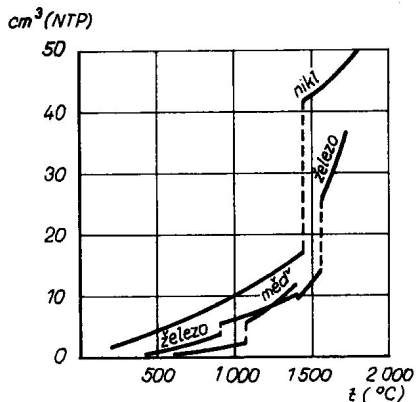


Kovy ve vakuové technice

- ocel
- Al a Al slitiny
- Cu a Cu slitiny
- Ti
- kovar
- Hg
- ...

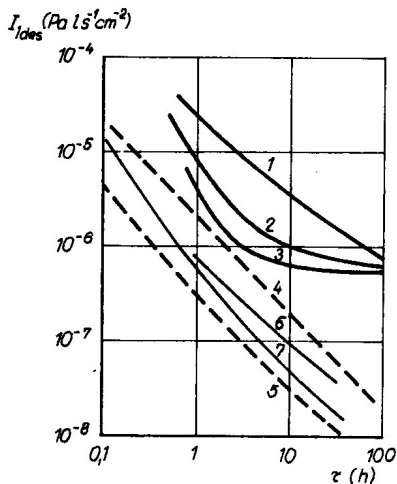


Obr. 6.1. Závislost množství vodíku (v cm^3 při normálním tlaku) rozpuštěného v 100 g kovu na teplotě (podle Waldschmidta a kol., 1954)

J. Groszkowski: Technika vysokého vakua, SNTL, Praha 1981

Tab. 6.1. Hlavní charakteristiky materiálů týkající se odplyňování

Materiál	Odplyňování				Poznámka
	ve vakuu		ve vodíku		
	teplota (°C)	doba (h)	teplota (°C)	doba (min)	
wolfram (dráty, tyče)	~ 1 800	8 – 10	1 100 – 1 400	2 – 5	wolframové katody se neodplyňují v peci
molybden	900 – 950		1 000 – 1 200	30	
tantal	1 000 – 1 500		není dovoleno		ve vodíku křehne
platina	900 – 1 000		950	5 – 10	
	ve vzduchu				
	600 – 800				
nikl a jeho slitiny bez obsahu mědi	700 – 950	> 0,5	950 – 1 050		teplota závisí na tvaru materiálu
železo a jeho slitiny bez obsahu mědi, nerezavějící ocel	900 – 1 000	> 1			ve vysocě čistém vodíku
měď a její slitiny bez obsahu zinku a cínu	800 – 1 000	> 2			
měď a její slitiny bez obsahu zinku a cínu	500 – 550		nedoporučuje se		slitiny zinku a cínu (např. mosaz) se v peci neodplyňují
grafit a grafitované kovy	závisí na druhu kovu; čistý grafit při 1 200 – 1 800		není dovoleno		ve vodíkové atmosféře se tvoří uhlovodíky
wolfram a nikl s povlakem kyslíčnicku chromu			950	15	



Obr. 6.2. Proud uvolňovaného plynu z jednotky povrchu kovu a skla ($I_{1\text{des}}$) v závislosti na době během níž byl materiál vložen do vakua (podle R. Henryho, 1969). Nerezavějící ocel X18H10 při 670 K (plně křivky): 1 – nepracovaná, mořená; 2 – mechanicky leštěná, mořená; 3 – elektrolyticky leštěná po dobu 15 min. Lehká hliníková slitina (s obsahem Mg, Mo a Cr) při 300 K (čárkované křivky): 4 – nepracovaná; 5 – nepracovaná, mořená. Borokřemičité sklo při 300 K (čérchované křivky): 6 – předem neodplyněné; 7 – po odplynění při teplotě 370 K během 5 h a potom vystavené vzduchu po dobu 14 h

Ocel

Ocel je slitina železa, uhlíku a dalších legujících prvků, která obsahuje méně než 2,14 % uhlíku. Vyrábí se asi 2500 druhů ocelí.

- nelegované oceli - obsah legujících prvků je nižší než 2,11 %
- nízkolegované oceli - obsah legujících prvků po odečtení obsahu uhlíku je nižší než 5 %
- vysoce legované oceli - obsah legujících prvků je vyšší než 5 %

Nerezová ocel

- austenitická - minimálně 10% chromu a Ni, nemagnetická
- feritická - minimálně 10% chromu, magnetická

Vlastnosti najdôležitejších austenitických chrómnikových ocelí št. výroby (Poldina hut)

Druh ocelí		AKVN	AKVS	AKL	AKV Extra	AKV Extra S	AKOR	AKS 2	AKS
Hustota	g/cm ³	7,85—7,9					ca 8,0		
Najväčšia prevádzková teplota	°C	400	800	400	400	800	(900)	(600)	(600)
Pevnosť v ťahu ¹	kg/mm ²	65	65	35	65	65	70	55	65
Ťažnosť ²	%	55	45	52	50	35	—	40	35
Medza tečenia ³	kg/mm ²	25	28	20	27	30	35	24	25
Kontrakcia ³	%	60	60	63	60	60	55	65	65
Vrbová húževnatosť	$\frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{cm}^2}$	30	25	—	30	20	15	30	30
Brinellova tvrdosť ⁴	kg/mm ²	185	185	155	185	195	—	—	185
Erichsenova skúška ⁵	mm	13	11	14	12	11	—	—	—
Merné teplo pri 20 °C	cal/g	ca 0,12							
Tepelná vodivosť (20 °C)	$\frac{\text{cal}}{\text{cm sek } ^\circ\text{C}}$	0,035—0,05							
Súč. lin. rozťažnosti pri: 20—100 °C	10 ⁻⁷ /°C	150	150	150	150	150	130	145	170
	10 ⁻⁷ × 1/°C	180	180	180	180	180	150	173	185
Magn. vlastnosti		nemagn. ($\mu = 1,001—1,04$)							
Chemicky odoláva		HNO ₃			HNO ₃ ; H ₂ SO ₄ ; SO ₂		HNO ₃ ; H ₂ SO ₄ ; HCl	H ₂ SO ₄ HCl (nie proti HNO ₃)	
Dodáva sa v tvare		3 4	1 2	1	1 2	1 2	1 2 3		
		5 6	3 4	3	3 4	3 4	4	1 2	
			5		5 6	5			
¹ Tyče. ² Výkovky. ³ Flechy. ⁴ Zváraná rúra. ⁵ Bezošvové rúry. ⁶ Drôt. ⁷ Vo vyžihanom stave.									

