Leichtbau in Maschinen und Anlagen

Dr.-Ing. Thomas Hipke

Prof. Neugebauer

Fraunhofer IWU

1

Einführung

Bedingungsleichtbau | **Strukturleichtbau** | **Stoffleichtbau**

Blechleichtbau

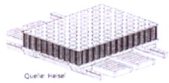
Leichtbau durch:
Auflösung von massiven Querschnitten (höhere Trägheitsmomente)

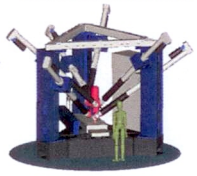
Parallelstrukturen

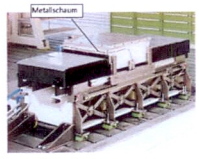
Vermeidung von biegebelasteten Bauteilen (nur Zug/Druck in den Streben)

Zellulare Werkstoffe; CFK; Mineralbeton

Einsatz von Materialien mit einem geringeren spezifischen Gewicht







Prof. Neugebauer

Fraunhofer IWU

IWP

Leichtbau am IWU

2

Einführung

Kennwerte		Mineral-beton	Al-Schaum AlMg1SiCu	CFK (längs zur Faser)	CFK (quer zur Faser)	Grauguss GG20	Stahl St 37
Dichte	[kg/dm³]	2,1....2,4	0,6	1,5	1,5	7,15	7,85
Druckfestigkeit	[MPa]	100..180	12,7			720	
Zugfestigkeit	[MPa]	10....20	6,2	1300	50	200...300	350....470
E-Modul	[GPa]	30...45	4,5	80		88...113	210
Poisson'sche Zahl	[-]	0,2...0,3	0,33			0,26	0,28
Dämpfung	[-]	0,02....0,03	0,01....0,03			0,003	0,002
Therm. Ausdehnungskoeffizient	[10^{-6}*K^{-1}]	12....20	23	-0,5	15	10	12
Wärmeleitfähigkeit	[W/(m*K)]	1,3....2,0	18...19			50	50
Spez.Wärmekap.	[J/(kg*K)]	0,9....1,1	0,92			0,5	0,45

Prof. Neugebauer

Fraunhofer IWU

IWP

Vergleich der Werkstoffe

3

CFK

Kohlefaserverstärkte Kunststoffe

Prof. Neugebauer

Fraunhofer IWU

IWP

4

CFK

Pro

- Extrem leicht bei hoher Steifigkeit/Festigkeit
- Sehr gutes Dämpfungsverhalten
- Wärmedehnung nahe null einstellbar
- „Bester" Leichtbauwerkstoff

Kontra

- Sehr teuer
- Verfügbarkeit nicht immer gegeben
- Hohes Ingenieur- und Verarbeitungs-know-how notwendig

Prof. Neugebauer

Fraunhofer IWU

IWP

5

CFK

Werkzeugmaschinenkomponenten in Faserverbundbauweise

CFK-Koppel KUKA-Palettierroboter KR180-2 PA

Eigenschaftsvorteile:

- ca. 60 % Massereduzierung gegenüber Aluminium
- sehr hohe Beschleunigungen
- sehr gutes Dämpfungsverhalten
- relativ geringe Antriebsleistung
- hohe Traglast bei gleichzeitig großer Reichweite

signifikante Produktivitätssteigerung bei verbesserter Positioniergenauigkeit

Prof. Neugebauer

Fraunhofer IWU

IWP

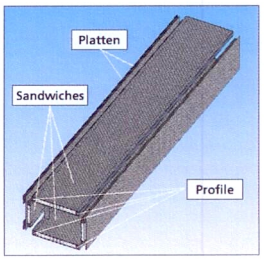
CFK in der Handlingstechnik

6

CFK

Werkzeugmaschinenkomponenten in Faserverbundbauweise

CFK-Querbalken einer hochdynamischen Werkzeugmaschine



Eigenschaften des Strukturbauteils:

- kostengünstige Differentialbauweise mit Profilen, Platten und Sandwiches
- fast keine thermischen Verformungen
- ca. 50 % Massereduzierung gegenüber herkömmlicher Stahlblechkonstruktion
- ca. 100 % Steifigkeitserhöhung gegenüber herkömmlicher Stahlblechkonstruktion

