

冶金科技消息

国外精密合金工艺

(内部资料·注意保存)

24

上海钢铁研究所技术情报资料室

一九七七年三月

本资料包括两个内容，一篇是国外精密合金生产工艺中的若干问题，另一篇是国外精密合金熔炼与压力加工工艺的发展概况。前者曾在重庆冶金部精密合金生产工艺经验交流会议上作过介绍，后者为第一篇的初稿，内容不全相同，现删除个别重复部份，一起发表，特此说明。

国外精密合金生产工艺中的若干问题

技术情报室

一 前 言

精密合金是苏联提出的概念。现代精密合金包括软磁合金、硬磁合金、热磁合金、膨胀合金、弹性合金、超导合金、电阻合金、热双金属等许多内容。品种已超过250多个，资本主义国家则不使用这个名称而将它们分散安放在不同的领域内，有的专门列出为磁性材料，有的作为电器材料的一部份，有些（如电真空材料）又超出了上列内容。

对现代精密合金的要求是：

- 1 具有一定的物理性能和综合性能；
- 2 性能可靠，即工作条件变化时——如温度、压力、机械负荷、腐蚀环境等，合金物理性能能保持在很窄的范围内；
- 3 在不同工作条件下长期使用时，性能基本不变；
- 4 重现性和均匀性好，即各批合金所制作的另件均能具有正常的性能水平。

要达到上述严格的要求，必然要在精密合金的生产全过程中进行周密的控制；同时显然需要采取各种先进工艺以提高产量、质量和各项技术经济指标，而新工艺、新装备、新材料之间的关系本来就是不可分离的。资本主义国家精密合金生产的特点之一是：精密合金生产厂往往是各电子、电器、仪表联合企业的附属专业厂，有庞大的科研机构，从事精密合金的生产人员比较了解精密合金的使用条件和要求，改进的措施容易取得效果。但是这方面的措施和参数，国外往往作为商业秘密，不肯轻易发表，这是资本主义社会制度互相竞争、排挤、保守的必然现象，文献中报导精密合金的性能较多，完整地报导工艺参数很少。因此我们只能从侧面进行分析，推断国外工艺发展的趋向，故本文所叙述的情况有一定的局限性。

伟大领袖和导师毛主席教导我们：“外国资产阶级的一切腐败制

度和思想作风，我们要坚决抵制和批判。但是，这并不妨碍我们去学习资本主义国家的先进的科学技术和企业管理方法中合乎科学的方面。本文叙述的目的在于吸收国外有用的部份，结合我国具体情况，有所应用。但是由于时间的限制，在本文中我们只着重讨论大家经常关心的几个方面。

三 精密合金内在质量与性能的关系

近年来，国内各单位对扩大精密合金的炉产量非常重视。扩大炉产量以后，一可以提高产量，二可以改进产品器件性能的均匀性，三可以降低成本。但是扩大炉产量应采取什么措施，是采取电弧炉熔炼，还是增添真空感应炉，则各方面意见颇不一致。

以往苏联对用什么的炉子熔炼精密合金，总而回避不讲清楚，只有个别资料提到用电弧炉。直到1975年苏联的报导中，才明确提出某些精密合金可用5~25吨电弧炉熔炼〔1〕，熔炼的牌号有45H、50H、79HM、36H、24HX、X₁₅H₆₀、X₂₀H₈₀、X₁₅H₄、X₂₅H₄、X₂₇H₄，并认为电弧炉合金的气体 and 夹杂含量均较非真空感应炉为高。资本主义国家对精密合金炉产量的问题，近年来讨论的不多。根据不完整的统计，几个主要精密合金专业生产厂所用的真空感应炉容量及台数如下：

(日) 东北金属	半连续式	0.5吨	2台
(日) 住友特殊金属	"	0.5吨	3台
(日) 三菱特殊金属	"	0.5吨	2台
(日) 东芝金属制品	"	0.5吨	1台
(日) 日本乐器制造	"	0.5吨	2台
"	"	2.5吨	1台
"	半真空式	0.5吨	2台
(法) 因菲 (Imphy) 公司	半连续式	0.5吨	2台
"	"	2.0吨	1台
(英) 泰尔康 (Telcon) 公司	"	0.5吨	2台

