a costituire una sorta di lubrificante aeriforme, il quale però tende ad essere assorbito dalla lega stessa, inquinandola ed aumentando così la sua porosità.

SISTEMI DI LUBRIFICAZIONE AUTOMATICI

Per realizzare la spruzzatura (detta anche lubrificazione in senso stretto) si ricorre solitamente a delle teste o testine lubrificanti; è stata abbandonata la possibilità di lubrificare a mano, che rimane solo in caso di particolari esigenze o forme del pezzo, oppure, laddove non sia presente un'attrezzatura automatica, utilizzando una pistola.



Figura 16 Ciclo di lubrificazione stampo che avviene prima dell'iniezione della lega fluida

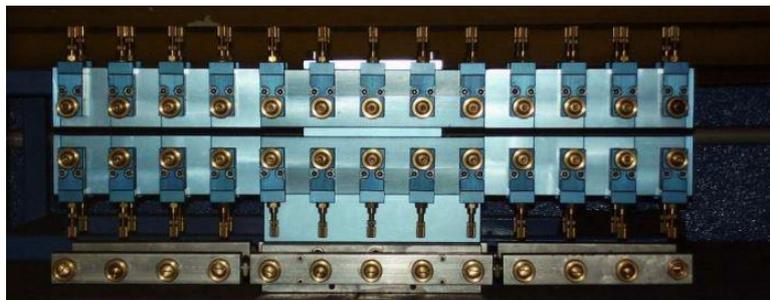


Figura 17 Testina lubrificante

La spruzzatura automatica rappresenta la tecnica di lubrificazione più adottata in pressocolata.

I vantaggi della spruzzatura automatica infatti sono:

- qualità costante del getto;
- riduzione al minimo della percentuale degli scarti;
- riproducibilità del ciclo;
- aumento della produzione oraria (stampate/ora) ed elevata velocità di funzionamento;
- migliore rendimento ed utilizzo dei tempi macchina;
- maggiore durata degli stampi;
- riduzione dei tempi morti e della dipendenza dalle assenze del personale;
- possibilità di orientare in modo universale gli ugelli;
- velocità e pressione elevate, soprattutto nel caso di lubrificanti a base acqua;
- sistema di lubrificazione universale, adatto ad utilizzare tutti i tipi di fluido reperibili in commercio;
- peso ed ingombro ridotto dell'apparecchiatura.

Le testine lubrificanti sono essenzialmente delle piastre, mosse da robot a più assi, che emettono un flusso di lubrificante sulle zone interessate; in seguito vedremo che esistono anche delle versioni antropomorfe, che tendono ad adattarsi meglio alla figura. Le testine possono essere flessibili o dedicate, a seconda che presentino una configurazione standard o adattata alla geometria dello stampo. Sulle facce orientate verso gli stampi si trovano una serie di ugelli, dai quali esce l'emulsione e l'aria che si mescolano nella prima parte dell'ugello.

Una testa complessa è composta dalle seguenti unità:

- Attacco braccio lubrificatore;
- Blocco controllo pneumatico;
- Blocco base spruzzatori;
- Segmenti aggiuntivi;
- Tubi di estensione con ugello terminale;
- Ugelli spruzzatori;
- Raccordi di prolungamento regolabili;
- Soffietti per aria in pressione;
- Tubi di estensione.

Gli ugelli sono diversificati tra loro in base alla sostanza che emettono (lubrificante per lubrificare o aria per pulire o asciugare), alla tecnica di emissione (a getto o nebulizzante), alla portata, all'estensione del cono di spruzzatura e alla concentrazione dei lubrificanti.

Essi sono costituiti da un corpo in acciaio collegato a 3 circuiti:

- circuito dell'acqua;
- circuito del lubrificante;
- circuito dell'aria (pilotaggio);

Il circuito dell'aria funge sia da polverizzante che da vero e proprio interruttore, in quanto direttamente collegato ad una valvola pneumatica composta da una membrana ed un maschio o spillo di valvola. In uscita l'ugello presenta due tubi coassiali che conducono al posatore, ovvero un beccuccio nebulizzante fissato al corpo mediante un apposito dado.

Le ultime evoluzioni prevedono l'utilizzo di robot antropomorfi dotati di pistola portaugelli, che uniscono la velocità di esecuzione del dispositivo automatico all'accuratezza e precisione dell'esecuzione manuale. Un contributo notevole è la maggior flessibilità di questi robot, grazie alla quale è possibile passare da un ciclo di lavorazione ad un altro mediante la semplice sostituzione del programma che gestisce i comportamenti dello stesso; con tali mezzi è possibile abbassare ulteriormente il tempo-ciclo e quindi giustificare il maggior costo.

MATERIALI PER LA LUBRIFICAZIONE

Anche disponendo di una macchina a tecnologia avanzata e di uno stampo progettato e costruito in modo ineccepibile, non è possibile ottenere buoni pezzi ed alta cadenza di produzione senza un'adeguata lubrificazione delle impronte.

La quantità, il tipo di prodotto, la sua distribuzione sulla figura dello stampo sono fattori molto importanti che spesso non vengono considerati nella giusta misura. Difetti sui pezzi, qualità scadenti, bassa produttività, rotture di spine, fermi di produzione, metallizzazione, sono spesso determinati da inadeguata lubrificazione delle impronte. Prodotti lubrificanti e strumenti tecnicamente avanzati non rappresentano più un fattore

ausiliario, ma un componente essenziale del processo per ottenere le massime prestazioni ed il miglior rendimento.

I lubrificanti nel corso degli anni sono cambiati, passando da miscele di oli, petroli, benzine e gasoli, altamente inquinanti e nocivi, a prodotti sintetici più evoluti. Tali prodotti, a base di idrocarburi, oli organici, grafite, ossidi di Al, grassi, siliconi e cere, rispondono alle seguenti caratteristiche:

- Incolumità e non tossicità per le persone;
- Rispondenza alle necessità di fonderia;
- Salvaguardia dell'ambiente.

I fluidi per la lubrificazione possono essere classificati in:

- Fluidi ad alta densità (grafite emulsionata, oli pesanti);
- Fluidi a media densità (siliconi, oli leggeri);
- Fluidi a bassa densità (emulsioni a base acquosa).

I prodotti pesanti (a media o alta densità) inducono un gradiente termico più elevato, quindi trasferiscono più calore, tuttavia non possiedono mai le buone proprietà elencate in letteratura.

I lubrificanti attualmente utilizzati possono essere distinti in diverse categorie in funzione dei loro componenti quantitativamente predominanti. Essi risultano dalla combinazione di molteplici componenti scelti tra: idrocarburi (olio minerale, olio sintetico), oli organici (olio animale, olio vegetale), siliconi (silossani, polisilossani), cere (cera minerale, cera carnauba, cera sintetica), polimeri vari e stearine.

Ad essi vengono aggiunti, secondo necessità, alcuni additivi. In particolare:

- Inibitori (di ossidazione, corrosione, schiume, flore batteriche);
- Fattori (di adesività, capillarità, untuosità).

In talune formulazioni (che però attualmente sono quasi del tutto abbandonate) alle miscele dei prodotti sopra citate sono aggiunte cariche o pigmenti come grafite, talco, polvere di mica, polvere di Al ed ossidi coloranti, in quantità tali da poter emulsionare con acqua le miscele stesse.

I prodotti più frequentemente impiegati, comunque, sono:

- idrocarburi (olio paraffinico a catena lunga, olio naftenico di sintesi e olio aromatico di sintesi). Gli oli di sintesi vengono utilizzati per correggere le variazioni di viscosità a caldo e la tendenza alla formazione di macromolecole: queste sono responsabili della formazione di depositi gommosi o asfaltici sugli stampi.
- cere (paraffine minerali e di sintesi): vengono utilizzate a rinforzo del contenuto paraffinico degli oli.
- composti siliconici (oli e polisilossati), impiegati per elevare le prestazioni alle alte temperature;
- additivi, per l'ottenimento delle caratteristiche e delle prestazioni particolari richieste dallo specifico impiego.

Normalmente, allo stato della commercializzazione la sostanza attiva è già pre-emulsionata con acqua in un rapporto che va dal 10÷40% di concentrato. Il prodotto così acquistato viene successivamente diluito fino a raggiungere percentuali dell'1÷3%, riducendo la sostanza attiva a limiti "omeopatici". Nella loro diluizione viene non di rado raccomandato di usare acqua deionizzata o addolcita in quanto le molecole dei sali non disciolte possono creare dei nuclei di condensazione o flocculazione, rompere l'equilibrio chimico ed inoltre sedimentare sullo stampo.

Le variabili che influenzano le prestazioni sono:

- caratteristiche intrinseche del film lubrodistaccante;
- diluizione finale d'impiego;
- caratteristiche dell'acqua impiegata per la diluizione;
- quantità di prodotto diluito erogato sullo stampo e modalità di applicazione;
- contaminazione batterica presente nella acqua industriale impiegata.

Le caratteristiche fisico-chimiche risultanti dalle miscele dei componenti dopo l'evaporazione dell'acqua, rispetto alle quali se ne definisce la bontà, sono:

- quantità del residuo;
- pH del residuo;
- punto di ebollizione;
- punto di infiammabilità;
- punto di accensione spontanea;

- viscosità del residuo alle temperature di 200°C e 350°C;
- quantità del residuo dopo combustione.

Le caratteristiche delle miscele emulsionate con H₂O sono:

- densità a 20°C;
- tensione di vapore;
- viscosità a 20°C;
- pH a 10g / l H₂O.

Le composizioni sono accuratamente formulate perché diano luogo a miscele che siano:

- compatibili;
- prontamente emulsionabili;
- facilmente diluibili con acqua potabile;
- stabili nel tempo a temperature superiori di 0°C.