Material	Surface-quality	Surface condition	Desorption rates ¹⁾		
			Q_{Des} 1h	$\left[\frac{\text{mbar} \cdot \text{l}}{\text{s} \cdot \text{cm}^2} \right]$ 4h	10h
Stainless steel	blank	cleaned	$2.7 \cdot 10^{-7}$	$5.4 \cdot 10^{-8}$	$2.7 \cdot 10^{-8}$
Stainless steel	polished	cleaned	$2 \cdot 10^{-8}$	$4 \cdot 10^{-9}$	$2 \cdot 10^{-10}$
Stainless steel	pickled	heated for 1 hour,	$1.4 \cdot 10^{-9}$	$2.8 \cdot 10^{-10}$	$1.4 \cdot 10^{-10}$
Stainless steel	bead blasted	vented with normal air	$3 \cdot 10^{-10}$	$6.5 \cdot 10^{-11}$	$4 \cdot 10^{-11}$
Steel Ni plated	polished	cleaned	$2 \cdot 10^{-7}$	$1.5 \cdot 10^{-8}$	$5 \cdot 10^{-9}$
Steel Cr plated	polished	cleaned	$1.3 \cdot 10^{-8}$	$2.2 \cdot 10^{-9}$	$1.2 \cdot 10^{-9}$
Steel		rusted	$6 \cdot 10^{-7}$	$1.6 \cdot 10^{-7}$	$1 \cdot 10^{-7}$
Steel	blank	cleaned	$5 \cdot 10^{-7}$	$1 \cdot 10^{-7}$	$5 \cdot 10^{-8}$
Steel	bead blasted	cleaned	$4 \cdot 10^{-7}$	$8 \cdot 10^{-8}$	$3.8 \cdot 10^{-8}$
Aluminium		cleaned	$6 \cdot 10^{-8}$	$1.7 \cdot 10^{-8}$	$1.1 \cdot 10^{-8}$
Brass		cleaned	$1.6 \cdot 10^{-6}$	$5.6 \cdot 10^{-7}$	$4 \cdot 10^{-7}$
Copper		cleaned	$3.5 \cdot 10^{-7}$	$9.5 \cdot 10^{-8}$	$5.5 \cdot 10^{-8}$
Porcelain	glazed		$8.7 \cdot 10^{-7}$	$4 \cdot 10^{-7}$	$2.8 \cdot 10^{-7}$
Glass		cleaned	$4.5 \cdot 10^{-9}$	$1.1 \cdot 10^{-9}$	$5.5 \cdot 10^{-10}$
Acrylic glass			$1.6 \cdot 10^{-6}$	$5.6 \cdot 10^{-7}$	$4 \cdot 10^{-7}$
Neoprene			$4 \cdot 10^{-5}$	$2.2 \cdot 10^{-5}$	$1.5 \cdot 10^{-5}$
Perbunan			$4 \cdot 10^{-6}$	$1.7 \cdot 10^{-6}$	$1.3 \cdot 10^{-6}$
Viton			$1.2 \cdot 10^{-6}$	$3.6 \cdot 10^{-7}$	$2.2 \cdot 10^{-7}$
Viton		heated for 4 hours at 100 °C	$1.2 \cdot 10^{-7}$	$5 \cdot 10^{-8}$	$2.8 \cdot 10^{-8}$
Viton		heated for 4 hours at 150 °C	$1.2 \cdot 10^{-9}$	$3.3 \cdot 10^{-10}$	$2.5 \cdot 10^{-10}$
Teflon		degassed	$8 \cdot 10^{-7}$	$2.3 \cdot 10^{-7}$	$1.5 \cdot 10^{-7}$

firemní mat. Pfeiffer

Nerezavějící ocele používané ve vak.technice

AISI	Cr %	Ni %	C %	Mn %	Si %	Mo %	ostatní
302	17-19	8-10	0,15	max.2	max.1	-	-
304	18-20	8-12	0,08	max.2	max.1	-	-
304L	18-20	8-12	0,03	max.2	max.1	-	-
316	16-18	10-14	0,08	max.2	max.1	2-3	-
316L	16-18	10-14	0,03	max.2	max.1	2-3	-
321	17-19	9-12	0,08	max.2	max.1	-	Ti
347	17-19	9-13	0,08	max.2	max.1	-	Nb+Ta
348	17-19	9-13	0,08	max.2	max.1	-	Nb+Ta

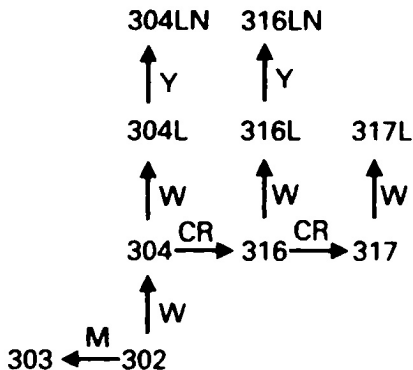


Fig. 16.4 Stainless steels used in vacuum equipment (AISI designation). CR = corrosion resistance, W = ease of welding, Y = yield strength, and M = ease of machining. Reprinted with permission from *Vacuum*, 26, p. 287, C. Geyari. Copyright 1976, Pergamon Press, Ltd.

F.OHanlon: A Users Guide to Vacuum Technology, Wiley (2003)

Table 16.3 Outgassing Rates of 316L Stainless Steel After Different Processing Conditions^a

Sample	Surface Treatment	Outgassing Rates (10^{-10} Pa-m/s)				
		H ₂	H ₂ O	CO	Ar	CO ₂
A	Pumped under vacuum for 75 h 50 h vacuum bakeout at 150°C	893	573	87	—	13.
		387	17	6	—	0.4
B	40 h vacuum bakeout at 300°C	83	0.7	2.2	—	0.01
C	Degassed at 400°C for 20 h in a vacuum furnace (6.5×10^{-7} Pa)	19	0.3	0.44	0.16	0.11
D	Degassed at 800°C for 2 h in a vacuum furnace (6.5×10^{-7} Pa) Exposed to atmosphere for 5 mo, pumped under vacuum for 24 h 20-h vacuum bakeout at 150°C	3.6	—	0.07	—	0.05
		—	73	67	—	13
		3.3	—	0.08	—	0.04
E	2 h in air at atmospheric pressure at 400°C Exposed to atmosphere for 5 mo, pumped under vacuum for 24 h 20-h vacuum bakeout at 150°C	17	—	1.12	—	0.4
		—	80	69	—	33
		17	0.75	0.37	—	0.17
F	2 h in oxygen at 27,000 Pa at 400°C 20-h vacuum bakeout at 150°	600	253	—	123	—
		5.2	0.09	0.4	0.51	—
G	2 h in oxygen at 2700 Pa at 400°C 20-h vacuum bakeout at 150°C	—	20	13	8.7	—
		—	0.9	0.64	0.45	—
H	2 h in oxygen at 270 Pa at 400°C 20-h vacuum bakeout at 150°C	—	16	52	19	—
		5.7	3.2	0.36	2	—

