

Bevezetés a lézeres anyag- megmunkálásba

FBN332E-1

Dr. Geretovszky Zsolt

2010. október 13.

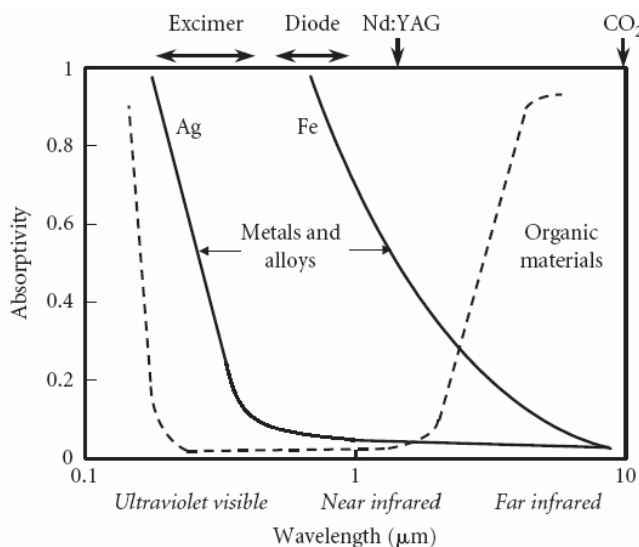
A lézeres anyagmeggmunkálás szempontjából fontos anyagi tulajdonságok

- Optikai tulajdonságok
- Mechanikai tulajdonságok
- Termikus tulajdonságok

Abszorptivitás, A

$$A = \frac{E_{absz}}{E_0} \quad 1 = A + R + T$$

A nyaláb teljes energiájának, teljesítményének ezen, abszorbeált része "hasznosul", hisz ez fordítódik a minta megmunkálására.



polarizációfüggő!
 (ld. Fresnel formulák)
 hőmérsékletfüggő,
 legtöbb szilárd fémre, ötvö-
 zetre az IR-ban $dA/dT > 0$
 függ a felületi simaságtól
 durva felszín A -ja nagyobb

Abszorpciós tényező, β

Beer-Lambert törvény:

$$E(z) = E_0 e^{-\beta \cdot z}$$

E_0 : a mintára eső energia ($z=0$)
 E : a minta z mélységébe jutó energia
 β : abszorpciós tényező

abszorpciós hossz:

ahol
$$E(z_{absz}) = \frac{E_0}{e}$$

$$z_{absz} = \frac{1}{\beta}$$

Sűrűség, ρ

M1

Az atomok szorosabb illeszkedése nagyobb sűrűséget (és egyszersmind magasabb olvadáspontot is) eredményez.

Fémek: általában nagy

Műanyagok: alacsony

Fajhő, c

T1

Az anyag fajlagos hőkapacitása:

annak az energiának a mértéke, mely ahhoz szükséges, hogy az anyag egységnyi mennyiségének hőmérsékletét 1 kelvinnel növeljük állandó nyomáson

vonatkozhat tömegegységre, térfogategységre, vagy egységnyi anyagmennyiségre, mértékegysége, ennek megfelelően:

$$J kg^{-1} K^{-1}, J m^{-3} K^{-1}, J mol^{-1} K^{-1}$$

A legtöbb anyag térfogati fajhője szobahőmérsékleten:

$$3 \times 10^6 J m^{-3} K^{-1}$$

A fajhő hőmérsékletfüggése:

fémek és ötvözetek: a hőmérséklet növelésével nő, max. $25 J mol^{-1} K^{-1}$

kerámiák és üvegek: a hőmérséklet növelésével nő, míg kb. $1000^\circ C$ -nál állandóvá válik

műanyagok: az üvegesedési hőmérséklet eléréséig nő

Hővezetőképesség, λ

thermal conductivity

T2

Az anyag azon tulajdonságát jellemzi, hogy **egyensúlyi körülmények között** milyen mértékben képes a hő vezetésére.

$$\lambda = \frac{\text{heat flux}}{\text{temperature gradient}} \quad [\lambda] = \text{W m}^{-1}\text{K}^{-1}$$
$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = \lambda A \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

Fémek: elektronok \rightarrow nagy hővezetőképesség, T növelésével csökken,
Wiedemann-Franz törvény: $\frac{\lambda}{\sigma} = LT$, $L = 2.44 \times 10^{-8} \text{W}\Omega\text{K}^{-2}$