Parte terza: APPROCCIO AL PROBLEMA SPECIFICO, STADI DELLA FASE SPERIMENTALE

Il seguente lavoro di tesi è stato svolto in due fasi temporali/operative diverse: la prima è stata quella di studiare il componente e di comprenderne la particolare difettologia alla quale risultava essere affetto, osservare tutte le fasi del processo in loco presso la sede dell'azienda "Fondalpress S.p.A." in Via Statale, 27 – 14033 – Castell'Alfero (Asti) – Italia, ed infine ottenere i campioni necessari per le prove meccaniche. L'obbiettivo sarà quindi, quello di approcciare il problema legato all'efficienza delle filettature in presenza di porosità da ritiro e/o da gas, e quindi redigere una linea guida sui criteri di resistenza dei giunti filettati nei particolari pressocolati.

1. IL COMPONENTE

I campioni oggetto di studio (figura 17) sono stati ricavati da un coperchio di albero motore di una nota casa automobilistica Italiana, prodotto internamente alla fonderia stessa, sul quale sono previsti, da progetto, due flange con fori filettati ottenuti per lavorazione meccanica successiva all'ottenimento del grezzo. Questa avviene tramite step consecutivi: dapprima si procede con la spianatura del piano d'appoggio, quindi, in corrispondenza delle borchie, si fora la superficie fino all'interno del corpo massivo, in asse con l'alloggiamento del giunto, segue l'alesatura del foro e, infine, si procede alla lavorazione di superficie ad asportazione con cui si realizza un solco elicoidale, o filettatura interna.

In particolare le borchie sono state ricavate segando a mano la parte superiore (il piano d'appoggio dove presenti le borchie) direttamente in loco presso l'officina dell'azienda. Già preventivamente classificate tramite radiografia ai raggi X venivano quindi etichettate, ed eventualmente smussate al fine di farle entrare perfettamente nel relativo supporto per le prove di trazione.



Figura 17 Borchie utilizzate per le prove di trazione



Figura 19 Vista anteriore del coperchio dell'albero motore



Figura 20 Vista posteriore del coperchio dell'albero motore



Figura 21 Vista dall'alto del coperchio dell'albero motore. Sul piano d'appoggio sono ben visibili i due fori filettati oggetto di studio

2. CLASSIFICAZIONE E STATISTICA DELLE POROSITA' NEL COMPONENTE

Come affrontato nel relativo paragrafo, i difetti principali, oggetto di studio, sono principalmente di due tipologie: porosità da aria intrappolata e da gas. Alle prime, di forma allungata e stretta, viene attribuita maggior importanza rispetto a quelle da gas, circoscritte e tondeggianti, perché si originano per un non perfetto riempimento della figura causato dall'inefficacia dell'agente distaccante (lubrificante) e inoltre se il liquido arriva in velocità, come nella pressocolata, sposta e comprime il gas che prima riempiva la cavità oppure lo assorbe come bolle compresse.

Il Lubrificante da utilizzare all'interno dello stampo perciò, gioca un ruolo molto importante per evitare porosità da gas\idrogeno.

La porosità da ritiro è una serie di fori interconnessi creati da una mancanza di metallo di alimentazione alla fine della solidificazione.

Il restringimento è confinato al centro termico di una sezione, che può estendersi alla superficie di colata se le temperature locali dello stampo sono eccessive. La porosità di ritiro può essere integrata da un design di fusione scadente che contiene sezioni grandi, eccessivo riscaldamento dello stampo, una non uniforme distribuzione del flusso di metallo e un insufficiente raffreddamento interno dello stampo. Variazioni di processo nella temperatura del metallo, temperatura dello stampo, pressioni di iniezione inadeguate e scarso raffreddamento da canali di raffreddamento otturati possono provocare porosità da ritiro. Queste, quindi, non sono completamente eliminabili a priori in quanto fortemente dipendenti dalla geometria del pezzo e quindi dal corretto posizionamento degli attacchi di colata.

I campioni sono stati classificati per dimensione e geometria delle porosità presenti al loro interno: con le lettere "A, B, C" sono state indicate le dimensioni caratteristiche, rispettivamente < di 3 mm, ≥ di 3 mm e > di 5 mm. Con i numeri 1 e 2 prima delle lettere invece, è stata indicata la geometria della porosità, tondeggianti e allungate rispettivamente.



Figura 21 Foto raggi X borchia con porosità 1A

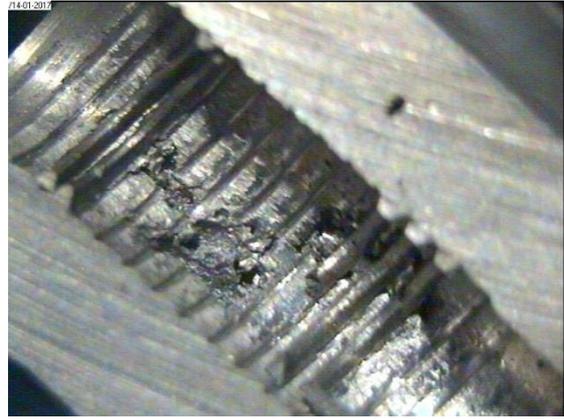


Figura 22 Foto al microscopio ottico porosità 1A



Figura 23 Foto ai raggi X borchia con porosità 1B

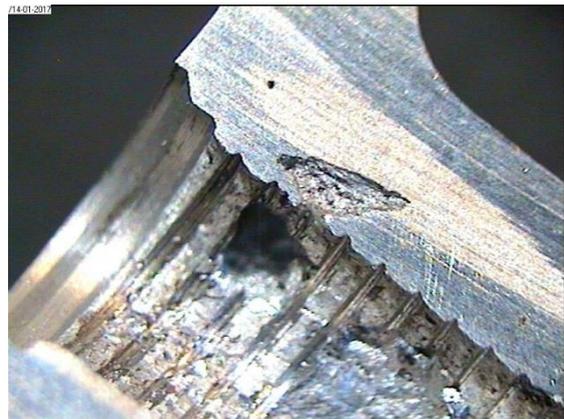


Figura 24 Foto al microscopio ottico porosità 1B

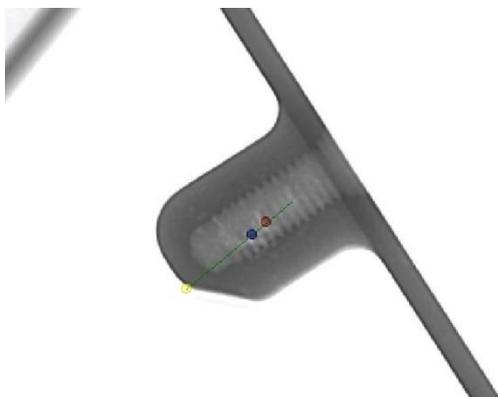


Figura 25 Foto ai raggi X borchia con porosità 2A

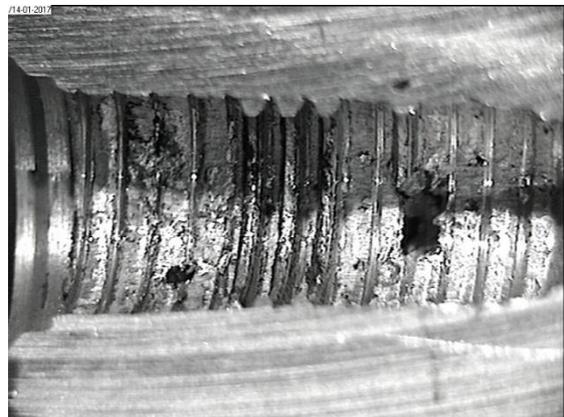


Figura 26 Foto al microscopio ottico porosità 2A

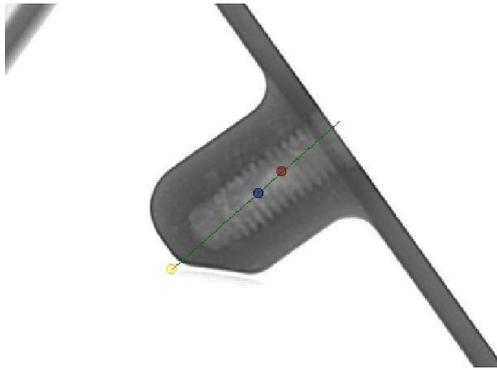


Figura 27 Foto ai raggi X borchia con porosità 2B

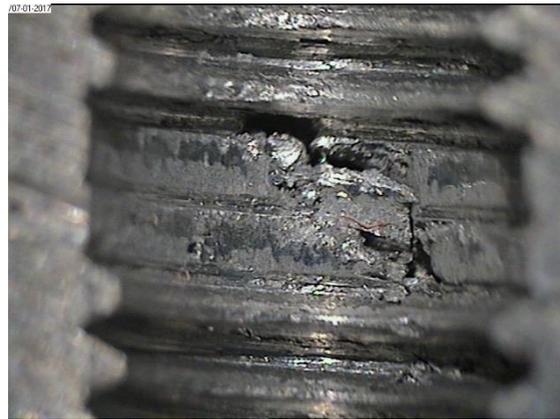


Figura 28 Foto al microscopio ottico porosità 2B



Figura 29 Foto ai raggi X borchia con porosità 2C

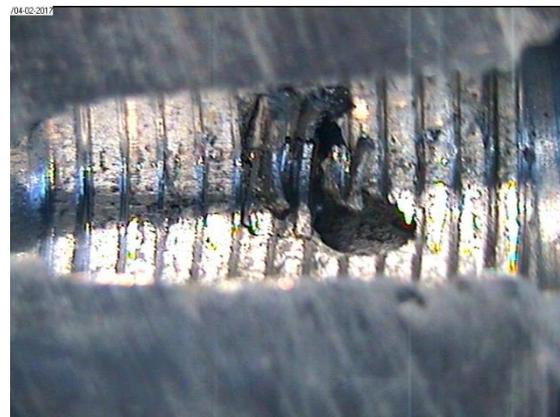


Figura 30 Foto al microscopio ottico porosità 2C

2.1. RUOLO DEL LUBRIFICANTE (remind)

Una delle funzioni principali del lubrificante è quella di essere utilizzato come agente distaccante tra metallo e stampo al momento dell'estrazione della forma dallo stampo. In seconda istanza invece viene utilizzato per raffreddare lo stampo prima del prossimo ciclo. Esso però non deve essere usato in quantità eccessive in quanto può causare difetti o porosità caratteristici cosiddette "porosità da gas" sulla forma; mentre, se esso non risulterà efficace nel raffreddare lo stampo, si possono originare delle porosità da ritiro. Il lubrificante deve sublimare e se non lo fa rimangono tracce di liquido sulla parete dello stampo che sublimerà solo al contatto con la lega fluida proveniente dal contenitore della pressa (prima di essere iniettata nello stampo), intrappolando il lubrificante rimasto e facendola diventare una porosità da gas. Infine va considerata anche dell'aria intrappolata all'interno del getto a causa del non accurato dimensionamento dei rami di colata. I lubrificanti tradizionali sono a base di oli minerali, più efficaci ma che comportano l'utilizzo di appropriati sistemi di captazione, per ridurre al minimo il loro impatto ambientale e per salvaguardare la sicurezza degli operatori. Il tipo di lubrificante usato in questo caso è di tipo acquoso con una concentrazione pari al 2% di polimeri paraffinici diluiti al suo interno.

