

# Studio a compressione statica di pannelli honeycomb

G. Costanza, S. Ferrigno, M.E. Tata

Lo scopo del presente lavoro è illustrare i risultati dello studio condotto su pannelli a struttura sandwich in honeycomb di alluminio con celle esagonali mediante prove di compressione statica. In particolare si è voluto valutare il comportamento dell'anima di tali pannelli sottoposti a carichi di compressione. Lo studio è stato condotto in due fasi: nella prima fase sono stati realizzati dei campioni, a partire da un pannello di honeycomb di alluminio, con la stessa area superficiale e sono stati sottoposti a prove di compressione statica per valutare la ripetibilità dei risultati. Nella seconda fase sono state effettuate delle prove di compressione statica su campioni con diverso numero di celle, realizzati in modo analogo alla prima fase dello studio. Dall'analisi dell'andamento delle curve si evidenzia un comportamento ripetibile del materiale nei confronti di una sollecitazione di compressione statica. Le prove nella seconda parte dello studio sono state effettuate per analizzare l'effetto del numero di celle, della loro conformazione e del numero di pareti sulla resistenza del materiale a compressione. È stata riscontrata una proporzionalità diretta tra lo stress di plateau e il numero di celle sottoposte a compressione statica. Il valore medio del carico specifico (carico/perimetro delle celle) ottenuto è di 17,2 N/mm per il picco massimo iniziale e un carico specifico medio di 6,7 N/mm nel plateau. All'aumentare del numero di celle, aumentando il perimetro, si osserva una redistribuzione pressoché uniforme del carico tra le celle; è pertanto possibile, partendo dal valore di resistenza a compressione della singola cella, determinare il numero di celle necessario in funzione delle caratteristiche meccaniche da ottenere.

PAROLE CHIAVE: MATERIALI COMPOSITI, PANNELLI SANDWICH, HONEYCOMB DI ALLUMINIO, COMPRESSIONE STATICA, CELLE ESAGONALI

## INTRODUZIONE

I materiali cellulari, comprese schiume e honeycomb, sono una classe di materiali con bassa densità, buona resistenza specifica, elevato modulo specifico ed eccellente capacità di assorbire energia. Diversi studi si sono concentrati su questi nuovi materiali permettendone applicazioni soprattutto nell'industria automobilistica, aerospaziale, dei trasporti e protezioni per esplosioni [1-6]. Le proprietà meccaniche delle strutture cellulari sono state studiate da diversi autori focalizzandosi sulla topologia geometrica [7, 8], metodi di produzione [9, 10] meccanismi di deformazione [11, 12], assorbimento di energia [13] effetto della velocità di deformazione [14, 15] e resistenza allo shock [16, 17]. Infatti l'utilizzo di materiali cellulari permette di ridurre il peso dei componenti realizzati e, sfruttando l'elevata rigidità specifica e l'integrazione multifunzionale, garantisce al contempo prestazioni equiparabili e talvolta superiori ai materiali tradizionali [16, 17]. Si considerano sempre materiali cellulari anche combinazioni di questi con altri materiali massivi, come i pannelli sandwich. Questi sono strutture costituite da tre parti distinte: le pelli, il core e l'adesivo.

G. Costanza, S. Ferrigno, M.E. Tata

Dipartimento di Ingegneria Industriale,  
Università di Roma Tor Vergata, Roma, Italia

La metallurgia  
sottile, rigide  
rate da uno  
rigidezza es

dwich (dimensioni 2500 mm x 1300 mm) privato delle pel-  
li esterne. Nella prima parte dello studio è stato valutato il



	Prova 1	Prova 2	Prova 3	Prova 4
Area di base (mm <sup>2</sup> )	1091	1185	1215	1496
Deformazione nale (%)	86,9	87,9	93,2	89,4
Picco iniziale (MPa)	6,8	6,4	7,9	6,5
Sigma medio di Plateau (MPa)	3,2	3,1	3,1	2,8

Fig.8 - Grafici di compressione dei 4 campioni di honeycomb/ Compression graphs of the 4 honeycomb samples

Andando a confrontare i dati ottenuti dalle quattro prove effettuate si può notare come a parità (o quasi) di area di base e di altezza del provino, il comportamento dell'honeycomb di alluminio sia equivalente. I valori del picco iniziale vanno da 6,4 a 7,9 MPa e il valore medio del sigma di plateau varia da 2,8 a 3,1 MPa mantenendosi quindi pressoché costanti. Si evidenzia come il provino numero 4, pur avendo un'area di base più estesa, raggiunga in proporzione un valore di picco iniziale inferiore. I risultati ottenuti sono soddisfacenti in quanto mettono in evidenza un comportamento del materiale stabile e ripetibile.

Per quanto riguarda la seconda parte dello studio, in Fig. 9 sono rappresentate le curve carico-deformazione al variare del numero di celle. Ciascuna delle curve è stata ottenuta facendo la media dei risultati delle prove svolte

Tab.1 - Risultati delle prove di compressione/ Compression test results

sui 3 provini con lo stesso numero di celle. Dall'analisi dei gra ci in Fig. 9 si può osservare che: le curve ottenute per i provini con un diverso numero di celle presentano un andamento analogo. Il valore del picco massimo iniziale e del sigma di plateau aumentano al crescere del numero di celle. L'andamento simile delle curve mette in evidenza un comportamento regolare del materiale nei confronti di una prova di compressione statica. I valori crescenti sia del picco massimo che del sigma di plateau sono dovuti al fatto che all'aumentare del numero di celle e quindi della superficie su cui è distribuito il carico si riduce la tensione e quindi aumenta la resistenza dell'honeycomb di alluminio. La Tab. 2 presenta i risultati medi delle prove di compressione statica realizzati sui provini con differente numero di celle.

