

编号: (78) 0013

内 部

出国参观考察报告

西德、奥地利锻造工艺和设备

科学技术文献出版社

31-53
2

目 录

第一章 概况	(1)
一、锻压机械制造概况.....	(1)
二、锻压生产的专业化和集中化.....	(3)
三、大力提高钢材材质性能来提高锻件性能.....	(4)
第二章 炼钢部份	(5)
一、炼钢.....	(5)
二、钢水的处理.....	(10)
三、钢的浇注.....	(18)
第三章 自由锻造	(19)
一、自由锻造设备.....	(19)
二、水压机自由锻造工艺.....	(35)
三、锤上的自由锻造.....	(43)
四、环形件的生产.....	(45)
第四章 模锻	(45)
一、西德、奥地利模锻车间概况.....	(45)
二、模锻件生产主要工艺过程简介.....	(46)
三、西德、奥地利常用的锻压设备.....	(52)
第五章 GFM精密旋转锻造	(91)
一、精锻机的发展简史概述.....	(91)
二、精锻机的型号介绍.....	(92)
三、机械传动的SX型精锻机的结构特点	(96)
四、液压传动SPX和SP2型锻造机的结构特点	(101)
五、连续锻造机的结构特点.....	(101)
六、精锻机, 锻造工艺的编制.....	(103)
七、三种类型锻造机的应用范围及优点.....	(104)
八、精锻机在西德和奥地利的使用情况.....	(104)
九、使用精锻机的经济效果分析.....	(108)
十、管形零件的热锻和冷锻.....	(110)
十一、锻造工具的设计.....	(112)
十二、热锻和冷锻空心管的辅助工作.....	(113)
十三、GFM精锻机在国防生产上的应用	(113)

西德、奥地利锻造工艺和设备

赴西德、奥地利锻造考察组

我们锻造考察组这次参观和考察了西德及奥地利的自由锻造和模锻生产工艺与设备制造以及原材料的准备等情况。1977年9月13日—10月14日,我们在西德参观考察了22个工厂,其中锻压设备制造厂9个,锻件生产厂13个,还参观了第二届欧洲机床展览会部分展馆。同年10月15日~11月4日,我们在奥地利参观考察了6个厂,其中一个旋转锻造设备制造厂,1个机床厂,4个锻件制造厂。

现将我们参观考察的情况介绍如下,供参考。由于水平有限,文中有错误的地方,请予批评指正。

第一章 概 况

一、锻压机械制造概况

1. 发展简史。西德锻压机械行业历史较长。早在十九世纪五十年代就已有一些企业生产空气锤和手动螺旋压力机。我们在西德参观考察的9个设备制造厂有8个是有百年历史的老厂。如奥穆科(Eumuco)公司从1882年起就生产蒸汽锤,哈森克勒佛(Hasenclever)公司建于1855年、贝歇(Bëchë & Grohs)公司于1875年建厂、西德目前最大的机制压力机厂舒勒(Schuler)公司是1839年建厂的。

西德的重型锻造水压机和模锻水压机制造历史也较长,目前世界上第一批重型锻造水压机和模锻水压机,大部分是德国制造的(当时的几家主要工厂都在现在的西德境内)。

三十年代法西斯德国,为了扩军备战,发展飞机生产,在1939年制成了第一台7000吨模锻水压机。1935年液压公司(现名得马克液压设备公司Demag Hydraulik-Anlagen)和史洛曼(Schloemann)公司分别制成一台当时最大的15000吨自由锻造水压机;以后不久又制成了15000吨模锻水压机;1944年史洛曼公司制造了一台30000吨模锻水压机,是当时最大的一台。

2. 生产能力、品种和生产率。西德的锻压机械工业发展迅速。产品的品种较全、质量较好。目前在品种、产量和技术水平方面都居世界前列。1972年西德生产58,520台锻压机械,相当于当年机床产量的38.8%,总重181381吨,产值为19.5亿西德马克,均高于美、苏、日等国。

1971年,西德的锻压机械行业估算有36000人。全员劳动生产率为52800西德马克(折合人民币37000多元),按台数计算为1.6台锻压机械(包括手动式)。有的公司全员劳动生产率达80000西德马克(折合人民币56000元)。

1972年西德大体上有166家生产锻压机械的厂商,其中约104家为专业公司。大多数为中小规模的专业厂商。如奥穆科公司只有600人,哈森克勒佛公司有500人,著名的无砧座锤生

产厂贝歇公司只有300人。千人以上的厂据说不超过5家。如舒勒公司，史洛曼公司和得马克液压公司等。生产各种重型锻压设备的有45个专业公司。如贝歇公司制造了一台150吨米的无砧座锤，奥穆科公司制造5台12000吨楔式模锻压力机；哈森克勒佛公司制造了12500吨液压螺旋压力机。得马克液压公司正在为罗马尼亚制造一台15000吨的自由锻造水压机。

迄今为止，西德有133个通用的锻压机械系列和12个大类专用品种。在产品的技术水平和生产经济指标高于苏联，在产品的产量和产值方面高于美国，而产品的全面性和行业生产能力方面又高于日本和西欧各国。

3. 工艺和设备概况。西德的一些专业锻压设备制造厂厂房多是逐渐扩建而成，虽均为钢架结构，但并不高大宽敞；有些设备也比较陈旧；但他们重视大型和高效率的关键设备。舒勒公司拥有 $\phi 150\sim 250$ 毫米的落地镗铣床9台， $M18\times 2500$ 毫米人字齿轮专用加工机床1台以及150吨和100吨吊车等设备。奥穆科公司有 $\phi 250$ 毫米落地镗铣床和 3.2×10 米的龙门铣床。哈森克勒佛公司也有100吨吊车和 $\phi 240$ 毫米的镗铣床。

为了提高生产率，以铣代刨的趋向十分明显，精铣后精度达 $\nabla 7$ 的光洁度。有些厂已在镗床上采用数字显示系统，据称生产率可提高25%。此外，对镗孔刀具实行机外予调减少了辅助时间。另一个趋向是采用数控程控装置。西德得马克液压公司和奥地利的GFM精锻机制造公司的机加车间的机加设备全部采用了数控。舒勒公司还采用电子计算机进行生产管理和复杂的工程计算和制图等。

为了适应单件生产的需要，大中型的锻压机械大多采用焊接结构，焊接件经退火处理。单件生产的铸件也使用泡沫塑料，省掉费工费时的木模，自硬砂的应用也较多。

4. 锻压设备制造企业概况。西德锻压设备制造企业在长期资本主义的竞争中，逐步形成几种不同类型的专业，各主要公司之间逐步形成了分工，也各自形成了自己的技术特长。

首先，各公司之间主要按锻压工艺或使用部门分工，负责成套供应，组织对口经营。大体上可分为锻造机械、冲压机械、板材加工（剪切、弯板和校平）机械，线材加工（剪切、弯曲、校直、拉拔和编织等）机械以及紧固件加工机械等几类专业制造企业。奥穆科、哈森克勒佛、贝歇等公司均属模锻专业制造厂；史洛曼、得马克液压公司专门生产自由锻造液压机；舒勒公司专门生产冲压机械、佩尔策·埃勒斯公司是紧固件加工机械的著名厂商。

