

贵金属材料

加工手册

GUIJINSHU

CAILIAO

JIAGONG

SHOUCE

冶金工业出版社

# 贵金属材料加工手册

《贵金属材料加工手册》编写组

冶金工业出版社

**贵金属材料加工手册**

《贵金属材料加工手册》编写组

(内部发行)

\*

冶金工业出版社出版

新华书店北京发行所发行

冶金工业出版社印刷厂印刷

•

787×1092 1/16 印张·20 字数 478 千字

1978年4月第一版 1978年4月第一次印刷

印数 00,001~8,400 册

统一书号: 15062·3287 定价 (科三) 2.30 元

## 出 版 说 明

根据我国社会主义建设的需要和有色金属材料加工战线广大职工的迫切愿望，我们遵照伟大领袖和导师毛主席关于**要认真总结经验**的教导，组织有关单位，在系统总结建国二十多年来有色金属材料及其加工技术经验的基础上，编写了一套《手册》陆续出版。这套书共分四册，即《重有色金属材料加工手册》、《轻金属材料加工手册》、《贵金属材料加工手册》和《稀有金属材料加工手册》。

这套书是按重、轻、贵、稀分别组成编写组，在各组长单位党委领导下，由参加编写单位和执笔的同志，依据总的编写原则，结合各专业具体情况共同负责编写的。在编写工作中，得到了全国各有关单位的大力支持和协助；尤其是直接参加这项任务的有关单位和同志，做了大量、细致的工作。

本书系《贵金属材料加工手册》，是由冶金工业部贵金属研究所、沈阳有色金属加工厂、宝鸡有色金属研究所等单位负责编写的。全书共分六章，前五章详细介绍了贵金属（金、银、铂、钯、铑、铱、钇、钇、钇）及其合金在各方面的用途。本书主要供本专业科技人员和工人使用；亦可供有关院校师生参考。

在组织这套书的编写过程中，由于我们水平有限，书中可能存在不少缺点或错误，欢迎广大读者批评指正。

一九七六年三月

33031

# 目 录

概述	1	第十五节 金-镍-铬 (-钨, 锡) Au-Ni-Cr	81
第一章 银及其合金	3	(-Gd, Sn)	81
第一节 银 Ag	3	第十六节 金-铜-镍-锌(-锰) Au-Cu-Ni-Zn	86
第二节 银-金 Ag-Au	9	(-Mn)	86
第三节 银-石墨 Ag-C	11	第十七节 金-镍-铁-钴 Au-Ni-Fe-Zr	92
第四节 银-镉 Ag-Cd	11	第十八节 金-银-铜-锰(镍, -钨) Au-Ag-	93
第五节 银-氧化镉 Ag-CdO	13	Cu-Mn (Ni, -Gd)	93
第六节 银-铜 (-镍、铍、钒、锂) Ag-Cu	14	第三章 铂及其合金	97
(-Ni, Be, V, Li)	14	第一节 铂 Pt	97
第七节 银-铁 Ag-Fe	17	第二节 铂-钴 Pt-Co	105
第八节 银-锂 Ag-Li	18	第三节 铂-铜 Pt-Cu	108
第九节 银-镁 Ag-Mg	19	第四节 铂-铱 Pt-Ir	111
第十节 银-锰(-锡, 锂) Ag-Mn(-Sn, Li)	20	第五节 铂-钼 Pt-Mo	117
第十一节 银-钼 Ag-Mo	21	第六节 铂-镍 Pt-Ni	118
第十二节 银-镍 Ag-Ni	22	第七节 铂-钨 Pt-Os	122
第十三节 银-铂 Ag-Pt	23	第八节 铂-铑 Pt-Rh	123
第十四节 银-锡 Ag-Sn	24	第九节 铂-钌 Pt-Ru	133
第十五节 银-钨 Ag-W	26	第十节 铂-钨 (-铼) Pt-W (-Re)	138
第十六节 银-铝-锰 Ag-Al-Mn	26	第十一节 铂-钯-钼 Pt-Pd-Mo	142
第十七节 银-铜-铟 Ag-Cu-In	27	第十二节 铂-铑-钯 Pt-Rh-Pd	144
第十八节 银-铜-锡 Ag-Cu-Sn	29	第十三节 铂-铑-钨 Pt-Rh-W	148
第十九节 银-铜-锌 Ag-Cu-Zn	30	第四章 钯及其合金	149
第二十节 银-镁-镍 Ag-Mg-Ni	32	第一节 钯 Pd	149
第二章 金及其合金	34	第二节 钯-银 Pd-Ag	156
第一节 金 Au	34	第三节 钯-金 Pd-Au	162
第二节 金-铬 Au-Cr	40	第四节 钯-硼 Pd-B	165
第三节 金-铜 Au-Cu	43	第五节 钯-铜 Pd-Cu	165
第四节 金-镍(-钨, 钇) Au-Ni(-Gd, Y)	47	第六节 钯-铱 Pd-Ir	168
第五节 金-铂 Au-Pt	53	第七节 钯-钼 Pd-Mo	170
第六节 金-铑 Au-Rh	56	第八节 钯-镍 Pd-Ni	172
第七节 金-锑 Au-Sb	58	第九节 钯-铑 Pd-Rh	173
第八节 金-锡 Au-Sn	59	第十节 钯-钌 Pd-Ru	175
第九节 金-锆 Au-Zr	59	第十一节 钯-铀 Pd-U	178
第十节 金-银-铜 Au-Ag-Cu	61	第十二节 钯-钨 Pd-W	180
第十一节 金-银-铂 Au-Ag-Pt	67	第十三节 钯-银-金 Pd-Ag-Au	181
第十二节 金-镍-铜 Au-Ni-Cu	70	第十四节 钯-银-钴 Pd-Ag-Co	185
第十三节 金-钯-铁 Au-Pd-Fe	75	第十五节 钯-银-铜 Pd-Ag-Cu	186
第十四节 金-钯-硼(-铋) Au-Pd-B(-Bi)	81	第五章 铱、钨、铼、钒及其合金	190

