# Problematiche di produzione di stampati e forgiati in acciaio inossidabile ASTM A182 F55

F. Bisaglia, M. Toniolo, J. Basoni, I. Calliari, E. Ramous

*Nella presente memoria viene descritta la messa a punto del ciclo produttivo di due componenti in acciaio super duplex ASTM A182 F55, da realizzare uno mediante stampaggio ed uno mediante fucinatura. Verrà descritto il procedimento di deformazione plastica a caldo di entrambi i pezzi e il successivo trattamento termico al fine di ottenere le caratteristiche meccaniche e la microstruttura desiderata. I risultati ottenuti da queste prove dovranno fornire le basi per l'effettiva messa in produzione dei due componenti.*

**Parole chiave:** Acciaio inox - Forgiatura - Lavorazioni plastiche a caldo - Trattamenti termici - Metallografia - Prove meccaniche

## INTRODUZIONE

La particolarità del caso, oltre ovviamente alle difficoltà intrinseche poste dal tipo di acciaio scelto [1-4], consisteva nella richiesta da parte del cliente di valori di caratteristiche meccaniche finali superiori rispetto a quelle previste dalla normativa ASTM A182. Era quindi necessario progettare il ciclo produttivo e scegliere i parametri di processo più adatti a raggiungere i risultati richiesti. La forma dei due pezzi, un "fondo" ed un "cappello" di circa 1200 Kg ciascuno, è rappresentata nella Fig. 1.
La valutazione della morfologia dei pezzi e delle caratteristiche da ottenere, ha portato a decidere di eseguire il fondo mediante stampaggio e il cappello mediante fucinatura libera. Le problematiche principali da considerare nella fase di progettazione del ciclo di produzione, sono da ricercarsi nell'intervallo di temperature in cui il materiale può essere deformato per evitare il rischio di inneschi di rotture localizzate sugli spigoli dei pezzi. L'altra fase critica, viste le dimensioni dei pezzi, è il trattamento termico finale, nel quale il raffreddamento dopo la solubilizzazione deve essere adeguato a garantire la formazione della microstruttura ottimale.

**F. Bisaglia**
*Attualmente RTM Breda - Carrè (VI)*

**M. Toniolo**
*Foc Ciscato - Seghe di Velo d'Astico (VI)*

**J. Basoni**
*De Pretto Industrie - Schio (VI)*

**I. Calliari, E. Ramous**
*Dipartimento di Ingegneria Industriale*
*Università degli Studi di Padova (PD)*

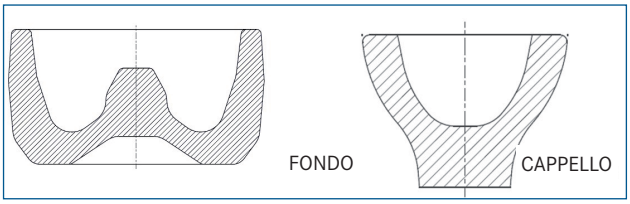


***Fig.1 - Disegni grezzi dei pezzi.***

*Fig. 1 – Rough parts drawings.*

## PARTE SPERIMENTALE

### *Materia prima*

Il materiale di partenza utilizzato è stato un tondo fucinato in F55 di diametro grezzo 500 mm, la cui analisi di colata è riportata nella Tabella 1, confrontata con la composizione prevista dalla normativa.Le caratteristiche meccaniche richieste sono riportate nella Tabella 2, messe a confronto con quelle minime previste dalla normativa ASTM.
Come si osserva è richiesto un carico di snervamento superiore e un determinato valore della resilienza a 20°C.Il materiale ASTM A182 F55 è caratterizzato dal forte rischio di formazione di precipitati e fasi intermetalliche nella fase di raffreddamento nell'intervallo di temperatura tra 1000÷600 °C. La fase di trattamento termico comportava quindi la maggiore criticità, incominciando dalla scelta delle temperature di solubilizzazione e dei tempi di permanenza in forno, valutati per entrambi i pezzi con il calcolo del diametro equivalente. Il raffreddamento è stato eseguito in vasche con forte agitazione dell'acqua prestando particolare attenzione al tempo di trasferimento tra il forno di trattamento e la vasca di raffreddamento.

