

ALLEGGERIAMO IL FUTURO: IL PROGETTO "2 MM"

LET'S MAKE FUTURE LIGHTER: THE "2 MM" PROJECT

Prestazioni migliorate su componenti automotive in alluminio

di Ennio Gritti
fmbsrl@tin.it

Improved performances of aluminium automotive components

Presso il Dipartimento di Ingegneria Meccanica e industriale dell'Università degli studi di Brescia, in collaborazione con le aziende OMR (Officine Meccaniche Rezzatesi) ed FMB, fonderia del gruppo, è stato recentemente condotto uno studio, nell'ambito del progetto denominato "2 mm", riguardante gli effetti dell'esposizione in temperatura su componenti realizzati in lega di alluminio da trattamento termico destinati al settore automotive. Le esposizioni in temperatura che si verificano su questi particolari sono legate sia alle varie fasi di verniciatura dei pezzi stessi, sia alla loro collocazione in esercizio all'interno del mezzo. La vicinanza a fonti di calore irraggianti non è infatti un elemento trascurabile in fase di progettazione per quanto riguarda componenti in leghe d'alluminio da trattamento termico.

Le operazioni di verniciatura prevedono la permanenza dei getti a temperature e per tempi complessivamente paragonabili a quelli previsti dall'ultima fase del trattamento termico subito, cioè quella d'invecchiamento. Alla luce di ciò, sono state condotte analisi volte ad indagare gli effetti, soprattutto a livello di caratteristiche meccaniche, ma anche a livello microstrutturale, dei diversi cicli termici che avvengono successivamente al trattamento di rinforzo per precipitazione. Sono state quindi valutate le prestazioni

In the Department of Mechanical and Industrial Engineering of the University of Brescia, in collaboration with the OMR companies (Officine Meccaniche Rezzatesi) and FMB the foundry of the group, a research has recently been carried out, part of the project called "2 mm", related to the effects of the exposition in temperature on components made in thermal treated aluminum alloy for the automotive sector. The exposures in temperature which take place on these particulars are connected to the various painting steps of the pieces and to their working collocation inside the vehicle. In fact, the proximity to sources of radiating heat is an important element during the design step regarding thermal treated aluminum alloy components.

The painting operations include the persistence of castings at temperatures and for timings which can be compared with those of the last step of the undergone thermal treatment, i.e. the ageing one. That being so, some analysis aimed at investigating the effects, in particular those related to mechanical and microstructural characteristics of the various thermal cycles which take place after the hardening treatment by precipitation, have been carried out. Therefore, the mechanical performances before and after the gluing and painting treat-



meccaniche prima e dopo i trattamenti di incollaggio e verniciatura di più componenti. Sono stati prodotti a tal fine dei provini di trazione di misura normata, i quali sono stati lavorati e sottoposti al medesimo ciclo produttivo dei pezzi. Parallelamente a questi sono stati ricavati da getti numerosi campioni dedicati a prove di durezza, con l'intento di caratterizzare l'evoluzione della medesima proprietà. Operativamente, provini e campioni suddetti sono stati posti in forno a temperature e per tempi tali da simulare un processo industriale tipo. Sulla base dei risultati ottenuti si è infine ricercata una correlazione tra le caratteristiche prestazionali e il tasso di sovrainvecchiamento subito dal materiale in seguito a una più o meno prolungata esposizione a temperature prossime a quelle tipiche della fase di invecchiamento. Una volta stimata l'evoluzione/perdita di proprietà nel tempo, l'intento sarà quello di confrontarla con quella ipotizzata in fase di progetto; nel caso essa si presenti contenuta e/o comunque inferiore a quest'ultima potranno essere ricalcolati gli spessori basandosi su un coefficiente di sicurezza realistico, poiché tarato proprio sul ciclo produttivo e sull'impiego della lega costituente i pezzi in esame. Ciò porterebbe non solo a un risparmio di materiale, ma soprattutto a un contenimento del peso del componente che, nel caso di veicoli, si traduce

ments of more components, have been evaluated. For this reason some standard tensile specimens have been produced, which have been processed and undergone at the same production cycle of the pieces. Together with these, various samples dedicated to hardness tests have been made from castings with the objective to characterize the evolution of the same property. In an operative way, the above samples and specimens have been placed in a furnace at temperatures and timing able to simulate a typical industrial process. On the basis of the results obtained, a connection was searched between the performance characteristics and the over-ageing rate undergone by the material after a more or less extended exposure to temperatures near those typical of the aging step. Once the evolution/loss of property during time has been estimated, the aim will be to compare it with the one hypothesized during the project step; in case it is limited and/or lower than the latter, thicknesses can be recalculated on the basis of a realistic safety coefficient, because they are calibrated on the production cycle and on the characteristics the alloy used to make the pieces under examination. All this could lead not only to a saving of materials, but most of all to a limitation of the weight

in miglioramento delle prestazioni e riduzione di consumi ed emissioni, anche in vista dei piani europei riguardanti il settore automotive.