从国外情况来分析，国内应怎样处理扩大炉产量的矛盾，我们认为应该辩证地看问题，按不同要求区别对待，不能形而上学地强求统一。当化学成份的精确度和夹杂含量对性能影响不是主要因素，而电弧炉炼钢工人的操作水平和最近发展的电炉新工艺足以将气体和夹杂降低到一定限度，则用电弧炉来熔炼精密合金是完全可以达到目的的。反之，当成份需要严格精确控制或者夹杂含量对性能影响起主要作用时，又或者需要将产品性能提高到一个新的水平，则必然需要采用更有效的方法满足性能的要求，例如采用真空感应炉。但是真空感应炉应该真正达到操作水平，否则产品性能水平就不能发挥。如果从历史的演变过程来看待精密合金性能的发展，就可以清楚地理解这一问题。

以典型的软磁合金为例，许多年来，大家都认为高Ni合金如79NiMo导磁率比较高，选用亦较广。然而这一概念已逐步在改变中。由于资源、成本，加工难易等因素的考虑，各方面对中等含Ni量的合金，如50Ni、36Ni，进行了大量研究；随着加工工艺和内部组织的改变，性能大幅度提高，有的已达到79NiMo的水平，在这个问题上，纯洁度是极为重要的。

50Ni合金，在50年代作为一般商品供应时，性能水平中 μ_0 只有2000~3000高/奥， μ_m 不过50000左右；但是在50年代末期到60年代初期，首先是西德真空熔炼公司，继而是克虏伯公司，采取磁退火等工艺后，使 $\mu_{0.005}$ 达到55000高/奥， μ_m 达到150000高/奥〔3〕，要达到这样的水平，基础仍然是纯洁度问题。从这一点出发，在七十年代的目前，国内 $\mu_{0.001}$ 也已达40000~50000高/奥的水平。

按苏联的研究结果，同样是50Ni合金，也就是因为熔炼工艺不同，可以获得不同的特性，并已列为正式牌号〔2〕：

	厚度 (毫米)	MO (高/奥)	MM (高/奥)	HC (奥)	BS (高)	Br / Em
普通熔炼法 50 НП	0.02	—	35000-90000	0.25-0.12	15000-15400	0.85-0.95 0.85-0.97
	0.05	—	35000-120000	0.23-0.11		
真空感应熔炼 50 НП-ВН	0.05	—	80000-150000	0.14-0.08	15000-15400	0.93-0.98
电子束熔炼 50 НП-ЭП	0.01	—	10万~18万	0.12-0.07	15500-16000	0.95 0.94-0.98 0.94-0.98
	0.02	—	17万~27万	0.12-0.05		
	0.05-1	—	17万~34万	0.1-0.03		
等离子电弧重熔 50 НП-ПД	0.01	500 1000	36万	0.04	15500-16000	0.93-0.97 0.95-0.98 0.6-0.7
	0.02	1000 2000	20万~40万	0.06-0.04		
	0.05-0.1	15000 50000	15万~30万	0.08-0.02		

按照这个思路 使人们用同样方式来处理 36H1 合金, 提高纯度, 已能使 $\mu_0 \cdot 005$ 达到 25000 高/奥以上 (4) 个别资料有报导达 40000 高/奥的。最近, 西德又开始注意高纯度纯铁及高纯低硅钢, 高纯度纯铁的磁特性中磁感高, 可以缩小电机体积, 因此目前西德用于间歇工作的 (铁损不是主要矛盾时) 中小型电机已大量采用高纯度纯铁。

三 提高精密合金纯洁度的几种熔炼方法

目前熔炼精密合金, 不外乎电弧炉、非真空感应炉、真空感应炉、真空自耗炉、电渣炉、电子束熔炼、等离子熔炼等几种方法, 其中大部份是大家所熟悉的。

苏联熔炼精密合金, 除将用电弧炉外, 其他多数采用非真空感应炉。当采用真空感应炉或其他方法使产品性能提高后, 则在牌号后面加以标号, 作为新的牌号。苏联以 -ВИ 表示真空感应熔炼, 以 -ЭЛ 表示电子束熔炼, 以 -ПЛ 表示等离子电弧重熔 (1), 前者较多, 后两者较少; 这些带标号的合金都在 1968 年后列入内部标准, 在精密合金手册 (2) 报导的这类牌号有:

软磁合金: 80НХС-ВИ, 76НХД-ВИ, 35НХХСП-ВИ, 49КФ₂-ВИ, 49КФ-ВИ, 79Н, М-ВИ, 50НП-ВИ, 50НПУ-ВИ, 50НП-ЭЛ, 35НХХСП-ЭЛ, 50Н-ПД, 50НП-ЛД。

膨胀合金: 36Н-ВИ, 32НК-ВИ, 29НК-ВИ, 30НКД-ВИ, 47НД-ВИ, 52Н-ВИ

弹性合金: 40ХНЮ-ВИ

资本主义国家的报导方式不同, 多数提到最近采用了真空感应炉, 性能已提高到什么水平, 同时列出一些商品牌号。

真空自耗熔炼和电渣熔炼本来就是处理特殊钢和高温合金的手段, 对降低夹杂含量和提高加工塑性有明显效果。处理电阻合金和弹性合金等需要足够塑性的合金, 这两种方法看来是有效的。用这两种方法来处理软磁合金则近年来报导不多, 但是电渣锭表面良好是公认的, 特出的例子是用电渣熔炼超 Fe-Si-Al 合金, 这是一种难加工材料,

电渣熔炼产生的沿纵向的结晶，有利于热加工，成为综合改良手段之一。

最近苏联介绍在真空感应炉中通氢精炼，对精密合金的纯化，具有明显效果。

电子束熔炼利用高温高真空使杂质挥发去除，六十年代初期就有过肯定性的结论。应用到软磁合金上，当年亦有所报导，近年来仍有提及。但电子束熔炼设备较为复杂，仅能用于需要特殊优良性能的场合。

等离子技术应用在切割、焊接、喷涂等方面的时间较早，目前已日益普遍。等离子应用于炼钢方面，国外从六十年代中期开始研究，七十年代初期已逐渐从实验室的几十公斤规模发展到工业性的几吨级等离子熔炼炉。文献发表实际使用的最大容量是民德的十吨炉，但熔炼精密合金不一定需要这样大的吨位。国内铁道部戚墅堰机车车辆工艺研究所等单位也从七十年代初期起早就从事于等离子熔炼的研究和应用〔5〕，第一台500公斤等离子工频炉已在调试中〔6〕，上海交通大学也已开始对炼钢三相等离子喷枪进行研究〔7〕。

对精密合金的等离子熔炼，着重可以介绍两点情况：

1. 等离子熔炼有好几种类型，从精密合金角度来看，等离子感应炉最为合适。即利用非真空感应炉，在炉顶加上有孔的盖，孔中放置等离子喷枪，利用等离子喷枪的高温化渣脱气，与感应熔炼搅拌的优点相结合，互相取长补短，可以达到真空感应炉的指标水平。日本大同制钢厂在1971年以70瓩等离子喷枪加130瓩高频电源熔炼250公斤炉料，接着又以200瓩等离子喷枪加200公斤工频电源熔炼500公斤炉料，目前已发展到2吨水平〔8、9〕。国内采用的也是这种类型。

2. 等离子熔炼的优点，除了速度快、成本低以外，突出表现在质量方面。由于高温与氩气气氛相结合，使脱氧完全、化渣快、低熔点夹杂挥发去除、易氧化元素收得率高，从而使熔炼合金的水平与真空感应炉不相上下。这方面日本大同制钢厂报导，已证明所熔炼的可伐合金、50Ni合金及80Ni-4Mo坡莫合金，化学成份中夹杂大为

降低；同时软磁合金的磁性能可以与真空感应炉产品媲美〔10〕，其关键在于控制氩气露点低于 -30°C 。

苏联采用的是用等离子电弧重熔法熔炼精密合金（即以等离子喷枪重熔自耗电极），结论基本相同，研究过的合金有50H、50HП、47HП、58H、HП45Φ等，证明50H合金经等离子熔炼后，性能接近于79HM水平。同时，如前所述50HП-ПП比50HП-3П提高 μm 更突出，同样是纯化，为什么工艺不同效果不同，是值得探讨的。

