



Materiale d'anima tridimensionale per la costruzione di sandwich leggeri



Andreas Bernaschek - InnoMat GmbH



Fig. 1 Nap core / Nap core

Riassunto

Nap core (fig. 1) è un materiale d'anima utilizzato per la costruzione di strutture sandwich leggere, dotate di proprietà polivalenti. La struttura tridimensionale della fibra può essere

ricavata da un tessuto bidimensionale impregnato. Variando la geometria della fibra tessuta, del filato, del tipo di maglia o della resina, i nap core possono soddisfare la richiesta di applicazioni basate su proprietà adattabili. Di-

versamente dal tipo a nido d'ape, questo materiale d'anima può essere drenato e modellato. Inoltre, la struttura dei nap core permette l'integrazione di fili metallici e connessioni fornendo buone proprietà fonoassorbenti.

In questo articolo si discute lo stato dell'arte degli sviluppi in questo campo. Nell'analisi comparata diretta fra le anime nap core e a nido d'ape (utilizzate prevalentemente nell'ambito dell'industria aeronautica), sono state valutate le caratteristiche meccaniche, il legame dei pannelli all'anima e altre proprietà speciali, quali la risposta alla fiamma e il grado di insonorizzazione.

Introduzione

Utilizzando le strutture sandwich, gli ingegneri sono in grado di progettare componenti su larga scala dotati sia di rigidità flessurale che di basso peso. I materiali d'anima convenzionali per le strutture sandwich leggere sono il legno di balsa, le schiume polimeriche e i materiali a nido d'ape a base di polimeri o di metallo. A causa della crescente richiesta di materiali d'anima meno costosi, di basso volume/peso e dotati di proprietà meccaniche, InnoMat GmbH ha intensificato le attività di ricerca e di sviluppo di anime alternative.

I nap core sono tessuti a

maglia impregnati e lavorati a caldo e a pressione in una struttura tridimensionale tessuta. È possibile utilizzare tutte le tipologie di tessuti a maglia, ad esempio i termoplastici, l'aramide, le fibre vetrose o ibride, a patto che il tessuto fornisca sufficiente elasticità per allungamento della maglia. Le matrici attualmente in uso sono a base di resine epossidiche, estere-cianate, fenoliche formaldeide e poliestere insature. È anche possibile l'impiego di matrici termoplastiche. Inoltre, la geometria del tessuto lavorato può variare in altezza e in diametro, e grazie a questo numero elevato di parametri regolabili, le proprietà



COMPOSITE MATERIALS

A three-dimensional core material for lightweight sandwich constructions

Andreas Bernaschek - InnoMat GmbH

Abstract

Nap core (fig. 1) is a core material for lightweight sandwich constructions with multi-adjustable properties. Its three-dimensional nap structure can be formed out of a two-dimensional impregnated knitted fabric. By varying nap geometry, yarn material, type of knitted fabric or resin system, nap cores can meet the demands of applications where adjustable properties are required. Unlike honeycombs this core material can be drain-

ed as well as draped.

Furthermore, the structure of nap cores enables an easy integration of cables and wires and provides a good sound absorption.

This article describes the current state of development. In a direct comparison between nap cores and honeycombs (mainly used in aviation) the mechanical characteristics, bonding of facing to the core as well as special features, like burning behaviour and sound reduction index have been evaluated.

Introduction

By using sandwich constructions engineers are capable to design large-scale components with both high bending stiffness and low weight. Conventional core materials for sandwich structures in lightweight applications are balsa wood, polymer foams and honeycombs based on polymers or metal. Due to a big demand for less expensive core materials with low volume weight and good mechanical properties, InnoMat

GmbH has been intensified the research and development of alternative cores.

Nap cores are impregnated knitted fabrics formed into a three-dimensional nap structure under heat and pressure. All kind of knitted fabrics can be used, e.g. made of thermoplastic, aramid, glass or hybrid yarn, as long as the fabric provides enough elasticity due to mesh stretch.

Currently used matrix systems are epoxy, cyanate ester, phenolic formaldehyde and unsaturated polyester

resins. The use of thermoplastic matrix systems is possible too. Furthermore, the nap geometry can be varied in nap height and nap diameter. Through this high number of adjustable parameters, the properties of nap core material and its resulting sandwich constructions can vary in a wide range.

