

Effetti dei trattamenti di finitura sulle proprietà meccaniche di getti strutturali per applicazioni in campo automotive

A. Panvini, S. Cecchel, G. Cornacchia, D. Dioni, M. Faccoli, V. Ferrari, A. Grumi

Il presente lavoro si pone l'obiettivo di valutare l'effetto delle operazioni di incollaggio e verniciatura, effettuate a valle dei processi di fonderia e trattamenti termici, su una lega di alluminio B356-T6. I componenti studiati sono stati ottenuti per colata in gravità in stampo permanente, utilizzando tre diverse combinazioni tempo-temperatura per il trattamento di tempra di solubilizzazione e invecchiamento. Successivamente i getti sono stati sottoposti a cicli termici simulanti le fasi di finitura del ciclo produttivo; tali operazioni vengono condotte a temperature che, in alcune fasi, sono prossime a quelle utilizzate durante il trattamento di invecchiamento e potrebbero quindi modificare alcune caratteristiche dei getti. Per tale motivo sono state valutate le proprietà meccaniche prima e dopo le fasi di finitura, sia su sezioni dei getti sia su campioni di trazione realizzati a parte. Le combinazioni T-t sono state selezionate tramite l'analisi del ciclo reale industriale. I risultati delle prove sperimentali evidenziano che sui componenti analizzati vi sono effettive alterazioni delle caratteristiche meccaniche causate dall'esposizione ai tempi e alle temperature considerati. Dall'analisi dei dati ottenuti è possibile notare, inoltre, come le differenze, in termini di proprietà meccaniche tra i tre iniziali livelli di allungamento, si riducano all'avanzare del processo di finitura fino quasi ad annullarsi una volta raggiunto lo stadio di ciclo completo.

Parole chiave: Alluminio e leghe - Fonderia - Getti - Trattamenti termici - Prove meccaniche - Automotive

INTRODUZIONE

L'utilizzo delle leghe di alluminio ad alte prestazioni, che garantiscono una favorevole combinazione tra elevate caratteristiche meccaniche e basso peso specifico, è una pratica sempre più impiegata per applicazioni strutturali nel campo degli autotrasporti: la diminuzione delle masse in movimento consente di ridurre il consumo di carburante ed aumentare le prestazioni migliorando al tempo stesso l'impatto ambientale. Le leghe di alluminio maggiormente usate per la produzione di getti appartengono alla serie Al-Si-Mg nella quale una buona fluidità è ottenuta grazie all'utilizzo di una considerevole percentuale di silicio (5% - 17%) mentre le elevate caratteristiche meccaniche sono fornite dalla compresenza di silicio e magnesio (0.2% -

0.6%) che garantisce la possibilità di trattarle termicamente. Queste leghe sono sottoposte al trattamento termico di solubilizzazione seguita da un invecchiamento artificiale (T6) che garantisce un incremento delle proprietà meccaniche grazie al meccanismo di indurimento per precipitazione. Le proprietà del materiale dipenderanno non solo dai parametri di tempo e temperatura utilizzati nella fase di trattamento termico, ma anche dalla storia termica subita dal getto durante la sua vita [1-3].

Nell'ambito del presente studio è stato analizzato l'effetto che le operazioni di incollaggio e verniciatura, condotte a valle dei processi di fonderia e di trattamento termico T6, esercitano sulle caratteristiche meccaniche di componenti in lega Al-Mg-Si (B 356).

I cicli rappresentativi di queste operazioni di finitura, in termini di tempo e temperatura, sono stati ottenuti monitorando i processi realizzati industrialmente grazie all'utilizzo di termocoppie collocate in diverse posizioni dei forni. Tale analisi ha messo in evidenza come in alcuni casi le temperature delle fasi di finitura, seppur protratte per tempi inferiori, siano prossime a quelle utilizzate per la conduzione dei trattamenti termici; da qui l'importanza di studiarne l'eventuale influenza sulle proprietà meccaniche del componente finito.

A. Panvini, S. Cecchel, G. Cornacchia, D. Dioni, M. Faccoli, V. Ferrari

*Dipartimento Ingegneria meccanica e industriale,
Università degli studi di Brescia, Brescia*

A. Grumi

FMB, Pavone Mella (BS)

Principale obiettivo del presente lavoro è stato, quindi, valutare l'eventuale variazione delle proprietà meccaniche causata dalle fasi di incollaggio e verniciatura sulla lega in esame. A tal fine, i cicli termici rappresentativi di queste operazioni sono stati simulati ponendo in forno alcuni componenti colati in gravità in stampo permanente. Tali getti sono stati precedentemente sottoposti a trattamenti termici differenziati, condotti con diverse combinazioni di tempo e temperatura, in modo tale da ottenere diversi bilanciamenti di resistenza meccanica e duttilità. Sono state valutate, quindi, le proprietà meccaniche immediatamente dopo i trattamenti convenzionali e successivamente ai cicli termici che rappresentano le fasi di incollaggio e verniciatura; in particolare sono state effettuate prove di durezza su campioni ricavati da getti reali e prove di trazione su campioni normati, realizzati a parte con gli stessi parametri di colata e trattamenti termici.