我们认为，目前国外大量应用的真空感应炉，在熔炼精密合金时能精确地控制成份和降低夹杂含量，这是优点之一，但是大家都有体会，要获得高真空，在机械设备上需要化极大的努力，同时抽真空所需的长时间往往比熔炼时间还长，这是很大的缺点。反之，等离子感应炉采用高温度和惰性气体保护，可以达到真空感应炉的相同效果，而在设备上则简单得多，同时抽真空的时间就可以省略，这是目前国外发展等离子感应炉的基本立足点。因此，在国内等离子强化感应熔炼已取得成就的条件下，试用于精密合金熔炼，用以代替真空感应熔炼，是应该立刻动手研究的课题。

四、精密合金表面状态的重要性与压力加工

精密合金的表面状态与性能有极为重要的联系；这里的表面状态包含平整度（或波纹度）、光洁度（或粗糙度）、厚薄精确度等含义。日本曾报导在轧制中有专门测量平整度的仪器，尽管只是一个测试手段，不是解决问题的措施，但亦说明国外已非常重视这个问题。

用一些实例更能清楚地说明问题。延迟线合金的厚度与声波传输速度有很严格的关系，因此就要求厚薄有极为严格的公差。另一个实例，根据最近的研究报导，表面状态影响软磁性能的文章不少，一些超低铁损的硅钢带受表面光洁度的影响更大，厚0.3毫米的硅钢采用化学研磨、电解研磨、镀铜涂层等表面处理后，铁损可以降低20%以上， P_{17}/kg 达0.7-0.8瓦/公斤〔11〕，虽然这属于电工钢带类型，电讯硅钢也座有相同效应。因此，目前的精密合金压力加工中，

应力求获得满意的表面。

为了获得较薄的材料，国外采用小直径工作辊这一观点是一致的。然而在小工作辊条件下，如何获得满意的公差和平整度，则具体措施各个国家和各个工厂之间并不一致，有一部份工厂采用森吉米尔二十辊轧机，另一部份工厂则采用MKW式偏八辊轧机，个别也有采用其他类型的。

森吉米尔式二十辊机远在二十世纪四十年代已在美国建成投产。初期的二十辊机都较小，目前的趋势是愈造愈大。据1972年的不完整统计(12)，世界各国森吉米尔式轧机共309台，美国占139台，其中轧制宽度在1000毫米以上的有21台；日本占54台，其中1000毫米以上的有35台；目前最大的森吉米尔二十辊机是法国一台ZR₂₂₋₃₀型，辊身长2032毫米(80吋)。当然轧制精密合金还不需要这样宽的轧机。

带材最小厚度与宽度及钢种有关。美国二十辊轧机轧制宽度为1200毫米硅钢时，最小厚度为0.002毫米；从精度来看，轧制0.2毫米厚的不锈钢时，公差为 $\pm 0.003 \sim 0.006$ 毫米；若用四辊机轧制，公差只能达到 $\pm 0.01 \sim 0.03$ 毫米。

最近文献报导的森吉米尔二十辊机，典型的有下列几项：

1. 苏联用于轧制彩色显象管中荫罩带钢的二十辊机(13、14、15)，1970年底在马格尼托哥尔斯克钢铁公司建成，以后逐步运转投产。钢带宽度为600毫米，成品最小厚度为0.05~0.15毫米，厚0.15毫米时成品精度：成卷为 ± 0.004 毫米，600×600单张时为 ± 0.002 毫米。

2. 法国1971年以来也建成并投产森吉米尔式二十辊机两台，钢带最大宽度为670毫米，成品最小厚度各为0.05及0.1毫米，但轧制精度仅为 ± 0.01 毫米，尚不够理想。

3. 捷克生产了一种C₂₋₁₂₀₀型二十辊机，为冷轧3.25%硅钢带轧机配套用，成品最大宽度1050毫米，最小厚度0.1毫米，厚度为0.3毫米时，保证公差 ± 0.01 毫米。

4. 日本近年来大造宽幅森吉米尔二十辊，六十年代造的多数宽1270毫米，七十年代造的宽度都达到1580~1600毫米。

偏八辊发展时间比二十辊较迟。它的主要特点是在普通四辊轧机的工作辊侧向增加了支掌装置，同时工作辊相对于支掌辊垂直中心线偏移了一个较大的距离，这是名称的来源。国外生产这种类型的轧机以西德为主，国内从七十年代起，也在进行仿制设计中〔16〕。

