

J. Šimonová-Čeřovská

Závislost modulu pružnosti ocelí a niklu na teplotě

Časopis pro pěstování matematiky a fysiky, Vol. 69 (1940), No. 3-4, 197--204

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/123325>

Terms of use:

© Union of Czech Mathematicians and Physicists, 1940

Institute of Mathematics of the Academy of Sciences of the Czech Republic provides access to digitized documents strictly for personal use. Each copy of any part of this document must contain these *Terms of use*.



This paper has been digitized, optimized for electronic delivery and stamped with digital signature within the project *DML-CZ: The Czech Digital Mathematics Library* <http://project.dml.cz>

Závislost modulu pružnosti ocelí a niklu na teplotě.

J. Šimonová-Čeřovská, Praha.

(Došlo 17. dubna 1940.)

Úkolem této práce bylo stanovit závislost modulu pružnosti na teplotě u různých druhů ocelí a niklu. K určování modulu pružnosti E bylo použito dynamické metody: byl počítán ze vzorce pro kmitočty podélných (longitudinálních) kmitů pravoúhlých a kruhových tyčí.

K rozkmitávání tyčí bylo použito magnetostrikčních vlastností zkoumaných látek. Tyče z magnetostrikčního materiálu mohou totiž býti uvedeny do mechanických kmitů střídavým magnetickým polem. To po prvé ukázal J. H. Vincent (1), načež W. G. Pierce (2) sestrojil první magnetostrikční oscilátor. Magnetostrikčních vlastností ocelí a niklu použili k buzení kmitů deštiček také H. Dörffler (3), B. Pavlík (4), I. Šimon (5) a F. Kohl (6).

Podélnými kmity tyčí rozumíme kmity, při nichž elastická posunutí se dějí pouze ve směru délky. Pro kmitočet základního kmitu „nekonečně tenké tyče“ platí vzorec:

$$f_1 = \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{E}{\rho}}, \quad (1)$$

kde l je délka tyče, ρ hustota a E modul pružnosti v tahu.

Z tohoto vztahu plyne

$$E = 4l^2 \rho \cdot f_1^2. \quad (2)$$

Vzorec (1) neplatí zcela přesně, ježto nepřihlíží k příčným rozměrům vyšetřované tyče. Protože však Rayleighova korekce (7) byla pro vyšetřované tyčinky menší než chyby měření, bylo při výpočtu modulu E užíváno přibližného vzorce (2).

Pro nikl byl modul pružnosti určován z kmitů tyčinky kruhového průřezu; u ocelí značek Victrix Special, CM4, 1555 a AK5M od firmy Poldina Huť byl modul pružnosti určován na tyčinkách kruhového i čtvercového průřezu. Přibližné chemické složení studovaných ocelí je podle údajů Poldiny Hutí sestaveno v tabulce 1.

Tabulka 1.

Značka materiálu	% C	% Mn	% Si	% Cr	% Ni	% Mo
Victrix Special	0,15	0,50	0,25	1	3,7	0,35
CM4	0,34	0,60	0,25	1,1	—	0,20
1555	0,12	0,40	0,30	5,0	—	0,55
AK5M	0,42	0,50	0,25	1,5	—	1,80

Rozměry tyčinek a hustota ρ jsou uvedeny v tab. 2.

Tabulka 2.

Značka materiálu	Značka tyčinky	l mm	$a = b$ mm	r mm	ρ g/cm ³
Victrix Special	2; 3	39,98 ₉	3,98 ₅	—	7,85 ₂
	3; 3	40,15 ₄	—	2,49 ₆	
CM4	2; 1	39,92 ₁	3,98 ₃	—	7,88 ₃
	3; 1	39,77 ₄	—	2,52 ₆	
1555	2; 1	39,84 ₉	4,01 ₅	—	7,78 ₀
	3; 1	39,47 ₈	—	2,50 ₆	
AK5M	2; 1	40,31 ₂	3,98 ₇	—	7,79 ₆
	3; 1	40,31 ₂	—	2,50 ₆	
Ni	16	39,45 ₀	—	2,49 ₅	8,86 ₃

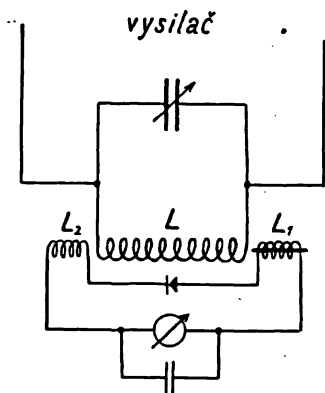
Ocelové tyčinky byly v dílnách Poldiny Huti vybroušeny ze zakaleného a vyžíhaného (zušlechtěného) materiálu. Niklová tyčinka byla zhotovena z běžného niklového drátu.