Furthermore, nap core should be introduced as core material for sandwich constructions in non-aerospace industries, e.g. automotive, e-mobility or boat and yacht building.



del nap core e le risultanti costruzioni sandwich possono variare molto.

Il nap core è un materiale d'anima destinato a strutture sandwich per l'industria non solo aerospaziale, ma anche automobilistica, e-mobility oppure nella cantieristica navale o diportistica.

Nap core e nido d'ape - Analisi comparata

Le più recenti attività di ricerca si sono concentrate sul perfezionamento delle proprietà del nap core per applicazioni in campo aerospaziale, dove le strutture a nido d'ape rappresentano il materiale maggiormente utilizzato per la costruzione dei pannelli sandwich. Fra i principali requisiti dei materiali d'anima utilizzati

nelle applicazioni dei pannelli sandwich in campo aerospaziale si ricordano il basso volume/ peso oltre alle prestazioni di infiammabilità, antifumo e atossicità (FST). Quindi, la configurazione più recente del nap core è stata confrontata con il materiale a nido d'ape Nomex, una carta aramidica impregnata con resina fenolica-formaldeide e formata in piccole celle esagonali. La configurazione a nido d'ape utilizzata in questo caso era C2-3,2-48 (diametro della cella = 3,2 mm; volume / peso: 48 kg/m³) con uno spessore del materiale pari a 10 mm.

La configurazione del nap core si basa sulla lavorazione a maglia di un filato di aramide ibrido Mattes & Ammann GmbH & Co. KG. È stata scelta la con-

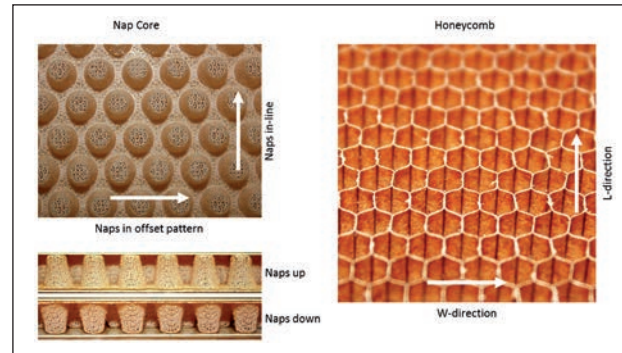


Fig. 2 Direzioni principali di nap core e nido d'ape
Nap cores and honeycombs main directions

figurazione più moderna della fibra lavorata con diametro di 6 mm. Come materiale della matrice si è utilizzato EponolTM Resin 2485, una resina fenolica-formaldeide prodotta da Momentive Specialty Chemicals GmbH, comparabile alla resina utilizzata per il materiale a nido d'ape Nomex.

Il peso/volume e lo spessore del materiale del sandwich nap core sono identici a quelli della struttura d'anima sandwich a nido d'ape. In entrambe le configurazioni come materiale laminato esterno è stato utilizzato uno strato di Air-Preg PC 8242 (fibra vetrova 296 g/m², resina fenolica-formaldeide e quantità pari

a 40±3% in peso) di Isovolta AG.

Nella struttura a nido d'ape sono presenti due direzioni (L- e W) e, per via della struttura asimmetrica della fibra tessuta (alto/basso), quattro direzioni principali per i nap cores (alto: in linea e con modello offset; basso: in linea e con modello offset). Le direzioni influiscono direttamente sulla risposta meccanica dei materiali d'anima (fig. 2). In tab. 1 sono riportati schematicamente i risultati dei test meccanici. Come si può osservare, la resistenza alla flessione, il modulo di flessione e la resistenza peel dipendono dall'orientamento del materiale d'anima. La qualità del legame anima-pannello, valutata con il test peel con tamburo a scalata ha dato buoni risultati in entrambe le