MATERIALI

I getti analizzati nel presente lavoro rappresentano componenti ottenuti tramite colata in gravità in stampo permanente di una lega di alluminio B 356, la cui composizione chimica specifica è riportata in Tab.1. Successivamente all'estrazione dallo stampo, il getto subisce, oltre a smaterozzatura, sbavatura e sabbiatura, altre importanti operazioni tra cui figurano il trattamento termico di tempra di solubilizzazione e invecchiamento, la verniciatura e l'incollaggio.

| Elemento | Alluminio | Silicio | Magnesio | Rame | Ferro | Manganese | Titanio | Zinco | Altri |
|-----------|-----------|---------|----------|------|-------|-----------|----------|-------|-------|
| % in peso | 91.9-93.2 | 6.5-7.5 | 0.3-0.45 | 0.03 | 0.06 | 0.03 | 0.04-0.2 | 0.03 | 0.1 |

Tab. 1 - Composizione chimica percentuale della lega B356.

Tab. 1 - Chemical composition of B356 aluminum alloy.

TRATTAMENTI TERMICI

Come già accennato precedentemente sono stati analizzati diversi getti in cui il trattamento termico di tempra di solubilizzazione seguita da invecchiamento è stato condotto variando i parametri di tempo e temperatura in modo tale da ottenere diversi gradi di resistenza meccanica e duttilità.

Nello specifico, il trattamento di tempra di solubilizzazione è stato realizzato analogamente per tutti i componenti analizzati, mentre per quanto riguarda l'invecchiamento artificiale sono state utilizzate tre diverse combinazioni di tempo e temperatura, in modo tale da ottenere tre differenti livelli di resistenza meccanica e duttilità che in seguito saranno denominati alto allungamento, medio allungamento e basso allungamento. Le condizioni utilizzate per i trattamenti sopra citati sono riportate in Tab.2.

Osservando i dati riportati in Tab.2 è ragionevole ipotizzare che tempi e temperature relativi all'invecchiamento fina-

| | TRATTAMENTO TERMICO T6 | | | | | |
|--------------------|------------------------|---------|-----------------------------|----------------------|----------------|---------|
| | SOLUBILIZZAZIONE | | TEMPRA | | INVECCHIAMENTO | |
| | T [°C] | t [min] | T mezzo raffreddamento [°C] | t raffreddamento [s] | T [°C] | t [min] |
| ALTO ALLUNGAMENTO | 540±5 | 360 | Acqua 26-60 | <17 | 150±5 | 150 |
| MEDIO ALLUNGAMENTO | 540±5 | 360 | Acqua 26-60 | <17 | 155±5 | 200 |
| BASSO ALLUNGAMENTO | 540±5 | 360 | Acqua 26-60 | <17 | 165±5 | 250 |

Tab. 2 - Parametri del trattamento termico T6.

Tab. 2 - T6 heat treatment parameters.

lizzato all'ottenimento di allungamenti alti e medi portino ad avere un sottoinvecchiamento rispetto alla condizione di basso allungamento; è presumibile cioè che, ai diversi livelli di allungamento ottenuti attraverso tale trattamento T6, corrispondano valori di durezza sottostanti il picco della curva di invecchiamento [4].

TRATTAMENTI DI FINITURA

I componenti, successivamente al trattamento termico, subiscono operazioni di finitura quali incollaggio e verniciatura. Entrando nel dettaglio di tali operazioni per l'incollaggio è necessario stazionare ad una determinata temperatura affinché si abbia una completa reticolazione degli adesivi. Il processo di verniciatura è invece suddiviso in quattro fasi. La prima fase è costituita dalla cataforesi, processo che sfrutta fenomeni elettrochimici per favorire la deposizione della vernice, che viene poi polimerizzata in forno conferendo al materiale una elevata resistenza alla corrosione. La seconda fase consta nella deposizione del rivestimento di fondo, o primer, ed ha lo scopo di eliminare eventuali imperfezioni superficiali e di preparare il substrato per la fase seguente. La terza fase è data dalla deposizione dello strato di PVC, rappresentante la vernice vera e propria, ed infine l'ultima fase è costituita dallo smalto di finitura che garantisce impermeabilità e durata, oltre ad esercitare una funzione estetica. Le temperature e i tempi dei processi sopra descritti sono riportate in Tab. 3. Questi dati sono stati ricavati dall'analisi delle curve ottenute monitorando i cicli realizzati industrialmente tramite l'utilizzo

| | | Temperatura [°C] | Tempo [min.] |
|--------------|--------------------------|------------------|--------------|
| INCOLLAGGIO | | 180 | 30 |
| VERNICIATURA | Forno di cataforesi | 180 | 40 |
| | Forno deposizione fondo | 190 | 45 |
| | Forno deposizione PVC | 130 | 15 |
| | Forno deposizione smalto | 150 | 50 |

Tab. 3 - Parametri dei trattamenti di incollaggio e verniciatura.