La necessità di ottenere risultati ad ampio spettro ha portato ad infittire l'analisi condotta. Da getti colati appositamente, utilizzando la medesima lega e tecnologia, si sono ottenuti, a valle di un trattamento termico di tipo T6 differenziato, tre diversi gradi di sottoinvecchiamento denominati lieve, medio e spinto, caratterizzati, quindi, da proprietà meccaniche di partenza decrescenti. Questi si differenziano per la sola fase di invecchiamento, in quanto la fase di solubilizzazione e la tempra risultano identiche nei tre casi. Dopo aver subito uno dei tre trattamenti del tipo T6 dedicati, sono stati simulati l'incollaggio e la verniciatura, processo quest'ultimo che consta di quattro passaggi in sequenza. Questi sono riassumibili dalla tabella 1:

STATO T6		processo produttivo ↓
INCOLLAGGIO		
VERNICIATURA	Forno di cataforesi	
	Forno deposizione fondo	
	Forno deposizione PVC	
	Forno deposizione smalto	

Tabella 1: Le fasi dei trattamenti di incollaggio e verniciatura, comuni ai tre livelli di sottoinvecchiamento analizzati

Dai campioni ricavati per ogni livello di sottoinvecchiamento si sono ottenuti i dati di durezza rappresentati nella tabella 2:

	Durezza media in scala HRF Average hardness in HRF scale	Deviazione standard complessiva Total standard deviation	Rapporto % tra deviazione std. e media Ratio % between std. and average deviation	Durezza media in scala HRB Average hardness in HRB scale	Durezza media in scala HV Average hardness in HV scale
Sottoinvecchiamento spinto <i>Strong under-ageing</i>	78,5	1,2	1,6%	38,2	84,8
Sottoinvecchiamento medio <i>Medium under-ageing</i>	82,3	1,7	2,0%	44,5	91,1
Sottoinvecchiamento lieve <i>Light under-ageing</i>	86,5	1,2	1,4%	51,9	99,5

Tabella 2: I dati di durezza ottenuti allo stato iniziale (T6) per ogni grado di sottoinvecchiamento

Come si può notare dai valori medi, la durezza allo stato iniziale (T6) cresce al diminuire dell'entità del livello di sottoinvecchiamento. Ciò

of the component which, for vehicles, could be an improvement of performances and a reduction of consumptions and emissions also in view of the European plans for the automotive sector. The need to obtain broad spectrum results has led to make the analysis deeper. From castings casted purposely using the same alloy and technology, after a differentiated T6 thermal treatment, three different levels of under-ageing were obtained, named light, medium and strong, characterized therefore by decreasing starting mechanical properties. These can be differentiated only for the aging step, because the solution step and the quenching are identical in the three cases. After undergoing one of the three treatments of the dedicated type T6, the gluing and painting were simulated; the latter process is made up of four steps in sequence and are summarized in table 1:

T6 STATUS		manufacturing process ↓
GLUING		
PAINTING	Electrophoresis furnace	
	Furnace for bottom-layer deposition	
	Furnace for PVC deposition	
	Furnace for enamel deposition	

Table 1: The steps of the gluing and painting treatments, common to the three analyzed under-ageing levels

From the samples obtained for each level of under-ageing, the hardness data represented in table 2 were obtained:

Table 2: The hardness data obtained at a starting status (T6) for any level of under-ageing

As it can be seen from the average values, the hardness at the starting status (T6) increases when the entity of the under-ageing level de-