3. NORME/LINEE GIUDA DI ACCETTABILITA' INTERNA DI PEZZI CONTENENTI POROSITA'

La messa a punto di una procedura interna di classificazione dei difetti, con accettazione o scarto dei componenti, avviene mediante classificazione di difetti presi a campione tramite tecnica spettroscopica ai raggi X, e osservanti i limiti di accettazione ASTM E 505 in riferimento ai getti in lega di Al e Mg colati ad alta pressione.

Prendendo come riferimento la normativa vigente di una casa automobilistica riguardante i getti in lega leggera di Alluminio e Magnesio e considerata una classe funzionale di difetti come da tabella 5, per uno spessore del getto (a parete) inferiore ai 5mm, la dimensione massima ammessa è di 1,5 mm mentre per spessori compresi tra 5 e 10 mm la dimensione massima arriva a 3mm. In particolare per quel che concerne le filettature, secondo norma, i primi 4 filetti devono essere esenti da porosità. Oltre sono ammesse porosità fino a 3mm. (Norme interne all'azienda)

Si citano, di seguito, le principali linee guida dalla norma vigente applicata.

| DIMENSIONE MASSIMA DEI DIFETTI AMMESSI SU SUPERFICI LAVORATE | | |
|--|-------------------------|----------|
| CLASSE FUNZIONALE | SPESSORE DEL GETTO (mm) | |
| | 5 | 5 ÷ 10 |
| 1 | < 1,0 mm | < 1,5 mm |
| 2 e 3 | < 1,5 mm | < 3,0 mm |

Tabella 5 Riferimento normativo a getti in lega di Al e Mg colati ad alta pressione

“In conformità al relativo capitolato i getti si suddividono nelle seguenti classi funzionali.

- **CF1:** *getti la cui funzionalità è correlabile con la sicurezza degli occupanti il veicolo; tale correlazione è data solo al verificarsi di una particolare ed eccezionale concomitanza di condizioni.*
- **CF2:** *getti considerati importanti ai fini della funzionalità, dell'estetica del veicolo e/o per l'onerosa sostituibilità.*
- **CF3:** *getti che non rientrano nelle classi 1 e 2.”*

“Limiti di accettazione. Una porosità di dimensione massima $\leq 0,5$ mm non deve essere considerata difetto al controllo visivo; per dimensione massima si intende quella misurata sia nel piano di osservazione, sia la sua profondità”

“Superfici grezze. Devono risultare omogenee, esenti da rotture, screpolature o da qualsiasi altro difetto che possa compromettere qualsiasi altra lavorazione all'utensile, il suo handling in fase di montaggio e/o il successivo impiego del componente su vettura”

“Superfici lavorate. Sono da considerare critiche al controllo visivo le superfici dei fori filettati e tutte quelle di tenuta; eventuali altre aree possono essere definite da disegno. Su tali zone critiche non sono ammessi difetti. Nelle altre aree sono ammesse porosità isolate di dimensioni massime inferiori a quanto riportato nella tab5, purchè presenti in numero di 1 ogni 100 mm² di superficie lavorata oppure in numero di 2 ma di dimensione dimezzata. La porosità diffusa, uniformemente distribuita, deve essere valutata mediante esame radiografico. Non sono ammesse inclusioni, ossidi o giunzioni fredde.”

3.1 DETERMINAZIONE FORZA DI TRAZIONE APPLICATA

Per la determinazione delle forze agenti sul giunto di un accoppiamento filettato si è preso in considerazione l'utilizzo di un semplice, ma allo stesso tempo accurato, modello riferito ad un generico accoppiamento vite madrevite. [Caligaris L., Fava S., Tomasello C., 2006]

$$C_{tot} = C_1 + C_2$$

Coppia di chiusura

$$C_1 = F \cdot \tan(\alpha + \varphi) \cdot \frac{d_2}{2}$$

Coppia necessaria per creare la forza assiale F e per vincere l'attrito tra i filetti della vite e del dado

$$\alpha = \text{atan}\left(\frac{P}{\pi \cdot d_2}\right)$$

Angolo dell'elica medio

$$\varphi = \text{atan}\left(\frac{f_1}{\cos\frac{\theta}{2}}\right)$$

Angolo di attrito fittizio (filetto triangolare)

$$C_2 = F \cdot f_2 \cdot \frac{D_m}{2}$$

Coppia necessaria per vincere l'attrito tra il dado e la rosetta

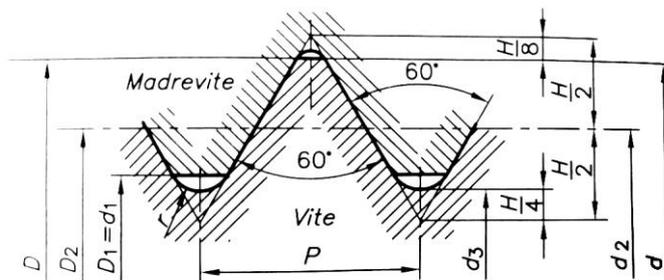


Figura 31 Esempio di designazione di una filettatura metrica, a passo grosso, avente $d=8\text{mm}$ e $P=1,25\text{ mm}$

Dai calcoli effettuati, la forza di serraggio applicata, dato un momento di serraggio applicato mediante chiave dinamometrica sulla testa della vite in corrispondenza dell'accoppiamento filettato, pari a 10 Nm, risulta essere pari a **2,37 kN**.

4. PROGETTAZIONE AFFERRAGGIO PROVE DI TRAZIONE

La particolare forma geometrica del componente in questione ha messo in evidenza, fin dall'inizio, i limiti di una generica macchina a trazione: il problema principale che ci si poneva era come afferrare il campione per poterlo sollecitare meccanicamente. Il problema è stato risolto da un piccolo team formato dallo scrivente, da personale dell'azienda e con l'aiuto di operatori specializzati nel settore, grazie al quale si è potuto progettare e quindi realizzare uno specifico adattatore (figura 35).

Grazie ad esso si è stati capaci di afferrare efficacemente la borchia, mantenendo l'assialità delle forze ed evitando momenti flettenti e torcenti sugli afferraggi e garantendo una sua certa robustezza, visti i carichi applicati per la prova trazione. Queste sono dell'ordine della decina di kN ed in particolare superiori ai 20 kN, come è possibile vedere in Tab "8". Il materiale scelto per la sua realizzazione è un acciaio da bonifica 34CrNiMo6, raggiato per lavorazione meccanica (tornitura) nei punti critici e quindi bonificato per aumentarne la resistenza alla nucleazione di una cricca di fatica.

Si mostrano di seguito i disegni di progetto del supporto.

4.1 SPECIFICHE PRINCIPALI ACCIAIO 34CrNiMo6

Tra i vari acciai candidati per la realizzazione del pezzo sono stati presi in considerazione le seguenti leghe:

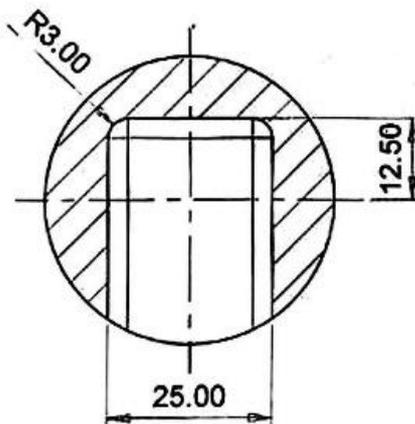
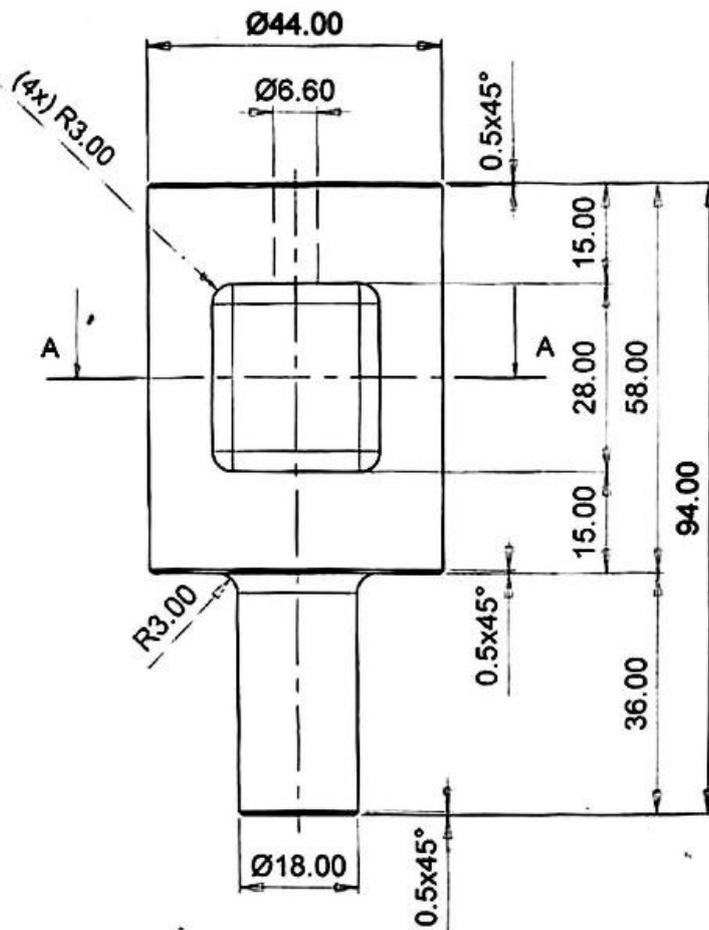
- 34CrNiMo6
- 30CrNiMo8
- 36CrNiMo4
- 50CrMo4

La scelta finale è ricaduta sulla lega di composizione "34CrNiMo6" in quanto risulta una lega molto temprabile (infatti è particolarmente ricca di elementi leganti), con una buona durezza anche dopo il trattamento termico e ottima tenacità.