	Compressione <i>Compression Strength</i>	Modulo di Compressione <i>Compression Modulus</i>	Resistenza alla spelatura (test Drum Peel) <i>Peel Strength (test Drum Peel)</i>	Resistenza alla flessione (4 punti di flessione) <i>Flexural Strength (4 point - Bending)</i>	Modulo di flessione (4 punti di flessione) <i>Flexural Modulus (4 point - Bending)</i>	Comportamento al fuoco / <i>Burning Behaviour</i>				
						TTI ⁸	HRR _{peak} ⁹	MARCHE ¹⁰	THR ¹¹	TSR ¹²
A nido d'ape <i>Honeycomb</i>	100%	100%	100% ¹	100% ¹	100% ¹	100%	100%	100%	100%	100%
			52% ²	87% ²	97% ²					
Materiale d'anima Nap <i>Nap Core</i>	18%	32%	46% ³	27% ³	85% ³	67%	104%	153%	139%	178%
			51% ⁴	33% ⁴	92% ⁴					
			- ^{5,7}	29% ⁵	72% ⁵					
			- ^{6,7}	39% ⁶	82% ⁶					

Tab. 1 ¹Nido d'ape L, ²Nido d'ape W, ³Nap superiore e allineato, ⁴Nap superiore e disallineato, ⁵Nap basso allineato, ⁶Nap basso e disallineato, ⁷La superficie non si spela, ⁸Tempo di fuoco, ⁹Picco di calore, ¹⁰Massima emissione di calore (media), ¹¹Emissione totale di calore, ¹²Emissione totale fumi

¹Honeycomb L- direction, ²Honeycomb W-direction, ³Nap up and in line, ⁴Nap up and in offset pattern, ⁵Nap down and in line, ⁶Nap down and in offset pattern,

⁷No face sheet peel off, ⁸Time to ignition, ⁹Heat release rate peak, ¹⁰Maximum average rate of heat emission, ¹¹Total heat release, ¹²Total smoke release

strutture sandwich (nap e nido d'ape). Il nap core non è robusto come il nido d'ape nelle prove di compressione e di flessione, ma il rapporto fra massima sollecitazione a flessione e deformazione massima a flessione entro i limiti della resistenza elastica è quasi simile a quello del nido d'ape. La prestazione FST si misura con il calorimetro a cono. Entrambe le configurazioni delle strutture sandwich presentano bassi valori di emissione e

soddisfano tutti i requisiti FST della normativa ATS 1.000.001.

Sui pannelli sandwich sono stati poi compiuti i test del suono esaminandoli dal punto di vista dell'indice di attenuazione del suono fra 63 Hz e 10.000 Hz, il campo di frequenze più rilevante nelle applicazioni aerospaziali. Queste misurazioni sono state effettuate da EADS Innovation Works. L'analisi acustica dimostra che i pannelli sandwich nap core permettono di at-

tenuare maggiormente il suono nell'area delle alte frequenze rispetto ai pannelli sandwich con anima a nido d'ape. Eppure, per le frequenze fra i 160 Hz e i 400 Hz, l'indice di insonorizzazione dei pannelli sandwich risulta migliore.

Materiale d'anima versatile

Le proprietà meccaniche della configurazione nap core presa in esame non

sono del tutto equiparabili a quelle della struttura a nido d'ape. I risultati dei test meccanici mostrano l'esigenza di ulteriori attività di sviluppo in relazione alle proprietà di compressione e di flessione dei nap core. Il grafico di fig. 3 presenta la resistenza alla compressione del nap core (componenti del materiale: fibra in maglia poliestere e resina estere-cianata, diametro del tessuto lavorato: 6 mm, volume/peso, 64 kg/m³) comparativamente

con altri materiali d'anima di basso peso a parità di peso/volume. La resistenza alla compressione di questa configurazione non risulta soddisfacente come nel caso delle strutture a nido d'ape Nomex o di alluminio, ma nap core presenta valide potenzialità rispetto alla struttura a nido d'ape a base di polipropilene o alle anime a base di espanso.