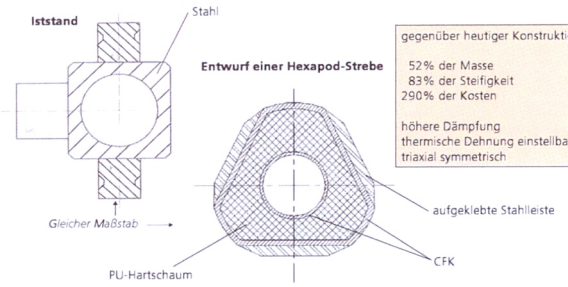
70 % Produktivitätssteigerung

Prof. Neugebauer Fraunhofer IWU IWP

7

Anwendung in Werkzeugmaschinen

CFK



gegenüber heutiger Konstruktion:

52% der Masse
83% der Steifigkeit
290% der Kosten

höhere Dämpfung
thermische Dehnung einstellbar
triaxial symmetrisch

Prof. Neugebauer Fraunhofer IWU IWP

8

Kohlefaserverstärkte Kunststoffe - Hexapod-Strebe -

Mineralbeton

Mineralbeton

Prof. Neugebauer Fraunhofer IWU IWP

9

Mineralbeton

Pro

- Komplexe Bauteile herstellbar
- Sehr gutes Dämpfungsverhalten
- Sehr träge bei Temperaturschwankungen
- Glatte nacharbeitsfreie Oberflächen
- Idealer Werkstoff für feststehende Bauteile (z. B. Betten)

Kontra

- Teurer als Grauguss
- Leichtbaueigenschaften schlecht

Prof. Neugebauer Fraunhofer IWU IWP

10

Mineralbeton

Breites Sortiment mit verschiedenen Eigenschaften verfügbar

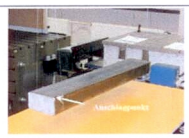
Eigenschaft	Einheit	EMRAtan®	Epument 140	Epument 145	Epument 145/B	Epument 160
Druckfestigkeit	N/mm²	130	150	160	130-150	180
Biegefestigkeit bzw. Zugfestigkeit	N/mm²	35	34	44	30-40	68
E-Modul	kN/mm²	40	45	55	40-45	60
Querkontraktionszahl		0,25	k. A.	k. A.	ca. 0,30	k. A.
Wärmeleitfähigkeit	W/(m K)	1,6	1,0	2,6	2,6	4,0
Spezifische Wärmekapazität	kJ/(kg K)	1,0	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.
Linearer thermischer Ausdehnungs-koeffizient	10⁻⁶/K	13	12	12	12	7-10
Dichte	g/cm³	2,1-2,4	2,3	2,6	2,4	2,4
Dämpfungsfähigkeit	-	12	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.
logarithmisches Dekrement der Dämpfung	-	k. A.	0,03	0,022	0,022	0,028
Einsatz ab Bauteilstärke	-	k. A.	k. A.	k. A.	> 90 mm	k. A.

Prof. Neugebauer Fraunhofer IWU IWP

11

Mineralbeton

Mineralbeton



Das Einbringen von Metallschaum in ein Stahlprofil ist mit einer Masseerhöhung um etwa 40 % verbunden.

Der Mineralbeton bewirkt eine Massenerhöhung um ca. 170 % gegenüber dem leeren Profil.

Profil		Frequenz [Hz]	Relativvergleich der Dämpfung	Gewicht [kg]
Eigenschwingform 1. Ordnung in z-Richtung				
leer	Mittel Profile 2 und 3	494	1,0	14
Beton	Mittel Profile 1 und 2	426	1,7	38
Schaum	Mittel Profile 3 und 4	470	2,7	20
Eigenschwingform 1. Ordnung in y-Richtung				
leer	Mittel Profile 2 und 3	900	1,0	14
Beton	Mittel Profile 1 und 2	746	3,8	38
Schaum	Mittel Profile 3 und 4	836	5,0	20

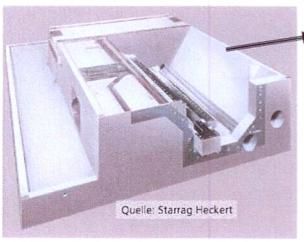
Prof. Neugebauer Fraunhofer IWU IWP

12

Mineralbeton

Mineralbeton

Maschinenbett aus Mineralbeton



Quelle: Starrag Heckert

Produktion:
- steigt jährlich um 20-30%
- ca. 14.000 t in CH, D und GB (Jahr 2000)