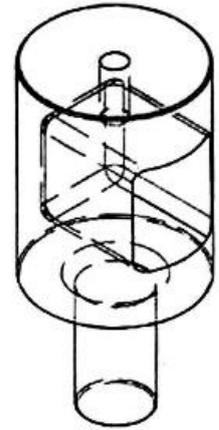
Si mostrano, di seguito, le caratteristiche chimico-composizionali, meccaniche e termiche di questo acciaio.

| Designazione alfanumerica | Designazione numerica | Normativa di riferimento | Corrispondenze | | | | Rev | Data | | | |
|---|-----------------------------|------------------------------------|--------------------------------|---|--------------------|--------------------------|---|-----------|-----------|---|---|
| | | | Germania | 34CrNiMo6 | Regno Unito | 817M40 | 01 | 10-06-07 | | | |
| 34CrNiMo6 | 1.6582 | UNI EN 10083-3:2006 | Francia | - | Spagna | - | GRANIT ENGINEERING graniteng.com | | | | |
| | | | Italia | - | Stati Uniti | - | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| Composizione chimica (% massa) | | C | Si max | Mn | P max | S max | Cr | Mo | Ni | V | B |
| colata | | 0,3-0,38 | 0,4 | 0,5-0,8 | 0,025 | 0,035 | 1,3-1,7 | 0,15-0,3 | 1,3-1,7 | - | - |
| prodotto | | 0,28-0,4 | 0,43 | 0,46-0,84 | 0,03 | 0,04 | 1,25-1,75 | 0,12-0,33 | 1,25-1,75 | - | - |
| CARATTERISTICHE FISICHE (T=20°C se non diversamente specificato) | | | | | | | | | | | |
| Modulo di Young [N/mm ²] | Modulo di Poisson | Bulk modulus [N/mm ²] | Densità [kg/dm ³] | Coefficiente di dilatazione termica lineare [μm/m °C] | | | | | | | |
| | | | | T=20°C | T=250°C | T=500°C | T=1000°C | | | | |
| 205000 | 0,29 | 140000 | 7,85 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| © 2007 Granit Engineering www.graniteng.com ALL RIGHTS RESERVED for personal non commercial use | | | | | | | | | | | |
| CARATTERISTICHE MECCANICHE (T=20°C se non diversamente specificato) | | | | | | | | | | | |
| Stato di trattamento termico | Diametro della barra [mm] | Rm [N/mm ²] | Rp0.2 [N/mm ²] | A5 [%] | KV [J] | HB [N/mm ²] | | | | | |
| RICOTTO DI ADDOLCIMENTO | | 838 max | | | | 248 max | | | | | |
| RICOTTO ISOTERMICO | | - | | | | - | | | | | |
| BONIFICATO | ≤16 | 1200-1400 | 1000 min | 9 min | - | 353-409 | | | | | |
| | 16 < d ≤40 | 1100-1300 | 900 min | 10 min | 45 min | 324-382 | | | | | |
| | 40 < d ≤100 | 1000-1200 | 800 min | 11 min | 45 min | 295-353 | | | | | |
| | 100 < d ≤160 | 900-1000 | 700 min | 12 min | 45 min | 265-295 | | | | | |
| | 160 < d ≤250 | 800-950 | 600 min | 13 min | 45 min | 238-280 | | | | | |
| DESCRIZIONE/APPLICAZIONI | | | | TEMPRABILITA': ALTA ; acciaio disponibile nelle classi H; HL ; HH | | | | | | | |
| <p>Acciaio speciale da bonifica al CrNiMo, caratterizzato da alta resistenza meccanica ed alta tenacità. E' adatto alla fabbricazione di componenti di spessore max pari a 120 mm mediamente o fortemente sollecitati e di geometria anche complessa (alberi, alberi a camme, assali, leve, bielle, bilancieri, ingranaggi). Può essere ordinato addizionato al Ca o risolforato (S≤0.1%) per aumentare la lavorabilità alle macchine utensili. L'impiego di acciai o risolforati comporta un decadimento della resistenza meccanica sul trasverso, della resistenza agli urti e della resistenza a fatica. Dimensione del grano austenitico consigliata >5 secondo UNI 3245</p> <p>Temprabile superficialmente secondo INDUCTIONHARDNESS 1.x e LASERHARDNESS 1.x Trattabile termochimicamente secondo CASEHARDENING 1.x Dimensionamento e verifica degli spessori di indurimento efficace secondo DEEPHARDNESS 1.x e DEEPHARDNESS 2.x</p> | | | |  <p>SALDABILITA' : BASSA</p> <p>PROCESSI DI SALDATURA CONSIGLIATI SMAW B (basico); GMAW; GTAW; PAW; LBW*; EBW* (*su acciai degasati sottovuoto)</p> <p>PROCEDURE DI SALDATURA CONSIGLIATE</p> <ol style="list-style-type: none"> m.a. a basso C + Tp** + TB o PWHT m.a. austenitico + Tp (150 °C) m.a. lega base Ni + Tp (150 °C) + PWHT <p>PRECAUZIONI GENERALI</p> <ul style="list-style-type: none"> saldatura in multipass riduzione di HD (≤ 5); ricondizionamento degli elettrodi pulizia dei lembi contenimento del grado di vincolo del giunto contenimento di Rd tecnica di imburratura a strato singolo consigliata <p>LEGENDA Tp : temperatura di minima di preriscaldamento [°C] ; HD : idrogeno diffusibile [ml/100g] ; Rd : rapporto di diluizione [%] ; d : spessore combinato [mm] ; m.a. : metallo di apporto ; TB : temper beads ; PWHT : trattamento termico di distensione</p> <p style="text-align: center;">WARNING gradi risolforati di saldabilità critica</p> | | | | | | | |
| TEMPERATURE DI TRATTAMENTO TERMICO E DEFORMAZIONE PLASTICA A CALDO | | | | | | | | | | | |
| | TEMPERATURA °C | Mezzo di raffreddamento | | | | | | | | | |
| Deformazione plastica a caldo | 850-1100 | | | | | | | | | | |
| Normalizzazione | 850-880 | aria | | | | | | | | | |
| Ricottura di addolcimento | 650-680 | aria | | | | | | | | | |
| Ricottura isoterma | - | - | | | | | | | | | |
| Tempra | 830-860 | olio | | | | | | | | | |
| Rinvenimento di addolcimento | 540-560 | aria | | d [mm] | Tp** [°C] | d [mm] | Tp** [°C] | | | | |
| | | | | 6 | 110 | 25 | 245 | | | | |
| | | | | 12 | 190 | 50 | 275 | | | | |

Figura 32 Caratteristiche e proprietà dell'acciaio usato per produrre il supporto per le prove di trazione



Sezione A-A



Scala 2:3



Particolare A;
Supporto prove di
trazione-fatica.

Contenitore borchie

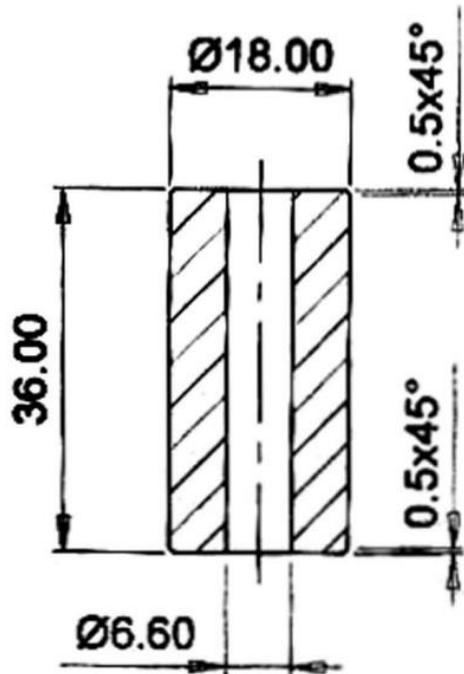
Materiale: Acciaio 34CrNiMo6

Tesi di: Macrì Flavio
N° matr.: s219772

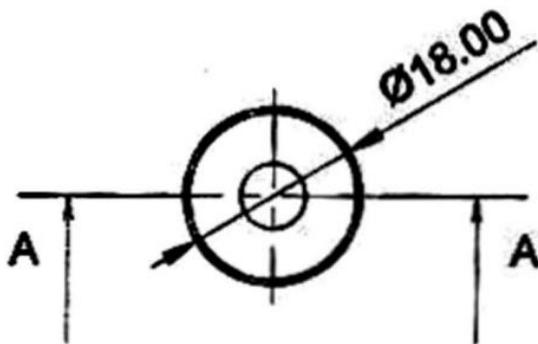
Relatore:
prof. Roberto Doglione

Trattamenti termici:
Bonificato

Sezione A-A



Scala 1:1



Particolare B;
Supporto prove di
trazione-fatica.
Afferraggio cilindrico
per viti a testa cava
M6.