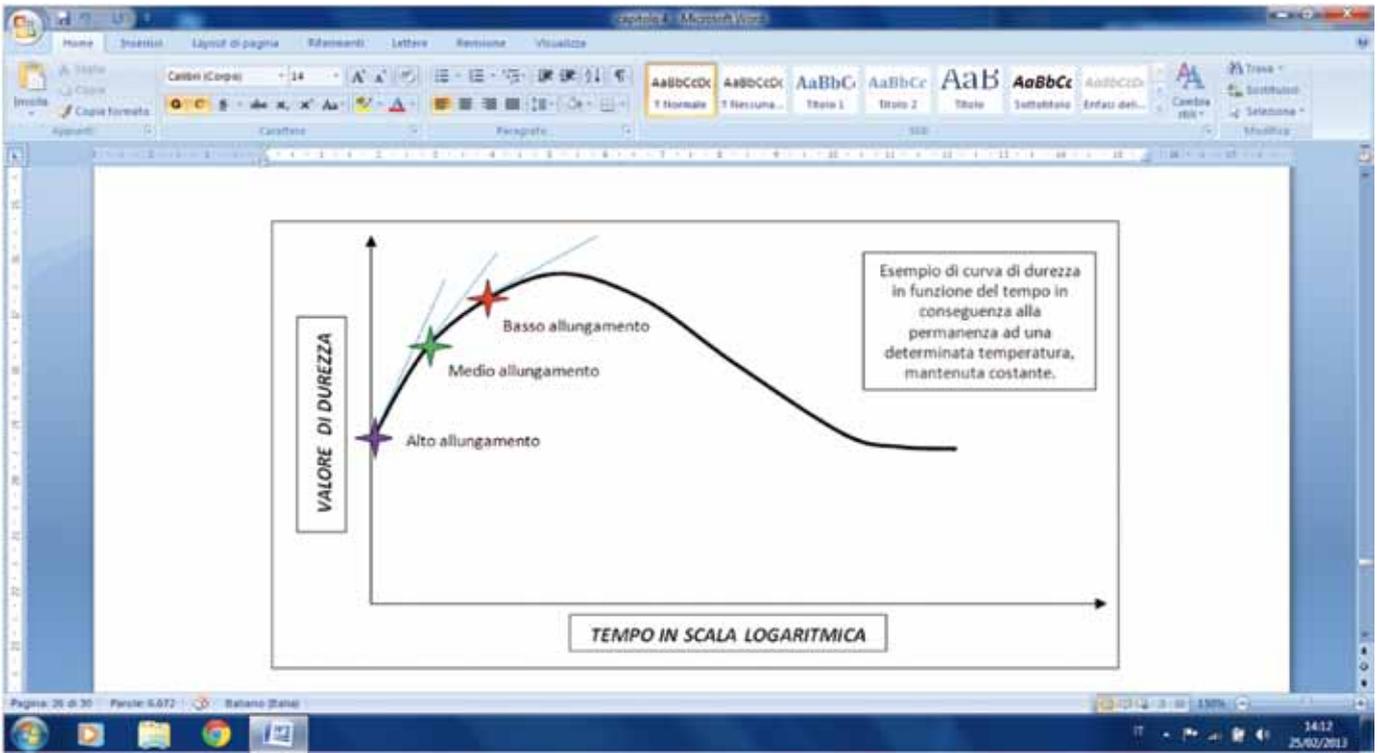


Fig. 1: L'evoluzione idealizzata della durezza in funzione del tempo in scala logaritmica; sulla curva sono inoltre posizionati i livelli di durezza, allo stato T₆, posseduti dai getti a seconda del diverso grado di sottoinvecchiamento

Fig. 1: The idealized hardness evolution vs time in a logarithmic scale; on the curve also the hardness levels of the castings are reported at the T₆ temper, according to the different level of underageing

è in accordo con quanto ci si può aspettare in base ai fenomeni diffusivi connessi al fenomeno dell'invecchiamento. Se si pensa poi all'andamento idealizzato della durezza in funzione della durata della fase di invecchiamento del trattamento termico di tipo T₆, presentato in figura 1, è facile verificare che esso giustifica qualitativamente il comportamento a cui si assiste in questo specifico caso di studio.