偏八辊轧机的特性，以最近文献发表按装在民德的一台小型的 $\phi 70/\phi 500 \times 500$ 为例〔17〕：

工作辊直径	70 毫米，	垂直支掌辊直径	500 毫米，
辊身长度	500 毫米，	成品最大宽度	420 毫米，
坯料厚度	1.5~3 毫米，	成品最小厚度	0.04 毫米，
厚度公差：当宽度为 200~350 毫米，厚度为 0.2~0.05 毫米时，横向公差 ± 0.001 毫米			

1971 年，一种新型的薄带轧机问世了，叫做泰勒式轧机〔18、19〕，目前已能稳定地生产厚 0.05×600 毫米宽的薄带，并主要用于轧制彩色显象管荫罩带钢，后者是一种厚 0.1 毫米的低碳钢带，对平整度要求极高。

泰勒式轧机的轧辊在垂直方向中心仍成一线，但布置方式仍有两种类型：一种是五辊式，一种是六辊式。一般四辊轧机中以支掌辊传动，工作辊以摩擦力驱动，容易弯曲。泰勒式轧机中改以中间辊传动（在支掌辊与工作辊之间），当上下传动力相等时，工作辊在偶力下旋转，没有前后倾侧力量。关键是采用以涡流原理工作的探头，放在工作辊前，用以测定工作辊的弯曲程度，从而调节上下传动力，使之相等。

以文献介绍为例，宽度可达 600 毫米，成品厚度可达 0.05~0.25 毫米。

我国各精密合金工厂的轧机，除近年来进口若干台外，多数仿制苏修五十年代的设计，与现阶段国外情况差距很大，因此设备的改造任务，已经提到日程上来了。但是根据国外发展趋向，我国应该推广那种轧机较为妥当，我们认为应该区别对待，不应强求一致。

我们认为：偏八辊的有利条件是它是在四辊轧机的基础上发展起来的，从旧设备改造角度考虑，可以利用机架和一部份其他装置。

但是从发展新型轧机来看，森吉米尔二十辊轧机的机架刚性好，理论上说精度较为可靠；而泰勒轧机也是从四辊机发展起来的，轧辊中心在同一垂直线，布置比偏八辊更简单，是一种新颖设计；国内都应该从速进行试验。

2 轧机只是实现精密轧制的基本条件，而要得到满意材料表面状态，还得依靠其他条件的配合。例如轧辊材料的硬度和光洁度是非常重要的，应该引起足够的重视。同时还需要依靠调整和自动控制。影响轧制精度的因素很多，辊型、润滑、温度都是调节的条件。习惯上各国的二十辊机都采用第一列中间辊轴向移动进行调节的，同时日本等国采用电液伺服阀等液压机构，提高了反应速度，有的还配以电子计算机系统，这都是应该重视和研究的关键方面。

三 难变形精密合金的压力加工

列为生产牌号的精密合金，通常塑性都比较好，并不难于变形，只有个别的塑性则不够好，而随着科研工作的发展，出现了许多新品种精密合金，其中有些较难变形，典型的是6.5% Si 钢、Fe-Si-Al 合金和 Fe-Al 合金。这些合金都有他们的特征，除了磁致伸缩值极低、噪声小、导磁率高的外，特别是不含战略元素 Ni，因此研究的单位极多。精密合金的难的变形与高温合金不同，后者是高温强度高，变形温度极窄，较难掌握，而前者是本质上较脆。解决难变形精密合金的加工途径，有些资料中提到采用温轧加工，也有些资料认为应找出难变形的基本原因。我们认为后者是正确的，温轧不一定是唯一的途径。例如这类合金多属铁素体组织，晶粒粗大，(包括铁素体不锈钢 Cr₁₂ 和 Co₁₀V₂)如果能细化晶粒，控制热轧条件，也许会有利于冷轧。从这一点出发，有些作者建议采用较纯原料，(例如对6.5%硅钢)以提高合金纯度和减少内在夹杂物，这对提高塑性会有很好的效果，在文献和实践中都已充分证实了这一点。最近的日本专刊报导对超 Fe-Si-Al (Supermendust) 合金中，加入2-4% (<6%) 的 Ni，采用电渣熔炼获得沿纵向结晶，以改进其加工性能。并按不同