Tab. 3 - Adhesive bonding and painting's parameters.

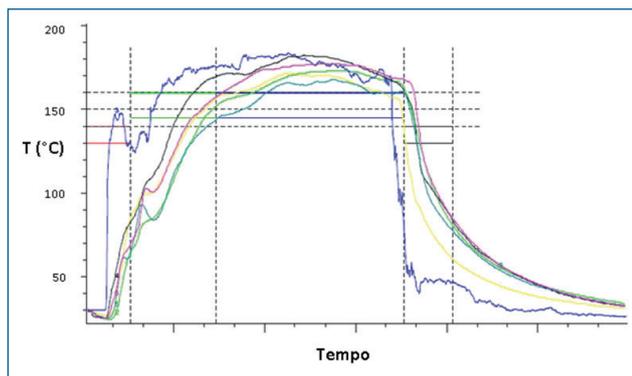


Fig. 1 - Esempio di tracciato tempo-temperatura registrato nel corso di una delle fasi di verniciatura.

Fig. 1 - Example of time-temperature track recorded during painting.

di termocoppie collocate in diverse posizioni dei forni e considerandone il valore medio escludendo i transitori di riscaldamento e raffreddamento. A titolo di esempio si riporta in Fig.1 uno dei tracciati registrati.

È importante sottolineare come le temperature dei processi sopra analizzati superino, in alcune fasi, quelle dei trattamenti termici anche se le permanenze sono minori.

PROVE MECCANICHE

Per valutare l'effettiva influenza dei cicli di finitura sono state eseguite alcune prove meccaniche, in particolare: prove di durezza HRF sui getti e prove di trazione su provini colati a parte.

Entrambi i test meccanici sono stati condotti su campioni sia allo stato di fornitura T6, sia dopo aver eseguito una campagna di trattamenti sperimentali simulanti le fasi di finitura sui getti e sui provini di trazione normati. Nello specifico sono stati riprodotti i trattamenti di incollaggio, di verniciatura e di ciclo completo (incollaggio seguito da verniciatura) ponendo i campioni interessati in un forno ventilato alle temperature e per i tempi caratteristici di ogni fase, già riportati in Tab.3.

A conclusione, al fine di verificare l'attendibilità dei dati ricavati, sono stati testati a trazione anche una serie di provini T6-alto allungamento sottoposti industrialmente al trattamento di verniciatura.

PROVE DI DUREZZA

Dai tre getti, basso, medio ed alto allungamento, sono stati ricavati campioni piani di dimensioni di circa 2 cm² di superficie e dai 4 ai 7 mm di spessore. Il taglio è stato effettuato per mezzo di troncatrici a lama rettilinea e circolare, utilizzando un liquido lubrorefrigerante per evitarne la benché minima alterazione termica. Sono stati quindi sotto-

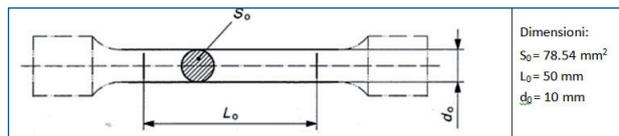


Fig. 2 - Geometria di un provino di trazione assialsimmetrico a sezione circolare.

Fig. 2 - Size of a tensile axisymmetric specimen with round section.

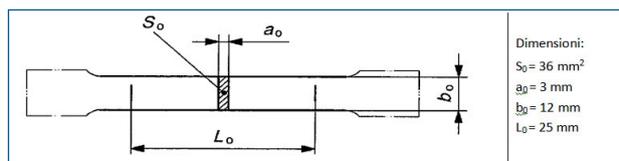


Fig. 3 - Geometria di un provino di trazione a sezione rettangolare.

Fig. 3 - Size of a tensile specimen with rectangular section.

posti a misurazione della durezza mediante un durometro Rockwell Rupac 500 Mra montante penetratore sferico di diametro pari a un sedicesimo di pollice in metallo duro e con un carico di 60 kg (HRF) seguendo le direttive imposte dalla normativa ASTM E 18-12. I dati così ottenuti sono stati convertiti, attraverso formule di equivalenza fornite dalla normativa ASTM E 140-12be1, in scala HRB e HV. Le prove di durezza sono state successivamente ripetute sugli stessi campioni a seguito della simulazione dei trattamenti di solo incollaggio, di sola verniciatura e di entrambi i processi in sequenza.