Kerámiák: fononok \rightarrow nagyobb kötése erősség jobb hővezetőképesség (pl. gyémánt), réteges szerkezetekben anizotróp (pl. grafit), T növelésével csökken

Üvegek: amorfak \rightarrow rossz hővezetés és nincs jelentősebb hőmérsékletfüggés

Műanyagok: kovalens kötés + nagy molekulák + kevésbé kristályos \rightarrow alacsony hővezetés

Hődiffúziós együttható, a

thermal diffusivity

T3

$$a = \frac{\lambda}{\rho \cdot c} = \frac{\text{hővezetéssel terjedő energia}}{\text{térfogategységben tárolt energia}}$$

Tranziens (nem egyensúlyi) folyamatok során jelentős!
pl. impulzus lézeres kezelés, vagy mozgó minta/nyaláb

Termikus behatolási mélység:

$$z_{term} = \sqrt{4at} \quad t: \text{a hőkezelés ideje}$$

Ötvözetek hődiffúziós együtthatója kisebb, mint a tiszta fémeké!

Hőtágulási együttható, α

T4

$$\alpha = \frac{\Delta l}{l_0 \cdot \Delta T}$$

Szoros illeszkedésű kristályrácsoknál (pl. fémek, ötvözetek, ionos kerámiák) a hőtágulási együttható nagy.

Kovalens kötésű anyagokban van elegendő „szabad hely” a tágabb rezgési amplitúdók számára is → kisebb hőtágulási együttható

Anizotróp anyagokban irányfüggő.

Átalakulási hőmérsékletek

T5

A különféle fázisátmenetek jellemző hőmérsékleteken játszódnak le.
olvadáspont, forráspont ...

melyekhez karakterisztikus energiák is tartoznak

$$T_{fp} \approx 2 \cdot T_{op}$$

fémek, ötvözetek

Szoros illeszkedés és erős kötés magas olvadáspontot eredményez.

Üvegesedési hőmérséklet, T_g :
amorf anyagokra jellemző
szilárdszerű -> folyadékszerű
viselkedés

Polimer

[Polietilén \(LDPE\)](#)

[Polipropilén \(atactic\)](#)

[Polivinilacetát \(PVAc\)](#)

[Polietilén tereftalát \(PET\)](#)

[Polivinilalkohol \(PVA\)](#)

[Polivinil-klorid \(PVC\)](#)

[Polisztirén](#)

[Polipropilén \(isotactic\)](#)

[Polimetilmetakrilát \(atactic\)](#)

Gumi

[Szilícium oxid](#)

T_g (°C)

-125 or -30

-20

28

79

85

81

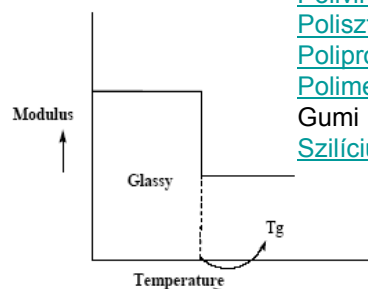
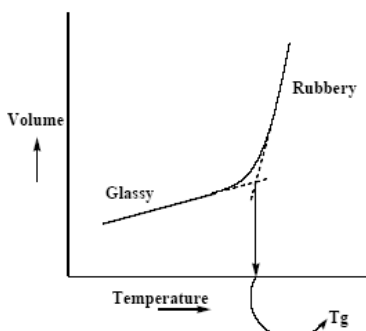
95

0

105

160

1175



$$T_{op} \approx 1.5 \cdot T_g$$

Olvadáshő, párolgáshő

A fázisátalakulást kísérő szabadenergia változás.

$$\Delta H = T \cdot \Delta S$$

$$\text{Olvadásra: } \frac{\Delta H_{olv}}{T_{op}} = \Delta S \approx R = 8.314 \text{ Jmol}^{-1} \text{ K}^{-1}$$

$$\text{Párolgásra: } \frac{\Delta H_{forrás}}{T_{fp}} = \Delta S \approx 10.5R = 88 \text{ Jmol}^{-1} \text{ K}^{-1}$$

Trouton-szabály

FIGYELEM: a fenti összefüggések nem érvényesek asszociálódó anyagokra (pl. másodrendű kötések)