^aSource. Reprinted with permission from *J. Vac. Sci. Technol.*, 14, 1210, R. Nuvolone. Copyright 1977, The American Vacuum Society.

^aAll samples were first degreased in perchloroethylene vapor at 125°C, ultrasonically washed for 1 h in Diversey 708 cleaner at 55°C, rinsed with clean water, and dried.

F.OHanlon: A Users Guide to Vacuum Technology, Wiley (2003)

Al a Al slitiny

Čistý Al se špatně obrábí.

Dural je obchodní označení pro různé slitiny obvykle 90 - 96 % hliníku a 4 - 6 % mědi s menšími přísadami hořčíku, manganu aj. Oproti čistému hliníku (měrná hmotnost $2,7 \text{ g/cm}^3$) je dural jen nepatrně těžší (typicky $2,8 \text{ g/cm}^3$), ale až pětkrát pevnější v tahu i tvrdší. Pevnost i tvrdost se zvyšuje tepelným opracováním a zušlechťováním, podobně jako u ocelí.

Používají se následující třídy hliníkových materiálů:

- 2000 – nesvařitelné, vytvrditelné za tepla, dobrá pevnost; použití na komponenty; duralové slitiny (AlCuMg)
- 3000 – slitiny AlMn
- 5000 – svařitelné, nevytvrditelné
- 6000 – svařitelné (musí se ještě ale tepelně upravit), vytvrditelné za tepla. Slitiny AlMgSi
- 7000 – svařitelné, vytvrditelné za tepla; slitiny AlZnMg,
7075 – nejpevnější hliníková slitin

Al slitiny - svařitelné

slitina	Cu %	Si %	Mg %	Cr %
4043	-	5	-	-
5052	-	-	2,5	0,25
6061	0,25	0,6	1,0	0,2

Příklad používaných materiálů

Gate valve VAT Series 08

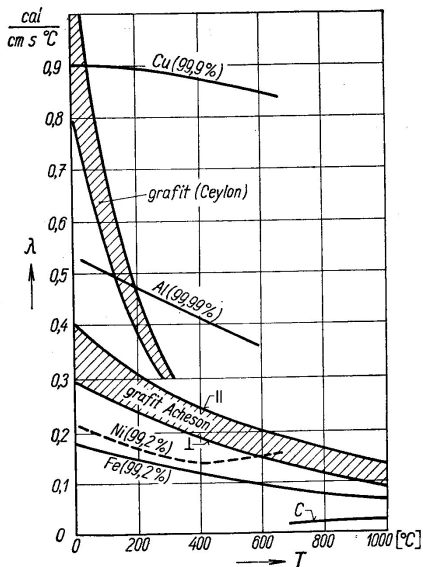
Material

- Valve body
 - DN 50 - EN AW-6082
 - DN 63-100 - EN AW-5083
- Mechanism
 - DN 50 - AISI 301
 - DN 63-100 AISI 304

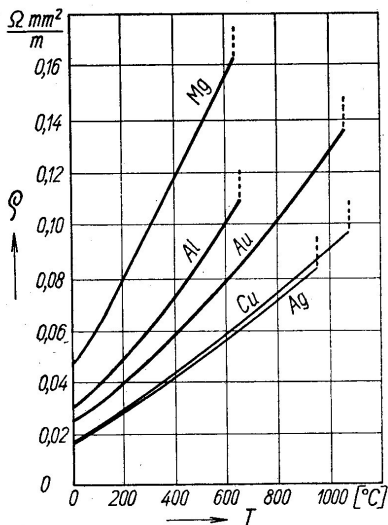
Cu a Cu slitiny

Druhy medi	Obsah v %						Poznámka
	Cu + Ag	O	P	S	Zn	Hg	
Odkysličená meď	≥ 99,90	—	0,025	—	—	—	odkysličená prísadou fosforu do taveniny
Meď Lake	≥ 99,90	—	—	—	—	—	obsah Ag asi 0,003 % (= 10oz/t)
Elektrolytická meď ETPC ¹	≥ 99,90	(>0,04)	(0,003)	(0,03)	—	—	neobsahuje Ag
Meď OFHC II. bez kyslíka ²	≥ 99,92	< 0,001	0,0003	< 0,004	—	—	skúška na ohyb ≥ 4×
Meď OFHC I. bez kyslíka ³	≥ 99,96	0,0000	0,0000	< 0,004	0,0003	0,0001	skúška na ohyb ≥ 10×
Meď bez plynov, vysoko čistá „GFHP“ ⁴	≥ 99,993	0,0000	0,0000	≤ 0,0001	—	—	tavená a odliata vo vákuu

¹ Druh: *Electrolytic tough pitch copper*.
² Druh: *Oxygen free High Conductivity „regular“* podľa ASTM špec. B 170-47 (stopy Cu₂O sú nedokázateľné v mikroskope pri zväčšení 75×).
³ Druh: *Oxygen free high Conductivity „certified“* (stopy Cu₂O sú nezistiteľné v mikroskope pri zväčšení 200×).
⁴ Druh: *Gas free high purity*. Výrobca: American Metal Corp.



W. Espe: Technologia hmot vákuovej techniky, SAV, Bratislava 1960



Obr. 5,4-8. Porovnanie závislosti merného elektrického odporu ρ od teploty T pri medi a iných dobre vodivých kovoch.