| | C | Mn | P | S | Si | Ni | Cr | Mo | Cu | Al | W | $N_2$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ASTM A182 F55 | 0.030 | 1.00 | 0.030 | 0.010 | 1.00 | 6.0÷8.0 | 24.0÷-26.0 | 3.0÷4.0 | / | / | / | / |
| Colata 108839 | 0.012 | 0.55 | 0.023 | 0.0005 | 0.45 | 6.8 | 24.86 | 3.68 | 0.60 | 0.027 | 0.55 | 0.25 |

***Tab. 1 - Composizione chimica dell'acciaio F55***

*Tab. 1 - Chemical composizion of the F55 steel*

| | $R_{p0,2}$ [N/mm$^2$] | $R_m$ [N/mm$^2$] | A% | C% | KV [J] +20°C |
|---|---|---|---|---|---|
| **Caratteristiche richieste dal Cliente** | 600 | 800 | 25 | 45 | 150 |
| **Caratteristiche norma ASTM** | 550 | 750÷900 | 25 | 45 | Non prevista |

***Tab. 2 - Caratteristiche meccaniche***

*Tab. 2 – Mechanical properties*

***Preriscaldo***

È stato seguito lo stesso preriscaldo per entrambi gli spezzoni di partenza utilizzati per la produzione del pezzo stampato e di quello forgiato. Si partiva in entrambi i casi da Ø500 x 830 mm. La prima fase prevista era l'abbattimento degli spigoli di macchina utensile. Segue preriscaldo secondo il seguente ciclo:

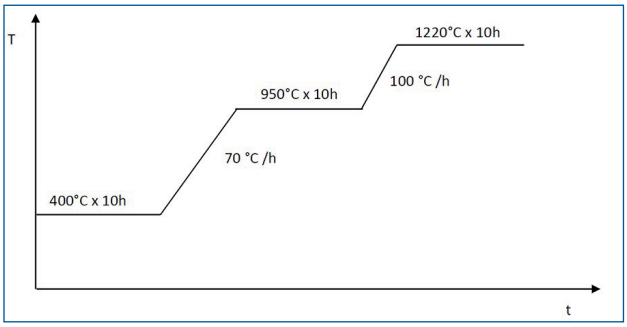


***Fig.2 - Grafico del preriscaldo eseguito.***

*Fig. 2 – Forging preheat graph.*

**STAMPATO**

Nel processo di stampaggio l'attenzione è stata focalizzata nell'utilizzo di attrezzature portate ad una temperatura tale da evitare un'eccessiva dispersione termica del pezzo nel corso della deformazione plastica; inoltre è stata seguita con estrema attenzione la preparazione superficiale delle attrezzature in modo che presentassero una rugosità bassa (circa 3,2 µm) e venissero adeguatamente lubrificate mediante una miscela di olio e grafite nel corso del processo produttivo.

Prima della ricalcatura le attrezzature sono state preriscaldate per evitare dispersione di calore eccessiva del pezzo. La fase di ricalcatura condotta ha portato il pezzo da H = 800 mm a H = 400 mm. Lo spezzone è stato quindi rimesso in forno a una T = 1250 °C. Il processo di stampaggio ha richiesto sei riprese di calda. In tutte le fasi del corso del processo la temperatura del pezzo è stata tenuta monitorata mediante misurazioni con un pirometro manuale. Segue fase di sbavatura.

***Solubilizzazione***

Il trattamento termico di solubilizzazione era la fase più critica per il materiale in questione essendo caratterizzato da forte rischio di formazione di precipitati e fasi intermetalliche nella fase di raffreddamento nell'intervallo di temperatura tra 1000÷600°C. Nella fase di trattamento termico è fondamentale la scelta delle temperature di solubilizzazione e dei tempi di permanenza in forno valutati per entrambi i pezzi attraverso il calcolo del diametro equivalente.

Per il componente stampato si è utilizzata una temperatura del forno di 1120°C, mantenendo il pezzo per 2,5 min/mm. Il raffreddamento è stato eseguito in acqua fortemente agitata.