Anyagi állandók FÉMEK ÉS ÖTVÖZETEK

Table D.1 Mechanical and thermal properties of some engineering metals and alloys: ρ is density; E is Young's modulus; σ_y is yield stress; σ_{TS} is ultimate tensile stress; ϵ_f is elongation at failure; λ is thermal conductivity; c_p is specific heat capacity at constant pressure; a is thermal diffusivity; T_m is melting temperature; T_v is vaporization temperature; L_m is latent heat of melting; L_v is latent heat of vaporization; α is coefficient of linear expansivity (the quantities λ , c_p and a refer to values at 60% of the melting temperature)

Material	Grade	Mechanical properties					Thermal properties							
		ρ (kg m^{-3})	E (GN m^{-2})	σ_y (MN m^{-2})	σ_{TS} (MN m^{-2})	ϵ_f (%)	λ ($\text{J s}^{-1} \text{ m}^{-1} \text{ K}^{-1}$)	c_p ($\text{J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$)	a ($\text{m}^2 \text{ s}^{-1} \times 10^{-6}$)	T_m (K)	T_v (K)	L_m (kJ kg^{-1})	L_v (MJ kg^{-1})	α ($\text{K}^{-1} \times 10^{-6}$)
Aluminium	CP	2704	71	50	200	43	238	1000	88	932	2740	388	10.79	23
Copper	CP	8930	117	75	400	45	375	471	112	1356	2868	205	4.79	17
Copper	Brass	8500	115	450	550	8	110	370	35	1300	1180	150	3.75	18
Copper	Bronze	8800	110	140	260	10	180	360	57	1300	2540	105	3.50	17
Gold	CP	19300	71	40	220	40	296	132	116	1340	3239	65	1.28	14
Iron	CP	7790	206	165	300	45	32.5	560	7.5	1810	3300	272	6.10	12
Iron	C-Mn	7764	210	300	460	35	30	420	9.2	1800	3100	270	6.05	15
Iron	AISI 304	7870	195	230	600	60	25.5	450	7.2	1773	3300	280	6.20	16
Iron	Grey	7142	110	180	275	0.5	75	500	21	1500	2900	100	5.80	11
Iron	Nodular	7891	197	275	415	18	25	480	6.6	1810	2900	100	5.80	12
Iron	Malleable	7700	180	190	230	0	75	440	22	1420	2900	140	5.80	11
Lead	CP	11538	16.1	12	168	50	33	130	22	600	2017	24	0.863	27
Magnesium	CP	1740	44	95	190	5	100	821	70	924	1380	358	5.51	25
Nickel	CP	8900	207	60	300	30	72	560	14	1726	3005	302	6.38	13
Nickel	Monel	8800	150	240	520	40	360	420	97	1600	2800	250	5.20	14
Silver	CP	10500	70	150	180	45	419	235	160	1230	2485	106	2.33	19
Tin	CP	7300	40	26	30	0.5	68	264	39	505	2540	60	2.50	23
Titanium	CP	4500	116	480	620	20	23	523	9.8	1950	3530	392	10.67	9
Zinc	CP	7140	110	260	150	50	111	420	40	693	1180	110	1.76	31

ÜVEGEK ÉS KERÁMIÁK

Table D.2 Mechanical and thermal properties of some engineering glasses: ρ is density; E is Young's modulus; σ_{TS} is ultimate tensile stress; λ is thermal conductivity; c_p is specific heat capacity at constant pressure; a is thermal diffusivity; T_g is glass transition temperature; T_m is melting temperature; α is coefficient of linear expansivity

Material	Grade	Mechanical properties			Thermal properties					
		ρ (kg m ⁻³)	E (GN m ⁻²)	σ_{TS} (MN m ⁻²)	λ (J s ⁻¹ m ⁻¹ K ⁻¹)	c_p (J kg ⁻¹ K ⁻¹)	a (m ² s ⁻¹ × 10 ⁻⁶)	T_g (K)	T_m (K)	α (K ⁻¹ × 10 ⁻⁶)
Alumino-silicate	Fibre glass	2700	85	60	1.0	800	0.46	863	1500	5.2
Boro-silicate	Pyrex	2300	65	55	1.0	753	0.57	743	1400	3.2
Glass	Silica	2200	75	70	1.4	840	0.76	1253	1715	0.6
Glass	Soda	2500	74	50	1.0	503	0.80	793	1996	7.8
Glass	Lead	3000	60	65	0.8	670	0.40	663	1996	9.4