Označenie	Obsah %						
	Cu	Sn	P	Pb	Fe	Zn	Sb
Fosforový bronz 1	> 98,5	1,0 ÷ 1,5	stopa				
Fosforový bronz 5	zvyšok	3,5 ÷ 5,8	0,03 ÷ 0,035	< 0,05	< 0,1	< 0,30	(< 0,01) ¹
Bronz na valcovanie WBz 6 podľa DIN 1705	≐ 94	≐ 6	(< 0,2)	4		4	4
Fosforový bronz 8	92	7,0 ÷ 9,0	0,03 ÷ 0,35	< 0,05	< 0,10	< 0,20	(< 0,01) ¹
Fosforový bronz 10	≐ 90	9,0 ÷ 11,0	0,03 ÷ 0,25	< 0,05	< 0,10	< 0,20	(< 0,01) ¹
Bronz na zlievanie GBz 14	86 ± 1	14 ± 1		< 1,0	< 0,2	²	< 0,2 ³
Bronz na zlievanie GBz 20	80 ± 2	20 ± 2		< 1,0	< 0,3	²	< 0,2 ³

¹ Sb sa prisádza len pre plechy.
² Obsah Zn = 1% vrátane obsahu všetkých ostatných znečistenín (Pb, Sb, Fe, Mn, Bi; Al, Mg, S, As).
³ Ostatné znečisteniny [v %] podľa DIN 1705 : Mn < 0,2; Bi < 0,01; Al < 0,01; Mg < 0,01; As < 0,15 (Ni < 0,5, v prípade potreby max. 1 % Ni).
⁴ Pre vakuovú techniku 0,01 aj menej.

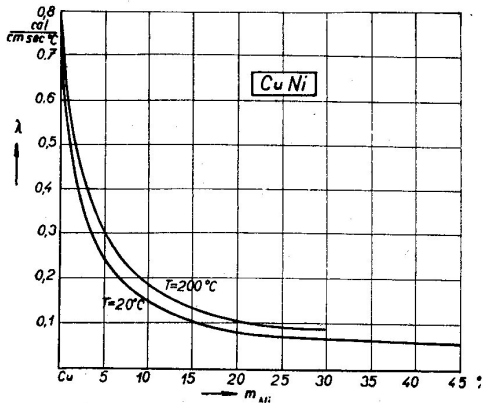
Mosaz

Obsah Cu asi %	Symbol ¹	Označenie (*v USA)	Zloženie %					Hlavné použitie
			Cu	Zn	Pb	Fe	Ostatné	
95		*Gilding metal	94–96	zvyšok	< 0,03 ÷ 0,05	0,05		spracovanie za studena (plechy, kovový tovar, jemné drôty, sitá, filtre)
90	Ms 90	Červený tombak *Commercial Bronze	90 89–91	zvyšok zvyšok	< 0,05	< 0,05	celkom < 0,13	
85	Ms 85	Stredný tombak *Red Brass	85 84 ÷ 86	zvyšok zvyšok	< 0,05 – 0,06	< 0,05	Sn: < 0,15	
80	Ms 80	Svetlý tombak *Low Brass	80 78,5 ÷ 81,5	zvyšok zvyšok	< 0,05	< 0,05		
72	Ms 72	Žltý tombak	72	zvyšok				
70	(Ms 70)	*Cartridge Brass	68,5 ÷ 71,5	zvyšok	< 0,07	< 0,05	ostatné < 0,15	fahanie, ťaženie, razenie (drôty, pružné vinovce, plechy)
67	Ms 67	Polotombak	67	zvyšok				hlboké fahanie (rúrky, dutinky, profily) tvrdé spájkovanie, použiteľné na vzduchu
65	(Ms 65)	*Yellow Brass	64 ÷ 67,5	zvyšok	< 0,1 ÷ 0,3	< 0,05		fahanie, dobre tvárna za studena, spájkovateľná s ľahko tavitelnou spájkou striebornou
63	Ms 63	Mosadz na ťaženie	63	zvyšok	< 0,5		ostatné < 0,2	lisovanie za tepla, zlé trieskové opracovanie
60	Ms 60	Mosadz kujná *Muntzov kov	60 59 ÷ 63	zvyšok zvyšok		< 1,1 0,2	0,15	
		*Forging Brass	÷ 60	38	÷ 2			
58	Ms 58	Mosadz tvrdá	58	zvyšok	2			kovanie, opracovanie trieskové na automatoch

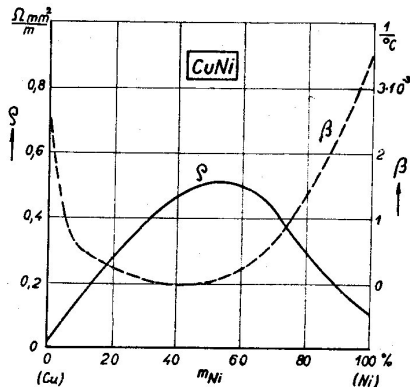
¹ Podľa DIN 1709, Werkstoffhandbuch a Metals Handbook.

* V zátvorkách uvádzané druhy sa v Európe nepoužívajú a nie sú normalizované.

Konstantan

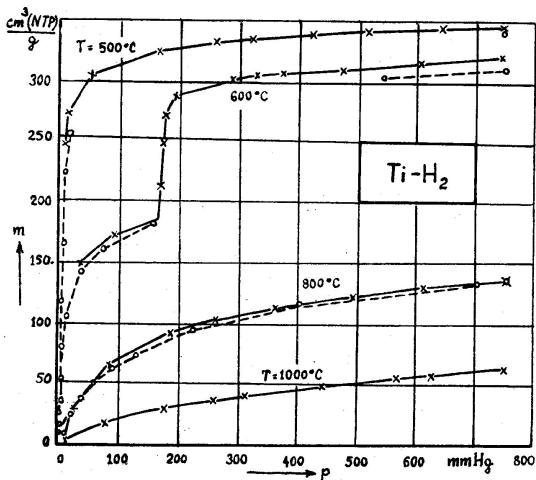


Obr. 6,3-2. Závislosť tepelnej vodivosti λ pri 20–200 °C zliatin CuNi od obsahu Ni m_{Ni} (vo váh. %).

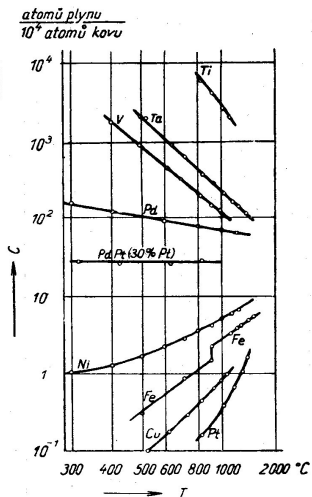


Obr. 6,3-3. Závislosť merného elektrického odporu ρ a jeho súčiniteľa $\beta = \frac{1}{\rho} \cdot \frac{d\rho}{dT}$ zliatin CuNi od obsahu Ni m_{Ni} (vo váh. %).