Fig.9 - Grafici carico-deformazione dei provini con differente numero di celle / Load-strain graphs of specimens with different number of cells.

Tab.2 - Risultati medi delle prove di compressione statica realizzati su provini con differente numero di celle / Average results of static compression tests carried out on specimens with different number of cells.



I provini caratterizzati dallo stesso numero di celle hanno risposto alla prova di compressione in maniera equivalente. Il carico registrato durante le prove di compressione statica è stato poi diviso per il perimetro relativo per ciascuno dei provini, per studiare come si redistribuisce all'aumentare del numero di celle. È stato deciso di dividere il carico per il perimetro e non per l'area della sezione resistente, poiché di fatto non si tratta di aree vere e proprie. Per semplicità di calcolo è stata assunta una lunghezza standard del lato della cella pari a 4 mm e si è tenuto conto una sola volta dei lati in comune tra celle adiacenti (g.10). La Tab. 3 riporta il valore numerico del perimetro effettivo dei provini con un differente numero di celle che è stato considerato per il calcolo. La Fig. 11 mostra le sei curve medie (carico lineare in funzione della deformazione) ottenute per i provini con diverso numero di celle (da 1 a 6 celle). Analizzando il

grafico di Fig. 11 si possono notare due aspetti importanti: le curve ottenute per i provini con un diverso numero di celle presentano un andamento analogo; il valore pressoché costante del picco massimo iniziale e del sigma di plateau all'aumentare del numero di celle. Ciò vuol dire che all'aumentare della resistenza del provino, aumentando di pari passo anche il perimetro effettivo, il carico si redistribuisce equamente fra le varie pareti delle celle. La Tab. 3 sintetizza i principali risultati numerici al fine di poterli facilmente confrontare fra di loro. Si può notare che il valore medio del carico lineare associato al plateau è di circa 6,7 N/mm e un valore medio del picco massimo iniziale di circa 17 N/mm. Tali valori risultano all'incirca costanti e non dipendono dal numero di celle costituenti l'honeycomb.

## CONCLUSIONI

L'honeycomb di alluminio (serie 3000) è un materiale che si contraddistingue per la sua leggerezza e per la sua elevata resistenza a compressione. I risultati ottenuti nello studio effettuato presentano una ridotta variabilità, mettendo in evidenza un comportamento del materiale piuttosto affidabile. Le prove di compressione statica effettuate nella prima fase dello studio, su campioni delle stesse dimensioni, hanno evidenziato una buona ripetibilità nei risultati, con dei valori del sigma di plateau e del picco massimo iniziale equivalenti.

Nella seconda fase dello studio sono stati sottoposti a compressione statica alcuni campioni di honeycomb con un numero crescente di celle esagonali disposte secondo diverse configurazioni. I risultati dei test hanno mostrato un aumento proporzionale del carico massimo e del sigma medio di plateau all'aumentare del numero di celle. Inoltre, si è osservato che all'aumentare della resistenza, aumentando di pari passo anche il numero di celle e quindi il perimetro, il carico complessivo si redistribuisce equamente fra le varie pareti delle celle. Lo dimostrano i valori di picco massimo iniziale e carico iniziale medio (N/mm) che assumono un valore all'incirca costante, indipendentemente dal numero di celle costituenti l'honeycomb.

## RINGRAZIAMENTI

Gli autori ringraziano i Sigg. Benedetto Iacovone e Piero Plini per l'assistenza fornita nella preparazione dei provini.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Evans  
org/10
- [2] Gibso  
cbo97
- [3] Sun Y  
Impac
- [4] Tan P  
obser
- [5] Zhao  
org/10
- [6] Ghort  
IJPLA
- [7] Zhu H  
45: 31
- [8] Duan
  
- [3] Av 0 e M.

# Static compression study of honeycomb panel

The aim of the present work is to illustrate the results of the study carried out on sandwich panels in aluminum honeycomb with hexagonal cells by means of static compression tests. In particular, the focus is to evaluate the behavior of the core of these panels subjected to compressive loads. The study was carried out in two steps: in the first step, samples were manufactured, starting from an aluminum honeycomb panel, with the same surface area and were subjected to static compression tests to evaluate the repeatability of the results. In the second step, static compression tests were performed on samples with different number of cells, carried out in a similar way to the first step of the study. The analysis of the curves shows a repeatable behavior of the material in static compression tests. In the second part of the study tests were carried out to analyze the effect of the number of cells, their configuration and the number of walls on the compressive strength of the material. A direct proportionality was found between plateau stress and the number of cells subjected to static compression. The average value of the specific load (load / cell perimeter) obtained is 17.2 N / mm for the initial maximum peak and an average specific load of 6.7 N / mm in the plateau. As the number of cells increases, by increasing the perimeter, a uniform redistribution of the load between the various cells is observed; it is therefore possible, starting from the specific compressive strength value of the single cell, to determine the number of cells required as a function of the mechanical characteristics to be obtained.

KEYWORDS: COMPOSITE MATERIALS, SANDWICH PANEL, ALUMINUM HONEYCOMB, STATIC COMPRESSION, HEXAGONAL CELLS