Anwendung:
- Maschinenbetten
- Meßgestänge

für Leichtbau nur bedingt geeignet

		Grauguss	Polymerbeton
Dichte	[g/cm³]	7,1	2,4
E-Modul	[kN/mm²]	110	43

aber:
seltener Einsatz bei bewegten Teilen (unter 500 kg)

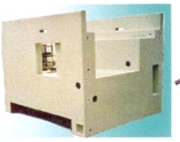
weil:
Preisnachteil bei kleinen Teilen gegenüber Guss; dünnwandiger Mineralguss schwierig

Prof. Neugebauer Fraunhofer IWU IWP

13

Mineralbeton

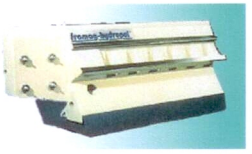
Mineralbeton



Bett eines Kunststoffbearbeitungszentrums

Bett einer CNC-Schrägbettdrehmaschine

Bett einer Siliziumwafer-Drahtsäge



Quelle: Framag

Prof. Neugebauer Fraunhofer IWU IWP

14

Mineralbeton

Aluminiumschaum

Aluminiumschaum

Prof. Neugebauer Fraunhofer IWU IWP

15

Aluminiumschaum

Aluminiumschaum

Prof. Neugebauer Fraunhofer IWU IWP

16

Aluminiumschaum

Pro

- Extrem leicht
- Gut recycelbar
- Gute Dämpfung
- Idealer Kernwerkstoff in metallischen Sandwichen

Kontra

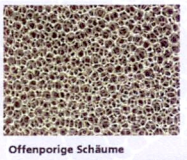
- Thermischer Herstellungsprozess
- Spezielles Prozess-know-how notwendig

Prof. Neugebauer Fraunhofer IWU IWP

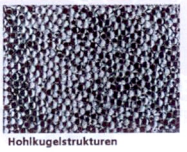
17

Aluminiumschaum

Geschlossenporige Schäume



Offenporige Schäume



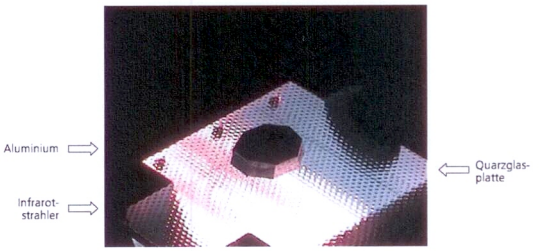
Hohlkugelstrukturen

Faserstrukturen

Prof. Neugebauer Fraunhofer IWU IWP

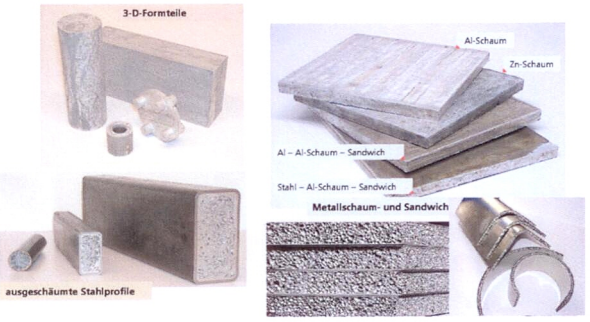
18

Arten zellularer Strukturen



Schäumvorgang

Infrarot-Schäumung



Produktgeometrien – Beispiele

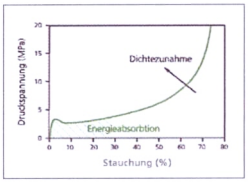
Werkstoffkennwerte des Aluminiumschaums

Dichte	0,5 - 0,9 g/cm³	→ technologisch gut beherrschbar: 0,7 g/cm³
Querkontraktion	0,31 - 0,34	
E-Modul (0,7 g/cm³)	ca. 6300 N/mm²	Kennwert$_{Schaum}$ = Kennwert$_{Vollmat}$ $(\rho_{Schaum}/\rho_{Vollmat})^n$, n = 1,7 bis 2
Druckfestigkeit (0,7 g/cm³)	ca. 15 N/mm²	
Wärmeleitfähigkeit (0,7 g/cm³)	ca. 20 W/m·K	
Werkstoffdämpfung (0,7 g/cm³)	ca. 4,5·10⁻³	