Ježto vyšetřované tyčinky byly zhotoveny z magnetostrikčních látek, lze buditi jejich podélné kmity v magnetickém poli oscilační cívky vysokofrekvenčního generátoru. V generátoru v tříbodovém zapojení bylo použito vysílací lampy Telefunken RS 282 o max. anodové ztrátě 100 W při anodovém napětí 1000 V.

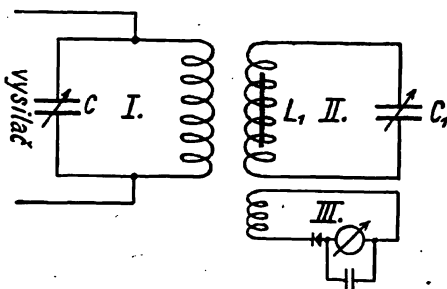
Při vlastním měření bylo postupováno takto: Vyšetřovaná tyčinka byla rozkmitána v oscilační cívce generátoru. Příslušný kmitočet generátoru byl určován volně spřaženým vlnoměrem značky Telefunken typu K. W. 61,1 oceňovaným s přesností 1^o/₁₀₀. K zjišťování, že tyčinka kmitá a jaké kmity koná, bylo za obvyklých teplot užíváno metody Chladního obrazců (s plavuní). Při

vyšších teplotách bylo nutno použití jiných indikačních metod. Jsou to:

1. *Metoda Giebe-Blechschildtova* (8). Její princip je patrný ze schematu na obr. 1. V magnetickém poli oscilační cívky L jsou umístěny dvě stejné cívky L_1 a L_2 . Do cívky L_1 je vložena zkoumaná magnetostrikční tyčinka. Cívky se zapojí tak, aby indukovaná napětí byla opačné fáze, takže detektorem neteče prakticky žádný vysokofrekvenční proud a galvanometr neukazuje žádnou výchylku. Nastane-li rezonance vlastních kmitů tyčinky



Obr. 1.



Obr. 2.

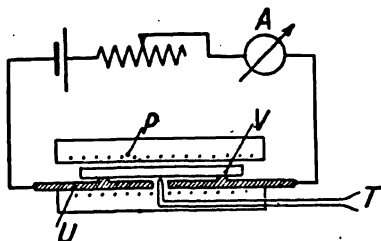
s elektromagnetickými kmity vysilače, vznikají v tyčince periodická elastická napětí, jimiž se změní její magnetické vlastnosti, takže rovnováha se poruší a galvanometr ukáže výchylku.

2. *Metoda zářezové křivky*. Do cívky samostatného oscilačního obvodu je vložena magnetostrikční tyč. Zářezová rezonanční křivka magnetostrikčních rezonátorů (9), (10) je do jisté míry analogická zářezovým křivkám piezoelektrických deštiček [D. W. Dye (11), V. Petržílka a A. Žáček (12)]. Experimentální uspořádání této metody je schematicky znázorněno na obr. 2.

Hodnoty samoindukce L_1 a kapacity C_1 jsou voleny tak, aby vlastní kmitočet oscilačního obvodu II byl blízko vlastního kmitočtu f magnetostrikční tyče. Měníme-li postupně kondensátorem C kmitočet vysilače a měříme-li proud v obvodu L_1 a C_1 , dostáváme obyčejnou rezonanční křivku, na níž je u rezonančního kmitočtu f ostrý zářez. Tento zářez je způsoben tím, že při resonanci tyčinky se z dané energie oscilačního obvodu použije část energie na mechanické kmitý a pouze zbytek se přenáší do obvodu II.

3. *Mikrofonní metoda*. Tato metoda, které zde bylo po prvé

použito, využívá změny odporu mezi uhlíkovou podložkou a na ní ležící tyčinkou, jež nastane, když se tyčinka rozkmitá. Magnetostrikční tyč spočívá volně na dvou zářezech, vyplívaných



Obr. 3.

A miliampérmetr, *P* asbestová píčka s topným drátem, *T* thermočlánek, *U* uhlíková podložka, *V* vyšetřovaná tyč.

v uhlíkových podložkách. Podložkami a tyčinkou protéká proud asi 80 mA ze čtyřvoltové baterie (obr. 3).