厚度，采用不同温度的热轧、温轧、冷轧，可以得到满意的成品〔20〕我们认为采用这些综合措施是合理的。

各种文献提到温加工的情况不少。但近年来国外详细介绍温加工设备的资料不见报导。可能国外这一问题早已解决，故不作为一个问题提及。其实温加工这一含义是相对性的，许多有色金属的加工温度，从黑色金属来看就是温加工，只是精密合金在这个温度温加工变形抗力仍大，并要求在轧制过程中保持均匀，显得与一般不同，一些小节只能在实践中摸索。

六 精密合金的热处理

热处理是精密合金生产中一个重要环节。冷轧过程的中途需要进中间退火热处理；弹性合金等为了获得最终性能需要进行成品硬化热处理；软磁合金为了获得一定的组织，在大压下量冷轧后，需要进行再结晶热处理。一切热处理都包含加热、升温、保温、按一定速度快冷或缓冷，只是温度条件各各不同。

热处理设备中，管材和棒材需要细长的容器，丝材及带材多数或卷进行热处理，有时则进行连续热处理。精密合金的热处理多数采用电加热，而其气氛，或者用真空，或者用保护气氛，或者用氢气，后者还带有提纯的因素，这些都是大家所熟悉的。

近年来，热处理设备和工艺上的改革还是比较多的，但这些改革多数针对特殊钢及其零件，并不直接针对精密合金。这些改革一般由两个因素产生：一个是石油价格提高后，资本主义国家能源紧张，从减少能源消耗着手；另一个是公害日益严重，尽可能取消一些有毒的气体、液体和排出物。属于前一种因素的有采用感应加热、盐浴加热、流态化加热；属于后一种因素的有取消氰化物、采用气体渗碳、辉光离子渗氮、气体的完全燃烧等。

这些工艺能不能沿用于精密合金，其中有些今后有采用的可能，例如高频感应加热和盐浴加热，对节约能源有利。另外还有一点值得介绍，国外的隔热材料目前采用非金属纤维编织物日益普遍，这些隔

热材料绝热性能好，用一个薄层就可以代替原来几层耐火砖，对改造旧设备扩大装入量有利，但国内这些纤维尚待生产供应。

现在，在精密合金新牌号中，磁场热处理也已日益普遍。从实验室角度讲，磁场热处理几十年前已经开始，并不新鲜，但是一些新牌号软磁合金，都是经过磁场热处理后，才充分发挥其特性，如中Ni合金、6.5%硅钢，超Fe-Si-Al合金等等，因此逐渐受人重视。从设备和工艺角度来看，虽然没有突出的问题，但也尚无定型设备。

七 精密合金的粉末冶金

电子工业的迅速发展，要求元件的性能高度一致以达到充分的互换性，因此对精密合金材料提出了更高的要求，例如可伐合金和坡莫合金的成份有微小偏差时其磁性能与膨胀性能相应有较大的偏差。冶炼法很难将成份控制在窄小范围内，而粉末冶金法在这方面都具有极大的优点。

1962年美国沙而文电气公司用粉末法生产可伐合金，随后扩大品种包括Fe-Ni系封结合金及电子发射用纯镍等金属。1966年美国Spang特殊磁性材料公司开始用粉末法生产磁性及膨胀合金。日本住友特殊金属公司也在1966年用粉末法生产精密合金。此外西德真空熔炼公司及克虏伯公司亦列有用粉末法制造的软磁合金专门牌号，如PemenormS和Permenorm 5000G，等。

采用粉末法生产精密合金有下列优点：

1. 纯度高：粉末法不需要Mn、Al、Si、Ca等脱氧剂，没有耐火材料炉衬和锭模所带入的非金属夹杂，有害杂质S及粉末中氮和氧很容易在通氢烧结中去除，容易获得高纯度。

2. 化学成份准确：这是粉末法的最大优点，可以使性能数据波动范围极为窄小。例如可伐合金用冶炼法生产时，脱氧元素Mn、Si等若有微小变化，也会使膨胀系数有明显变化，采用粉末法就可以生产性能充分一致的膨胀合金。