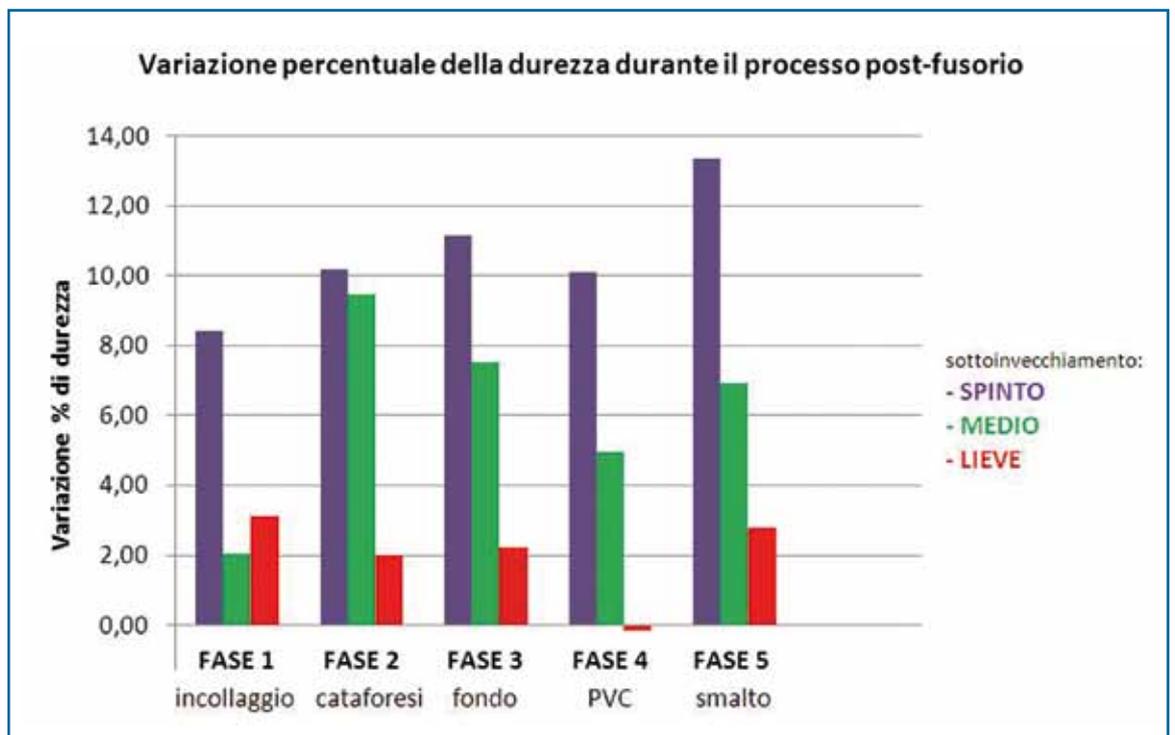
I dati raccolti dalle prove di durezza condotte hanno portato ai risultati esposti in fig. 2.

creases. This is in compliance with what can be expected according to the diffusion phenomena connected to the ageing phenomenon. If one thinks about the idealized trend of the hardness according to the duration of the ageing step of the thermal treatment of type T₆ shown in picture 1, it is easy to verify that it justifies the quality of the behavior that can be seen in this specific case study.

The data collected from the hardness tests, have led to the results shown in fig. 2.

Fig. 2: Istogramma raffigurante la variazione percentuale di durezza durante le varie fasi del processo post-fusorio per i tre diversi livelli di sottoinvecchiamento studiati

Fig. 2: Histogram showing the hardness percentage variation during the various steps of the post-casting process for the three analyzed under-ageing levels



Per tutti e tre i livelli di sottoinvecchiamento iniziale tutte le fasi successive al trattamento base (T6), tranne la fase 4, contribuiscono a un evidente incremento di durezza percentuale, nonostante i brevi tempi di esposizione. Le fasi 1, 2, 3 risultano essere quelle più efficaci in tal senso, proprio per le maggiori temperature in gioco che garantiscono una più rapida manifestazione dei fenomeni termicamente attivati.

Un discorso a parte merita, invece, la fase di deposizione dello strato PVC, la quale provoca una variazione davvero trascurabile del livello della proprietà in esame.

Per mezzo delle prove di trazione è stata redatta la tabella 3. Questa è riassuntiva dei valori medi ottenuti allo stato iniziale (T6) e di quelli misurati a valle del ciclo produttivo completo; oltre a questi riporta anche le variazioni percentuali delle singole proprietà per ognuno dei tre livelli di sottoinvecchiamento analizzati.

For all the three starting under-ageing levels, all the steps following the base treatment (T6), except step 4, contribute to an evident relative increase of hardness in spite of the short exposure time. Steps 1, 2, 3 are the more effective in this sense, because of the higher temperatures involved which guarantee a more rapid evolution of the thermally activated phenomena.

Moreover a different attention should be dedicated to the deposition step of a PVC layer, which causes a small variation of the level of the property under examination.