Nekmitá-li tyčinka, miliampérmetr *A* ukazuje přibližně stálou výchylku. Jestliže se tyčinka rozkmitá, poruší se kontakt uhlíkytyč, odpor zařízení vzroste a na miliampérmetru pozorujeme ostrý pokles proudu velikosti asi 10–15 mA.

Celé zařízení je uloženo v asbestové píčce, v níž je také thermočlánek. Teplota deštičky byla měřena thermočlánekem železo-konstantan; jako základních bodů při cejchování bylo použito bodu varu vody, bodu tání chemicky čistého cínu a zinku.

Výsledky měření na jednotlivých vzorcích téhož materiálu u tyčinek čtvercového a kruhového průřezu dobře souhlasí, jak je patrné z grafu 1 a tab. 3.

Při stanovení závislosti modulu pružnosti E na teplotě bylo u vzorků z ocelí a niklu přihlíženo ke korekci vzhledem k délkové roztažnosti a k změně hustoty s teplotou. V tab. 4. jsou uvedeny hodnoty koeficientu délkové roztažnosti $\alpha \cdot 10^7$ (u ocelí podle udání Poldiny Hutí).

Tabulka 4.

Značka materiálu	20°–100°	20°–200°	20°–300°	20°–400°	20°–500°	20°–600°
Victrix	111	112	116	125	131	135
Special						
CM4	130	132	137	142	147	151
1555	122	123	126	129	132	134
AK5M	95	103	107	112	113	115
Ni (13)	0–100°	0–200°	0–300°	0–400°	0–500°	
	145	285	434	591	756	

Tabulka 3.

Victrix Special			CM4			1555			AK5M			Ni16	
□ 2; 3		□ 2; 2	□ 2; 1		∅ 3; 1	□ 2; 1		∅ 3; 1	□ 2; 1		∅ 3; 1		
<i>t</i>	<i>E</i>	<i>t</i>	<i>E</i>	<i>t</i>	<i>E</i>	<i>t</i>	<i>E</i>	<i>t</i>	<i>E</i>	<i>t</i>	<i>E</i>	<i>t</i>	<i>E</i>
20	2,12	20	2,11	20	2,17	20	2,18	20	2,18	20	2,41	20	2,40 ⁵
67	2,09	54	2,08	54	2,16	50	2,15	66	2,16	100	2,37	73	2,39
93	2,06	101	2,06	75	2,15	84	2,13	96	2,15	131	2,35	113	2,38
129	2,04	136	2,04	105	2,13	110	2,12	123	2,13 ⁵	152	2,34	134	2,36
164	2,01	184	1,99 ⁹	135	2,12	153	2,09	149	2,10	176	2,32	164	2,32
194	2,00	250	1,97	160	2,10	183	2,07	171	2,09 ⁷	203	2,29 ⁶	187	2,31
215	1,98	288	1,94	197	2,08	215	2,06	205	2,07	240	2,27	221	2,28
253	1,97	394	1,86	218	2,06	241	2,05	224	2,05	266	2,25	253	2,25
285	1,94	417	1,83	270	2,03	285	2,02	310	2,01	311	2,21	278	2,23
313	1,92	426	1,82	291	2,01	330	1,99	350	1,98	332	2,17 ⁶	325	2,19
324	1,89 ⁸	430	1,81	332	1,98	373	1,94	375	1,94	359	2,17	375	2,13
347	1,89	458	1,78	360	1,96	390	1,91	405	1,89	389	2,18	415	2,11
351	1,88	492	1,76	387	1,93	424	1,90 ⁶	434	1,89	416	2,11	437	2,08
372	1,87	510	1,76	425	1,92	483	1,85	463	1,87	459	2,10	468	2,05
391	1,84			457	1,88	516	1,83	481	1,85	481	2,08		
427	1,82			480	1,87			508	1,81	499	2,06		
460	1,78			510	1,83			509		509	2,05 ⁵		
				532	1,81								