Tesi di: *Macrì Flavio*
N° matr.: *s219772*

Relatore:
prof. Roberto Doglione

Materiale: *Acciaio 34CrNiMo6*

Trattamenti termici:
Bonificato

5. PROVE MECCANICHE SU CAMPIONI CONTENENTI FORI FILETTATI ESTRATTI DAI COMPONENTI Fondalpress

Le prove meccaniche presso il dipartimento DISAT del Politecnico di Torino sono state effettuate seguendo un preciso iter operativo. I campioni già preventivamente classificati, sono stati sottoposti in un primo momento alle prove di trazione utilizzando viti con la classe di resistenza più alta per poter capire quale fosse il valore della resistenza a frattura dei filetti delle borchie, quindi sono stati tagliati tramite macchina troncatrice, utilizzando delle lame in Al_2O_3 , per poi così procedere all'analisi fotografica delle porosità tramite microscopio ottico stereografico; sono state perciò acquisite delle immagini caratteristiche.

E' stato fatto uso anche della lucidatrice automatica per smussare gli spigoli delle borchie e consentire il corretto posizionamento all'interno del supporto, appositamente realizzato.



Figura 33 Supporto posizionato fra gli afferraggi della macchina di trazione

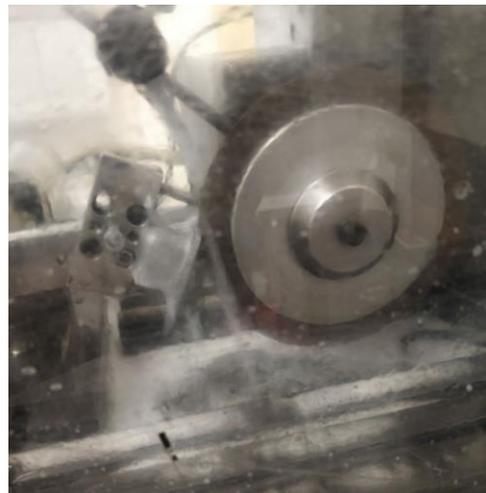


Figura 34 Borchia sottoposta a taglio mediante macchina troncatrice



Figura 35 Supporto prove di trazione. Sulla destra si mostra il montaggio della vite e della borchia poco prima di effettuare la prova di trazione

6. RISULTATI PROVE MECCANICHE

I risultati delle prove effettuate sono visualizzati nei grafici delle figure 36-40 presi come casi maggiormente rappresentativi: in questi viene mostrato il comportamento delle varie tipologie di difetti. Tutti i grafici hanno un andamento abbastanza confrontabile. Dopo una prima fase in cui il carico aumenta con un rapporto pressoché costante rispetto agli spostamenti, evidenziato dalla pendenza del tratto inclinato che rimane praticamente invariata in tutte le prove, segue la fase di plasticizzazione che si diversifica, come forma, solo tra una borchia rotta ed una vite rotta. In quest'ultimo caso è possibile notare oltre all'andamento, più spanciato, anche gli spostamenti che aumentano considerevolmente a fronte di lievi incrementi di carico tipici della fase di deformazione plastica dei materiali metallici. La successiva fase, caratterizzata dal tratto a pendenza molto elevata ed inversa rispetto al precedente tratto rettilineo, indica la fase di rottura. Il tratto finale, invece, caratterizzato da un andamento altalenante in cui gli spostamenti sono rilevanti anche in presenza di minimi incrementi di carico, sono dovuti al trasferimento della resistenza dal filetto che ha ceduto a quello successivo presenti nelle borchie

Confrontando gli altri grafici, gli andamenti risultano confrontabili e simili, non solo in termini geometrici ma anche numerici. Nelle seguenti tabelle vengono esposti i valori di resistenza delle varie classi di viti, la classificazione in base alle porosità e il carico di rottura dei vari tipi di borchie classificati per geometria e dimensione delle porosità.

| CLASSE DI RESISTENZA VITI | CARICO MINIMO GARANTITO [kN] | CARICO DI PROVA [kN] |
|---------------------------|------------------------------|----------------------|
| 8.8 | 16.1 | 11.6 |
| 10.9 | 20.9 | 16.7 |
| 12.9 | 24.5 | 19.5 |

Tabella 6 Valori di resistenza dell varie classi di viti prese in considerazione

| CLASSIFICAZIONE POROSITA' | DIMENSIONI POROSITA' [mm] |
|---------------------------|---------------------------|
| A | < 3 |
| B | ≥ 3 |
| C | > 5 |

Tabella 7 Classificazione delle porosità in base alla loro dimensione caratteristica

| DIFETTO (geometria porosità) | FORZA DI ROTTURA [kN] |
|-------------------------------------|------------------------------|
| BORCHIE ROTTE | |
| TIPO 1 (SFEROIDALE) | |
| 1A | 22,6 |
| 1 A1 | 24,45 |
| 1 A3 | 24,25 |
| 1 A4 | 25,03 |
| 1 A5 | 22,57 |
| 1 A6 | 24,37 |
| 1 A7 | 24,84 |
| 1 A9 | 25,08 |
| 1 A10 | 25,04 |
| 1 B | 20,45 |
| 1 B3 | 23,23 |
| 1 B4 | 21,56 |
| 1 B5 | 24,66 |
| TIPO 2 (ALLUNGATA) | |
| 2 A7 | 25,17 |
| 2 B | 22,24 |
| 2 B1 | 21,41 |
| 2 B2 | 22,81 |
| 2 B3 | 24,11 |
| 2 B4 | 22,41 |
| 2 B5 | 24,26 |
| 2 B8 | 24,09 |
| 2 C1 | 24,13 |
| 2 C3 | 24,48 |
| 2 C4 | 24,61 |
| | |
| VITI ROTTE | |
| TIPO 1 (SFEROIDALE) | |
| 1 A2 | 25,64 |
| 1 A8 | 25,32 |
| 1 B1 | 25,35 |
| 1 B2 | 25,31 |
| TIPO 2 (ALLUNGATA) | |
| 2 A3 | 25,3 |
| 2 A4 | 25,46 |
| 2 A5 | 25,53 |
| 2 A6 | 25,23 |
| 2 A8 | 25,23 |
| 2 A9 | 25,59 |
| 2 B6 | 25,43 |
| 2 B7 | 25,21 |
| 2 B9 | 25,14 |
| 2 C2 | 25,29 |

Tabella 8 Risultati delle prove di trazione sulle borchie difettose, classificate per dimensione e geometria delle porosità

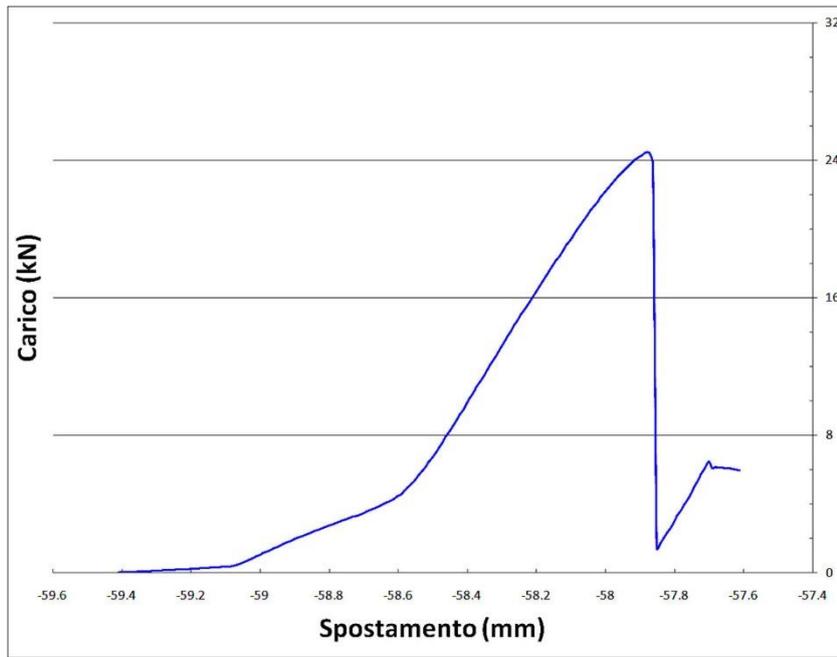


Figura 36 Grafico relativo alla borchia "1 A3" ottenuto dalle prove di trazione

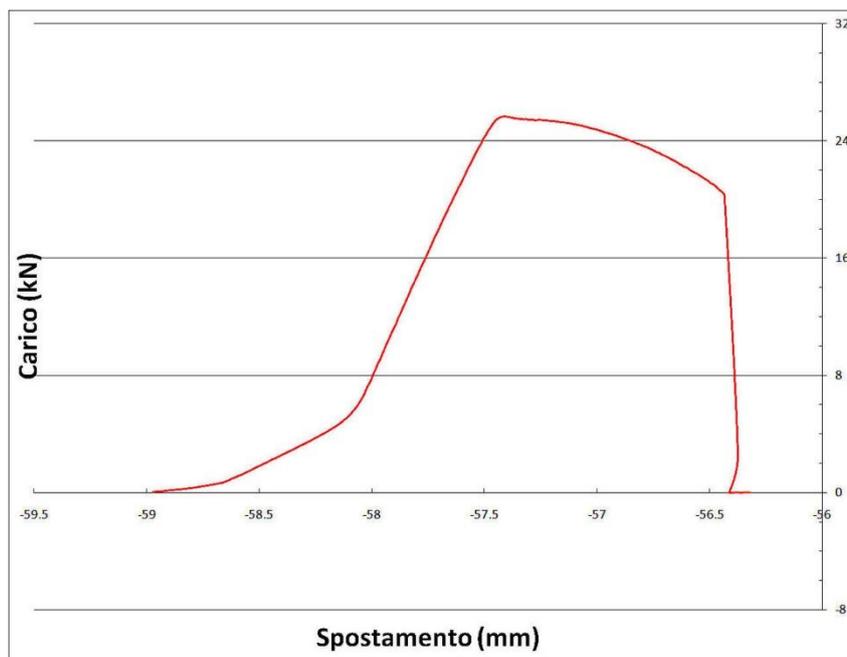


Figura 37 Grafico relativo alla borchia "1 A2" in questo caso resistente alla sollecitazione applicata, con rottura della vite