也有按产品传动方式或结构特点实行专业化生产的。如有专做液压机的、有专做机械压力机的、有专做模锻锤的等等。

其次，西德锻压设备制造行业的工艺专业化比较高，因而工厂专业化强，外协件多。这些公司的工厂，大多只有机械加工和装配车间。铸锻和热处理基本上依靠外协，工具和机修有的也依靠外协。液压气动元件、离合器和制动器、润滑系统以及各种机械化、自动化装置也大多外购。这样锻压设备制造厂只需要加工机器本体和装配，因而发展品种迅速、设备和厂房投资也较少。

据报导，西德六家主要锻造设备制造厂的外协、外购件的费用约占总产值的30—40%，有的厂家这一比重还要更高一些。

这种工艺专业化生产和技术的发展提供了一定的便利的条件。

5. 重视产品设计，工程技术人员比重大。西德的一些锻压设备制造厂中设计人员比重较大。如哈森克勒佛公司全厂500人，工程师80人；奥穆科公司600人中有100名工程师，舒勒公司2000人，仅设计师就有280人。一般工厂，工程技术人员均占全厂人数的15~20%。史洛曼和得马克液压公司各有一座设计大楼，有上千人在那里工作。舒勒公司的一座设计大楼

也于几年前竣工使用。该公司设计部门采用电子计算机计算、部分描图工作也由计算机来完成，图纸的保管存取也采用计算机，从而提高了效率和设计精度。

6. 西德是世界上锻压设备最大的输出国。早在20世纪初，当时的德国有些公司已向国外出口锻压设备。二次大战后长期以来出口值占产值的50%以上。1969~1972年间，依次占61.8、57.8、55.1和59.6%，成为世界上锻压设备出口量最大的国家。1972年，西德锻压设备出口值中的86%出售给东欧、西欧、美国、日本、加拿大、奥地利等国家。特别是6个所谓工业大国就占当年出口总值中的44.2%。按进口值他们依次为法、意、苏、美、英、日。至于西德锻压设备的进口量则不大，相当于其当年产值的10%，主要来自美、意和瑞士。

7. 奥地利的锻压设备主要来自西德。但奥地利的GFM公司生产的旋转锻造精锻机是比较有名的，大量销售国外。目前该公司已能生产锻打力为1400吨的S×65型精锻机，并正在设计锻打力为2500吨的S×85型精锻机。

8. 锻压设备的发展趋向及其产量的内部构成比。自动化是锻压设备发展的总的趋向，在第二届欧洲机床展览会上，我们看到的锻压设备自动化程度较高，展出的自动送料装置、自动化单机、自动线及数控和程控装置的机器占有很大比例。锻压设备的改造和发展都反映了这个趋势。自由锻造设备配置了操作机和各种辅助装置也都为锻造设备机械化和自动化操作创造了条件。大锻件生产线的锻造设备实现了集中控制。

压力机增加，锤日益减少，这是多年来锻压设备产量内部构成比的一个总的发展趋势。当前国际生产的锻压设备中，机械压力机的比重最大，一般约占35~45%。西德的机械压力机占32.2%，锤的产量一直不高。1960年美国各种锤的总产量已降到68台，占当年锻压设备总产量（包括手动式）的0.14%。1972年西德锤的产量为370台，占0.6%。由于热模锻压力机、锻造液压机的发展，由于机械化、自动化的发展，也由于锤的“公害”日益突出，锤日趋减少。无砧座锤和新的液压锤的出现可能会延缓这一进程。

不过，降低锤的构成比（特别是在拥有量中的构成比）是有条件的。例如锻造生产的集中化和农机具配件的集中生产中显著降低。

二、锻压生产的专业化和集中化

锻件生产实现合理专业化和适当地集中化是发展锻压工艺和设备制造的重要条件之一。美国、日本的锻件专业生产厂在锻件生产中已占重要地位。西德和奥地利的情况也是如此。我们参观考察的17个锻件生产厂都是专业化、集中化的锻件生产厂或以外销锻件为主的兼业厂。西德的蒂森成形技术公司(Thyssen Umformtechnik)是我们看到的最大的模锻件生产厂。据介绍，它也是欧洲最大的模锻件专业生产厂。全厂2568人，1976~1977年度营业额达二亿八千一百万西德马克。全公司有两个厂，共有30多条锻锤和压力机的模锻件生产线。1977年一条以奥穆科公司生产的12000吨楔式机械模锻压力机为主设备的生产线投入生产、专门生产曲轴等零件。欧洲有32家有名的汽车、机器制造、发电、化工、发动机制造厂在该厂订购锻件。其中包括福特汽车公司、大众汽车公司、奔驰汽车公司等。我们在参观福特汽车公司的锻造车间发现，这家汽车公司不生产曲轴，而从锻件专业生产厂订购。西德的格拉赫(Gerlach)公司也是规模较大的锻件专业生产厂。该厂也有一条以12000吨楔式压力机为主的生产线，还有一条以8000吨压力机为主设备的生产线，连同上述两条生产线在内，该厂共有9条生产线。

锻件生产的专业化和集中化有以下优点：

(1) 提高了设备利用率, 避免了设备分散、大大减少了锻压设备的需要量, 并能节约机械厂的基建投资和缩短基建周期。苏联的机械制造厂、铸锻冲压工种无所不包, 结果生产分散、设备效率发挥不高。因此, 虽然苏联锻压机械拥有量比美国多92~93万台, 但其机械工业的产量仅为美国的70%。苏联2537家机械厂中有22100台锻压设备, 其中第一班全然停工未有生产的有23%。

特别是些高生产率的昂贵锻压机械, 如果分散设置, 则其需要量增加, 而利用率降低, 经济效果也差。奥地利利用一台GFM精锻机集中生产小口径步枪枪管, 一台机床的产量就满足了全国的需要量。又如奥地利的贝勒(Böhler)钢厂中的一台1000吨GFM精锻机, 每月锻件产量达1600~1800吨。因而生产率高, 锻件交货期短、竞争能力强。

(2) 锻件生产的专业化和集中化有利于采用先进的工艺和设备, 有利于设备的配套、成线、机械化和自动化, 因而也有利于提高生产率。我们参观考察的17个工厂中, 虽然有一些是具有百年历史的老厂, 但由于生产专业化和集中化, 因而采用新工艺和新设备快。如12000吨楔式机械模锻压力机是70年代产品, 世界只有5台, 而西德却已有了3台以此设备为主的生产线, 并且全部在锻件生产的专业厂内。又如蒂森成形技术公司内的一条生产齿轮毛坯的高度自动化的四工位热模锻压力机生产线也是70年代的产品。西德克莱费尔特的TEW优质钢厂是世界上第一个采用大型精锻机的工厂, 奥地利贝勒公司是世界上第一个采用以GFM 1000吨精锻机为主的自动化生产线的工厂。就连新近发展的电动液压锤已在西德的格拉赫工厂和奥地利的斯达野(Steyr)工厂投入生产使用。