Titan



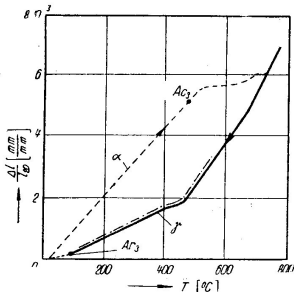
Obr. 7,2-18. Rozpustnosť vodíka m v titáne v závislosti od tlaku H_2 pri rôznych teplotách T (izotermy podľa Sievertsa).
o---o---o: sorpcia; x---x---x: desorpcia.



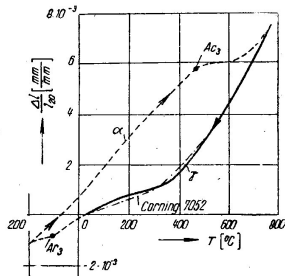
Obr. 3,5-6. Závislost rozpustnosti (C) vodíka v tantale a v jiných kovech od teploty T (pozri obr. 4,2-5, 5,2-10, 7,1-7).

W. Espe: Technologa hmot vákuovej techniky, SAV, Bratislava 1960

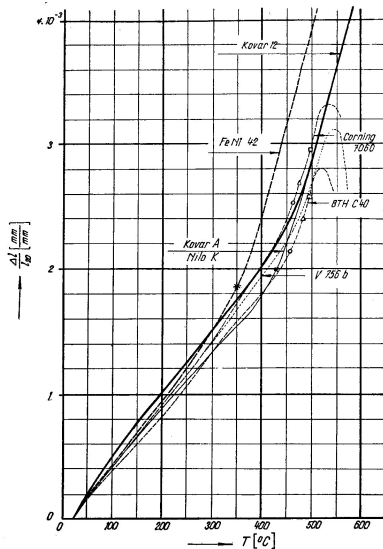
Kovarové slitiny



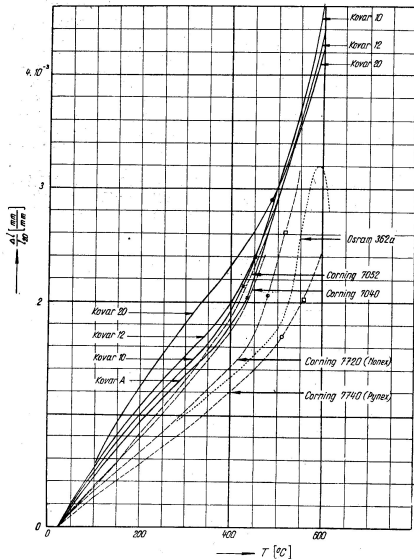
Obr. 6,1-9. Priebeh rozťahovania pre zátavy do skla nevhodnej (nezvratnej) zliatiny FeNiCo (52/24/24) pri ochladzovaní (—) a novom ohreve (---): v bode Ar_3 nastáva pri ochladzovaní premena štruktúry z fázy γ na fázu α , ktorá má oveľa väčšieho súčiniteľa rozťažnosti ako sklo (-.-.-), ktoré bolo svojím súčiniteľom rozťažnosti prispôbené pôvodnej fáze γ zliatiny FeNiCo. Pri ohreve zliatiny nad bod AC_3 sa síce premení do fázy γ , avšak pri ochladzovaní na teplotu okolia sa táto opätovne premení na fázu α , takže priebeh rozťažnosti je vždy nezvratný (pozri Espe [1]).



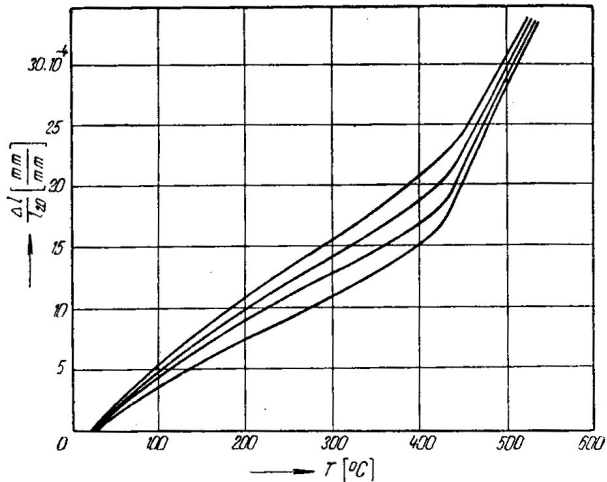
Obr. 6,1-10. Priebeh rozťahovania pre zátavy do skla vhodnej (zvratnej) zliatiny FeNiCo (54/28/17,5), pri ktorej na rozdiel od zliatiny podľa obr. 6,1-9 bol bod Ar_3 znížený podstatne pod teplotu okolia znížením obsahu kobaltu: žiňaním pri vysokej teplote raz nadobudnutý stav γ sa zachová aj pri ochladnutí na normálnu teplotu i počas ďalšieho ohrevania. Priebeh rozťahovania tejto kovarovej zliatiny na zátavy je a ostáva zvrätny, pokiaľ sa zliatina neochladí pod $-100^{\circ}C$. Avšak aj vtedy môžeme zliatinu dokonale previesť späť do fázy γ ohrevom nad $800^{\circ}C$. Podobné zliatiny môžu byť bezchybne zatavované do skla, ktorého súčiniteľ rozťažnosti je prispôbený fáze γ (napr. sklo „Corning 7052“, krivka -.-.-).



Obr. 6,1-14. Krivky rozťažnosti zliatiny FeNi 42 bez kobaltu (58 % Fe, 42 % Ni), zliatiny FeNiCo kovar 12 (54 % Fe, 29 % Ni, 18 % Co) a tomuto úspôsobeného skla pre zatavovanie (Corning 7060), ako aj zliatiny FeNiCo kovar A, príp. Nila K a dvoch týmto prispôbených skiel (BTH C 40 a Osram 756b).