第一节	铱 Ir .....	190	第七节	催化剂.....	239
第二节	铑 Rh.....	195	第八节	电镀.....	245
第三节	钌 Ru .....	200	第九节	其它用途.....	258
第四节	锇 Os .....	203	附录	.....	261
第五节	铱-铑 Ir-Rh.....	205	附录 1	贵金属的物理机械性能.....	261
第六节	铱-钌 Ir-Ru.....	207	附录 2	贵金属的耐腐蚀性.....	262
第七节	铑-钌 Rh-Ru .....	208	附录 3	抗拉强度、线径与拉断力的关系.....	264
第六章	贵金属的用途 .....	210	附录 4	电阻系数、线径与每米电阻的 关系.....	284
第一节	电接触材料.....	210	附录 5	常用金衡单位换算表.....	312
第二节	电阻材料.....	214	附录 6	元素的熔点（根据1968年国际实用 温标）.....	312
第三节	测温材料.....	220	附录 7	1948年国际实用温标换算为1968年 国际实用温标的修正值.....	313
第四节	焊接材料.....	226			
第五节	氢净化材料.....	232			
第六节	厚膜浆料.....	235			

## 概 述

金、银和铂族金属——钌、铑、钯、铱、铼、铂，通称为贵金属。铂族金属又称为稀贵金属。铂族金属还可分为轻铂族金属和重铂族金属，前者包括钌、铑和钯，其原子量约为100，密度约为12克/厘米<sup>3</sup>；后者包括铱、铼和铂，其原子量约为190，密度约为22克/厘米<sup>3</sup>。

贵金属在地壳中的含量极少（见下表），而且分散。在自然界中，它们都能以金属状态存在，银和铂族金属主要以化合物存在。铂族金属通常存在于基性和超基性火成岩中，有时也发现于与花岗岩有关的矿石之中。

贵金属在地壳中的含量表

元 素	银 (Ag)	钯 (Pd)	铂 (Pt)	金 (Au)	铑 (Rh)	铱 (Ir)	钌 (Ru)	铼 (Os)
含量 (克/吨)	0.1	0.01	0.005	0.005	0.001	0.001	0.001	0.001

贵金属除了具有良好的耐腐蚀性外，还有许多独特的性质。银在所有金属中具有最好的导电性、导热性和对可见光的反射性。金具有极好的抗氧化性和延展性，可以加工成半透明的金箔。铂具有优良的热电稳定性、高温抗氧化性和高温抗腐蚀性。钯可以吸收比其体积大2800倍的氢，而且氢可在钯中“自由通行”。铱和铑在高温下能抗多种熔融氧化物的侵蚀，而且具有很高的机械性能。钌能与氨结合，类似某些细菌所具有的特性。铂族金属的催化活性很强。

许多贵金属合金不仅使单一贵金属具有的各种特性得到充分发挥，而且具有在某些特定条件下所要求的优良性能。所以，自本世纪三十年代以来，贵金属及其合金在现代科学和尖端技术领域，得到了越来越广泛的应用，成为航海、航空、宇航、冶金、化工、电子、原子能等领域中十分重要的金属材料。有些国家还把它们当作战略物资加以储备和控制。

贵金属（特别是金、银）的发现和发展的历史是悠久的，金、银在公元前就已开始生产和使用。铂族金属较金、银为晚。铂在1557年有记载。铑和钯于1803年发现，铱和铼于1804年发现，钌发现于1844年。

大量的历史文物资料证明，我国早在公元前的周朝已使用包金铜贝作货币。战国时代能用金、银的箔片或细丝在瓷器乃至铜器上镶成文字和图案。由汉墓出土的金银制品的艺术性和民间长期流传的“羊皮金”技术等等，都充分说明我国历代劳动人民把贵金属（特别是金、银）的冶炼、加工技术发展到了相当水平，为贵金属的发现、发展和应用作过卓越的贡献。

但是，由于历代反动统治阶级的奴役和摧残，使我国科学和技术长期得不到应有的进展。贵金属的生产和使用也不例外，直至解放前夕，对铂族金属来说，还几乎是个空白；对金银也仍然局限于货币、首饰、装饰品、镶牙业等手工制品。

解放以后，在中国共产党和毛主席的英明领导下，贵金属材料研制、生产战线的广大革命职工，遵照毛主席关于“打破洋框框，走自己工业发展道路”的教导，迅速改变了原来长期停滞不前的状况。在较短的时间内，填补了贵金属研制、生产中的许多空白，为国民经济和国防建设提供了急需的贵金属材料。尤其是经过史无前例的无产阶级文化大革命，为贵金属的研制、生产、应用开辟了更加广阔的前景，取得了更加显著的成绩。