PROVE DI TRAZIONE

Sono stati realizzati e sottoposti a trattamento termico T6 per tutti e tre i livelli di allungamento, dei campioni di trazione assialsimmetrici a sezione circolare le cui dimensioni sono riportate in Fig. 2. Una parte di questi provini è stata testata allo stato T6, mentre sui restanti sono stati simulati i trattamenti di sola verniciatura, di solo incollaggio e di incollaggio seguito da verniciatura prima di procedere alla prova di trazione, analogamente ai campioni utilizzati per le prove di durezza.

Infine sono stati realizzati e sottoposti a trattamento T6 - alto allungamento dei campioni di trazione a sezione rettangolare le cui dimensioni sono riportate in Fig. 3. Una parte di questi provini è stata testata allo stato T6, mentre i restanti sono stati sottoposti industrialmente a trattamento di verniciatura precedentemente alla prova di trazione. Nello specifico i provini sono stati trattati inserendoli, insieme ad un pezzo in fase di produzione, in corrispondenza di quattro diverse altezze all'interno del forno di verniciatura, al fine di verificarne anche gli effetti della possibile non uniformità di temperatura.

I test di trazione uniassiale sono stati eseguiti tramite una macchina di trazione elettro-meccanica Instron mod. 3369, montante un cella di carico da 50 kN, in controllo di spostamento con velocità pari a 2 mm/min nel caso dei campioni a sezione circolare, e con velocità pari a 0.4 mm/min nel caso dei campioni a sezione rettangolare. Dimensioni dei campioni e velocità di spostamento della traversa mobile della macchina di trazione sono stati selezionati facendo riferimento alla norma ISO 6892-1.

RISULTATI E DISCUSSIONE

Prove di durezza

Si riportano in Tab.4,5,6 e in Fig.4 i risultati medi di durezza, con relativa deviazione standard, ottenuti dalle prove effettuate per ogni livello di allungamento sia allo stato T6 sia a valle dei trattamenti di finitura.

Alto allungamento

| | T6 | | incollaggio | | verniciatura | | ciclo completo | |
|-----|-------|------|-------------|------|--------------|------|----------------|------|
| | Media | ± | Media | ± | Media | ± | Media | ± |
| HRF | 79.45 | 2.04 | 85.45 | 0.83 | 88.00 | 1.90 | 88.80 | 1.01 |
| HRB | 40.30 | | 50.08 | | 54.56 | | 56.32 | |
| HV | 86.13 | | 97.27 | | 103.13 | | 104.94 | |

Tab. 4 - Risultati delle prove di durezza effettuate su provini ricavati da getti alto allungamento.

Tab. 4 - Results of hardness tests on specimens machined from high elongation castings.

Medio allungamento

| | T6 | | incollaggio | | verniciatura | | ciclo completo | |
|-----|-------|------|-------------|------|--------------|------|----------------|------|
| | Media | ± | Media | ± | Media | ± | Media | ± |
| HRF | 82.85 | 2.93 | 85.30 | 1.70 | 87.00 | 2.53 | 87.25 | 1.18 |
| HRB | 46.17 | | 49.82 | | 52.81 | | 52.10 | |
| HV | 92.37 | | 97.04 | | 100.95 | | 101.27 | |

Tab. 5 - Risultati delle prove di durezza effettuate su provini ricavati da getti medio allungamento.

Tab. 5 - Results of hardness tests on specimens machined from medium elongation castings.

Basso allungamento

| | T6 | | incollaggio | | verniciatura | | ciclo completo | |
|-----|-------|------|-------------|------|--------------|------|----------------|------|
| | Media | ± | Media | ± | Media | ± | Media | ± |
| HRF | 85.50 | 1.88 | 88.30 | 1.60 | 84.70 | 2.18 | 89.00 | 0.82 |
| HRB | 49.40 | | 55.09 | | 48.77 | | 55.62 | |
| HV | 97.50 | | 103.79 | | 95.85 | | 105.42 | |

Tab. 6 - Risultati delle prove di durezza effettuate su provini ricavati da getti basso allungamento.

Tab. 6 - Results of hardness tests on specimens machined from low elongation castings.

Come è possibile notare dal grafico in Fig. 4 la durezza cresce in seguito ai trattamenti di finitura per tutti i livelli di allungamento analizzati. Inoltre, si osserva che tale variazione diventa sempre più marcata all'aumentare del livello di allungamento di partenza e a questo consegue un tendenziale annullamento delle differenze, in termini di

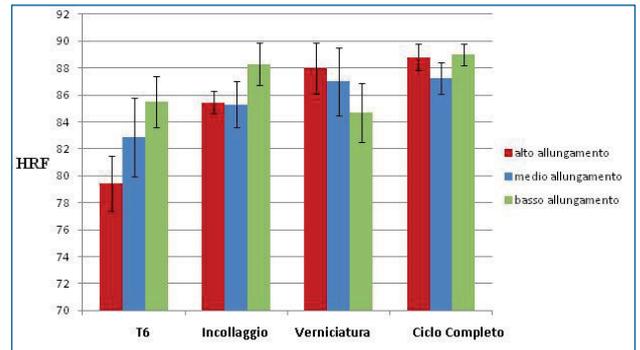


Fig. 4 - Risultati delle prove di durezza effettuate su campioni allo stato T6 e dopo i trattamenti di finitura.