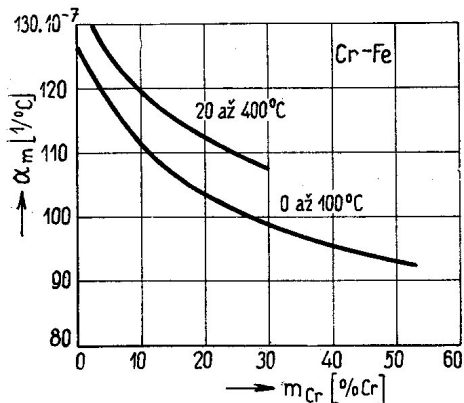


Obr. 6.1-15. Krivky roztlačnosti niektorých obchodných kovarových zliatin po vyzhnaní (Vacuumshmelze, Stupa-koff) a niektorých skiel pre sáťavy s kovarom (Corning Glass Works 7052 a 7740). Pre porovnanie sú uvedené dvojská pre sáťavy s volfrámom (Osram 362a a Corning 7720), ako aj tvrdé sklo Pyrex.

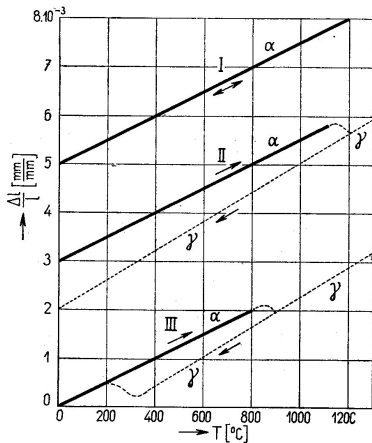


Obr. 6,1-16. Rozptyl kriviek rozťažnosti rovnakej obchodnej zliatiny FeNiCo pre zátavy z rôznych šarží metalurgickej výroby (Henry Wiggin [1]).

FeCr



Obr. 6,1-23. Závislosť súčiniteľa teplotnej lineárnej rozťažnosti α_m medzi 0 a 100 °C (pozri Vacuum-schmelze Hanau) a medzi 20 a 400 °C (pozri Partridge) zliatin CrFe od obsahu chrómu m_{Cr} .



Obr. 6,1-85. Príznačné krivky rozťažnosti pre zliatiny chrómuželeza (schematicky, pozri Rose [1]). (Plná krivka: fáza α ; čiarkovaná: fáza γ). I: stabilná zliatina FeCr s 28 % Cr a reverzibilnou krivkou rozťažnosti bez bodu zvratu a nepravidelností napriek ohrevu na 1200 °C: súčiniteľ rozťažnosti $\alpha_{25-500} = (108-110) \cdot 10^{-7} \cdot 1/^\circ\text{C}$; II: nestabilná zliatina FeCr s 28 % Cr (+0,12 % C + 0,15 % N_2 + 0,30 % Ni): pri ohreve nad 1150 °C nastane premena fázy α na fázu γ značne stabilná fáza austenitická, ktorá sa nedá previesť pri bežnom ochladení na -185 °C nazad do feritickej fázy α ; preto zliatina po ohreve nad 1200 °C nadobudne väčšieho súčiniteľa rozťažnosti fázy γ (α_{25-500} až do $120 \cdot 10^{-7} \cdot 1/^\circ\text{C}$); III: nestabilná zliatina FeCr so 17% Cr (bez ďalších prísad): krivka rozťažnosti vykazuje počas ohrevu pri 800 °C nepravidelnosť vyvolanú premenou zliatiny z fázy α na fázu γ ; pri ochladzovaní však spätná premena z fázy γ na α prebieha až medzi 350–200 °C, čo spôsobuje (pri zatavovaní do skla v tomto teplotnom rozsahu neúnosnú) nepravidelnosť v rozťažnosti.

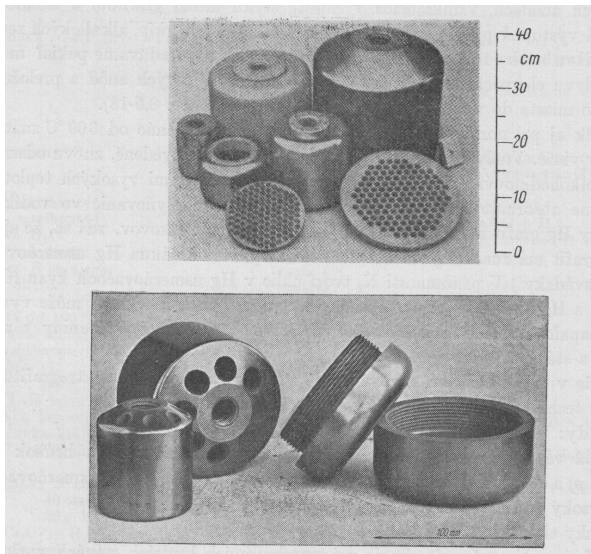
Hg

T °C	p tor	m g/cm ² sek	T °C	p tor	m g/cm ² sek	T °C	p Atm	m g/cm ² sek
-180 ¹	$2 \cdot 10^{-27}$	10^{-28}	48	$1 \cdot 10^{-2}$	$4,6 \cdot 10^{-4}$	400	2	
-78 ²	10^{-11}	10^{-13}	82	$1 \cdot 10^{-1}$	$4,4 \cdot 10^{-3}$	450	4,3	
-38,9 ³	$2,5 \cdot 10^{-6}$	$1,3 \cdot 10^{-7}$	126	1	$4,1 \cdot 10^{-2}$	500	7 ÷ 8	
-23,9	$1 \cdot 10^{-5}$	$5,2 \cdot 10^{-7}$	200	17	$6,5 \cdot 10^{-1}$	600	22	
-5,5	$1 \cdot 10^{-4}$	$5,5 \cdot 10^{-6}$	300	246		800	86—102	
18	$1 \cdot 10^{-3}$	$4,8 \cdot 10^{-5}$	356,7	760				

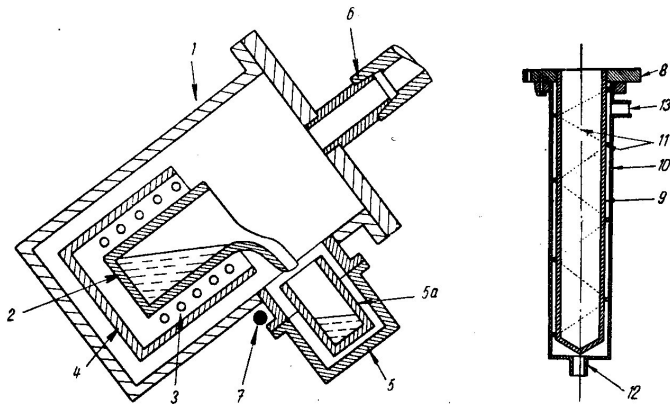
¹ Približná teplota tekutého vzduchu.
² Približná teplota suchého ľadu (CO₂) v acetóne.
³ Bod tavenia Hg.