3. 优良的重现性：精密合金不仅要求一批产品之间性能波动小，

而且要求各批产品之间性能重现性良好。以软磁合金为例，冶炼法成份波动范围较大，要达到特定性能，往往需要从许多炉号中挑选；采用粉末法就不必挑选，使生产大为简化。

44 收得率：虽然金属粉末制造较繁，成本也较高，但生产精密合金材料时损耗率极低，没有熔损及坯料精整等损耗，所有粉末几乎均被压制成锭。粉末锭在冷轧及热轧过程中损耗亦较一般方法为低。它纯度高带来优异的韧性，轧制时边缘很少开裂。粉末法生产的Fe-Ni合金带材可以冷轧到0.5毫米，尚不需切边精整。带材轧至0.0.125毫米时，收得率可达85%，而封接合金的棒材和带材，粉末法的收得率可达95%。这方面具有极大的经济意义。

精密合金的粉末冶金生产，基本上是两种类型：

1. 压结烧结法：将粉末按配比混合均匀，压制成锭，经烧结后按一般锭坯热轧或冷加工。目前已广泛将用液静压压结，而烧结则或者用带耐火材料内衬的通氢电阻炉，或者用不带炉衬的幅射屏式电炉，后者可以在氢、真空或惰性气体下工作。

2. 粉末直接轧制法：这种方法研究得很早，而实际应用大约在六十年代末期才开始。混合均匀的金属粉末，通过专用轧机轧成粉末坯带，然后在1100~1300°C通氢炉中连续烧结，再热轧及冷轧成成品。日本介绍用粉末轧制法制成4~6%硅钢和铁硅铝合金，其他国家也列举过许多粉末轧制精密合金牌号，这些合金往往都是常规冶炼法所很难制取的。

参 考 文 献

1. Ю.А.Грацианов等：“精密合金冶金学(Металлургия прецизионных сплавов)” 1975年。
2. О.Н.Альтаузен等：“精密合金手册”中译本
3. Tech. Mitt. Krupp Forschungsberichte 1967年25卷1~10页及1968年26卷1~17页；西德真空熔炼公司样本1970年。
4. H. Fahlenbrach：“Forschritte bei Weichmagnetischen Eisen-Nickel-Legierungen mit mittleren Nickelgehalten” Radio Mentor Electronics 1973年8月39卷8期331~334页。
5. 戚墅堰机车车辆工艺研究所：“等离子弧熔炼”机车车辆工艺 1973年第1期14~25页，第2期27~36页。
6. 上海交通大学工厂铸工车间：“用等离子强化工频感应熔炼电炉” 1975年第6期5-8页。
7. 上海交通大学510教研组：“等离子弧在电炉炼钢中的应用”电炉 1976年第1期29~42页。
8. Chiaki Asada等：“等离子感应熔炼(Plasmainduktionsschmelzen)” Neue Hütte 1971年11月657~660页。
9. 涉川工场2t等离子感应炉，电气制钢1976年1月47卷160-63页
10. 加藤等：“等离子感应熔炼的坡莫合金的性能”电气制钢 1974年7月45卷3期165-174页
11. 公开特许 昭 49-96920
12. 中南矿冶学院：“二十辊轧机” 1974年10月
13. А.Н.Целиков等：“轧制电子显象管用钢带的精密轧机” СТАЛЬ 1973年1月43~46页，已译于重型机械1973年10月5期20~23页

14. Д.П.Галкин 等：“在二十辊机上薄带生产工艺的拟订”
СТАЛЬ 1973年11月 1014~1015 页
15. С.П.Антонов 等：“显象管用钢带生产工艺拟订和设备调整”
СТАЛЬ 1975年5月 432~434 页
16. 北京钢铁学院：“偏八辊轧机” 1974 年
17. V.Eberhard Otto 及 E.Auston：“新型薄带冷轧机”
Neue Hütte 1972年2月 82-86 页
18. Iron & Steel Eng. 1975年3月 35-38 页
19. Sheet Metals Ind. 1973年7月 397~399 页
20. 山本达治等：Ni 对超 Fe-Si-Al (Snpersendust) 合金磁性的影响 日本金属学会志 1976年10月 40 卷10期
975-981 页及日本公开特许昭 51-28519。

号	料	系天金合新式	4	基	格
138-133					
238-112					
•XN88-XN85					
•XN88					
МН87-ДН88					
•ДН71-•ДН88					
•XN71-XN85					
•ДН88-•ДН88					