在贵金属材料方面，熔融光学玻璃和生长激光晶体用的各种铂、铱器皿以及铂合金器皿，拉制玻璃纤维和人造纤维用的铂铑合金坩埚、漏板、喷丝头，硝酸工业用的铂铑、铂铑钯合金触媒网，电真空和航空工业上用的各种贵金属焊料都已立足于国内。标准铂电阻温度计所用的高纯铂丝、标准铂铑10-铂热电偶和铂铑30-铂铑6热电偶；铂铑40-铱套管热电偶已投入生产。高寿命的铂铱钨电接点合金、高电阻的金钯铁铝合金、铂钨及铂钨铼高温应变材料、具有良好综合性能的永磁材料——铂钴合金等相继出现。一系列以钯为基的氢气净化材料、微电子技术用厚膜浆料、阴极材料、导电游丝材料、轴尖材料、废气净化材料等均已投入生产和使用。还有许多贵金属弹性材料、电阻材料、电接触材料、测温材料等也都成批生产和广泛使用。

近年来，节约和代用贵金属也取得了显著成果。以金代铂、钯；以贱金属代贵金属的新合金、新材料犹如雨后春笋般地涌现。例如，可代替铂和钯的绕组材料和电刷材料的金镍铬、金镍钒、金镍钨、金镍铁钴、金银铜锰、金银铜锰钒等合金；可部分代替铂铑-铂热电偶的镍铬钨-镍硅钨热电偶，代替金镍钨焊料的铜钴、铜锰钴、铜锰钴镍合金等均已试用或正式使用。

随着现代科学的发展，我国贵金属的提取、分离、提纯、再生、高纯贵金属及其合金的分析、测试等新工艺（如特细特薄材料的研制、生产等）也都逐步建立和掌握。一支从事贵金属生产、科研的技术队伍茁壮成长。贵金属资源不断扩大。从有色金属冶炼的副产品中提取贵金属及再生回收的贵金属产量也逐渐增加。总之，我国的贵金属材料工业正在稳步实现着品种系列化，组成多元化，性能综合化，体积微型化，产品标准化。

然而，事物总是一分为二的。贵金属毕竟稀少、昂贵；银、钯、铑及其合金在熔炼时大量吸气，铸锭容易出现气孔；钨、铼、铑、钨不易加工，特别是钨；钨及钨的四氧化物易挥发、有毒；银接点不耐磨也不耐腐蚀；铂、钯及其合金的“褐粉”现象等等。这些不利因素，大大限制了贵金属的应用范围，增添了研制、生产贵金属的难度和成本。尽管如此，贵金属的发展仍然有着广阔的前景。

马克思主义者认为，矛盾总是客观存在的，人类总是不断发展的，自然界也总是向前发展的。贵金属的发展也决不会停留在一个水平上。我国贵金属迅猛发展的事实雄辩地证明：中国人民在中国共产党和毛主席的英明领导下，有在自力更生的基础上自立于世界民族之林的能力。我国地大物博，资源丰富，贵金属发展中的尚存问题一定能不断克服。我们深信，只要继续以阶级斗争为纲，坚持党的基本路线，认真贯彻抓革命、促生产、促工作、促战备的方针，我们就能为贵金属的更快发展，为社会主义建设、为中国革命和世界革命作出更大的贡献。



# 第一章 银及其合金

银是一种白色金属，具有强烈的金属光泽。

在所有的金属中，银对白色光线的反射性能最好，导电性及导热性最高。

在贵金属中，银的密度小，熔点低，但产量大，价格便宜。

在潮湿空气中，银容易被硫的蒸气及硫化氢所腐蚀，生成硫化银，使表面变黑。人们在检查食物中是否含硫化氢时，往往用银餐具进行鉴别。

银在空气中加热容易被氧化，生成氧化银；但到400°C时，氧化银便出现明显的分解。

不论是固态还是液态，银都能溶解氧。液体银所能溶解的氧竟超过其体积的20倍。固态银的含氧量则随温度的降低而减少。银及一些银合金的薄膜具有选择性透氧能力。

银中加入铜、镉等合金元素可起到强化作用，并提高其机械性能及耐磨能力，它被广泛用作电接点材料；银与氧化镉、镍、钨、钼、铁、石墨等组成的假合金，也被用作各种电接点材料。银还与铜、锌、镉、锰等元素组成一系列钎焊料用于电子和航空工业中。

除用烧结方法制造的接点材料之外，银及其银合金一般都用煤气炉、油炉熔炼，有的也用高频或中频感应炉。熔炼时通常用木炭粉、硼砂覆盖。但对于要求高的材料，则宜在低真空下熔炼。由于银溶解氧的能力很强，在大气中熔炼的铸锭常常出现气孔。因此采用什么样的脱氧剂及在具体条件下制订什么样的工艺，一直是人们研究的课题。目前被采用的脱氧剂有磷、钙、锂的合金。

在熔炼过程中，不论纯银或银基合金都应避免铋、铅、锑等有害元素的污染。在浇注前，液体金属表面覆盖一层稻草灰，对提高铸锭质量是有作用的。

在制备银镉及银氧化镉合金时，由于熔炼及加热时会出现有害的镉蒸气及氧化镉蒸气，因此在生产中，所有的废气、废水、废渣必须严格处理及净化，以免引起公害。

银及其合金的加工，可采用铜及铜合金的加工设备。热加工工件的加热及中间退火可用电阻炉（木炭保护）、煤气炉（还原性气氛）必要时也可在低真空（电阻炉）中退火。

为获得高质量的银和银合金产品，对铸锭表面进行车削加工，或者在成品前几道工序采用“剥皮”工艺，都可以改善产品质量。

银及其合金在工业上除了用于焊接材料、电接触材料之外，有的也用于弹性材料。但电镀、感光乳胶、医疗器械、餐具、镶牙、装饰品、货币等方面，至今仍然用着大量的银及其合金。