Inoltre, il nap core offre ulteriori vantaggi: la struttura a cella aperta e ai punti



COMPOSITE MATERIALS

Nap cores and honeycombs A comparison

The latest research activities were focused on the improvement of nap core properties regarding aerospace applications, where honeycombs are the mainly used core material for sandwich constructions. Very important requirements for core materials used in aerospace sandwich applications are a low volume weight and a good Flammability, Smoke and Toxicity (FST) performance. Therefore the latest developed nap core configuration has been compared with the Nomex honeycomb, an aramid

paper impregnated with a phenolic formaldehyde resin and formed in very small hexagonal cells. The honeycomb configuration used here is C2-3,2-48 (cell diameter: 3,2 mm; volume weight: 48 kg/m³) with a material thickness of 10 mm. The used nap core configuration is made of an aramid hybrid yarn knitted fabric by Mattes & Ammann GmbH & Co. KG. The latest geometrical nap configuration with a nap diameter of 6 mm was chosen. As matrix material Eponol™ Resin 2485 a phenolic formaldehyde resin by Momentive Specialty Chemicals GmbH, comparable with the resin system used for Nomex hon-

eycombs, is used. Volume weight and material thickness of the nap core sandwich are equal to the honeycomb core sandwich construction. For both configurations one layer AirPreg PC 8242 (glass fabric 296 g/m², phenolic formaldehyde resin, resin content 40±3% weight) by Isovolt AG is used as face sheet material. There are two main directions for honeycombs (L- and W-direction) and due to the asymmetrical nap structure (top/bottom) four main directions for nap cores (naps up: naps in-line and naps in offset pattern; naps down: naps in-line and naps in offset pattern). The directions are directly influencing the

mechanical behaviour of the core materials (fig. 2). Table 1 summarizes the results of the mechanical tests. As one can see, flexural strength, flexural modulus and peel strength depend on the orientation of the core material.

The quality of the core-to-facing bond, evaluated by climbing drum peel test, is good for both sandwich constructions (naps and honeycomb). The nap core is not as strong as the honeycomb in compression and bending, but the ratio of maximum bending tension to maximum bending strain within elastic limit approaches to honeycomb behaviour. The FST-performance is measured

with a cone-calorimeter. Both sandwich configurations show very low emission values and satisfy all FST-requirements of the Standard ATS 1.000.001. In addition acoustic tests were performed in which both sandwich panels have been tested regarding their sound reduction index between 63 Hz and 10.000 Hz, the most relevant frequency field for aerospace applications. The measurements were done by EADS Innovation Works.

The acoustic analysis shows that nap core sandwich panels offer a higher sound reduction index for high frequency fields than sandwich panels with honeycomb core. But for frequen-

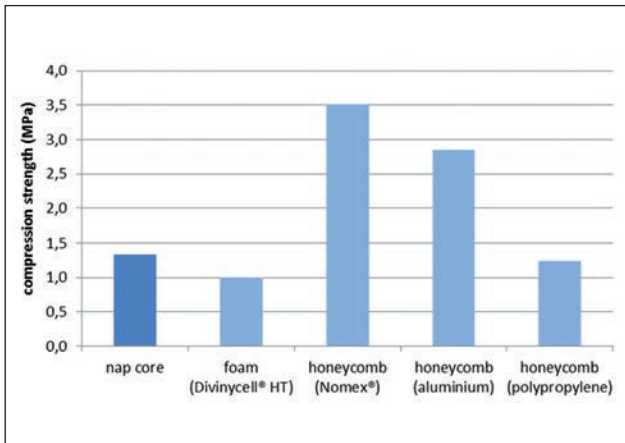


Fig. 3 Resistenza alla compressione
Compression strength

di legame aperti del tessuto lavorato, si è riscontrata una buona capacità di drenaggio. I tessuti di distacco permettono di modellare al meglio il materiale d'anima in modo da stampare facilmente le parti cilindriche con un raggio relativamente piccolo. Una quantità di spazio libero sufficiente fra i singoli tessuti lavorati permette di integrare facilmente fili metallici e connessioni. Infine, la struttura del nap core offre buone proprietà di

insonorizzazione (fig. 4). Il vantaggio principale offerto dal nap core è la sua versatilità. Il peso/volume delle diverse configurazioni finora esaminate è regolabile secondo una range variabile da 42 a 160 kg/m³. Ad esempio, i nap core lavorati con filati ibridi di aramide e matrice fenolica-formaldeide possono offrire un peso/volume molto basso oltre ad una

prestazione FST molto vantaggiosa. Un tessuto impregnato con cianate-estere insieme ad una configurazione speciale nap core, per esempio, conferisce ai nap core alti valori di resistenza alla compressione. Per esempio, un tessuto leggero e plasmabile dotato di elevata elasticità dà infatti nap core caratterizzate da eccellenti proprietà di drenaggio. Oltre a ciò, i tessuti a

maglia con filati di alta prestazione come gli aramidici offrono agli elementi sandwich migliori proprietà di resistenza all'urto per attutire anche impatti violenti.