我们参观的17家锻件生产厂中, 设备都是配套成龙的生产线, 机械化上下料、输送料或进出炉, 没有单机生产的。

三、大力提高钢材材质性能来提高锻件性能

西德、奥地利的一些重要锻件专业生产厂或兼业厂都设在钢厂, 或为钢铁财团所兼并。这为提高锻件性能提供了条件。我们参观的17个锻件生产厂有15家都设在钢厂, 有两家为钢铁财团兼并, 这两家是蒂森成形技术公司和格拉赫公司。

布得鲁斯钢厂(Buderustahl)认为组织的再结晶是锻件机械性能和密度的基础。为此要根据锻件的用途来确定炼钢的工艺, 以提供优质的锻造原材料。克虏伯冶金厂认为重型锻件的钢水不经除气处理是不可想象的。为此近十几年来各国都大力发展各种炼钢工艺, 特别是炉后的精炼和除气工艺, 以提高锻件性能。现代大型的机电产品锻件或重要的产品锻件如飞机、军械、船舶、发动机等锻件的炼钢工艺和设备都得到了迅速的发展, 其重点是炉后精炼和除气处理。方法繁多, 有吹钙粉法、渣洗法、电渣热冒口、真空除气、吹氧吹氩法等, 并且都已实际使用多年。通过炉后精炼或除气可提高材质的纯洁度、降低磷硫等非金夹杂或改变夹杂形状、降低气体、特别是氢气的含量, 这样大大改善了锻件的性能。对一些异向性小, 性能要求更高的锻件则采用了真空熔铸或电渣熔铸来制备锻造的原材料。

锻件厂附设钢厂还有利编制先进的锻造工艺。奥地利贝勒钢厂的模锻车间就是一例。这个车间以生产叶片为主, 由于他们对叶片材料摸得透, 因此能够用较老的模锻锤来生产过去只能在压力机上生产的性能优异的叶片, 在国际市场上加强了竞争能力。

锻件专业厂设在钢厂还有利于组织锻造生产、解决生产中出现的問題, 也有利于回收废钢。

第二章 炼 钢 部 份

一、炼 钢

由于现代科学技术的发展，对钢铁材料的性能不断地提出了更高的要求，因此炼钢技术为了适应科学发展的需要得到了不断的发展，平炉、电炉、转炉等大量炼钢方法先后成功用于生产，对于性能要求高的钢已采用电渣和真空熔炼等方法进一步精炼。我们对西德、奥地利的与冶炼有关的九家工厂的考察，认为目前用于炼钢的手段主要是电弧炉和氧气顶吹转炉（LD），对于质量要求更高的材料才采用电渣重熔直至真空熔炼等方法。我们参观的炼钢厂有西德的克虏伯冶金厂（Krupp）、布得鲁斯钢厂（Buderus）、蒂森TEW（Thyssen Edelstahl Werke）、蒂森海因利希（Thyssen Henrichsütte）、布斯高特哈兹冶金厂（Boschgotthardshütte）、鲁西林布尔巴赫（Röchling-Burbach）和奥地利的福斯特—阿尔卑联合钢铁厂（Vöest—Alpine）、VEW联合优质钢厂的贝勒工厂（Böhler）及太尼茨工厂（Ternitz）。这些工厂的冶炼设备、钢水处理方法，产量、铸锭方法等列于表2—1。

有关工厂炼钢方法及产量

表2—1

工厂名称	冶 炼 设 备	钢 水 处 理	年产(万吨)	铸 锭
克 虏 伯	LP, 平炉, AOP		650	下 铸 锭
布 得 鲁 斯	电弧炉: 80吨, 30吨	CAB, 钢包除气	14~24	下铸最大80吨
蒂森TEW	电弧炉: 15~75吨四座 真空熔炼炉: 8吨	RH, 钢包除气		
海 因 利 希	电弧炉40吨, 120吨, 电渣 炉60吨, LD150吨	RH	100	下 铸 1—300吨
布斯高特哈兹	电炉, 转炉联合, 工频炉	AOD	0.25	下 铸 最大25—30吨
鲁 西 林	电弧炉, 电渣炉, 真空 重熔及感应炉	大炉钢包除气 小炉DH	250	下 铸 1—105吨
福 斯 特	电弧炉, LD转炉, 中频炉		370	LD连铸 1000×210
贝 勒	电弧炉, 电渣炉, 真空	连续除气法, 渣洗	15	下 铸 1—30吨
太 尼 茨	电弧炉5、10、14、20、 50吨各一台	吹氧降C法	12	下 铸

由上表所列可以看出，主要炼钢方法以电弧炉为主，对于要求高的（如原子反应堆另件和涡轮叶片，钛合金等）另件才用价格昂贵的真空熔炼方法，对于一般要求的低合金钢则采用氧气顶吹转炉（LD）冶炼。下面将在这两个国家看到的各种炼钢方法加以简单的介绍：

1. 电炉炼钢

电弧炉仍为目前冶炼高级优质合金钢的主要手段，工艺上除了采用氧气外，未有更大的革新，但在控制上逐渐采用电子自动控制等先进技术，以蒂森海因利希（即原莱茵钢厂）为例，炼钢厂内配置120吨和40吨电弧炉各一台，150吨纯氧顶吹转炉一台，转炉由高炉铁水经四台400吨混铁车供给。电弧炉的合金料不加预热由输送带通过一个33米高的加料台，加入炉中进行合金化，采用炉内预脱氧和在钢包中加入硅铁和铝进行终脱氧，出钢后进行钢水真空处理，然后下注成钢锭（40吨电炉变压器功率为 $11 \times 10^3 \text{KVA}$ ，120吨电炉变压器功率为 $30 \times 10^3 \text{KVA}$ ）。为了保护环境卫生，采用除尘装置，20吨与120吨的除尘装置是并联使用的，选用了抽气能力为100万米³/小时的抽风机，电机功率为3000KW，其整个炼钢车间是封闭的，从而使它不影响整个厂区及城市的整洁。

2. 纯氧顶吹转炉炼钢

纯氧顶吹转炉也得到大量运用，其优点是产量高，因此如西德的克虏伯和奥地利的福斯特联合钢厂，其70%以上的钢产量都采用此法吹炼，产品合金含量一般不大于3%。

大约一九五二年即开始研究氧气顶吹转炉炼钢法，由奥地利的林茨（Linz）福斯特钢厂（Vöest）和多诺维茨（Donawitz）的阿尔卑钢厂（Alpine）共同研究试验成功，于一九五七年七月正式用于生产，为此福斯特联合钢铁厂于七七年七月还进行了二十周年纪念活动，此法两地共同发明，因此用“LD”来命名。下面介绍一下福斯特联合钢厂的“LD”生产过程：

炉料：冷料为废钢，约占30%，其余为铁水，从高炉经两千吨混铁炉供给，要求低硫、磷，温度为 $1200^\circ\text{C} \sim 1400^\circ\text{C}$ 。