## 第一节 银 Ag

性能	原子序数	47
	原子量	107.870
	晶体结构	面心立方
	原子直径	2.883 埃
	离子直径	2.26 埃
	原子间距	2.889 埃

晶格常数	4.0862埃
原子体积	10.28厘米 <sup>3</sup> /克原子
价电子	4D <sup>1</sup> 05S <sup>1</sup>
化学价	1, 2, 3
配位数	12
热离子发射电位	4.31电子伏特
热中子俘获截面	63巴

密度 固态银的密度见表1—1。从溶点到沸点，银的密度用下述方程式表示：

$$\gamma = 10.465 - 0.0009067T, \text{克/厘米}^3$$

式中T为绝对温度。上式计算误差为±0.009。在沸点时银的密度为8.244克/厘米<sup>3</sup>，熔点时为9.346克/厘米<sup>3</sup>。

表 1—1 固 态 银 的 密 度

温 度 (°C)	20	700	800	900	960
密度 $\gamma$ (克/厘米 <sup>3</sup> )	10.49	9.89	9.80	9.72	9.85

熔 点	961.93°C
熔化热	25 卡/克
沸 点	2210 °C

蒸气压 不同温度下银的蒸气压见表1—2。

表 1—2 银 的 蒸 气 压

温 度 (°C)	684	751	828	918	1023	1163	1336	1543	1825
蒸气压 (毫米汞柱)	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-1</sup>	1	10	10 <sup>2</sup>

蒸发热 银的蒸发热，随温度不同在397~662卡/克之间变化。

导热系数 在0°~100°C，其值为1卡/厘米·秒·度。

热膨胀 在-190°~0°C之间，银的线膨胀系数为17×10<sup>-6</sup>/°C，在0°~100°C为19.7×10<sup>-6</sup>/°C，在0°~500°C为20.6×10<sup>-6</sup>/°C。在0°~900°C的线膨胀可按下式计算：

$$L_t = L_0(1 + 19.494 \times 10^{-6}t + 1.0379 \times 10^{-9}t^2 + 2.375 \times 10^{-12}t^3)$$

比热 在20°C时银的比热为0.0559卡/克·度。不同温度的比热见表1—3。

表 1—3 银 的 比 热

温 度 (°C)	-200	-100	0	100	200	300	400	500	600
比热C (卡/克·度)	0.0370	0.0520	0.0557	0.0569	0.0578	0.0589	0.0601	0.0619	0.629

电阻系数 合金元素对银电阻系数的影响见图1—1，不同温度的电阻系数见表1—4。不同加工率的银对国际退火铜标准 (IACS) 的导电率的影响见表1—5。

表 1-4 银 的 电 阻 系 数

温 度 (°C)	0	20	100	200	300	400	500	1000
电阻系数 $\rho \times 10^{-2}$ (欧姆·毫米 <sup>2</sup> /米)	1.468	1.59	2.0696	2.6854	3.321	3.979	4.651	19.22

表 1-5 银 的 加 工 率 对 导 电 率 的 影 响

状 态	对IACS的导电率 (%)
退火态	102.8
加工率10.2%	102.2
加工率20.0%	101.0
加工率37.0%	99.7
加工率48.6%	99.5
加工率60.0%	99.4
加工率68.5%	98.4
加工率74.0%	98.1

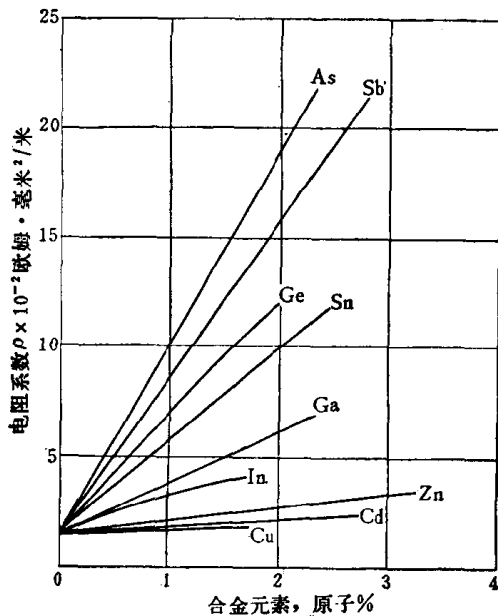


图 1-1 a 合金元素对银电阻系数的影响 (在18°C)

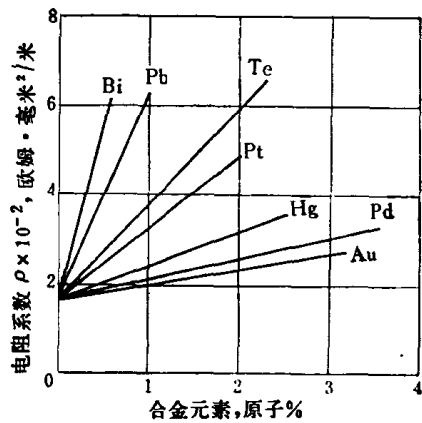


图 1-1 b 合金元素对银电阻系数的影响 (在18°C)