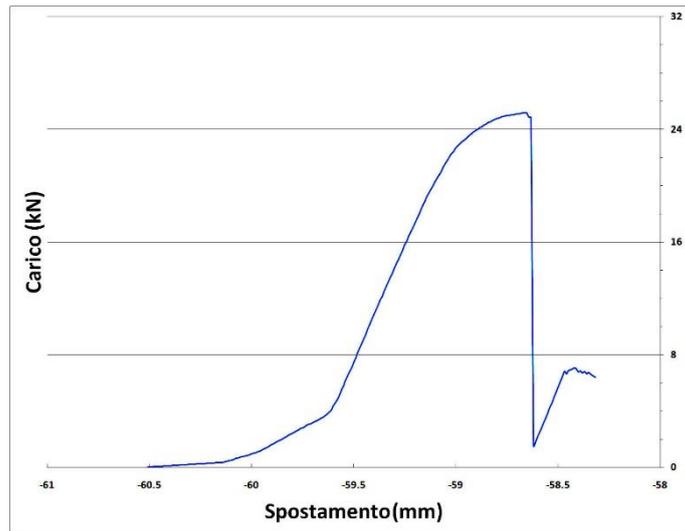


Figura 38 Grafico relativo alla borchia "2 A7" ottenuto dalle prove di trazione

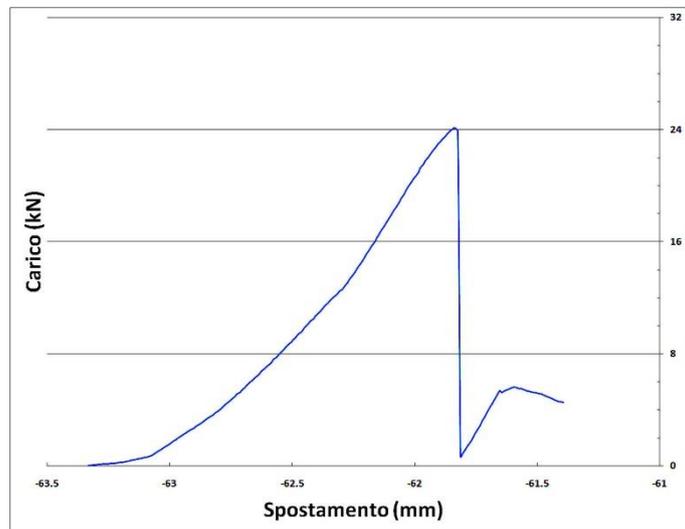


Figura 39 Grafico relativo alla borchia "2 B3" ottenuto dalle prove di trazione

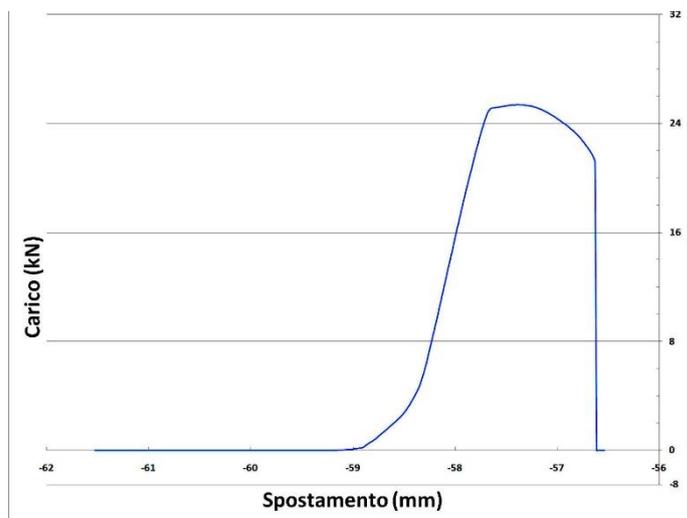


Figura 40 Grafico relativo alla borchia "2 C2" ottenuto dalle prove di trazione

7. CONCLUSIONI

Per quanto riguarda le viti è possibile notare come quelle con la classe minima, la 8.8, sono caratterizzate da un carico di rottura di 16.1 kN, che risulta essere all'incirca 5-6 volte superiore al serraggio dinamometrico applicato in esercizio. Per le borchie i valori del carico di rottura, come già detto, ampiamente confrontabili e simili fra loro, vanno da un minimo di 20,45 kN per la "1 B" ad un massimo di 25,17 kN della "2 A7". Per le viti 12.9 la resistenza può arrivare a oltre i 25 kN (tutti i valori sono compresi fra 25,14 per la 2 B9 e 25,64 della 1 A2).

I dati ottenuti tramite il calcolo della forza di serraggio applicata in esercizio, 2,37 kN, risultano evidentemente di molto inferiore rispetto ai valori di resistenza delle madreviti ottenuti dalle prove di trazione.

Si può concludere quindi che le borchie, quand'anche presentino un'ampia gamma di porosità come quelle analizzate in questo lavoro di tesi, sono ampiamente resistenti alla forza applicata in esercizio e che quindi non devono la loro eventuale rottura alla presenza di porosità presenti sui filetti, neanche se di dimensione oltre i 5 mm. Le porosità analizzate sono da considerarsi individuate sulla parete del foro e in direzione perpendicolare alla direzione di applicazione del carico in trazione.

| AMMISSIBILITA' | FORZA A CUI RESISTONO PRIMA DI ROMPERSI [kN] | FORZA APPLICATA AL MONTAGGIO [kN] | CARICO DI PROVA GARANTITO DALLA VITE [kN] (classe 8.8) |
|----------------------|--|-----------------------------------|--|
| BORCHIE ROTTE | | | |
| 1A | 22,6 | 2,37 | 11.6 |
| 1 A1 | 24,45 | 2,37 | 11.6 |
| 1 A3 | 24,25 | 2,37 | 11.6 |
| 1 A4 | 25,03 | 2,37 | 11.6 |
| 1 A5 | 22,57 | 2,37 | 11.6 |
| 1 A6 | 24,37 | 2,37 | 11.6 |
| 1 A7 | 24,84 | 2,37 | 11.6 |
| 1 A9 | 25,08 | 2,37 | 11.6 |
| 1 A10 | 25,04 | 2,37 | 11.6 |
| 2 A7 | 25,17 | 2,37 | 11.6 |
| | | | |
| | Forza di rottura media=24,34 | | |
| | | | |

| | | | |
|--|---|------|------|
| VITI ROTTE | | | |
| 1 A2 | 25,64 | 2,37 | 11.6 |
| 1 A8 | 25,32 | 2,37 | 11.6 |
| 2 A3 | 25,3 | 2,37 | 11.6 |
| 2 A4 | 25,46 | 2,37 | 11.6 |
| 2 A5 | 25,53 | 2,37 | 11.6 |
| 2 A6 | 25,23 | 2,37 | 11.6 |
| 2 A8 | 25,23 | 2,37 | 11.6 |
| 2 A9 | 25,59 | 2,37 | 11.6 |
| | | | |
| | Forza di rottura media=25,41 | | |
| NON AMMISSIBILITA' (per dimensione) | | | |
| BORCHIE ROTTE | | | |
| 1 B | 20,45 | 2,37 | 11.6 |
| 1 B3 | 23,23 | 2,37 | 11.6 |
| 1 B4 | 21,56 | 2,37 | 11.6 |
| 1 B5 | 24,66 | 2,37 | 11.6 |
| 2 B | 22,24 | 2,37 | 11.6 |
| 2 B1 | 21,41 | 2,37 | 11.6 |
| 2 B2 | 22,81 | 2,37 | 11.6 |
| 2 B3 | 24,11 | 2,37 | 11.6 |
| 2 B4 | 22,41 | 2,37 | 11.6 |
| 2 B5 | 24,26 | 2,37 | 11.6 |
| 2 B8 | 24,09 | 2,37 | 11.6 |
| 2 C1 | 24,13 | 2,37 | 11.6 |
| 2 C3 | 24,48 | 2,37 | 11.6 |
| 2 C4 | 24,61 | 2,37 | 11.6 |
| | | | |
| | Forza di rottura media=23,17 | | |
| VITI ROTTE | | | |
| 1 B1 | 25,35 | 2,37 | 11.6 |
| 1 B2 | 25,31 | 2,37 | 11.6 |
| 2 B6 | 25,43 | 2,37 | 11.6 |
| 2 B7 | 25,21 | 2,37 | 11.6 |
| 2 B9 | 25,14 | 2,37 | 11.6 |
| 2 C2 | 25,29 | 2,37 | 11.6 |
| | | | |
| | Forza di rottura media=25,28 | | |
| NON AMMISSIBILITA' (per posizione) | | | |
| | | | |
| 1 A3 | 24,25 | 2,37 | 11.6 |
| 1 A5 | 22,57 | 2,37 | 11.6 |

| | | | |
|-------|---|------|------|
| 1 A7 | 24,84 | 2,37 | 11.6 |
| 1 A9 | 25,08 | 2,37 | 11.6 |
| 1 A10 | 25,04 | 2,37 | 11.6 |
| 1 B | 20,45 | 2,37 | 11.6 |
| 1 B4 | 21,56 | 2,37 | 11.6 |
| 2 A7 | 25,17 | 2,37 | 11.6 |
| 2 B4 | 22,41 | 2,37 | 11.6 |
| 2 B5 | 24,26 | 2,37 | 11.6 |
| 2 B9 | 25,14 | 2,37 | 11.6 |
| 2 C4 | 24,61 | 2,37 | 11.6 |
| | | | |
| | Forza di rottura media=23,78 | | |

Tabella 9 Confronto tra le forze di rottura delle borchie, la forza a cui devono resistere al montaggio e il carico di prova garantito dalla vite utilizzata al montaggio

Alcuni dei relativi grafici vengono mostrati in appendice.