Per concludere, i nap core offrono notevoli potenzialità al processo produttivo continuo, a costi contenuti e con ritmi di lavoro accelerati. Inoltre, i nap core offrono notevoli potenzialità al processo produttivo continuo, a costi contenuti e con ritmi di lavoro accelerati.

Conclusioni

Combinando la grande varietà di materiali, le proprietà dei nap core possono essere adattate alle esigenze di varie applicazioni e componenti.

L'analisi comparata fra le anime sandwich nap core e quelli a nido d'ape Nomex ha dimostrato che i nap core offrono alte potenzialità come materiali d'anima per componenti sandwich leggeri.

Le proprietà esclusive dei nap core quali la versatilità, le capacità di drenaggio, la modellazione o l'integrazione facilitata di condotte e fili metallici permettono di progettare sandwich di nuova concezione (fig. 5).

Oltre agli assemblaggi dei sandwich per uso in aeronautica, il nap core è ideale come materiale d'anima per pannelli sandwich di larga scala, destinati a carrozzerie di mezzi pesanti, scafi di imbarcazioni sportive, tavole surf o kite oppure per applicazioni in interni leggeri.

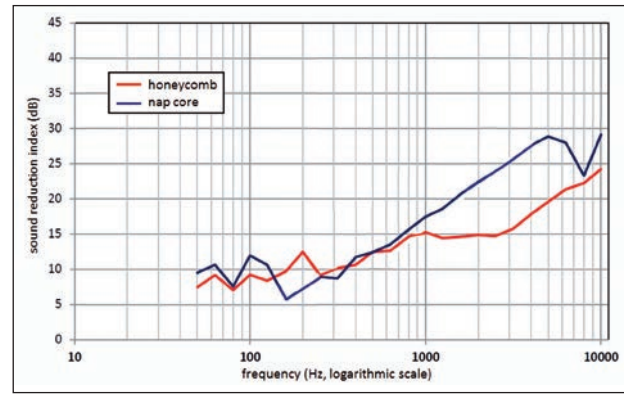


Fig. 4 Indice di insonorizzazione dei sandwich nap core e a nido d'ape
Sound reduction index of nap core and honeycomb sandwiches

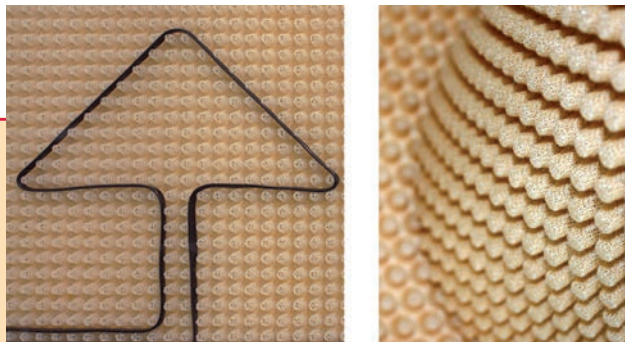


Fig. 5 Nap core con filo metallico integrato; nap core cilindrico
Nap core whit integrated wire; cylindrical nap core design

gies between 160 Hz to 400 Hz the sound reduction index for honeycomb sandwich panels is better.

A multi-adjustable core material

The mechanical properties of the so far examined nap core configurations are not fully comparable to honeycomb. The results of the mechanical tests show the need for further development activities regarding compression and bending properties of nap cores.

The figure 3 shows the compression strength of a nap core configuration (material components: polyester knitted fabric and cyanate

ester resin, nap diameter: 6 mm, volume weight: 64 kg/m³) compared to other lightweight core materials with equal volume weights. The compression strength of this nap core configuration is not as good as Nomex or aluminium honeycombs but nap core shows a high potential compared to polypropylene honeycomb or foam cores.