电阻温度系数 在0°~100°C银的电阻温度系数 $\alpha_\rho$ 为 $4.1 \times 10^{-3}/^\circ\text{C}$ 。

热电势 银在1000°C对铂的热电势为10.80毫伏。

反射率 银的反射率为94%，高于所有的金属。银的反射率与波长和退火温度的关系见图1-2和图1-3。

磁化率 18°C时，银的磁化率为 $-0.195 \times 10^{-6}$ 厘米<sup>3</sup>/克。

弹性模量 银的弹性模量为8050公斤/毫米<sup>2</sup>。贵金属的弹性模量与温度的关系见图1-4。

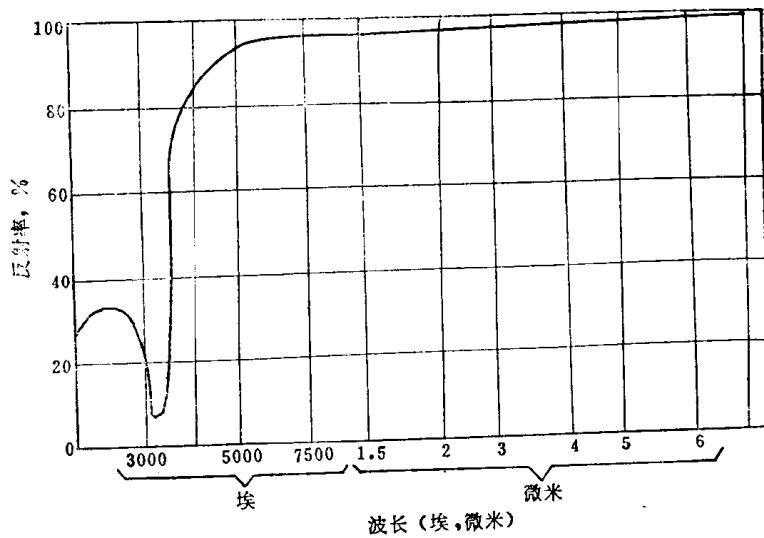


图 1—2 波长对银反射率的影响

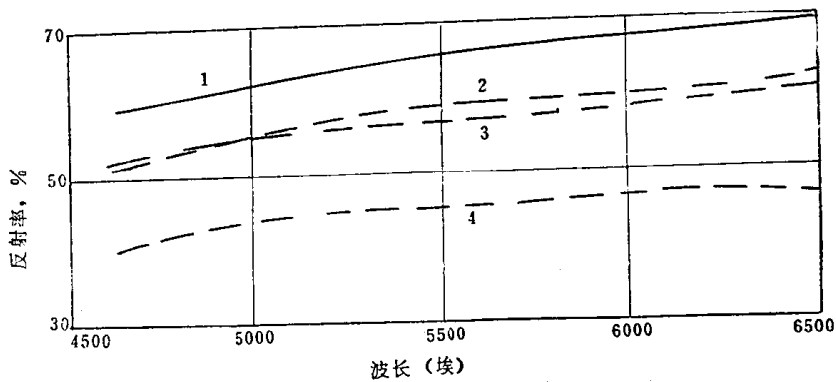


图 1—3 波长对不同处理条件的银的反射率的影响

1—加工态；2—空气中500℃退火；3—空气中700℃退火；4—空气中900℃退火

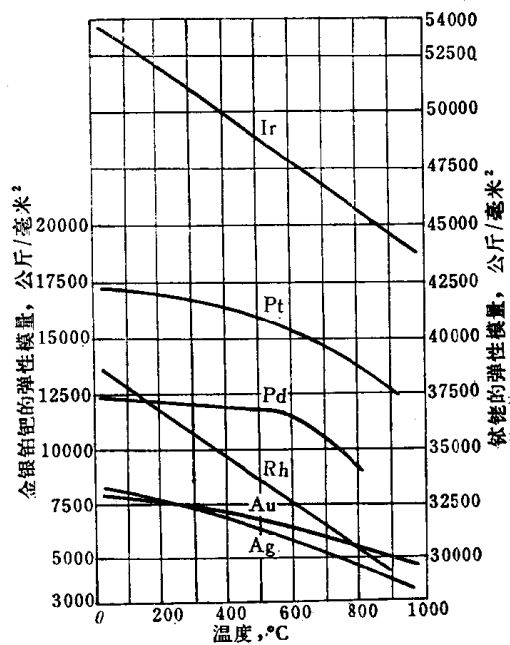


图 1—4 温度对贵金属弹性模量的影响

剪切模量		2940公斤/毫米 <sup>2</sup>
压缩模量		10180公斤/毫米 <sup>2</sup>
压缩模量与剪切模量的比值		3.46
泊松系数		0.38
屈服强度	铸态	3.5公斤/毫米 <sup>2</sup>
	加工态	31公斤/毫米 <sup>2</sup>
	退火态	5.5公斤/毫米 <sup>2</sup>
抗拉强度	铸态	10公斤/毫米 <sup>2</sup>
	加工态	38公斤/毫米 <sup>2</sup>
	退火态	15公斤/毫米 <sup>2</sup>
断面收缩率	铸态	67%
	退火态	90%
伸长率	加工态	3~5%
	退火态	43~50%
布氏硬度	铸态	42公斤/毫米 <sup>2</sup>
	加工态	75公斤/毫米 <sup>2</sup>
	退火态	30公斤/毫米 <sup>2</sup>