E kg/mm² · 10⁴, *t* °C

Z grafu 1 je patrný celkový pokles modulu pružnosti E s teplotou u ocelí, u niklu na grafu 2. Pro temperaturní koeficienty modulu pružnosti materiálu Victrix Special, CM4, 1555, a AK5K v rozmezí -20° — 500° C, u niklu v rozmezí 20° — 380° C, kdy závislost je téměř lineární, byly na základě měření vypočteny tyto hodnoty:

$$\text{Victrix } e = -0,0006_9 \text{ 1/grad}$$

$$\text{CM4: } e = -0,0007_5 \text{ 1/grad}$$

$$\text{1555: } e = -0,0007_3 \text{ 1/grad}$$

$$\text{AK5M: } e = -0,0007_3 \text{ 1/grad}$$

$$\text{Ni: } e = -0,0006_4 \text{ 1/grad}$$

Závislost modulu pružnosti E na teplotě u různých ferromagnetických látek byla studována již dříve v celé řadě prací (14—27) jak statickými, tak i dynamickými metodami. O. Engler (23) měřil závislost modulu pružnosti E u niklu na teplotě a na intenzitě magnetického pole. Z jeho grafu je patrná značná závislost temperaturního koeficientu modulu elasticity E na intenzitě magnetického pole. Při nulové intenzitě magn. pole modul pružnosti E u niklu s rostoucí teplotou prudce klesá, asi od 180° C mírně stoupá, až ke Curieovu bodu (ca 370° C), načež znovu rapidně klesá. Při intenzitě magnetického pole 40 Oe modul pružnosti téměř lineárně klesá.

Ačkoliv naše měření modulu pružnosti byla provedena v magnetickém poli intenzity asi 15 Oe, nebyly nalezeny výsledky shodné s výsledky Englerovými. Rozdílnost výsledků dala by se snad vysvětliti poněkud odlišným složením a zpracováním použitého materiálu. O. Engler užíval chemicky čistého niklu, zatím co naše měření byla provedena na technickém niklu. Naproti tomu se však naše výsledky shodují s výsledky měření F. Fösterera a W. Kösterera (24) (viz graf 2), podle nichž modul pružnosti E niklu klesá s teplotou téměř lineárně.

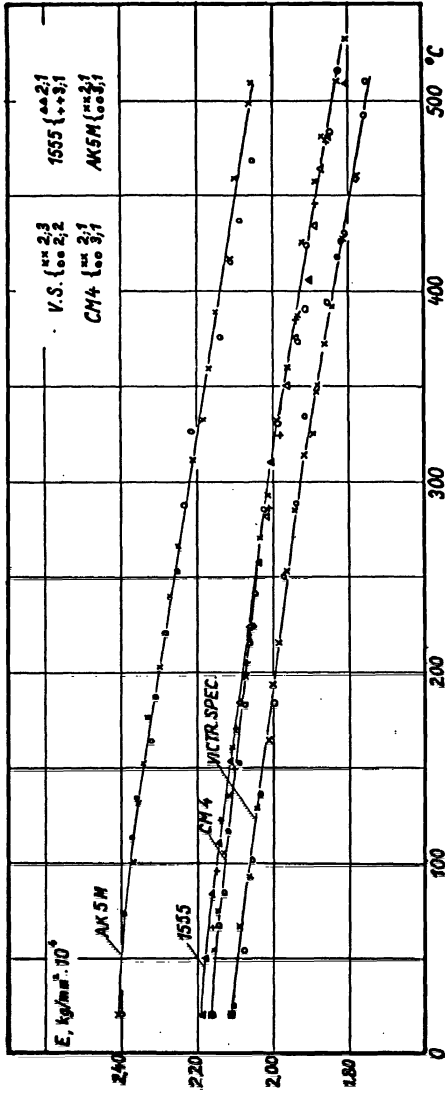
Práce byla provedena ve fyzikálním ústavu Karlovy university. Řediteli ústavu prof. dr. A. Žáčkovi děkuji za propůjčení experimentálních prostředků, za popud k této práci a cenné rady, jimiž podporoval moji práci. Panu doc. dr. V. Petržílkovi děkuji za laskavou pomoc. Firma Poldina Huť poskytla velmi ochotně pokusný materiál, začež jí patří náš dík.