***Risultati relativi al pezzo stampato***

*Prove meccaniche*

Le prove meccaniche eseguite hanno dato i seguenti risultati (Tabella 3).

Come si osserva il valore dello snervamento è vicino a quello richiesto della normativa, ma comunque è soddisfacente. Per rientrare nei limiti sarà sufficiente variare di poco le temperature e i tempi di trattamento.

| | $R_{p0,2}$ [N/mm²] | $R_m$[N/mm²] | A% | C% | KV [J] +20°C | KV [J] - 46°C |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Caratteristiche Richieste dal Cliente** | 600 | 800 | 25 | 45 | 150 | Non richiesta |
| **Caratteristiche norma ASTM** | 550 | 750÷900 | 25 | 45 | Non prevista | Non prevista |
| **Dopo solubilizzazione** | 510 | 756 | 41.6 | 70.4 | 227-228-224 | Non eseguita |
| **Riprova** | 549 | 777 | 44.0 | 71.2 | Non eseguita | 73-85-60 |

***Tab. 3 – Risultati delle prove meccaniche pezzo stampato***

*Tab. 3 – Close die forging piece mechanical testing results*

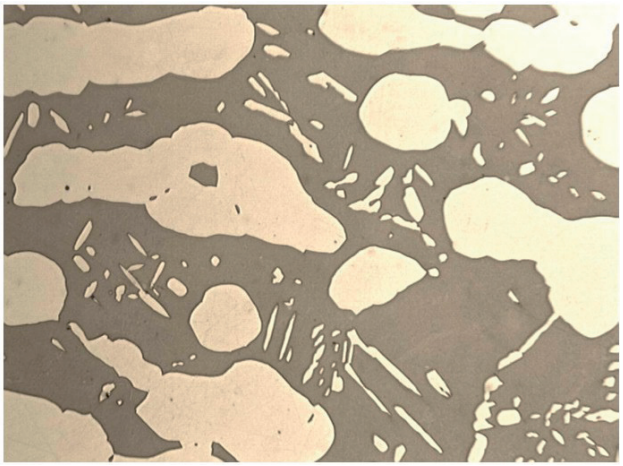

***Fig. 3 - Esame metallografico su provino solubilizzato. Attacco elettrolitico con acido ossalico. Ingrandimento x200.***

*Fig. 3 – Metallographic testing on solution annealed test coupon. Etching: electrolytic oxalic acid. Magnification x200.*

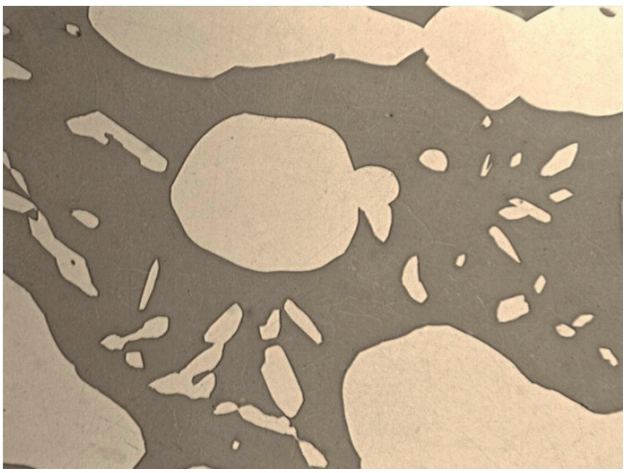

***Fig. 4 - Esame metallografico su provino solubilizzato. Attacco elettrolitico con acido ossalico. Ingrandimento x400.***

*Fig. 4 – Metallographic testing on solution annealed test coupon. Etching: electrolytic oxalic acid. Magnification x400*

*Esami metallografici*

Sono state condotte analisi metallografiche eseguite mediante attacco elettrolitico con acido ossalico. Gli esami evidenziano l'assenza di precipitati e fasi intermetalliche, ma si osserva un grano ancora abbastanza grosso, che giustifica i risultati dalle prove meccaniche. L'assenza di fasi intermetalliche è confermata dagli elevati valori ottenuti nella prova di resilienza.