合金元素对银的布氏硬度的影响见图1—5。

银的机械性能与加工率和退火温度的关系分别示于图1—6和图1—7。

在常温下，银在空气中不氧化，但有臭氧存在时易被空气氧化。在200°C以下，银能与氧作用生成氧化银 ( $Ag_2O$ )，超过200°C，氧化银就分解，温度越高分解越快，到400°C便明显分解，所以在高温下银的氧化物不可能存在。

无论是固态还是液态，银都能溶解氧，并在熔点时达到最大值（见表1—6）。熔融状态的银能溶解超过其体积20倍的氧，但固态银只能溶解小于其体积的氧。因此，在熔炼时如果液体银暴露在空气中，则凝固过程就会放出大量的气体，引起“鼓泡”或喷溅现象。氧在固态银中的溶解度与压力的平方成正比，与温度不成直线关系。在各种压力下都在400°C出现溶解度的最小值。这是由于在400°C以下氧在银中以 $Ag_2O$ 的状态存在，而在更

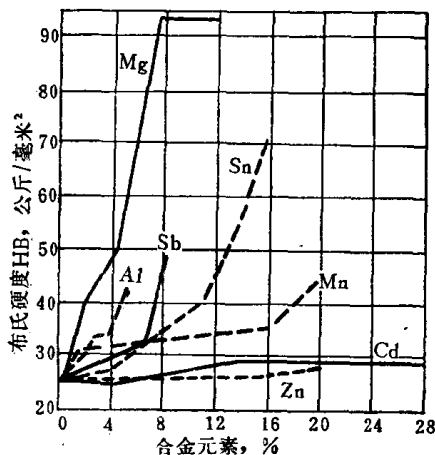


图 1—5 合金元素对银硬度的影响

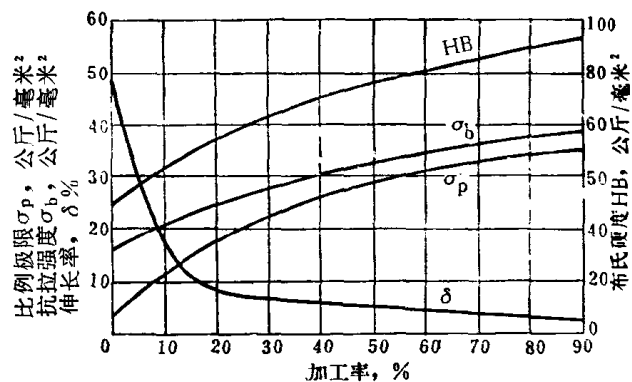


图 1—6 加工率对银的机械性能的影响

高的温度则以原子状态存在的缘故。

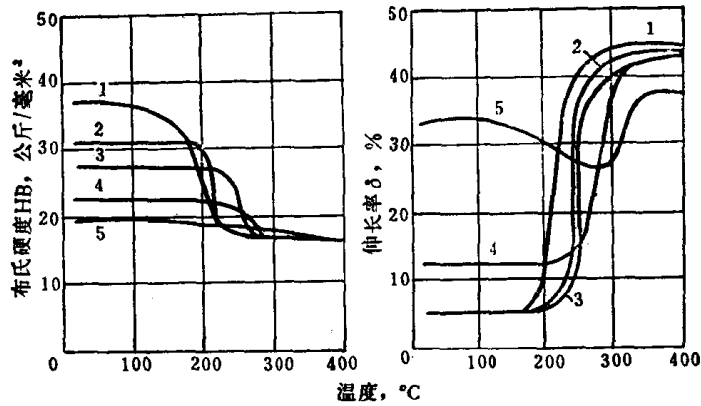


图 1—7 退火温度对银的机械性能的影响

加工率：1—95%；2—60.5%；3—40.5%；4—16.5%；5—6%

含银99.99%的银丝的含氧量为 $33\sim 39 \times 10^{-6}$ ，高的可达 $75 \times 10^{-6}$ 。

纯银及某些银合金具有对氧的选择性透过能力。

在潮湿的空气中，银易被硫蒸气或硫化氢腐蚀，生成黑色的硫化银 ( $\text{Ag}_2\text{S}$ )，使银的表面变黑。

表 1—6 氧在银中的溶解度

氧气压力 (毫米汞柱)	温 度 (°C)														
	200	300	400	500	600	700	800	973	1024	1075	1125				
	$\times 10^{-4}\%$							重量 (%)	厘米 <sup>3</sup> 氧 /10克银	重量 (%)	厘米 <sup>3</sup> 氧 /10克银	重量 (%)	厘米 <sup>3</sup> 氧 /10克银	重量 (%)	厘米 <sup>3</sup> 氧 /10克银
760	0.031	0.3	1.4	4.4	10.6	21.5	38.1	0.305	21.35	0.295	20.56	0.277	19.39	0.264	18.49
800	19.3	14.3	11.9	—	17.9	26.1	48.2	—	—	—	—	—	—	—	—

氢在银中的溶解度很小，与压力的平方根成正比，随温度的升高而增加。

银及不含脱氧元素（磷、锌、镉等）的银合金，如果先在氧或空气中加热，然后又在氢气中高于 $500^\circ\text{C}$ 的温度加热，便容易引起氢气病，使塑性显著降低，有时还会出现气泡，但纯度高于99.99%的银不会产生氢气病。