Erfüllt die Brandschutzanforderungen nach DIN 4102

Temperaturbeständigkeit bis *ca.* 500 °C

Hohes Energieabsorptionsvermögen



Eigenschaften von Aluminiumschäumen

Bedeutung des Metallschaums innerhalb des Werkzeugmaschinenbaus

Forderungen : Verkürzung der Haupt- u. Nebenzeiten & Steigende Werkstückqualität

Konsequenzen : Schnell bewegte Baugruppen → Massereduzierung → Leichtbau & Dämpfende Struktur

Problem : Filigrane Struktur → Knickung von dünnen Wänden & Wandschwingungen

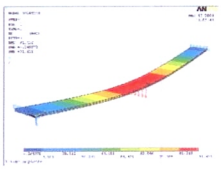
Lösung : Metallschaum → Aussteifung filigraner Strukturen & Hohes Dämpfungspotenzial

Metallschaum besitzt Leichtbau- und Dämpfungspotential und ist deshalb von großer Bedeutung für den Maschinenbau

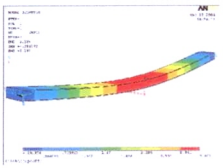
Potential für den Werkzeugmaschinenbau

Metallschaum-Sandwichs

Vergleich einer Stahlplatte mit einem masseäquivalenten Stahl-AlSchaum-Sandwich



Stahlplatte: 400 x 30 x 3 mm³, **279 g**, **91 mm bei 1000 N** Last in Bauteilmitte.



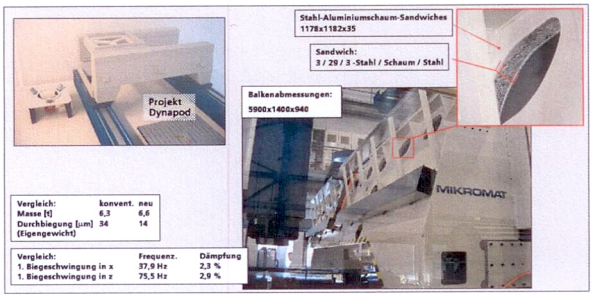
Sandwich: 400 x 30 x 12 mm³, **257 g**, **3,3 mm bei 1000 N** Last in Bauteilmitte.

Sandwich-Effekt

Metallurgische Bindung von Aluminiumschaum am Stahldeckblech

Haftung bei Sandwichen

Aluminiumschaum



Vergleich:	konvent.	neu
Masse [t]	6,3	6,6
Durchbiegung [µm] (Eigengewicht)	34	14

Vergleich:	Frequenz.	Dämpfung
1. Biegeschwingung in x	37,9 Hz	2,3 %
1. Biegeschwingung in z	75,5 Hz	2,9 %

Prof. hergebauer

Fraunhofer IWU

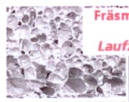
DYNAPOD - Werkzeugmaschine für den Großwerkzeug- und Formenbau

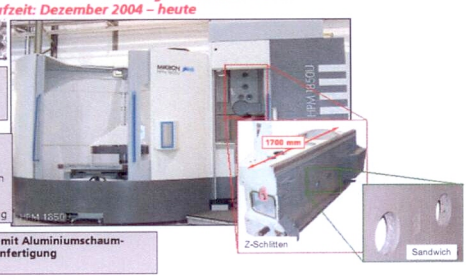
25

Aluminiumschaum

Fräsmaschine HPM 1850U der NILES-SIMMONS Industrieanlagen GmbH mit ausgeschäumtem Z-Schieber

Laufzeit: Dezember 2004 – heute





Aufbauprinzip:
11 Stahl-Aluschaum-Sandwiches mit Massivteilen ergänzt

Effekt:
28% leichter bei gleicher Steifigkeit als Grauguss-Konstruktion

verbesserte Schwingungsdämpfung

Werkzeugmaschine mit Aluminiumschaum-Sandwiches in Serienfertigung
(ca. 15 Stück/Jahr)

Prof. hergebauer

Fraunhofer IWU

Erste Serienproduktion

26

Aluminiumschaum

Tragbalken für Spulen einer Textilmaschine

ALPORAS® - Schaumkern umgossen mit Aluminium

Composite Al-Schaum + Al-Guss (Sandguss) nach Konstruktionsänderung:
Gewicht konstant bei ca. 21,0 kg
Vibrationsreduzierung 60%
Erhöhung kritischer Frequenz von 310 auf 370 Hz

Seit 2004 wurden 2500 Stück produziert

Prof. hergebauer

Fraunhofer IWU

Anwendung bei Textilmaschinen

27