*

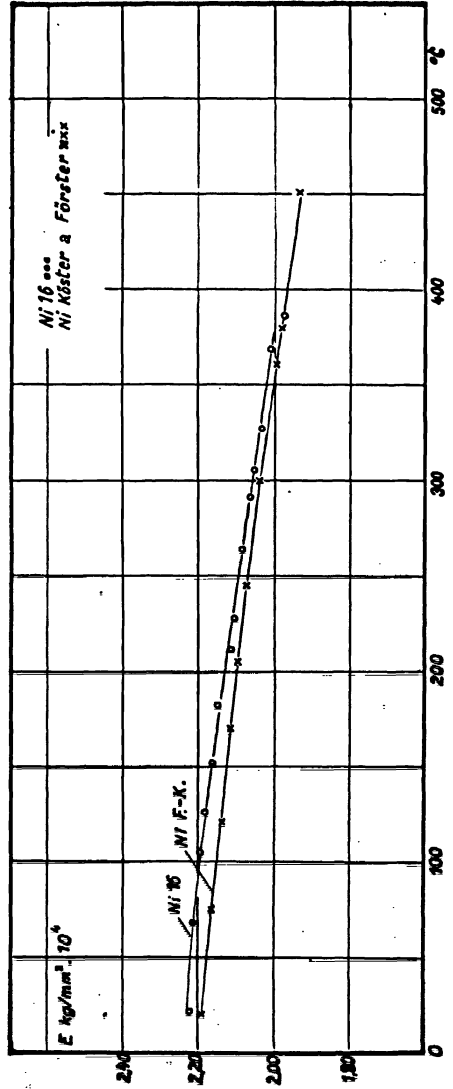
Temperaturabhängigkeit des Elastizitätsmoduls von Stählen und Nickel.

(Inhalt des vorstehenden Artikels.)

In dieser Arbeit wird Temperaturabhängigkeit des Elastizitätsmoduls verschiedener Stahlsorten und eines Nickelstabes



Graf 1.



Graf 2.

gemessen. Das Elastizitätsmodul E wird aus der Frequenz von Longitudinalschwingungen der Stäbe berechnet. Die Stäbe wurden im magnetischen Felde der Schwingspule eines Oszillators zu mechanischen Schwingungen erregt. Zum Feststellen der Schwingungen wurde eine Indikationsmethode, die auf einer Art Mikrofonerscheinung beruht, angewendet. Das Elastizitätsmodul nimmt mit der Temperatur ab und zwar bei den Stahlstäben im Bereich 20° — 500° C fast linear.

Literatura:

1. Vincent J. H.: Proc. physic. Soc., **41** (1929), 476; Electrician, **101** (1928), 729.
 2. Pierce W. G.: Proc. Inst. Radio Engr., **17** (1929), 42.
 3. Dörffler H.: Z. f. Phys., **63** (1930), 30.
 4. Pavlík B.: Ann. der Phys., **26**, (1936), 625.
 5. Šimon I.: Z. f. Phys., **106** (1937), 379.
 6. Kohl F.: Z. f. Phys., **111** (1939), 450.
 7. Rayleigh: Theory of Sound, I (1929), 252.
 8. Giebe E., Bechshmidt E.: Ann. der Phys., **11** (1931), 905.
 9. Freimann L. S.: Hochfrequenztechn. u. Elektroakust., **34** (1929),
 - 219.
 10. Šimon I.: Hochfrequenztechn. a Elektroakust., **50** (1937), 54.
 11. Dye W. D.: Proc. phys. Soc. London, **36** (1929), 399.
 12. Petržílka V., Žáček A.: Hochfrequenztechn. u. Elektroakust., **46** (1935), 157.
 13. Technický průvodce: Teplo.
 14. Becker R.: Phys. Z., **33** (1932), 905.
 15. Kersten M.: Z. f. techn. Phys., **11** (1934), 463.
 16. Brown W. F.: Phys. Rev., **50** (1936), 1165; **52** (1937), 325.
 17. Balamuth: Phys. Rev., **45** (1934), 715.
 18. Rose: Phys. Rev., **49** (1936), 50.
 19. Zacharies: Phys. Rev., **44** (1933), 116.
 20. Siegel S., Quimby S. L.: Phys. Rev., **49** (1936), 663.
 21. Quimby S. L.: Phys. Rev., **39** (1932), 345.
 22. Gerlach W.: Z. f. Elektrochem., **45** (1939), 151.
 23. Engler O.: Ann. der Phys. **31** (1938), 145.
 24. Föster F., Köster W.: Z. f. Metallkunde, **29** (1937), 116.
 25. Föster F.: Engr., **166** (1938), 626.
 26. Jaquered, Mugeli H.: Stahl u. Eisen 1924, 621.
 27. Cooke W. T.: Phys. Rev., **50** (1936), 1158.
- Kreslila J. Šimonová-Čeřovská. Archiv JČMF.