银与某些化学试剂的作用见附录 2。

工艺 银在熔炼过程中要注意两点：一是在高温时会大量吸氧，使铸锭产生气孔等缺陷；二是在高温时容易挥发、造成大量损失。

熔炼银可使用煤气炉、油炉或高频感应炉，对质量有特殊要求的可用真空中频电炉。坩埚用石墨制品。在大气中熔炼时，需用碎木炭或煤粉或无水硼砂覆盖。若在低真空(0.1毫米汞柱)中熔炼，最好用氮气或其他惰性气体保护。熔炼时要控制加热温度不宜过高，时间不能太长。浇注温度为 $1100^\circ\sim 1150^\circ\text{C}$ ，慢速浇于铁模中。

银具有良好的延展性，1克银可拉成1800米长的细丝。可轧成0.00025~0.00001毫米的箔。用压力加工方法能容易地加工成各种形状、各种规格的银材。

加工银材可用一般铜加工设备。热加工可在600°~800°C温度范围进行。冷加工时，两次退火间的总加工率可达99%，道次加工率为15~20%，退火温度为300°~400°C，时间半小时至一小时，视材料大小而定。退火一般在空气中进行，最好在真空、氮气、煤气或氩气保护下进行，但禁忌与铁器接触。

**用途** 长期以来，银被大量用作货币、装饰品、镶牙和餐具。随着科学技术的发展，银又广泛用于工业上，如电镀、仪器仪表、化工、摄影、电话和医疗器材等方面。银材所占银用量的比例并不大，银主要用在制造各种合金、焊料和感光乳胶等方面。

## 第二节 银-金 Ag-Au

**相图** 银与金在液态和固态都能无限互溶，其固相线与液相线的温度间隔很窄，见图1-8。

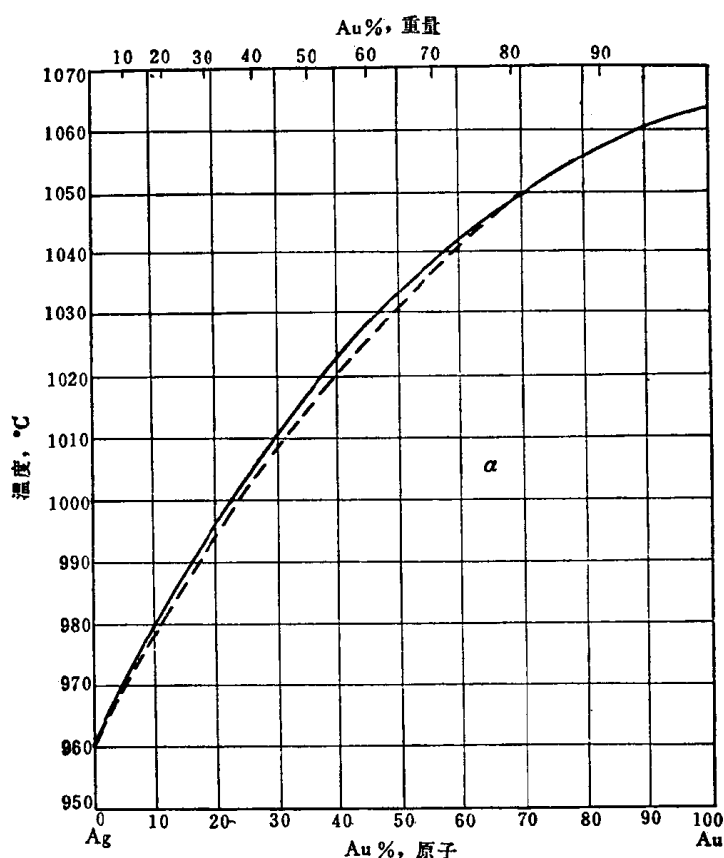


图 1-8 银-金合金相图

**性能** 银金合金的某些物理性能和机械性能随成份的变化示于图1-9。

银金合金的物理性能示于表1-7。

在不同溶液中，银金合金耐腐蚀的稳定成份范围如表1-8。

**工艺** 所有的银金合金都有良好的加工性能，均能热加工或冷加工。

熔炼这类合金，一般用高频或中频感应炉，也可用煤气炉或油炉。坩埚用石墨的或氧

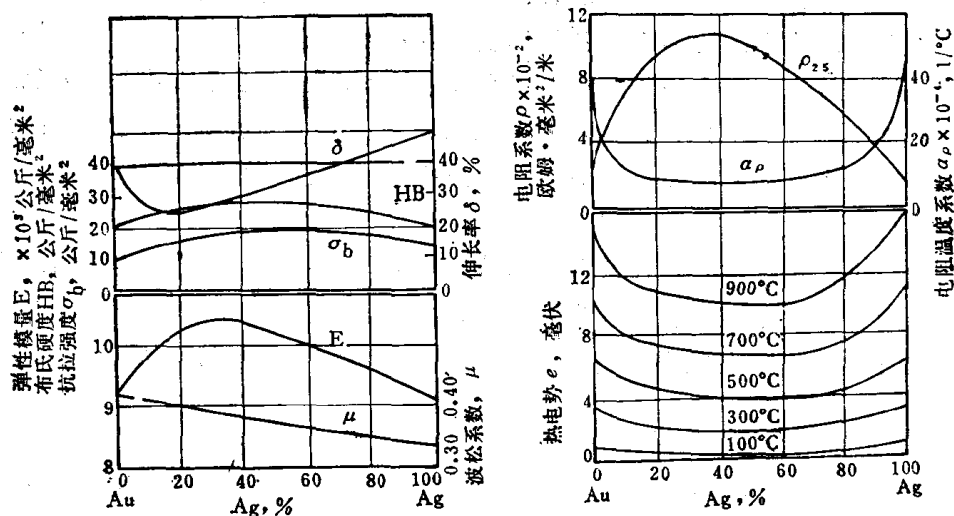


图 1-9 银-金合金的性能

表 1-7 某些银金合金的物理性能

合金代号	密度 $\gamma$ (克/厘米 <sup>3</sup> )	电阻系数 $\rho \times 10^{-2}$ (欧姆·毫米 <sup>2</sup> /米)	维氏硬度 HV (退火态) (公斤/毫米 <sup>2</sup> )	导电系数 $g$ (对铜) (%)	导热系数 $\lambda$ (卡/厘米·秒·度)
AuAg25	15.95	9.9	—	—	—
AuAg40	14.3	—	—	—	—
AuAg41.7	14.26	9.4	—	—	—
AuAg90	11.0	3.6	29	48	0.47

表 1-8 银金合金耐腐蚀稳定成份的范围

溶 液	合金中金含量 (%)	溶 液	合金中金含量 (%)
PbNO <sub>3</sub>	37.2~38.5	Na <sub>2</sub> S	40.3
PtCl <sub>2</sub>	37.2~38.5	HNO <sub>3</sub> (比重1.3)	62.8~63.7
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> S	46.5	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	64.7
Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub>	40.3~46.2		

化铝的，在木炭或煤粉保护下进行，最好在低真空中熔炼。在大气中熔炼时，若银含量小于25%，需先装回炉料和金，这些炉料熔化后再装银；若银含量为25~50%，全部炉料可在加热前一起装入，其中银装底部，回炉料装中部，金装上部；若含银量大于50%，应先装银和回炉料，它们熔化后再装金。在真空中熔炼时，各种成分的合金炉料均按银、回炉料、金的顺序在封炉之前同时装入。全部炉料熔化后，需精炼片刻除气，然后控制在高于合金熔点100°~200°C浇于铁模中。

片材和线材，一般都采用冷轧开坯，线坯采用孔型轧制。两次退火间的总加工率可达80~90%，道次加工率控制在15~20%。退火温度为500°~650°C，保温15分钟到1小时。线材拉制时用中性肥皂液润滑。

**用途** 含金10~70%的银金合金，具有良好的导电性、导热性和耐蚀性，其接触电阻低，稳定性好，但硬度低，适用于强腐蚀介质中工作的轻负荷接点。其中AgAu10被大量



用在电讯设备中的替续器和调节器上。大部份银金合金用于装饰品和焊料。

### 第三节 银-石墨 Ag-C

**相图** 碳在液态银中和固态银中有很小的溶解度。在1660°C时为0.0012%，在1735°C时为0.0025%，在1940°C时为0.0022%。但将其冷却时，溶解于银中的碳将以石墨状态析出。碳在固态银中的溶解度见图1—10。

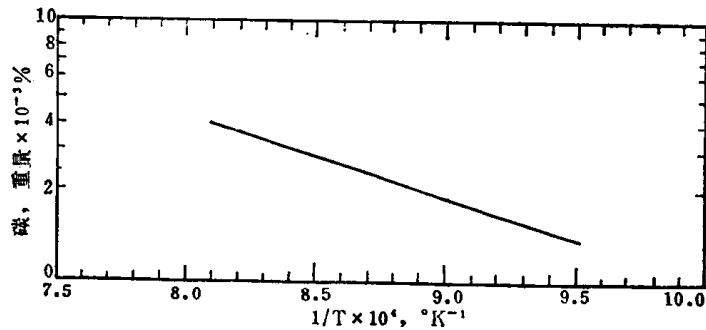


图 1—10 碳在固态银中的溶解度

**性能** 银石墨合金一般含石墨2~5%，有些合金含石墨50%，它们被用作接点材料。其特点是，具有良好的导电性、优良的耐磨性和润滑性，接触电阻低而稳定，抗熔焊性好。但其抗电腐蚀性能较差，在某些条件下转移比纯银接点严重，此外，它们的延展性很差。银石墨合金的某些物理性能示于表1—9。

表 1—9 银石墨合金的物理性能

石墨含量 %	密度 $\gamma$ (克/厘米 <sup>3</sup> )	布氏硬度 HB (退火态) (公斤/毫米 <sup>2</sup> )	电阻系数 $\rho \times 10^{-2}$ (欧姆·毫米 <sup>2</sup> /米)	电阻温度系数 $\alpha_{\rho} \times 10^{-3}$ (1/°C)
0.5	10.2	40	1.8	3.9
1	10.1	40	2.0	3.9
2	9.5	40	2.1	3.9
3	9.1	30	2.1	—
5	8.5	25	2.75	—

**工艺** 先将合乎标准的银粉和石墨粉末混合均匀，然后在压力机上用3吨/厘米<sup>2</sup>的压力成型，再在氢气保护下烧结。烧结温度为900°C，烧结时间根据制品厚度而定。制品厚度小于2毫米时保温时间为1.5小时，2~4毫米时为2小时，大于4毫米时为2.5小时。

**用途** 因银石墨材料具有自润滑作用，不会产生熔焊，又不产生氧化膜，最适宜用作中等电流的滑动接点元件。如电阻器的滑动部份、小型转子的电刷，也可与银镍接点匹配使用，用于铁路信号继电器、空气断路器、电路保护开关，有些合金还用作航空电器接点。

### 第四节 银-镉 Ag-Cd

**相图** 银镉合金相图是由四个包晶反应构成的，见图1—11。