吹炼：氧气压力为9公斤/厘米²，吹入速度为 $360 \sim 400 \text{米}^3/\text{分}$ ，吹炼时间约15~17分钟，后取样用快速光谱分析（约3~4分钟即可），出钢温度为 $1590 \sim 1630^\circ\text{C}$ ，合金化在钢包中进行，出钢时钢的成份：C：0.05% Mn：0.035~0.030%

P：0.01~0.015% S：0.015~0.025%（特殊要求时也可以 $\leq 0.006\%$ ）一般冶炼低合金结构钢如：0.5%C 2%Mn 1%Si 0.5%Cr 0.5%Ni等。

炉衬寿命一般为400~450炉。两台130吨“LD”转炉，一台工作，一台准备，一日23~24炉，产量约为110万吨/年。

转炉上部装有除尘设备。

钢水被卧式连续浇注机注成 $(900 \sim 1000) \times 210$ 毫米方坯，热切成定长。

整个设备由电子计算机和电视进行自动控制。

3. 电渣重熔及电渣热帽口

对于性能要求更高的材料，采用电渣重熔法，它可以提高钢锭的纯度。

电炉钢可以使S、P含量达到很低，但在浇注过程中混入了混合物，因为当钢液注满锭模后，首先结晶的结晶颗粒和渣皮粘合下沉，形成结晶雨现象，造成了底部夹杂和偏析，同时铸锭结晶发展为树枝状晶，产生合金成份的不同，锻造变形使延长，影响材料的性能。表现是纵向性能很好，而横向性能变差，这就是偏析造成的。

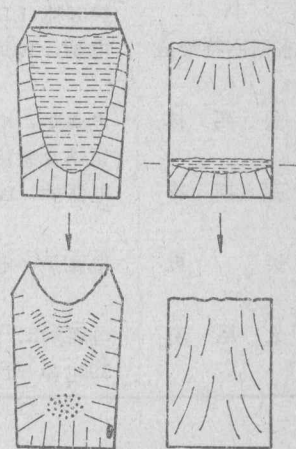


图2-1 常规铸锭和电渣锭的结晶及内部夹杂示意图

氧化钢液结晶过程中和Si、Al、S、Mn等化合而析出，这就形成了夹杂。另外钢锭还有2%的缩孔区，如不注意，就要延伸下去，产生孔隙，一般在锻造时是可以切掉的，但有时夹杂并不能局限在帽口部，而被延伸到中间甚至直到尾部去，这将使整个钢锭报废。

电渣重熔由于改变了钢锭的结晶过程，改善了钢的质量，提高了钢锭收得率（80%），内部均匀纯洁（请参看图2—1，2—2），对锻造、热处理的要求都不高，因此对高合金钢的冶炼更为有利。

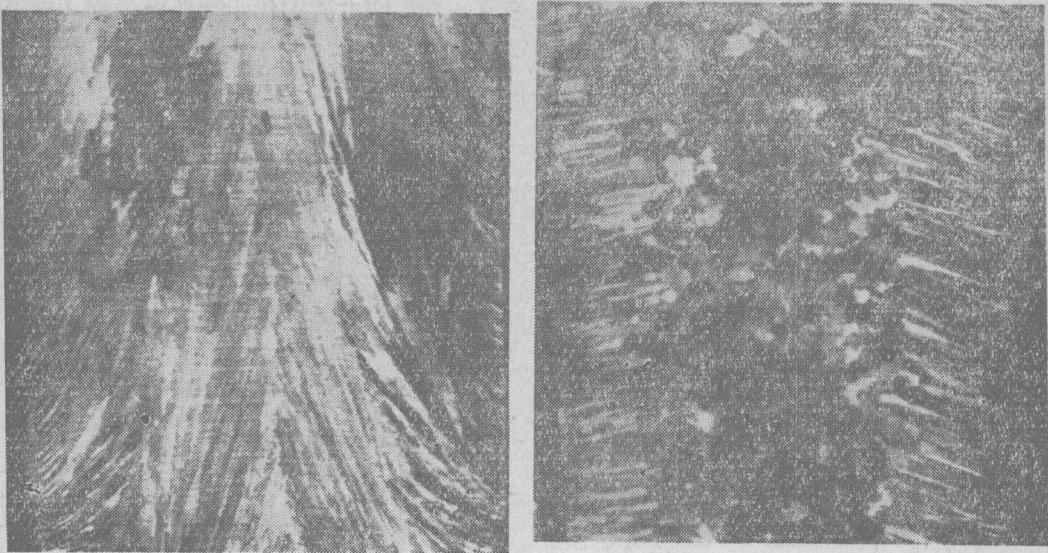


图2—2 常规铸锭和电渣锭剖面结构

电渣重熔结构如图2—3所示，结晶器是水冷的，下面的底板也是水冷的，先放入渣料，用石墨电极起弧化渣，化成后改用金属自耗电极，采用100 V 1800℃高温，使电极在渣中熔化，滴在底板上变成钢锭，结晶器和锭间有薄渣层，热量向纵向散发，熔化率是用电流来控制的（结晶器的直径“单位毫米”乘以0.8即为小时熔化率“单位公斤”）其结晶