Parte quarta: SVILUPPI FUTURI

Infine ci si è voluti soffermare su come dare rilievo a due dei problemi più importanti dal punto di vista socio-economico e industriale, che riguarda la produzione di questa categoria di esemplari in alluminio, ossia l'impatto ambientale e la sostenibilità della manifattura. Grazie all'attività svolta in questa tesi, infatti, ci si è posti la domanda su come potrebbero cambiare gli aspetti legati alla sostenibilità ambientale, migliorandoli, nel caso i progettisti di componenti in alluminio, seguissero consapevolmente le linee guida tracciate dal seguente lavoro di tesi. Tipicamente tutti i progettisti si super cautelano mettendo più filetti di quello che è necessario dai calcoli strutturali, o mettendo specifiche più restrittive di quello che il processo di pressocolata può garantire, generando una serie di problemi che si è già evidenziato nella parte introduttiva della tesi; oltre a questi vi sono degli altri aspetti legati al fatto che alcuni progettisti ricorrono all'utilizzo di inserti di acciaio per realizzare l'accoppiamento filettato (figura 45), il quale quindi non viene realizzato in alluminio su acciaio, a causa della presenza di vari difetti che possono presentarsi (porosità, difetti nel getto ecc.), e che risultano poco prevedibili in fase di progettazione. Quindi per timore che la prestazione dell'accoppiamento filettato possa venire meno, alcuni "addetti ai lavori" definiscono l'utilizzo di inserti metallici per la realizzazione del filetto e per garantire l'accoppiamento. Viene rappresentato di seguito un esempio di componente strutturale in alluminio che non viene più fabbricato; esso è un supporto di ammortizzatori per autoveicoli.



Figura 41 Particolare del supporto per ammortizzatori (vista interna)



Figura 42 Particolare del pezzo con tutti i canali di colata



Figura 43 Particolare del supporto per ammortizzatori (vista esterna)



Figura 44 Particolare del supporto per ammortizzatori (vista di lato)

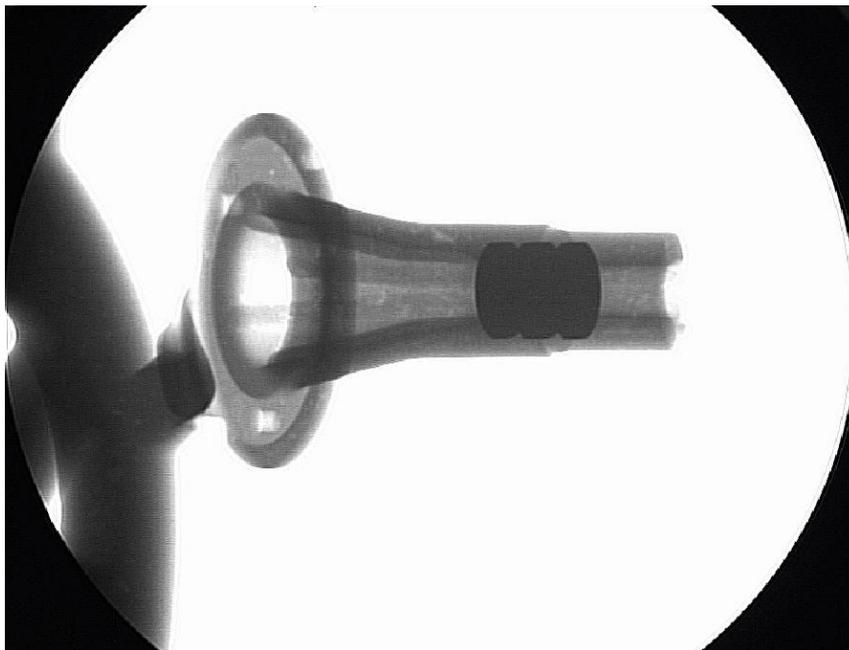


Figura 45 Radiografia supporto per ammortizzatori; Particolare dell'inserto metallico temprato con il quale viene realizzato l'accoppiamento filettato

Tutti i pezzi strutturali, in alluminio, sono realizzati in questo modo, permettendo al progettista "inconsapevole" di poter effettuare i calcoli di resistenza del filetto considerando un accoppiamento acciaio su acciaio, dove quest'ultimo risulta essere esente da difetti o soffiature. Questo risulta essere evidentemente, un tipo di approccio iperprotettivo da parte del progettista, non giustificato poi dalla successiva messa in opera del componente. A questo punto ci domandiamo come può incidere la necessità di inserire questo inserto nello stampato da parte del costruttore, che evidentemente, dovrà tenerne conto in fase di produzione e nella gestione degli scarti, generando impatti gravosi sull'ecologia e sulla sostenibilità del processo. Infatti riguardo al processo esso si traduce, nella pratica, a dover inserire manualmente ad ogni stampata l'inserto nella posizione corretta, da parte di un operatore il quale risulta essere a diretto contatto con un ambiente caldo e umido, e dove si generano fumi di lubrificanti utilizzati all'interno degli stampi. Esso non può permettersi minimamente di sbagliare in quanto se il posizionamento dell'inserto in acciaio dovesse essere erroneo, a chiusura degli stampi (anch'essi in acciaio) si genererebbero delle scheggiature o dei danni considerevoli sugli stessi i quali risultano l'elemento più oneroso per il costruttore sia per il costo di acquisto che per quello di manutenzione, generando inoltre anche dei fermi macchina importanti, deleteri a tutto il ciclo di produzione. Quindi oltre al corretto posizionamento l'operatore dovrebbe poi essere in grado di accertarne l'efficacia e quindi dare il suo assenso alla chiusura dello stampo. A causa di questi tipi di intervento la produzione di componenti strutturali in alluminio è stata delocalizzata in paesi con un costo della manodopera più basso e con deroghe meno restrittive riguardo all'incolumità degli operatori che quindi possono operare a bordo macchina. Essi, oltre agli evidenti rischi a cui verrebbero sottoposti, risultano essere anche a contatto con fumi dei lubrificanti cancerogeni, mettendo ancora più a rischio la loro salute. Inoltre risulta essere anche poco affidabile l'uso di una macchina in quanto la fase di controllo e validazione che l'inserto metallico sia alloggiato correttamente, risulta essere complicata e difficile senza l'apporto umano; Si ha infatti la necessità di equipaggiare una cella di pressocolata con strumenti di rilevazione, tipicamente fotocamere, che perdono in definizione, precisione e quindi di efficacia nel momento in cui vanno irrobustite e dotate di relative protezioni per poter operare efficacemente in ambiente caldo e umido qual'è quello della fonderia per pressocolata. Non si trova tutt'oggi un metodo facile, economico e sostenibile per garantire la produzione di questi tipi di componente.

Da un punto di vista ecologico poi la situazione viene aggravata in fase di gestione dello scarto. Esso risulta essere fisiologico nella produzione in fonderia con una percentuale che

può oscillare tra un 3% e 6% e quindi viene sempre considerato nel calcolo dei tempi ed attrezzature necessarie a garantire tutto il ciclo produttivo. Nel caso in questione, la gestione dello scarto sarà affetto da una serie di problematiche di cui il costruttore dovrà tenere conto, soprattutto sul bilancio. Al ciclo bisognerebbe aggiungere infatti, una postazione dedicata al conferimento dello scarto il quale non potrà essere omogeneamente raccolto essendo presente all'interno delle filettature l'inserito metallico; questo non potrà essere rifuso insieme a tutto il componente perché inquinerebbe il forno fusorio atto solo alla fusione di alluminio. I pezzi scartati dunque, non potranno essere riciclati e/o recuperati e avranno due possibili sorti: o saranno considerati rifiuti indifferenziati che quindi non si potranno riciclare internamente e diverrebbero dei rifiuti “pesanti”, industriali che dovranno poi essere opportunamente smaltiti, determinando un costo aggiuntivo considerevole. In alternativa si potrebbe separare dall'intero componente la sola parte in cui è presente l'inserito che però non risulta di facile estrazione e comporterebbe dei costi ulteriori sulla aggiunta di specifiche attrezzature (non manuali) e postazioni atte solo all'isolamento dello stesso, determinando un impatto devastante sul tempo e sul costo dell'intero ciclo produttivo.

In conclusione lo studio di accettabilità effettuato in questo lavoro di tesi, renderebbe possibile un ritorno alla produzione di componenti anche strutturali, in alluminio, su tutto il territorio nazionale ed Europeo, generando dei benefici non solo sul costo ma anche sull'eco-sostenibilità dell'intero processo produttivo.

BIBLIOGRAFIA ESSENZIALE

LOMBARDO, GIUSEPPE, *Metodologie di raffreddamento per il controllo della microstruttura nei getti di alluminio colati in gravità*, Tesi di Laurea, Politecnico di Torino, 2015.

MIGLIERINA, ANGELO ENRICO MARIA, *Tecnica fusoria di pressocolata per leghe di alluminio: ottimizzazione del processo e del warm-up*, Tesi di Laurea, Politecnico di Milano, 2008.