Fig. 4 - Results of hardness tests on samples in T6 condition and after the finishing treatments.

durezza, conferite dai diversi trattamenti T6, man mano che si procede nel trattamento di assemblaggio e finitura. Questo fatto può essere spiegato supponendo che, come ipotizzato precedentemente, i diversi gradi di allungamento siano stati ottenuti con trattamenti T6 a cui corrispondono livelli di durezza sottostanti il picco della curva di invecchiamento e che i trattamenti di finitura non facciano altro che favorire la prosecuzione del processo di invecchiamento fino al raggiungimento di tale picco.

Prove di trazione

Successivamente sono state eseguite le prove di trazione atte ad approfondire l'influenza dei cicli di finitura sulle proprietà meccaniche per i tre livelli di allungamento, già osservata con le prove di durezza. Ai fini di verificare se i provini di trazione siano o meno rappresentativi del comportamento meccanico del getto, sono state effettuate delle prove di durezza sulle teste dei campioni. Il confronto di questi valori con quelli ottenuti dalle sezioni estratte dai getti ha dato riscontro positivo.

Per ragioni di chiarezza vengono di seguito mostrati i grafici riportanti i confronti tra le curve rappresentative di ogni fase produttiva divise per livello di allungamento.

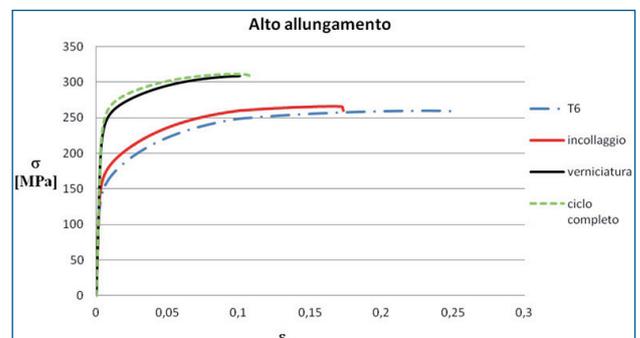


Fig. 5 - Esempio di confronto tra le fasi di finitura per provini ad alto allungamento.

Fig. 5 - Comparison example among finishing steps for high elongation samples.

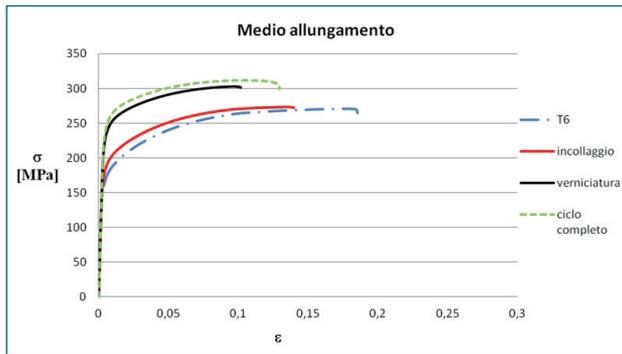


Fig. 6 - Esempio di confronto tra le fasi di finitura per provini a medio allungamento.

Fig. 6 - Comparison example among finishing steps for medium elongation samples.

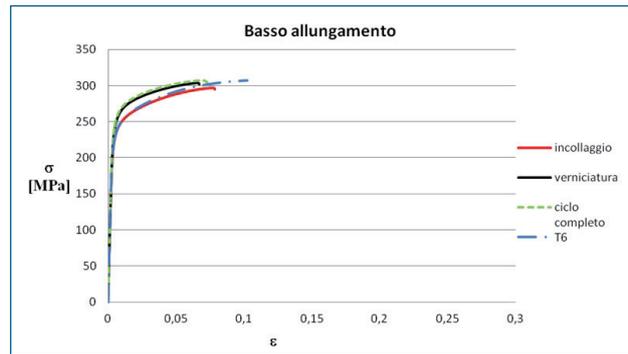


Fig. 7 - Esempio di confronto tra le fasi di finitura per provini a basso allungamento.

Fig. 7 - Comparison example among finishing steps for low elongation samples.