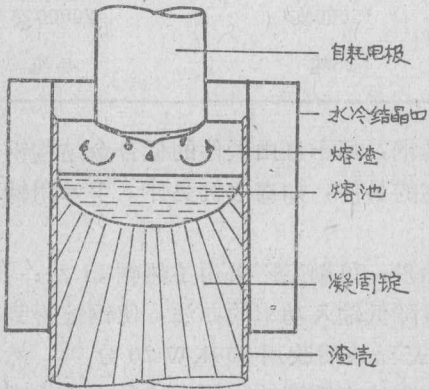


图2—3 电渣重熔装置示意图

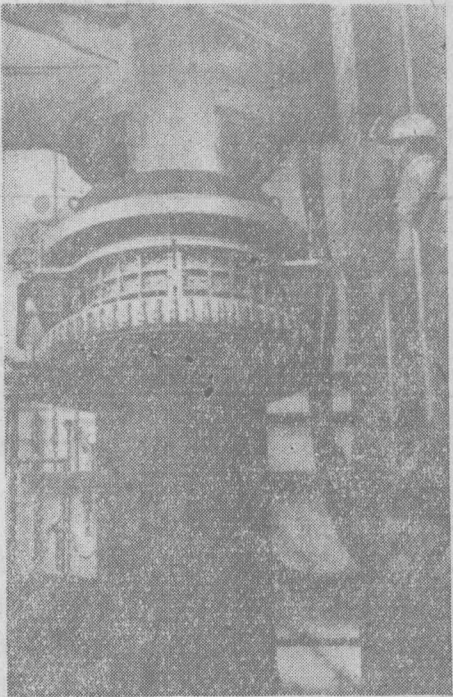


图2—4 结晶器移动式电渣炉

是纵向的，偏析小，夹杂也少。渣为高碱性含有 2—3 %Si，在高温下形成碳化硅，脱氧能力很强，这样含氧量减少了，碱性渣可以去硫。

贝勒工厂的电渣炉为结晶器移动式（见图 2—4）移动速度有两种方法：

（1）人工操作：人观察表面渣线高度，根据经验考虑结晶器的上升高度：

（2）自动测量：用一金属棒测量渣面高度，当渣面与棒接触时，通电使电子装置动作，结晶器上升，断开则停止上升。

从锻件的低倍、高倍、成份偏析分析结果来看，都说明电渣钢优于普通电炉钢（成份偏析见图 2—5，2—6）。

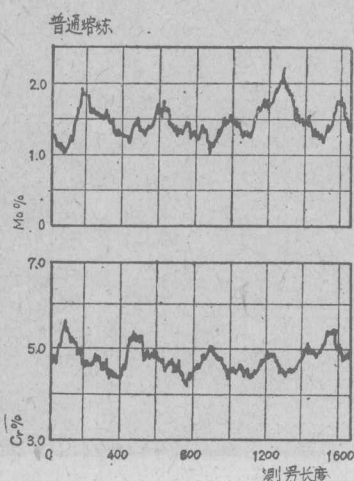


图 2—5 电炉钢成份偏析
(电子扫描)

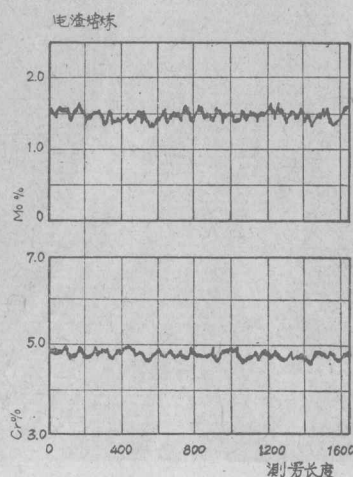


图 2—6 电渣钢成份偏析
(电子扫描)

低倍腐蚀试验，金相组织照片，同样都说明了电渣钢的纯洁性，降低了脆性转变点和提高了机械性能。

贝勒工厂有结晶器移动式电渣炉三台，参数如下：

直 径	550毫米	1000毫米	1150毫米
电 流	13000安	15000安	20000安
自 重	10吨	26吨	40吨

电渣钢及其用途：电渣钢有工具钢，热作工具钢，用于自由锻件的低合金结构钢，高铬钢，高铬镍钢等，用于模具、刀具、工作条件恶劣的另件，如离心机另件，手术用针（穿骨用）。

为了进一步提高钢锭的利用率，减少帽口切除量，贝勒工厂采用了热帽口法：在电渣重熔即将结束时，不马上停止送电，而是采用逐级降低输入功率的办法，使钢锭得到补缩，消除或减少缩孔。如熔炼12吨锭子，功率为750KW结束后改用250KW 20分钟，然后改用200KW 20分钟，最后用150KW 30分钟，以此来达到补充钢液的作用，这种方法就叫做电渣重熔热帽口法。

电渣钢的优点是质量好，材料利用率高，但最大缺点是成本高（2美元/公斤），同时对于大断面大吨位的电渣钢锭也并非完全可靠的。为了能使电炉钢达到高的质量而又不用这么高的成本，贝勒工厂又采用了另一种办法，叫做贝勒电渣帽口法，他们叫B、E、S、T法，其装置原理见示意图2—7。

贝勒电渣帽口（B、E、S、T）法装置如图2—7所示，钢锭模放在底板上，用一个专门的电炉造渣，渣的成份大致为 $1/3\text{CaO} + 1/3\text{CaF}_2 + 1/3\text{Al}_2\text{O}_3$ 的碱性渣，熔化后按所铸钢锭重量的2%加入模中，然后将经过真空处理的电炉钢水注入，再插入一个同样成份的电极送电，组成一个电渣炉装置，上部帽口部渣液部份为水冷套。电极熔化的速度是根据锭中钢液结晶的情况来考虑的，一方面提供了热源，使钢锭结晶速度减缓，使夹杂有更多上浮的可能性，减少了由于首先结晶的晶粒粘附渣皮而形成的结晶雨现象，另一方面使钢液在凝固过程中得到了补充的钢液，同时强碱性渣使钢液脱硫。熔化率开始为锭的5—6%，然后逐渐减少，在24小时内结晶完毕（如40吨锭，开始500公斤/时，结束时40公斤/时）这种方法的优点：