Furthermore, nap core material offers other advanta-

geous properties. Due to the open-cell structure of nap cores and the open stitches of the knitted fabric a very good drainability is given. The detached naps allow a high drapability of the core material, so cylindrical parts with quite small radiuses can be moulded easily. Enough free space between the single naps enables an easy integration of cables and wires. Additionally, the nap structure

provides good sound absorbing properties (fig. 4). The main advantage of the nap core material is its adjustability. So the resulting properties of the nap core material can be tuned in a wide range. The volume weight of so far examined different nap core configurations could be adjusted in a range from 42 to 160 kg/m³. As an example, nap cores of an aramid hybrid yarn knitted fabric with phenolic formaldehyde matrix can provide a very low volume weight and a very advantageous FST performance.

A cyanate ester impregnated fabric with a special nap configuration, for instance, enables nap cores

with high values for compression strength. A light and flimsy knitted fabric with a high elasticity provides nap cores with extra good drainability properties. Moreover, knitted fabrics with high performance yarns such as aramid can improve the impact properties of sandwich elements to be used as impact or crash absorber.

Besides nap core material offers great potential for an easy and low-cost continuous production process.

Conclusions

Through the high variety of material combinations the properties of nap core can

**Ringraziamenti**

Questo progetto è stato finanziato del Ministero per l'Education e Ricerca. Gli autori sono responsabili del contenuto di questo articolo. Si rin-

grazia il Fraunhofer Research Institution for Polymeric Materials and Composites, PYCO per la collaborazione e il sig. Ischdonat di EADS Innovation Works per i test acustici.

Andreas Bernaschek

Percorso professionale:

2011 - Attualmente è Ricercatore presso la InnoMat GmbH

2010 - 2011 Ricercatore presso il PYCO (Fraunhofer Research Institution for Polymeric Materials and Composites).

Titoli di studio:

2003 - 2010 Laurea in "Lightweight Engineering" presso "Institut für Leichtbau und Kunststofftechnik" alla "Faculty of Mechanical Science and Engineering" dell'Università di Dresda, Germania.

Andreas Bernaschek

Employment History:

2011 - present Research Fellow at InnoMat GmbH

2010 - 2011 Research Scientist at Fraunhofer Research Institution for Polymeric Materials and Composites PYCO.

Education:

2003 - 2010 Diplom in Lightweight Engineering" at the "Institut für Leichtbau und Kunststofftechnik" at the "Faculty of Mechanical Science and Engineering" of the TU Dresden, Germany.



COMPOSITE MATERIALS

be adapted to the needs of different applications and components. The comparison of nap core sandwich and Nomex honeycomb sandwich shows that nap core offers high potential as core material for lightweight sandwich components. The unique properties of nap core such as adjustability, drainability, drapability or easy integration of ducts and wires enables the design of novel sandwich constructions (fig. 5). In addition to aerospace sandwich assemblies, nap core is particularly suitable as core material for large-scale sandwich panels in truck bodies, sport boat hulls,

surf or kite boards or for lightweight interior applications.

Acknowledgements

This project was funded by the German Federal Ministry of Education and Research. The authors are responsible for the content of this paper. Thanks to Fraunhofer Research Institution for Polymeric Materials and Composites PYCO for its cooperation and Mr. Ischdonat from EADS Innovation Works for doing the acoustic tests for us.

References

Datasheet CORMASTER C2, Schütz GmbH & Co. KGaA (Selters, Germany)
 Datasheet EPONOL™ Resin 2485, Momentive Specialty Chemicals GmbH (Duisburg, Germany)
 Datasheet AIRPREG PC 8242 T1F1, Isovolta AG (Wiener Neudorf, Austria)

Datasheet DIVINYCELL® HT, DIAB GmbH (Hemmingen, Germany)
 Technical Datasheet 5052 Aluminium Honeycomb, Composite Materials Limited (Whetstone, UK)
 Datasheet PP Polypropylene Honeycomb, Plascore GmbH & Co. KG (Waldlaubersheim, Germany).