W. Espe: Technológia hmot vákuovej techniky, SAV, Bratislava 1960

C



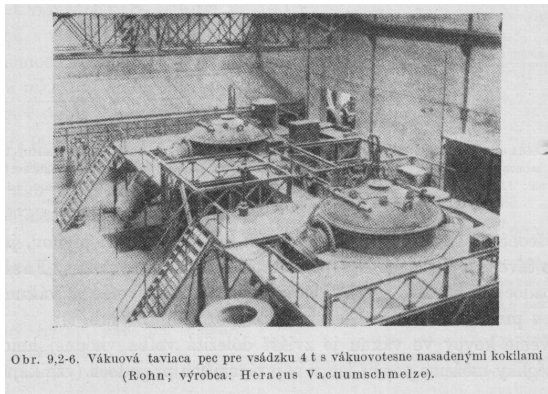
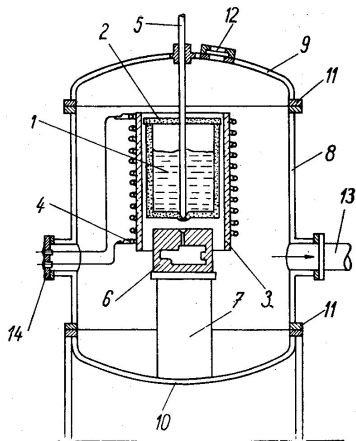
W. Espe: Technologia hmot vákuovej techniky, SAV, Bratislava 1960



Obr. 6,1-17. Indukčná pec pre tavenie a zlievanie kovov vo vákuu (pozri Štauffer, Malcolm). Vľavo: sklopená pec počas zlievania vo vákuu; vpravo: príklad voľou chladenej, pomocou príruby na pec vákuovotesne pripojiteľnej kokily.

1 – vákuová nádoba pece; 2 – taviaci téglik; 3 – indukčná cievka na vyhrievanie; 4 – ochrana proti sálaniu; 5 – odpojiteľný nástavok s kokilou; 6 – ohybný gumený prívod alebo bronzový vlnovec pre čerpanie; 7 – os sklápajúcej pece; 8 – príruby na pripojenie nástavku s kokilou; 9 – forma (napr. z tenkostennej medi); 10 – plášť vodného chladenia; 11 – špirálovitá medzistena pre vedenie chladiacej vody; 12 – prívod vody; 13 – odtok vody.

W. Espe: Technologia hmot vákuovej techniky, SAV, Bratislava 1960



Obr. 9,2-6. Vákuová taviaca pec pre vsádzku 4 t s vákuovotesne nasadenými kokilami (Rohn; výroba: Heraeus Vacuumschmelze).

W. Espe: Technológia hmot vákuovej techniky, SAV, Bratislava 1960

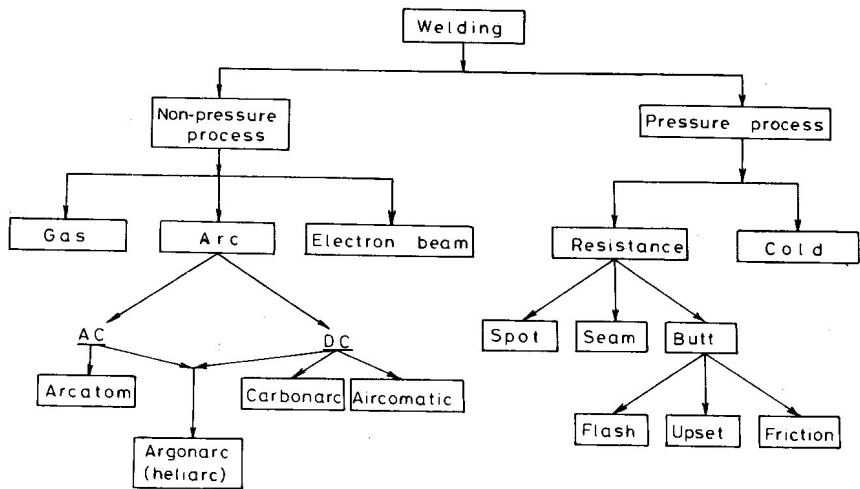
Spojování kovů

Svařování

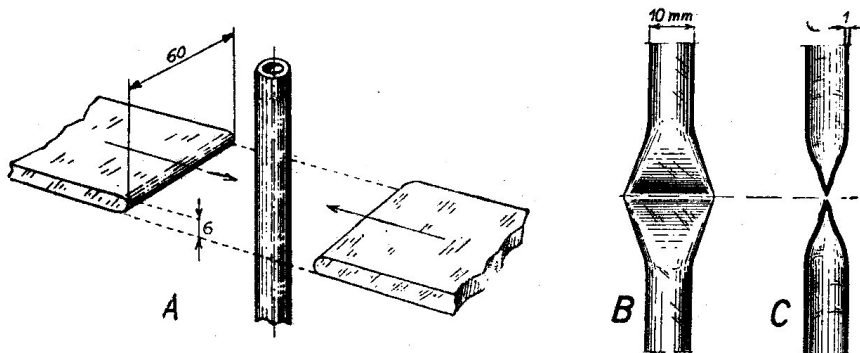
- elektrickým obloukem
- elektrickým obloukem v ochranné atmosféře (Ar, He)
- plamenem
- elektronovým svazkem
- za studena

Letování

- měkké - teplota tání do $450\text{ }^{\circ}\text{C}$
- tvrdé - teplota tání nad $450\text{ }^{\circ}\text{C}$