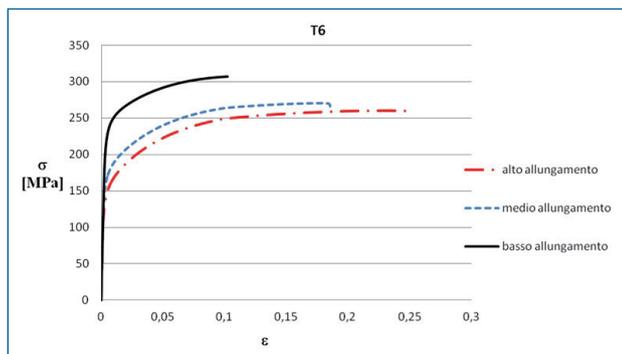


Fig. 8 - Confronto tra i vari livelli di allungamento allo stato T6.

Fig. 8 - Comparison between the various levels of elongation in the T6 condition.

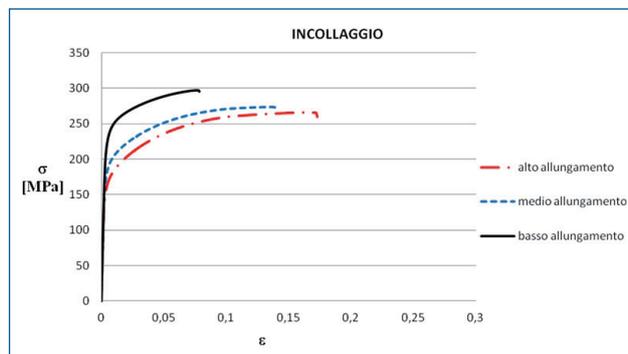


Fig. 9 - Confronto tra i vari livelli di allungamento a seguito di incollaggio.

Fig. 9 - Comparison between the various levels of elongation after adhesive bonding.

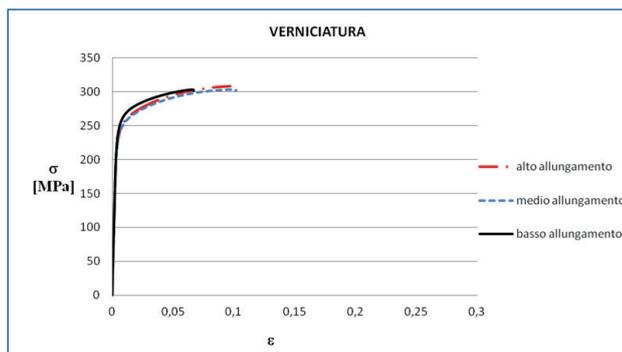


Fig. 10 - Confronto tra i vari livelli di allungamento a seguito di verniciatura.

Fig. 10 - Comparison between the various levels of elongation after painting.

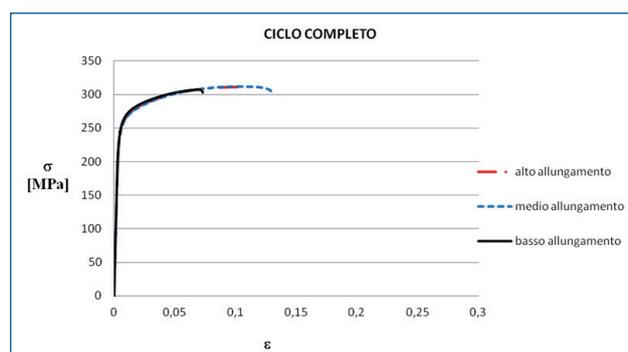


Fig. 11 - Confronto tra i vari livelli di allungamento a seguito di incollaggio e verniciatura.

Fig. 11 - Comparison between the various levels of elongation after bonding and painting.

Dai grafici si nota che vi è una correlazione tra le fasi del ciclo di finitura e le proprietà meccaniche. In particolare, con il completamento dei trattamenti di incollaggio e verniciatura si osserva che le curve di trazione si accorciano e aumentano i valori del carico di snervamento e rottura. Ciò a dimostrazione di quanto già evidenziato con le prove di durezza, ovvero un aumento di resistenza a discapito della duttilità della lega. Questa osservazione può essere

avanzata per tutti e tre gli allungamenti, ma si evidenzia che, al diminuire degli stessi, il divario tra le curve relative ai vari trattamenti eseguiti si riduce, in quanto aumenta il valore resistenziale.

Infine, per meglio comprendere come le singole fasi del processo di finitura influenzino la lega nei tre diversi trattamenti T6, si è confrontato l'andamento delle prove di trazione dividendo incollaggio e verniciatura (Fig.8-11).