Table 3 was prepared by means of the tensile tests. This table summarizes the average values obtained at the starting temper (T6) and those measured after the complete production cycle; in addition to these, there are also the percentage variations of the single properties for each of the three under-ageing levels analyzed.

CONFRONTO TRA I LIVELLI DI SOTTOINVECCHIAMENTO COMPARISON BETWEEN THE UNDER-AGEING LEVELS												
	valori allo stato iniziale (T6) values at the starting status (T6)				valori alla fine del ciclo produttivo values at the end of the production cycle				variazioni percentuali percentage variations			
	E [MPa]	σ_{sn} [MPa]	σ_R [MPa]	A%	E [MPa]	σ_{sn} [MPa]	σ_R [MPa]	A%	E [MPa]	σ_{sn}	σ_R	A%
S	71331	145	261	20,1	72792	238	303	7,9	+2,0%	+64,1%	+16,1%	-60,5%
M	73511	166	267	15,0	75475	236	304	8,8	+2,7%	+42,2%	+13,9%	-41,3%
L	73511	221	294	8,8	76999	239	302	6,5	+1,6%	+8,1%	+2,7%	-26,1%

Tabella 3: I valori medi ottenuti allo stato iniziale (T6) e a quello di ciclo produttivo completo e rispettive variazioni percentuali delle singole proprietà per ognuno dei tre livelli di sottoinvecchiamento analizzati:

S (spinto), M (medio), L (lieve)

Si è voluto così porre l'accento sulle variazioni complessivamente subite dal materiale a cavallo dell'intero processo di finitura, comprendente quindi sia l'incollaggio che la verniciatura, e mettere queste a confronto diretto a seconda dei tre livelli di sottoinvecchiamento che sono stati oggetto di studio. Dai valori riportati in tabella risulta evidente la correlazione di proporzionalità inversa esistente tra le proprietà di duttilità e di sforzo di snervamento: il decremento della prima e l'incremento della seconda sono pressoché identici per i casi di sottoinvecchiamento spinto e medio. Sempre soffermandosi sulle

Table 3: Average values obtained at the starting status (T6) and at the completed production cycle one and related percentage variations of the single properties for each of the three analyzed under-ageing levels:

S (strong), M (medium), L (light)

The total variations undergone by the material during the whole finishing process have been highlighted, including both gluing and painting, and a comparison of these was made according to the three under-ageing levels which have been the subject of the study. From the values reported in the table the inverted proportionality co-relation between the ductility and yield stress properties, is evident: the decrease of the first and the increase of the second are more or less identical for the strong and medium under-ageing cases. By analyzing the percentage

variazioni percentuali risulta evidente quanto riscontrato attraverso la comparazione delle curve sforzo-deformazione e a valle delle prove di durezza: la sensibilità alla permanenza in temperatura, intesa come effetto sulle proprietà iniziali, risulta decrescere al crescere del livello di invecchiamento iniziale. Nel caso di sottoinvecchiamento lieve, infatti, dove le temperature e i tempi fissati per la fase di invecchiamento del trattamento di rafforzamento per precipitazione sono stati maggiori rispetto agli altri due casi, si è assistito a una minore modificazione delle proprietà tensili a valle del completamento delle fasi di finitura rispetto agli altri due livelli di sottoinvecchiamento iniziale.

Va infine detto che, sebbene i valori di sforzo di snervamento, di rottura e di durezza risultino pressoché identici per i tre livelli di sottoinvecchiamento, una volta giunti alla fine del processo di finitura il livello di duttilità associato all'allungamento percentuale a rottura e la rigidità del materiale espressa dal modulo elastico subiscono una variazione talvolta anche rilevante, ma mantengono buona parte delle differenze inizialmente esistenti tra i tre casi analizzati.

variations, it is evident what emerged through the comparison of the stress-strain curves and after the hardness tests: the sensitivity to persistence in temperature, meant as an effect on the starting properties, decreases when the starting ageing level increases. In fact, in case of light under-ageing, where temperatures and timing fixed for the ageing step of the strengthening by precipitation treatment were higher in respect to the other two cases, a lower modification of the tensile properties was noted, after the completion of the finishing steps compared to the other two levels of starting under-ageing.

Finally, it must also be said that although the yield, tensile and hardness values are more or less the same for the three under-ageing levels once the finishing process is completed, the level of ductility associated to the elongation percentage at rupture and the rigidity of the material expressed by the elastic module, undergo a variation which is sometimes significant, but they keep the majority of the differences initially existing among the three analyzed cases.