Table D.3 Mechanical and thermal properties of some engineering ceramics: ρ is density; E is Young's modulus; σ_y is yield stress; σ_{TS} is ultimate tensile stress; ϵ_f is elongation at failure; λ is thermal conductivity; c_p is specific heat capacity at constant pressure; a is thermal diffusivity; T_m is melting temperature; α is coefficient of linear expansivity (*four point bending; + compression)

Material	Grade	Mechanical properties					Thermal properties				
		ρ (kg m ⁻³)	E (GN m ⁻²)	σ_y^* (MN m ⁻²)	σ_{TS} (MN m ⁻²)	ϵ_f (%)	λ (J s ⁻¹ m ⁻¹ K ⁻¹)	c_p (J kg ⁻¹ K ⁻¹)	a (m ² s ⁻¹ × 10 ⁻⁶)	T_m (K)	α (K ⁻¹ × 10 ⁻⁶)
Alumina	Al ₂ O ₃	3970	345	455	250 ⁺	–	7.80	800	9.54	2303	8.5
Aluminium nitride	AlN	2700	320	441	425	–	180	700	95.2	2173	4.4
Beryllia	BeO	3100	400	246	250	–	210	1080	62.7	2803	7.4
Boron carbide	B ₄ C	2520	450	350	350	–	37.0	950	15.5	2623	4.3
Brick	Red	2300	17	500	36 ⁺	–	0.60	440	59.3	2980	9.0
Diamond		3510	500	1500	10 000 ⁺	–	2000	472	1207	4300	1.2
Granite		2750	70 ⁺	–	175 ⁺	23	1.5	800	0.68	7000	8.0
Limestone	CaCO ₃	2000	63 ⁺	–	110 ⁺	20	1	1000	0.50	2750	7.0
Magnesia	MgO	3580	395	280	–	–	62	940	18.4	3073	12
Marble		2850	75 ⁺	–	115 ⁺	–	3	880	1.20	–	6.5
Porcelain		2400	70	–	–	45	5	1070	1.95	1823	3.0
Sialon	Si ₃ N ₄ –Al ₂ O ₃	3200	300	425	400	–	22	750	9.2	1600	3.1
Silicon carbide	SiC	3170	400	140	450	0.6	100	1240	0.16	2500	4.5
Silicon nitride	Si ₃ N ₄	3100	175	210	275	–	16	750	6.9	2023	2.6
Tungsten carbide	WC	15 800	700	–	344	–	70	340	13	3073	7.3
Zirconia	ZrO ₂	5600	138	175	325	–	19	460	0.6	2770	11

MŰANYAGOK

Table D.4 Mechanical and thermal properties of some engineering polymers; ρ is density; E is Young's modulus; σ_y is yield stress; σ_{TS} is ultimate tensile stress; ϵ_f is elongation at failure; λ is thermal conductivity; c_p is specific heat capacity at constant pressure; a is thermal diffusivity; T_g is glass transition temperature; T_m is melting temperature; α is coefficient of linear expansivity (Kevlar is a registered trademark of E.I. du Pont de Nemours and Company)