Analizzando il comportamento di queste curve si evince che le differenze esistenti tra i tre livelli di allungamento si assottigliano all'avanzare del processo di finitura sino quasi ad annullarsi una volta raggiunto lo stadio di ciclo completo, sia per sforzo a snervamento sia per sforzo a rottura; permane invece una leggera differenza, seppure ridotta, per quanto riguarda il valore dell'allungamento a rottura, soprattutto per il caso ad alto allungamento. Infine, il comportamento a trazione dei campioni conferma quanto già emerso dall'analisi dei dati di durezza. A completamento si riportano i valori medi delle grandezze estrapolate dalle curve sforzo-deformazione per ciascun allungamento e per ciascun trattamento termico effettuata (Tab.7-9).

| ALTO ALLUNGAMENTO | $\sigma_{p0.2}$ [MPa] | | σ_R [MPa] | | A% | |
|-------------------|-----------------------|---|------------------|---|-------|------|
| | media | ± | media | ± | media | ± |
| T6 | 145 | 3 | 261 | 5 | 20.12 | 4.28 |
| INCOLLAGGIO | 166 | 1 | 267 | 5 | 13.93 | 2.72 |
| VERNICIATURA | 235 | 6 | 300 | 8 | 8.7 | 4.33 |
| COMPLETO | 238 | 5 | 303 | 6 | 7.94 | 2.02 |

Tab. 7 - Risultati prove trazione su provini trattati allo stato T6-alto allungamento.

Tab. 7 - Results of tensile tests on specimens T6- high elongation.

| MEDIO ALLUNGAMENTO | $\sigma_{p0.2}$ [MPa] | | σ_R [MPa] | | A% | |
|--------------------|-----------------------|---|------------------|---|-------|------|
| | media | ± | media | ± | media | ± |
| T6 | 166 | 4 | 267 | 3 | 15 | 2.61 |
| INCOLLAGGIO | 186 | 6 | 274 | 2 | 12.5 | 1.51 |
| VERNICIATURA | 231 | 2 | 298 | 5 | 7.8 | 1.81 |
| COMPLETO | 238 | 5 | 303 | 6 | 7.94 | 2.02 |

Tab. 8 - Risultati prove trazione su provini trattati allo stato T6-medio allungamento.

Tab. 8 - Results of tensile tests on specimens T6- medium elongation.

| BASSO ALLUNGAMENTO | $\sigma_{p0.2}$ [MPa] | | σ_R [MPa] | | A% | |
|--------------------|-----------------------|---|------------------|----|-------|------|
| | media | ± | media | ± | media | ± |
| T6 | 221 | 5 | 294 | 14 | 8.8 | 4.17 |
| INCOLLAGGIO | 226 | 2 | 294 | 3 | 7 | 0.45 |
| VERNICIATURA | 240 | 1 | 300 | 3 | 6.2 | 0.26 |
| COMPLETO | 239 | 3 | 302 | 5 | 6.5 | 0.46 |

Tab. 9 - Risultati prove trazione su provini trattati allo stato T6-basso allungamento.

Tab. 9 - Results of tensile tests on specimens T6- low elongation.

Dall'analisi dei dati riportati (Tab.10, Fig.12, Fig.13) si osserva che il trattamento di verniciatura provoca un aumento di resistenza a scapito della duttilità, come già ampiamente evidenziato precedentemente. Questa variazione è più marcata in corrispondenza dei campioni posizionati nelle zone più alte del forno, dove si raggiungono temperature più elevate. Inoltre, dal confronto presente in Tab.10 e Fig.12 è evidente che i risultati delle prove di trazione condotte a seguito della simulazione del trattamento di verniciatura sono una buona approssimazione dei dati ricavati dopo trattamento industriale, a verifica dell'attendibilità dei parametri di simulazione utilizzati.

| | T6 | | Verniciatura industriale 1 | | Verniciatura industriale 2 | | Verniciatura industriale 3 | | Verniciatura industriale 4 | | Verniciatura simulata | |
|-----------------------|-------|------|----------------------------|------|----------------------------|------|----------------------------|------|----------------------------|------|-----------------------|---|
| | media | ± | media | ± | media | ± | media | ± | media | ± | media | ± |
| $\sigma_{p0.2}$ [MPa] | 140 | 3 | 184 | 3 | 187 | 13 | 201 | 9 | 228 | 9 | 235 | 6 |
| σ_R [MPa] | 241 | 6 | 249 | 14 | 257 | 7 | 266 | 9 | 268 | 13 | 300 | 8 |
| A (%) | 10.25 | 1.59 | 6.29 | 2.69 | 6.85 | 1.79 | 6.12 | 1.14 | 3.14 | 1.17 | | |

Tab. 10 - Risultati prove trazione su provini allo stato T6-alto allungamento.

Tab. 10 - Results of tensile tests on specimens T6-high elongation.

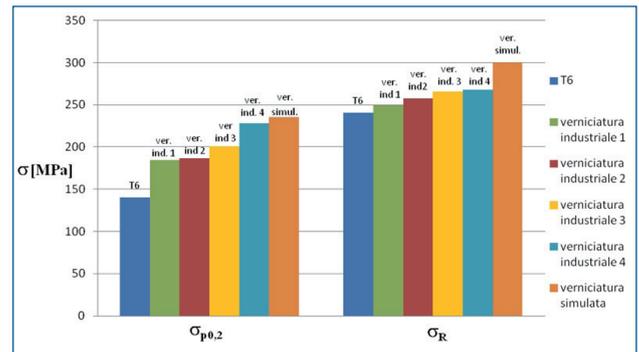


Fig. 12 - Sforzo a snervamento e sforzo a rottura a seguito di trattamenti di verniciatura differenziati.