（1）由于热量输入，减慢冷却，不产生普通钢锭凝固时的所谓结晶雨现象，使成份均匀，夹杂分散均匀分布于钢中。

（2）夹杂和氧化物，硫化物等有足够的时间和条件上浮到渣中去。

（3）碱性渣可进一步去硫，可降到0.008~0.015%。

（4）由于补缩，所以无缩孔，钢锭收得率高，利用率为85%（一般为60~70%），请见图2—8。

（5）对于同样钢材，成本低，只占电渣钢成本的1/4。

缺点：

（1）质量次于电渣钢，但大大优于电炉钢。

（2）只适用于40吨以上的大钢锭，小钢锭是不适用的。

4. 电炉转炉混炼（AOD法）

西德布斯高特哈兹冶金厂利用原有电炉和转炉采用新工艺，炼出了高级优质合金钢，并为国外提供过炮管用钢。

“AOD”法是 美国人发明的一种用转炉冶炼不锈钢的方法，即电炉半成品钢水，在碱性转炉中被氩气和氧气进一步脱炭精炼成优质钢的一种冶炼方法。

用“A”表示冶炼中吹入氩气，“O”表

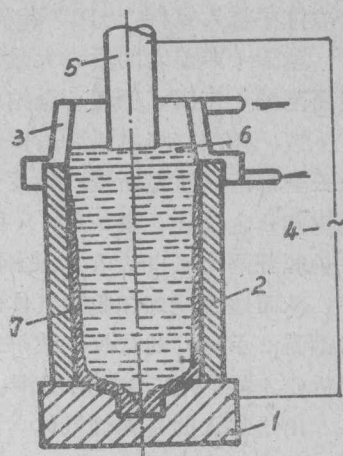


图 2—7 BEST 法示意图

- 图中：
- 1. 锭模底板
 - 2. 锭模
 - 3. 水冷帽口套
 - 4. 电源
 - 5. 电极
 - 6. 渣
 - 7. 正在凝固的钢锭

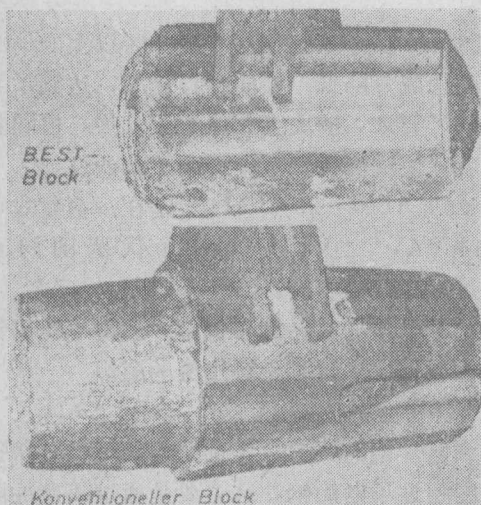


图 2—8 普通钢锭和BEST钢锭比较图

示冶炼中吹入氧气，“D”表示冶炼过程中的脱碳，所以被简称为“AOD”炼钢法。

美国十年前发明后，大量运用于日本、英国等地，布斯高特哈兹冶金厂在实践中扩大了使用范围，炼出了低碳合金结构钢。

该厂利用15吨电弧炉冶炼半成品钢（使含碳量高出规格0.8%左右，一定程度的合金化）扒去全部渣，重造新渣（碱度 $B > 2$ ）装入一座容量为17吨的转炉内，同时加入3吨左右废钢和合金及硅。氩（ Ar_2 ）和氧（ O_2 ）经过管道，混合以后以一定的比例和压力，从碱性转炉底部两个风口吹入，使钢液中的硅、碳等燃烧得到高温，氩使钢水得到更加充分的搅拌，从而达到精炼和脱除气体的作用，大量去除了硫，经过40~50分钟（指一般结构钢，不锈钢需2小时）的吹炼，吹炼过程中要经过四次化学成份的分析（1全分析，2分析C，3分析C，4全分析）合格后出钢，浇铸成钢锭。

由于吹入的是惰性气体，对钢中的CO，H，N等气体的溢出有利，达到了脱气去氢的目的，同时也带出了夹杂物，因此对于电炉钢来说，钢液是更加纯洁的。

二、钢 水 的 处 理

技术发展到今天，单纯电炉钢已不能很好地满足要求，而炉后钢水处理推动了冶炼技术的发展。虽然在冶炼上找到了各种更好的冶炼方法，如电渣重熔，真空中的各种熔炼（如真空中的电子轰击炉、电弧炉、感应炉以及将其真空熔炼和重熔结合起来的冶炼高纯度合金及金属的方法等）但其价格昂贵，终不能大量广泛运用，因此与此同时，贝勒优质钢厂于60年代在电炉冶炼工艺上作过大量的工作，但始终没有成功地炼出轴承钢来。直至今日，钢水炉后处理已成为进一步净化钢液，提高质量的必经之路，特别是真空处理，在高级全脱氧钢种合金钢的制造上，已经成为消除钢中白点，裂纹及其他各种缺陷的最佳工艺。下面就西德、奥地利两国所采用的钢液处理方法作一介绍。

1. 渣洗法

一九三一年佩林（Peirin）发表了用酸性贫FeO与MnO的电渣使钢包中的钢液脱氧的报告之后，一九三三年又报导了用强碱性富FeO渣与磷化钢混合去磷的报告，这样使渣洗法得到了推广，它运用于电炉、平炉钢水的脱氧和脱硫。

Kapfenberg的贝勒工厂用30吨的平炉钢与电弧炉的纯净的反应渣（成分70%以上的CaO其他主要是氟石与硅酸）进行渣洗，从而使结构钢的含硫量降低，横向韧性提高，达到了当时电炉钢的水平，战后从冶炼技术上使钢材质量达到了要求，渣洗工艺停止了发展，但随着技术发展和工艺上的进一步要求（钢材的纯度）这就促使渣洗法又重新得到了大的发展。

1600~1600℃的强碱性的活性渣（如50%CaO 25% Al_2O_3 25% CaF_2 ）是在一台新式可倾式单相熔渣炉中炼得，其变压器功率为540~780 KVA，二次电压90~130伏范围内可调，最大电流强度为6000安，炉子直径1100毫米，炉衬为碳砖制成。

工艺过程如下：将炼钢炉附近渣炉中的熔渣，按钢水量的3%倒入包中，然后尽快出钢（钢水应有足够落差和快速，以保证钢渣混合）出钢后期应尽量避免氧化渣的溢出。

渣洗结果：

（1）降低了氧含量及夹杂物含量使平炉钢达到电炉钢的要求。经过处理的碱性平炉钢锻件纵横向缺口冲击韧性值与电炉钢相当，部分地区超过了电炉钢，这主要是通过氧硫的降低、氧化物在横断面上的合理分布所致，请见表2—2所列。

碱性平炉渣洗钢与普通碱性平炉电炉钢的缺口韧性值

表 2—2

钢 号	冶 炼 方 式	横向缺口韧性	纵向缺口韧性
14NiCr ₁₄	平 炉	17.2	6.8
	平 炉 渣 洗	20.8	9.6
	电 炉	17.6	9.5
16MnCr ₅	平 炉	9.4	6.7
	平 炉 渣 洗	21.4	8.7
	电 炉	19.0	8.4
42CrMo ₄	平 炉	15.3	5.2
	平 炉 渣 洗	16.2	7.5
	电 炉	15.2	7.5

单位为kg/cm²

含氧量见表 2—3

卡分堡（贝勒）工厂钢锭制成100mm方坯后各部含氧量

表 2—3

钢 号	冶 炼 方 式	平均含氧量 (ppm)			
		头 部	中 心 部	底 部	钢锭平均
14NiCr ₁₄	平 炉	45	46	55	48
	平 炉 渣 洗	37	40	60	46
	电 炉	62	67	75	68
16MnCr ₅	平 炉	49	56	56	54
	平 炉 渣 洗	41	44	50	45
	电 炉	47	58	62	56
42CrMo ₄	平 炉	55	68	67	64
	平 炉 渣 洗	52	53	61	55
	电 炉	66	56	53	58
100Cr ₆	平 炉	42	45	45	44
	平 炉 渣 洗	38	40	41	38
	电 炉	48	49	43	41

(2) 脱硫量与钢的含炭量有关, 含炭量越高, 脱硫率也升高, 如 0.7% C 时, 脱硫程度达到 55~75%, 再高时, 去硫效果不再提高。

(3) 随渣量的增加, 脱硫率增加, 当渣量达到钢水量的 3% 时达到顶点。

(4) 高碱性渣的处理, 带来了钢中氢含量的增加, 但与钢的含炭量有关, C % 高, 吸入氢量少, 并与冬夏有关, 一般要增加 $0.5 \sim 2.5 \times 10^{-4} \%$ 。因此钢包及石灰石, 氟石, 铁矾土的加热烘烤是非常重要的。

(5) 钢中的微量夹杂一般为硫化物, 氧化物, 球状 SiO_2 , 点状 SO_2 。渣洗后降低了硫氧含量, SiO_2 没有了, 但点状 SO_2 提高了。

这种渣洗法, 亦用于电炉钢水处理, 为了降低硫氧含量及氧化物夹杂含量 (在电炉中使硫大量去除是费时的)。效果:

当 1.0% C 时 硫从 0.035% 降至 0.010%

当 0.4% C 时 硫从 0.035% 降至 0.012~0.015%

当 0.1% C 时 硫从 0.035% 降至 0.018~0.022%

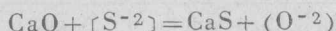
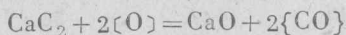
但也同样吸入了氢, 如出钢时 $[\text{H}] = 5 \times 10^{-4} \%$, 渣洗后 $[\text{H}] = 5.5 \times 10^{-4} \% \sim 6.5 \times 10^{-4} \%$ 。