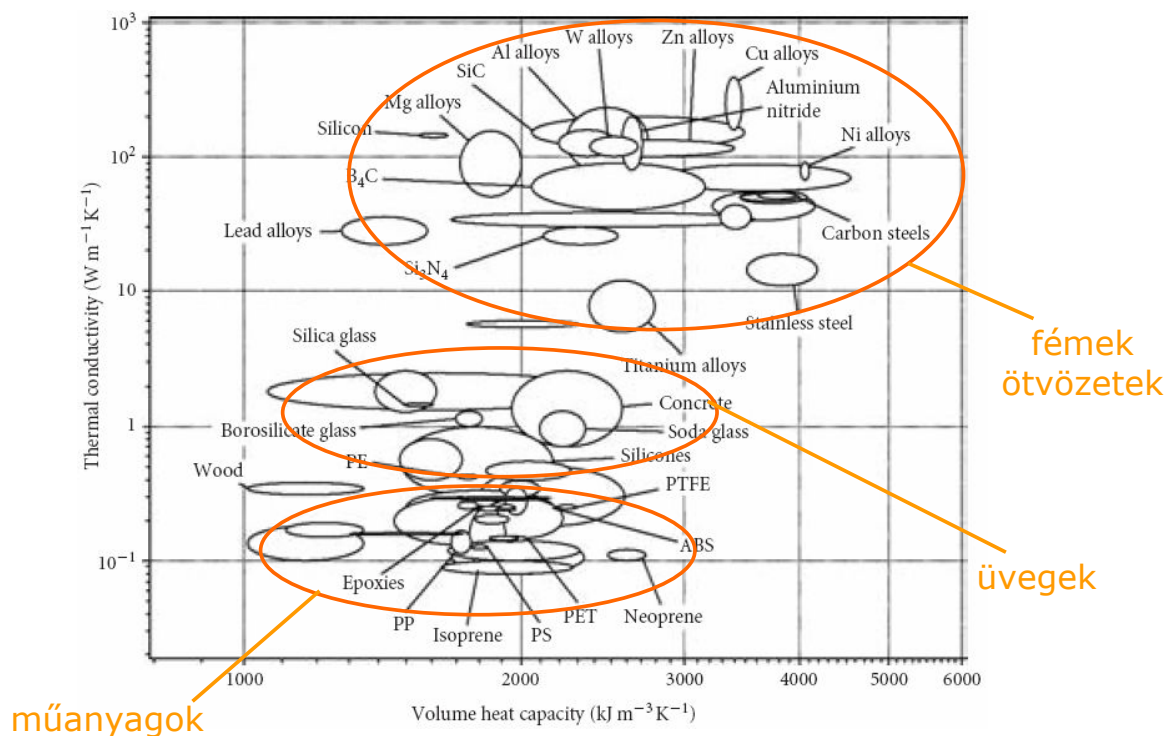
Material	Grade	Mechanical properties					Thermal properties					
		ρ (kg m ⁻³)	E (GN m ⁻²)	σ_y (MN m ⁻²)	σ_{TS} (MN m ⁻²)	ϵ_f (%)	λ (J s ⁻¹ m ⁻¹ K ⁻¹)	c_p (J kg ⁻¹ K ⁻¹)	a (m ² s ⁻¹ × 10 ⁻⁶)	T_g (K)	T_m (K)	α (K ⁻¹ × 10 ⁻⁶)
Acrylic	Moulded	1150	3.1	74	69	6	0.20	1500	0.12	373	403	73
Epoxy	Cast	1120	3	80	90	3	0.17	1400	0.11	380	420	5
Melamine	Phenolic	1630	10.7	94	70	80	0.56	1700	0.20	–	360	4
Nylon	6	1130	3	79	100	70	0.23	700	0.29	340	480	94
Polyamide	Kevlar®	1450	110	120	3200	6.6	0.37	1100	0.23	553	1273	28
Polycarbonate		1200	2.38	62	66	80	0.19	1300	0.12	573	783	75
Polyetheretherketone		1330	4.5	99	110	37	0.25	2000	0.01	413	613	39
Polyethylene	Low density	920	0.18	20	13	600	0.25	2300	0.12	270	360	200
Polyethylene	High density	930	0.43	25	30	200	0.52	2300	0.24	300	383	200
Polymethylmethacrylate	Atactic	1190	3.18	80	76	5	0.20	1500	0.11	378	400	250
Polypropylene	Atactic	900	1	25	35	220	0.16	2100	0.01	253	310	62
Polystyrene	Amorphous	1050	3.1	40	50	2	0.13	1300	0.01	373	373	70
Polyurethane		1100	0.44	25	27	250	0.19	1500	0.12	–	358	280
Polyvinylchloride		1352	0.01	28	37	300	0.13	1800	0.05	350	370	150
Rubber	Polyisoprene	916	0.02	–	17	500	0.13	1905	0.07	220	350	660