Fig. 12 - Yield stress and ultimate tensile strength after different painting treatments.

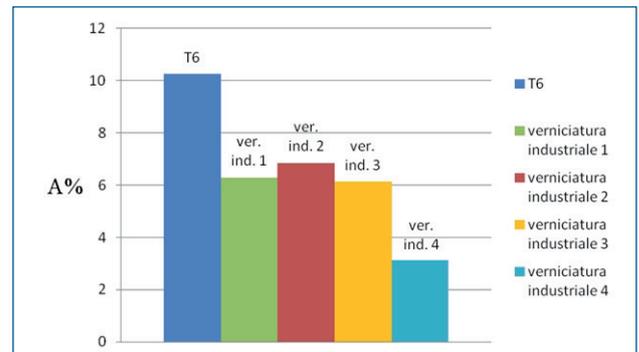


Fig. 13 - Allungamento a rottura raggiunto a seguito di trattamenti di verniciatura differenziati.

Fig. 13 - Elongation at break after different painting treatments.

ciatura sono una buona approssimazione dei dati ricavati dopo trattamento industriale, a verifica dell'attendibilità dei parametri di simulazione utilizzati.

CONCLUSIONI

Nel presente lavoro è stato analizzato l'effetto di incollaggio e verniciatura, operazioni condotte a valle dei processi di fonderia e dei trattamenti termici, su getti in lega B 356 allo stato T6, realizzati in modo da ottenere tre diversi gradi di allungamento. Dai risultati delle prove di durezza su campioni prelevati dai getti e da test di trazione su provini

cilindrici normati, è emersa la tendenza dei componenti a subire un'alterazione delle proprietà a seguito dei trattamenti di finitura, simulati sottoponendo i campioni a cicli termici idonei. Tale comportamento è stato confermato dai risultati ricavati da prove di trazione condotte su campioni normati a sezione rettangolare sottoposti industrialmente a trattamento di verniciatura. Nello specifico si è osservato un aumento della resistenza meccanica, accompagnato però da una perdita di duttilità. Si è notato inoltre che la variazione di resistenza diventa sempre più marcata all'aumentare del grado di allungamento di partenza. Questo fatto può essere spiegato ipotizzando che i diversi livelli di allungamento siano stati ottenuti con trattamenti T6 a cui corrispondono valori di durezza sottostanti il picco della curva di invecchiamento e che i trattamenti di finitura inducano la prosecuzione del processo di invecchiamento fino al raggiungimento del picco della curva.

ACKNOWLEDGEMENTS

Questo lavoro è stato finanziato da Regione Lombardia - MIUR - programma di ricerca "2 millimetri" ID 30152773.

BIBLIOGRAFIA

- 1] J. R. DAVIS, ASM specialty handbook: Aluminum and aluminum alloys, ASM international, (1993);
- 2] JOHN G. KAUFMAN, ELWIN L. ROOY, Aluminum alloy castings: properties, processes and applications, ASM international, (2004);
- 3] JOHN E. HATCH, Aluminum properties and physical metallurgy, ASM international, (1984);
- 4] FLORENCE PARAY, Heat treatment and mechanical properties of aluminum-silicon modified alloys, McGill University Montreal, December (1992).

EFFECTS OF POST FOUNDRY FINISHING OPERATIONS ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF STRUCTURAL CASTINGS FOR AUTOMOTIVE APPLICATIONS

Key words: Automotive - Aluminum alloy - Foundry - Castings

Aim of this work is to investigate the effect of adhesive bonding and painting operations performed on B356 T6 aluminum alloy castings. Some parts were produced by gravity casting in steel permanent mold, and were thus treated using three different aging time-temperature combinations according to industrial practice. The castings were then submitted to some thermal cycles to simulate the finishing stages of the production (bonding and painting): such operations are usually performed at temperatures which, in some steps, are close or above to those used during the aging heat treatment and may therefore somehow modify the properties of the castings. In order to validate this hypothesis, the mechanical properties before and after the finishing steps were evaluated both on specimens machined from the castings and on separately cast tensile samples. Time and temperature test parameters were selected through the analysis of the industrial cycle. The results of the experimental tests are showing that the mechanical properties can be influenced by the exposure to those times and temperatures. The analysis of the collected data, moreover, shows as the difference of mechanical properties between the three levels of elongation is reduced with the progress of the finishing process, up almost to zero once reached the end of the production cycle.