这里的 $[\text{H}]$, 将在真空除气室中处理后钢液才能达到真正的优质。

2. 吹钙法 (CAB)

优质钢锻件要求氧、硫含量少, 异向性小, 无气孔, 一般方法是达不到的, 非金属夹杂物的形状, 大小将影响钢锭的收得率, 这除了改善熔炼外, 仍要采用其他措施, 虽然电渣重熔能全面地改善钢的质量, 但这只能在大吨位时才较合适, 其成本高, 因此就需要一种便宜的工艺方法, 布得鲁斯钢厂 (Buderus) 所采用的吹钙法 (CAB) 处理工艺 (铸前将有钙的载体吹入, 从而达到去 $[\text{S}]$ 脱 $[\text{O}]$ 的目的)。装置示意图见图 2—9。

钢液的成份温度达到要求以后出钢, 然后在钢包中将渣全部扒除, 加入新渣料, 渣成份为 $90\% \text{CaO} + 10\% \text{CaF}_2$, (按 8 公斤/吨加入) 然后在钢包上加一盖子, 利用 “CAB” 吹钙装置, 将粒度为 $\phi 0.2$ 毫米的 CaC_2 粉和 Ar_2 一起吹入钢液中, CaC_2 粉量按 $0.2 \sim 0.5$ 公斤/吨计算 (80% 与渣结合, 另 20% 吹飞) 吹完为止, 时间大约 12~20 分钟。



从而达到脱 $[\text{S}]$ 的作用, 使硫低于 0.003%、主要用于 NiCrMo 钢和 CrMoV 钢。

“CAB” 法所能达到的金相结果和冶金性能与一般方法冶炼的钢相比, 在吨位相同, 尺寸相似的情况下, 有很大改善, 在许多情况下, 机械性能可达到重熔钢的水平, 而 “CAB” 钢的成本只是重熔钢成本的一小部份, 而其应用不受重量和尺寸的限制。

他们处理的是 80 吨的钢水包。

3. 钢液的真空处理

(1) 钢包除气法见图 2—10。

钢包除气法的装置如图 2-10 所示, 将钢包置于真空室内, 然后抽真空, 随着钢水液面静压力的下降, 溶于钢液内部的

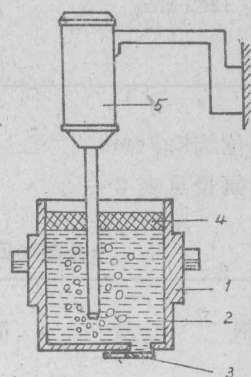


图 2—9 CAB 法原理示意图

图中: 1. 钢包
2. 钢液
3. 滑动水口
4. 渣
5. 吹入有钙载体的装置

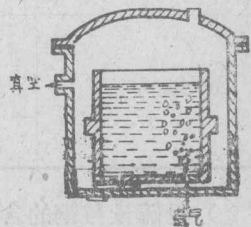


图 2—10 钢包除气法

气体即逸出，产生沸腾，使钢液得到强烈的搅拌。但当容量大时，由于钢液本身静压力的影响，底部除气效果不好，因此尽管他与其他处理办法（RH、DH）比较起来，设备简单，操作方便，投资少，但应用仍受到限制，因此电磁搅拌和通入惰性气体搅拌是十分必要的。

布得鲁斯（Buderus）钢厂，将吹钙后的钢水包置于真空室中，钢包下底有一海绵体的塞头，当真空室抽至0.2毫米汞柱时， Ar_2 从下底的塞头进入钢包，将钢液搅拌而去氢，这使 H_2 、 N_2 、 O_2 和夹杂大量去除， Ar_2 是按0—300标升/分吹入的，但此法耐火材料维护困难，所以电磁搅拌也在其他国家得到了发展。比如Republiec公司在110吨设备中MG感应搅拌装置，0.55赫兹，单相，485仟伏安，每分钟循环一次。

为了补偿温度的损失，可用电弧加热法，1965年瑞典ASEA公司和SKF公司Hagfors工厂所创建，在日本川铁公司水岛工厂100吨设备的处理上得到了应用。

A. Finkl. Sons公司还建造了另外一种型式，电弧加热加气体搅拌的装置。

（2）连续除气法

五十年代西德波洪联合会（Bochmer Verein）发展了钢水真空处理技术以后，贝勒工厂是奥地利第一个采用这种方法的并于一九六一年一月正式投产，紧接着于一九六六年又投产一套出钢除气的真空室装置，因此除气钢的产量在该厂得到很大的增长，74年底真空除气钢占产量的43%，总产达到212,000吨。

甲、浇注除气法：

浇注除气法装置如图2—11所示，钢液流进入真空室，由于膨胀而产生了空心液滴（内含气体），如氢含量开始为 $5 \times 10^{-4}\%$ ，当压力为1.33mmHg时，液滴直径为2毫米。

在除气时一般为1~10毫米直径的空心液滴都含有气体，在液滴下落过程中，在真空中有一部分通过扩散来除气，这时液滴壁厚为0.5毫米，氢气的扩散速度为0.9毫米/秒，液滴自由下落5米（相当于1秒）那么氢气在这段时间内走过0.45毫米的距离是足够的，因此足以使气体逸出，详见图2—11。下图是50吨钢锭的真空室，上图为钢滴下落过程中氢的去除

情况，分为三段，I. 进包，II. 下落，III. 撞击，下落高度5.8米，进入冒口距离2.7米，可以认为在一段内去除80%的氢，由图可以看出，钢锭内含气在 $2 \times 10^{-4}\%$ 以下。但离冒口越近，氢气含量越高，由头部切取试样表明 $1.7 \times 10^{-4}\% H_2$ ，这是因为冒口气体增加的结果。

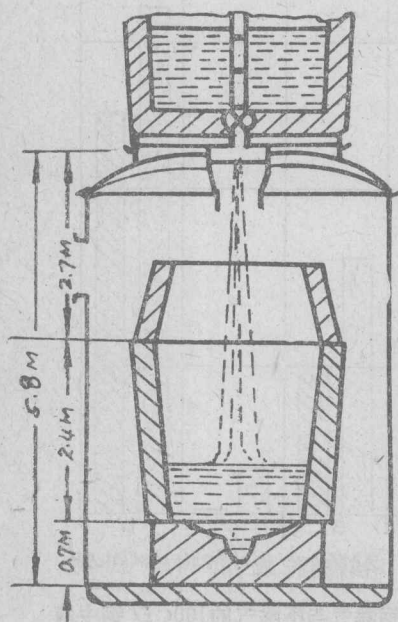


图2—11 真空浇注除气装置

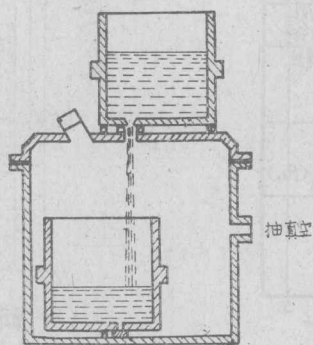


图2—12 连续除气法（倒包法）示意图

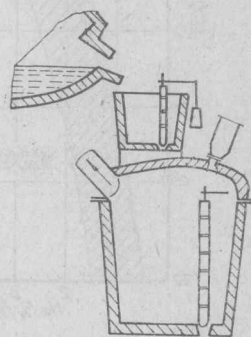


图2—13 出钢除气法示意图

乙、倒包除气法:

这是一种去氢的简单方法见图2—12,即是将一个钢包中的钢液注入另一个在真空室内的另一个钢包中去,速度为3—5吨/分。钢包倒包除气的优点是可以真空处理整钢水,但这种方法的热量损失大,如10吨钢包降温5—7℃/分,同时需要两个钢包,其应用受到了限制。

丙、真空出钢除气法:

2—13为这一装置的简图,它只要一个钢包和一个小的中间包,它的温度损失小,总共只降温10℃。缺点:钢水不能在真空中全部除气,因为不允许渣进入真空室,而在排渣前必须先关闭真空设备的阀门,原因是热渣将破坏真空包的密封,尽管如此,氢含量还是满意的。

除气效果及钢质量的改善。

除气的效果在真空浇注和倒包法除气之间见图2—14。

一般来说脱氢量为60~70%,脱氧量为20—50%如资料报导日本爱知钢厂处理铬钢的结果如下:

钢 种	取 样	H ₂ %	O ₂ %	N ₂ %
Cr 钢	处 理 前	0.00036	0.0059	0.0093
	处 理 后	0.00008	0.0042	0.0062
Cr 钢	处 理 前	0.00035	0.0062	0.0072
	处 理 后	0.00009	0.0054	0.0056

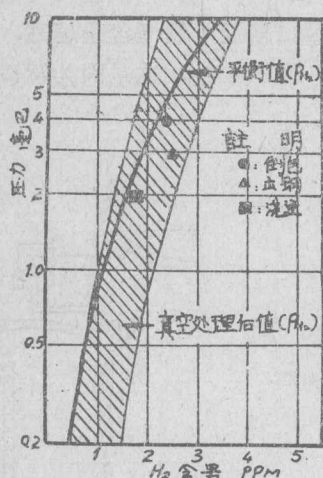


图2—14 几种除气法效果对比线

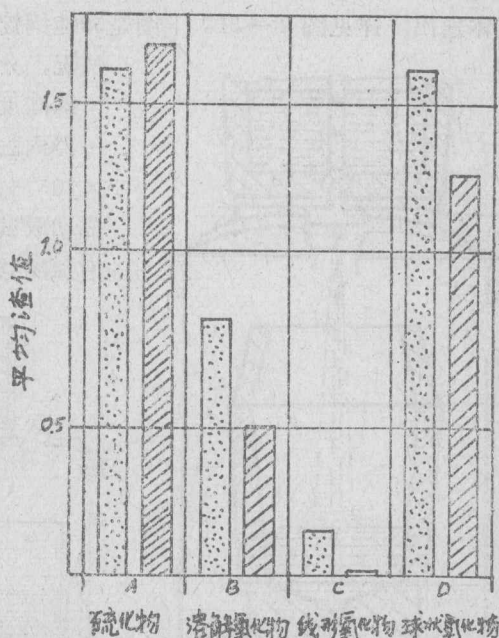


图2—15 经出钢除气与不除气的100Cr₆钢中渣的实际值

改善了钢的质量：贝勒工厂最初制造轴承钢利用真空处理后改善了夹杂的含量，如图2—15为用出钢除气法浇注100Cr₆钢与一般浇注法相比，B渣D渣大为减少，只有极少量的硅渣（C型）。

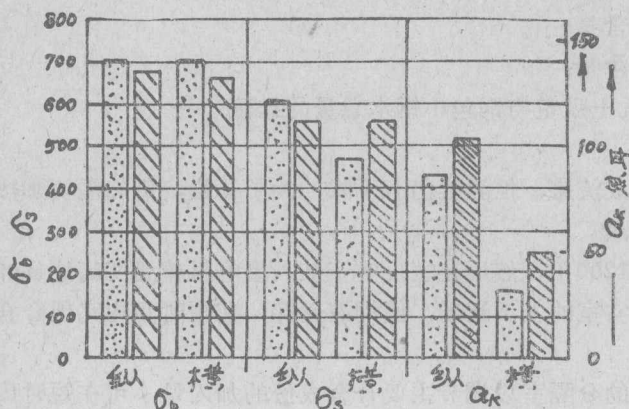


图2—16 16CrNi₆钢出钢除气处理后机械性能

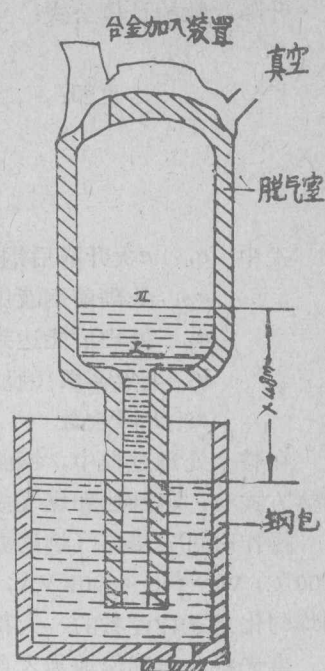


图2—17 DH法原理示意图

图2—16对比了两种方法制得的16CrNi₆钢的机械性。非真空处理，调质至67—71公斤/毫米²时冲击值为86 J（纵向），横向是33 J，纵横比为2.6，出钢除气法处理后的钢水（图中用斜线表示）是103 J和53 J，纵横值比为2.0，这表示钢的异向性能变小了。

并经试验表明，当炭含量在一定范围内时，纯度可与电渣钢相似。

如果一部分合金化由炉中移到钢包中进行，可以提高电炉的生产率，因此将来要使真空处理进行补充加热，用各种形式的电能以补偿热量的损耗。

（3）真空提升脱气法（DH）：

1956年西德Dortmund Hörder冶金联合公司所创建。设备如图2—17所示，由真空脱气室，加热装置，合金加入装置，真空系统所组成。

脱气室高5米左右，一般为固定真空室，使钢包升降，常用冲程为500~800毫米，最大速度6—10米/秒，真空度为1毫米汞柱。但钢包与真空室并非成比例变化，对于大吨位的还是采用真空室升降较为容易，例如西德鲁西林公司，采用使真空室升降的装置。

真空室升降的优点：

- ①对钢包和台车的位置要求不高；
- ②大容量时，真空室轻，易于升降；
- ③占用厂房面积小。

钢包升降法优点：

- ①真空系统管路可以固定；
- ②容易装置复杂的合金加入装置；
- ③处理小吨位钢液时，钢包易于升降；
- ④可以实现脱气室在水平方向的移动。从而可以有效地发挥设备的利用率。