KOMPOZITOK

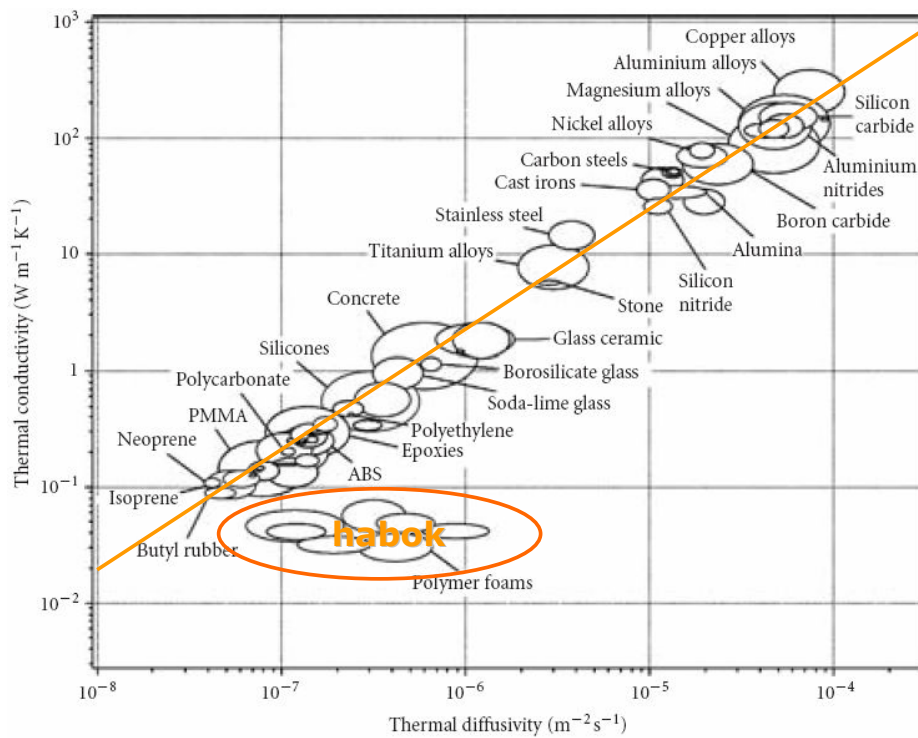
Table D.5 Mechanical and thermal properties of some engineering composites: ρ is density; E is Young's modulus; σ_y is yield stress; σ_{TS} is ultimate tensile stress; λ is thermal conductivity; c_p is specific heat capacity at constant pressure; a is thermal diffusivity; T_m is melting temperature; α is coefficient of linear expansivity (*bending; + compression; || parallel to grain/reinforcement; \perp perpendicular to grain/reinforcement)

Material	Grade	Mechanical properties				Thermal properties				
		ρ (kg m^{-3})	E (GN m^{-2})	σ_y (MN m^{-2})	σ_{TS} (MN m^{-2})	λ ($\text{J s}^{-1} \text{m}^{-1} \text{K}^{-1}$)	c_p ($\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$)	a ($\text{m}^2 \text{s}^{-1} \times 10^{-6}$)	T_m (K)	α ($\text{K}^{-1} \times 10^{-6}$)
Aluminium alloy-SiC	Particulate	3050	200	300	350	180	850	69.4	823	16.5
Bone	<i>In vivo</i>	2100	20	-	150	0.38	440	0.29	-	1.46
Carbon fibre reinforced polymer	CFRP	1700	100	-	250	0.75	1373	0.30	500	8
Concrete		2400	30 ⁺	400	40 ⁺	0.10	3350	0.01	1600	12
Glass fibre reinforced polymer	GFRP	2400	80	-	220	0.60	3350	0.01	1600	10
Human tissue	Muscle	1010	-	-	-	0.46	3662	12.4	-	-
Titanium alloy-SiC	Fibre	4100	320	170	450	23	523	9.8	1950	6.8 (), 8.0 (\perp)
Wood	Ash	600	10.5*	55*	75*	1.0 (), 0.4 (\perp)	1800	0.65	-	50 (), 27 (\perp)
	Fir	520	12.0*	40*	65*	1.0 (), 0.4 (\perp)	1700	0.79	-	55 (), 25 (\perp)
	Oak	680	11.5*	50*	75*	1.5 (), 0.6 (\perp)	1900	0.77	-	70 (), 30 (\perp)
	Pine	600	12.5*	50	75*	1.0 (), 0.4 (\perp)	1700	0.69	-	60 (), 25 (\perp)

Anyagi tulajdonság diagramok, 1



Anyagi tulajdonság diagramok, 2



meredekség:
 $3 \times 10^6 J m^{-3} K^{-1}$

Anyagi tulajdonság diagramok, 3