AA. VV., *ASM HANDBOOK, Volume 15 Casting*, ASM INTERNATIONAL, Materials Park, Novelty, OH, USA, 2008

AA. VV., *ASM HANDBOOK, Volume 2 Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials*, ASM INTERNATIONAL, Materials Park, Novelty, OH, USA, 1990

CALIGARIS, LUIGI; FAVA, STEFANO; TOMASELLO, CARLO, (a cura di), *Manuale di Meccanica*, Milano, 2006

Appendice: Grafici ottenuti dalle prove di trazione

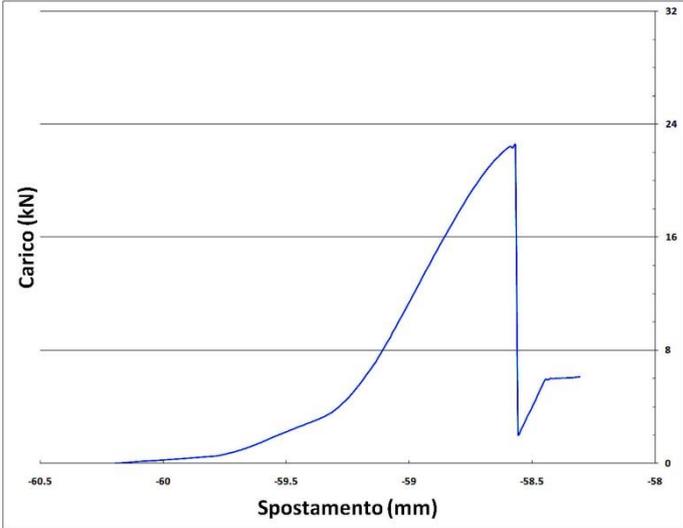


Figura 46 Borchia "1 A5"

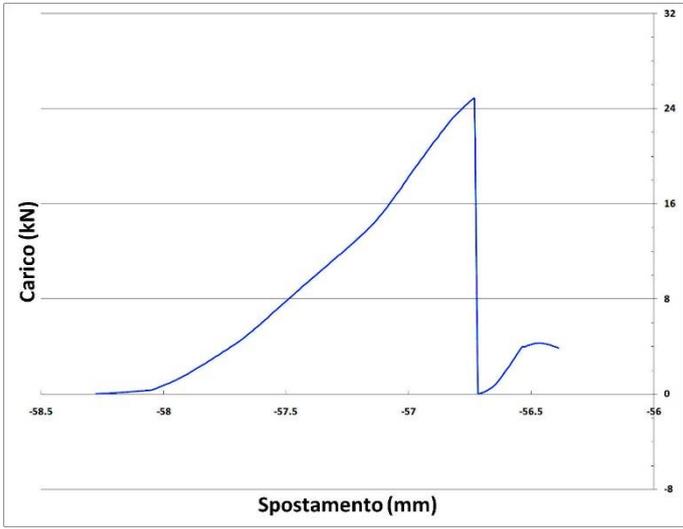


Figura 47 Borchia "1 A7"

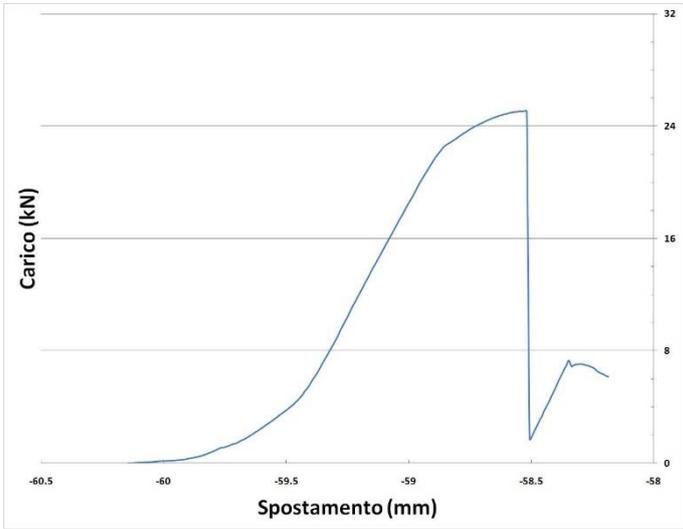


Figura 48 Borchia "1 A9"

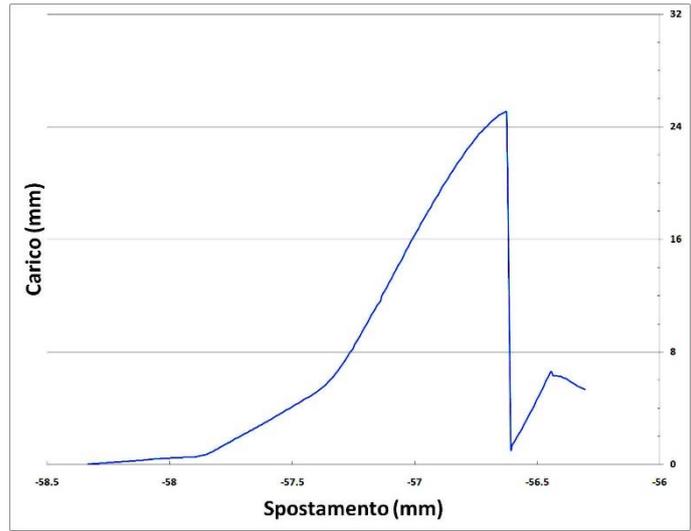


Figura 49 Borchia "1 A10"

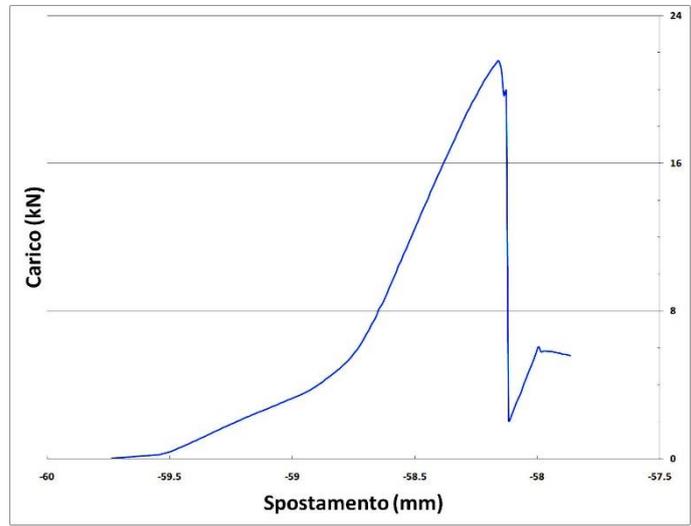


Figura 50 Borchia "1 B4"

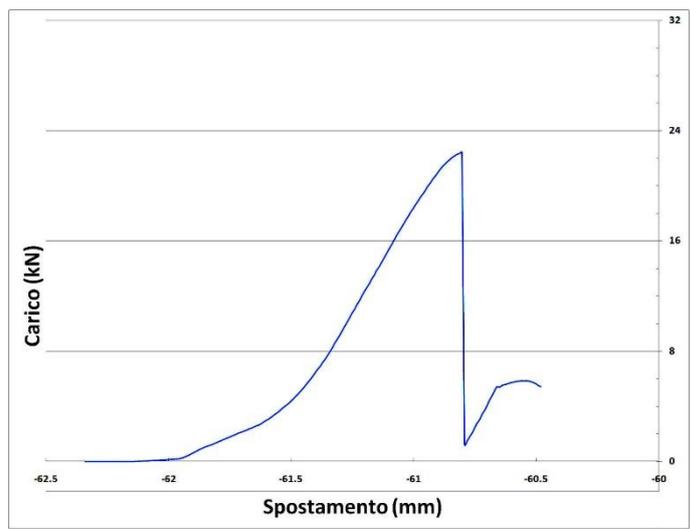


Figura 51 Borchia "2 B4"

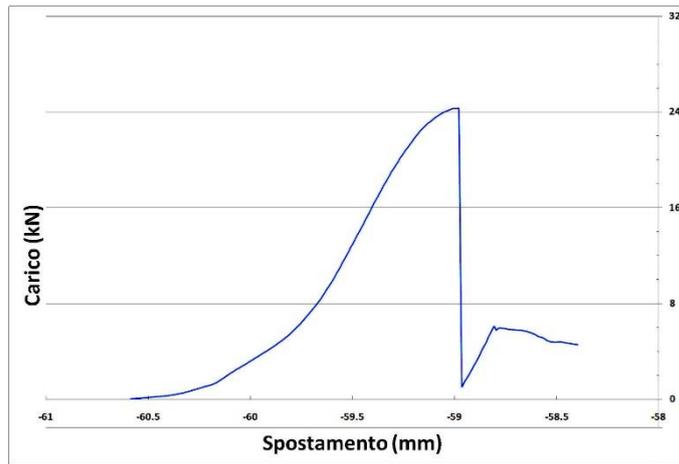


Figura 52 Borchia "2 B5"

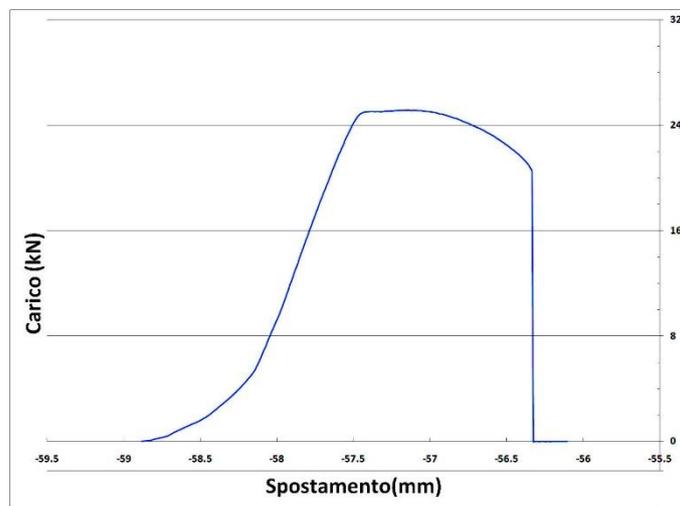


Figura 54 Borchia "2 B9"

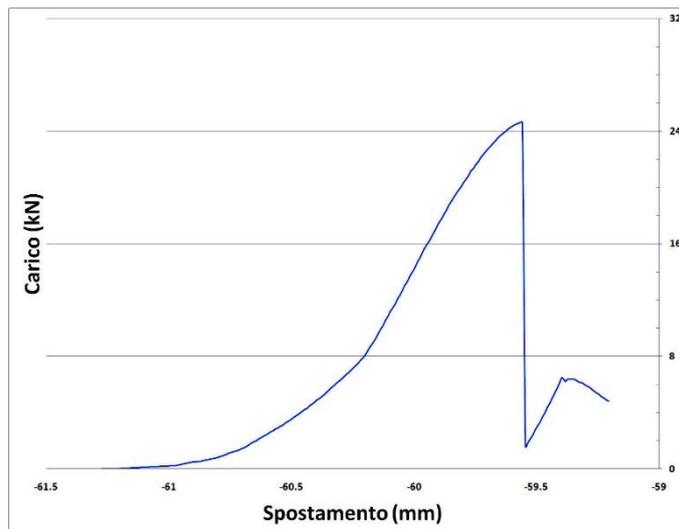


Figura 55 Borchia "2 C4"