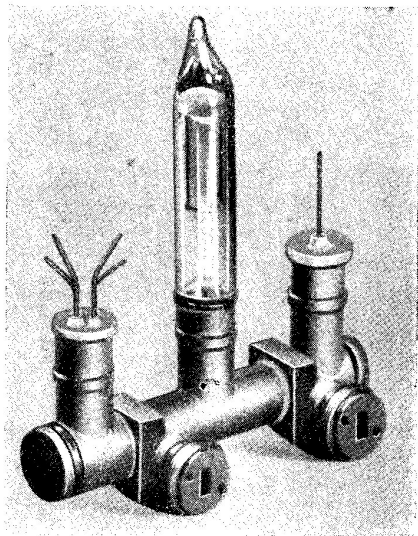
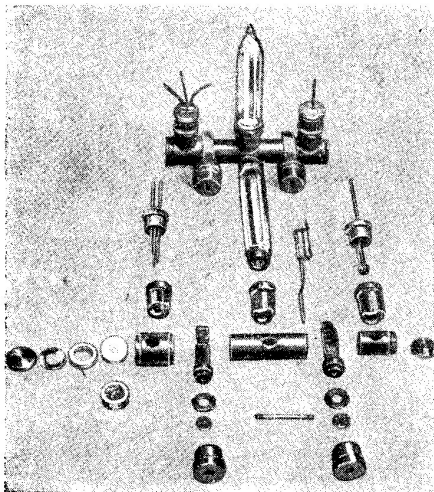


A. Roth: Vacuum technology, Elsevier, 1990



Obr. 9,3-15. Schéma zariadenia na zváranie za studena medených čerpacích rúrok.
 A – pohyb kleštín; B – rúrka zvarená za studena; C – odtrhnutá čerpacia rúrka.

W. Espe: Technologia hmot vákuovej techniky, SAV, Bratislava 1960



W. Espe: Technologia hmot vákuovej techniky, SAV, Bratislava 1960

Tabuľka 9,3-5

Bod tavenia T_{tav} a tlak nasýtených pár p zložiek mäkkých spájk

Kov	T_{tav} (°C)	Teplota (°C) pre $p =$		
		10^{-7} torov	10^{-6} torov	10^{-5} torov
Bi	271	350	400	474
Cd	321	95	120	148
In	157	520	590	667
P	593 ¹			²
Pb	328	360	420	483
Sb	630	340	395	466
Sn	232	640	730	823
Zn	419	140	175	211

¹ Pre bielu (žltú) modifikáciu: 44,1 °C
² Pre fialovú (kovovú) modifikáciu P: 10^{-2} torov pri 195 °C, 10^{-1} torov pri 220 °C.

W. Espe: Technologia hmot vákuovej techniky, SAV, Bratislava 1960

Zloženie (váhové %)	Druh spájky	Bod tavenia °C	Pozri	Vhodné na spájkovanie	Nevhodné na spájkovanie
Ta fólia	R	2996		W—W ⁷	
Nb	R	2500		vysoko zaťažený W alebo Mo	
Rh	R	1970		W, Mo	
Zr, duktilný	R	1860		vysoko zaťažený W alebo Mo	
Pt	R	1770		W, Mo do 1500 °C	
Ni (99%)	R	1450		W, Mo do 1250 °C	
Ni Mo (53,5/46,5) ³	E	1320 ³		Mo, Fe	
CuNi (55/45) ⁸	A	1300(liq)	obr. 9,3-40	W, Mo	
CuNi (75/25)	A	1205(liq)	obr. 9,3-40	W, Mo	
AgPt (73/27)		1185 (sol)		W, Mo	kovar
Cu	R	1084		Fe, kovar, monel	W, Mo ⁴
Cu + W + prášok	V	1084		ako spájka z čistej Cu	
PtSn (70/30)	E	1072			
Au	R	1063	obr. 4,5-2	Mo mriežka	
CuAu (70/30)	A	980 [1010] ¹⁸	obr. 9,3-37	Fe, Cu, kovar	W, Mo
CuAuNi (62/35/3) ¹⁹		980 [1025] ¹⁸			súčiastky elektrónok
NiMn (43/57)	M	ca 1000		Ti s inými kovmi	
CuSi (97/3)	A	970 1025	obr. 9,3-41	Cu na Cu	
Ag	R	960		Fe a Ni s náhradnou vrstvou spájky	W, Mo
Ag + W — prášok ¹⁰	V			ako spájka z čistého Ag	
AuNi (82/18)	M	950	obr. 9,3-38	W, Mo	
CuSnAg (85/8/7)		946 [985] ¹⁸		Cu, kovar	

W. Espe: Technológia hmot vákuovej techniky, SAV, Bratislava 1960

Zloženie (váhové %)	Druh spájky	Bod tavenia °C	Pozri:	Vhodné na spájkovanie	Nevhodné na spájkovanie
AgCuSn (59/31/10)	E	720	obr. 9,3-36	20	Fe, zliatiny- Fe, Ni, Mo, W
CuP (91,6/8,4)		[740] ¹⁸		Cu ¹³	
AgIn (80/20)		714			
AgCuIn (63/27/10)		[751] ¹⁸			
AgCuSn (53/32/15)		693			
CuAgP (80/15/5) ⁵		685		pre stupňové spájkovanie v elektrónkach	
AgCdZnCu (50/18/16,5/15,5) ⁶		[710] ¹⁸		20	
AgCuSn (42/33/25)		670		Cu-Cu ¹³	
AuIn (80/20) ²		[700] ¹⁸			
Au		640			
PbAg (98/2)	D	450-500	tab. 9,3-10	Cu a pomedené čiastky	Fe, zliatiny- Fe, Ni, Mo W
CdZnAg (78,4/16,6/5)	E	304		Cu-Cu ¹⁴ najmä lamelové chladiče na Cu vonkajšej anódy	
Sn	R	232		14	
SnAg (89/11)		221		Cu, Pt, Fe ¹⁶	
SnPb (63/37)	E	183		16	
In		156		na predbežné pocínova- vanie Cu ¹⁴	
SnPbCd (50/25/25)		150		17	
				pre postriebrené plochy skla ^{14, 15}	

Další materiály

- barierové vrstvy např. TiN pro H₂
- Mu - metal
 - stínění magnetického pole
 - složení: 77% Ni, 16% Fe, 5 %Cu, 2% Cr nebo Mo
- Beriliová měď - Cu + 2% Be
- superslitiny - např. Inconel 625 (58 % Ni, 23% Cr, Mo, Nb, Co, Mn, Al, Ti, Si, C, S, P), MKS - Baratron

Desorpční proud z odplyněných materiálů

materiál	odplynění	(10^{-11} Pa m/s)
dural	20 h při 100 °C	5,3
6061 dural	výboj 200 °C	1,3
Cu-OFHC	24 h při 250 °C	0,181
Cr(0.5 %)-Cu(99.5 %)	24 h při 250 °C	0,357
AISI 304	30 h při 250 °C	400
AISI 316L	2 h při 800 °C	46

F.OHanlon: A Users Guide to Vacuum Technology, Wiley (2003)