## FUCINATO

Nella realizzazione del cappello mediante fucinatura libera, oltre alle problematiche già evidenziate dovute al materiale utilizzato e al fattore delle temperature di deformabilità, si aggiungono problematiche di processo in cui l'abilità degli operatori ha un ruolo fondamentale per la realizzazione di particolari con geometrie ben definite. Il "cappello" è stato prodotto mediante fucinatura secondo il seguente ciclo:

- Tornitura spigoli
- Fucinatura
- Controllo dimensionale
- Solubilizzazione
- Controllo durezza
- Foratura
- Tornitura
- Controllo durezza
- Controllo dimensionale
- Controllo con liquidi penetranti
- Controllo ultrasuoni
- Marcatura

La forgiatura del pezzo ha richiesto tre calde. Nella prima calda è stata effettuata la stiratura. Nella seconda calda il pezzo è stato inserito nello stampo, ed è iniziato l'inserimento della spina per ottenere la forma desiderata. Finito poi con una terza calda.

***Solubilizzazione***

In base a quanto osservato nelle micrografie del pezzo stampato, sono stati cambiati i parametri di processo della solubilizzazione, al fine di ottenere migliori caratteristiche meccaniche. La temperatura di solubilizzazione è stata di

1100 °C per 2 min/mm. Raffreddamento è stato eseguito in acqua fortemente agitata.

***Risultati relativi al pezzo fucinato***

*Prove meccaniche*
I valori ottenuti sono riportati nella Tabella 4.
I valori ottenuti dopo solubilizzazione risultano vicini alle richieste del cliente (Ma soddisfacenti in confronto alla norma ASTM), e dovranno essere migliorati con alcune modifiche ai parametri di trattamento.

*Esami metallografici.*
L'esame micrografico condotto sul provino con solo il trattamento di solubilizzazione alla temperatura di 1100°C con tempo di permanenza 2 min/mm ha evidenziato la presenza di un grano abbastanza grosso con assenza di precipitati, confermata, anche in questo caso, dagli elevati valori ottenuti nella prova di resilienza.

**CONCLUSIONI**

I risultati ottenuti in entrambi i pezzi sono molto positivi e incoraggianti data la criticità del materiale e sono stati utili per portare FOC Ciscato a fare esperienza sulla deformazione, trattamenti e studio degli acciai super duplex.
Il componente stampato, solubilizzato seguendo i parametri elencati, presentava al controllo micrografico, assenza di precipitati ma le caratteristiche meccaniche vicine a quanto richiesto dal Cliente.
Il componente forgiato è stato solubilizzato aggiustando leggermente i parametri utilizzati per lo stampato, ottenendo, come nel caso precedente, assenza di precipitati al controllo micrografico e caratteristiche meccaniche migliori rispetto allo stampato, soddisfacenti per la norma ASTM, ma non ancora del tutto sufficienti a soddisfare i requisiti del cliente.
Ci si propone ora di affinare ulteriormente i parametri da utilizzare nel corso del processo di deformazione plastica a caldo e del trattamento termico in modo da arrivare a standardizzare il processo.
Per acciai critici come il tipo F55, le richieste di caratteristiche meccaniche anche superiori rispetto a quelle indicate dalla normativa, pongono notevoli difficoltà che possono essere superate solo con una messa a punto molto accurata dei parametri di processo, che purtroppo deve essere eseguita praticamente per ogni diverso tipo di componente, essendo fortemente influenzata dalla forma e dalle dimensioni dei pezzi da produrre.

***Fig.5 - Foto del pezzo dopo stiratura, alla fine della prima calda.***

*Fig. 5 – Piece after stretch hot deformation.*

***Fig.6 - Foto dell'inserimento della spina nel corso della seconda calda.***

*Fig. 6 – Plug insert in the second forging warm.*

| | $R_{p0,2}$ [N/mm²] | $R_m$[N/mm²] | A% | C% | KV [J] +20°C | KV [J] - 46°C |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Caratteristiche Richieste dal Cliente** | 600 | 800 | 25 | 45 | 150 | Non richiesta |
| **Caratteristiche norma ASTM** | 550 | 750÷900 | 25 | 45 | Non prevista | Non prevista |
| **Dopo solubilizzazione** | 578 | 791 | 37.5 | 65 | 204-212-208 | 98-108 |

***Tab. 4 - Risultati delle prove meccaniche pezzo fucinato.***

*Tab. 4 – Open die forging piece mechanical testing results.*

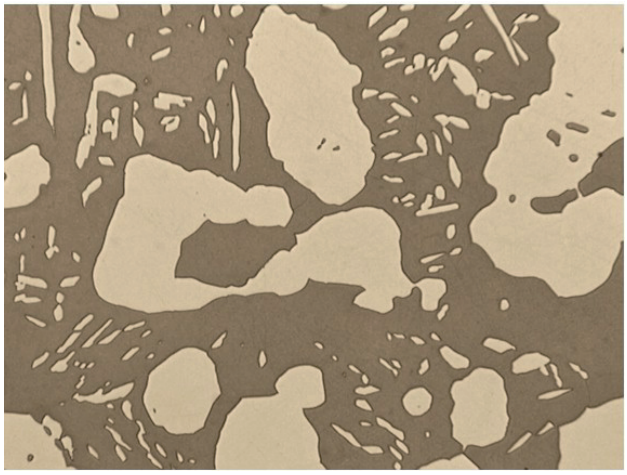

***Fig.7 - Esame metallografico su provino solubilizzato. Attacco elettrolitico con acido ossalico. Ingrandimento x200.***

*Fig. 7 – Metallographic testing on solution annealed test coupon. Etching: electrolytic oxalic acid. Magnification x200.*

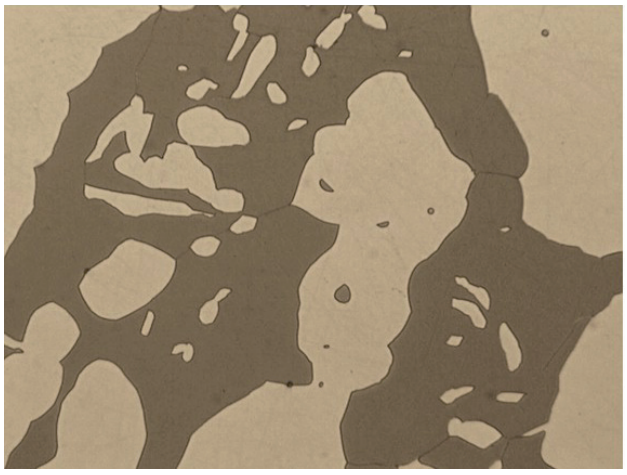

***Fig.8 - Esame metallografico su provino solubilizzato. Attacco elettrolitico con acido ossalico. Ingrandimento x400.***

*Fig. 8 – Metallographic testing on solution annealed test coupon. Etching: electrolytic oxalic acid. Magnification x400.*

**BIBILIOGRAFIA**

1] J.O. Nilsson, Super duplex stainless steels, Mat. Sci. Techn. Vol.8, (1992), pag. 685
2] J.O. Nilsson, P. Kangas, T. Karlsson,, A. Wilson, Metallurgical and Materials Transactions 31A, (2000), pag. 35
3] T.H. Chen, K.L. Weng, and J.R. Yang, Mat. Sci. Eng. A338, (2002), pag. 259–270
4] L. Karlsson, L. Bengtsson, U. Rolander, S. Pak, Proc.“Application stainless steel 92”, Stockholm, The Institute of Metals, (1992), pag. 335

## Manufactoring problems on the close die and open die forging pieces in stainless steel ASTM A182 F55

**Keywords:** Forging, Close die forging, Duplex stainless steel, F55, Plastic deformation, Heat treatment.

This paper describes the development of the productive cycle of two steel components in super duplex stainless steel type ASTM A182 F55, One made by open die forging and one by close die forging. The process of hot plastic deformation of both pieces and the subsequent heat treatment in order to obtain the mechanical properties and the desired microstructure is described. The results of these tests will provide the foundation for the actual start of production of the two components. The peculiarity of the case, in addition to the inherent difficulties to work this type of steel, consists in the customer requirement of values of final mechanical characteristics superior to those foreseen by ASTM A182. It was therefore necessary to plan a specific production cycle the production cycle and choose the most suitable process parameters to achieve the required results.