

电渣重熔译文集

1

冶金工业出版社

电渣重熔译文集

1

冶金部钢铁研究院炼钢室译

冶金工业出版社

本书介绍了国外工业电渣炉的一些设计和工艺数据,以及降低电耗和提高生产率的措施,电渣重熔高温合金、钛合金、超高强度钢、铁铝合金的机械性能和冶金质量分析,还介绍了大型电渣炉、双极串联电渣炉以及电渣熔铸生产空心锭、高压容器及异型铸件等新工艺。

电渣重熔译文集

1

冶金部钢铁研究院炼钢室译

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 9 1/2 字数 227 千字

1975年9月第一版 1975年9月第一次印刷

印数 00,001~5,500 册

统一书号: 15062·3187 定价(科三) 0.79元

译 者 说 明

近年来，国外电渣重熔技术发展很快，特别是过去一向发展真空自耗熔炼的资本主义国家（如美、英、西德、日本、奥地利等国）也对电渣熔炼技术给以很大重视。从1967年起，已先后在美国和日本举行了四次国际电渣熔炼技术会议。

遵照毛主席关于“洋为中用”的教导，我们选译了第二届国际电渣重熔会议文集和日本金属材料杂志刊登的部分文章，共十三篇，编辑了这本译文集，供我国冶金、机械等部门从事电渣熔炼的工人、技术人员和有关院校师生参考。

在翻译过程中，我们对原文个别地方作了删简。由于我们水平有限，在选题和译文方面可能会有不妥之处，望批评指正。参加译校工作的有陶令辉、李正邦、周文辉、李谊大、黄桂煌、赵钟会、曾乐等同志。

1974年6月

目 录

电渣重熔在美国的发展	1
电渣重熔发展的新动向	6
电渣重熔超级合金和钛	18
波列尔 (BOHLER) 公司电渣重熔设备生产重达23吨铸锭	43
四吨电渣炉的操作及它的产品质量	52
八吨电渣重熔设备的冶金和工艺效果	60
最大熔化速度和最小功率消耗的电渣重熔工艺	74
真空电弧和电渣重熔特殊钢某些质量控制结果的比较	81
电渣重熔钢锭的评价	87
关于改善电渣重熔铸锭结晶的问题	100
电渣重熔Ni-Cr-Mo超高强度结构钢的冶金质量和机械性能	111
电渣重熔铁铝合金	119
电渣重熔渣系的选择资料	125

电渣重熔在美国的发展

〔美国〕G.K.巴 特

早在 1967 年 8 月召开第一届国际电渣重熔会议时，美国在电渣重熔技术上还很落后。那时作者曾提到，今后 6~8 年内，美国用于电渣重熔生产，科学研究，建造电渣炉费用将达十亿美元。而电渣重熔的产品将包括：高温合金，模具钢，工具钢，高强钢，超高强钢，有色合金，包括某些活性金属合金，电子工业用的合金和异型铸件。

1967 年美国 20 家公司已有约 80 台工业用的真空电弧重熔设备，年产量达 21 万吨*以上，还不包括炼钛合金的炉子，以后两年内上升到 22.5 万吨。据《33magazine》的数据估计，美国 1969 年电渣炉重熔钢锭年生产能力可达 4 万吨左右。表 1 所列占整个高温合金产品 70% 的品种已采用电渣法生产。1968 年产量达 3.5 万吨。今后两年内由于缺乏镍，可能会使增产高温合金受到限制。作者估计，1971 年至 1975 年美国高温合金增产率平均为 12~16%，到 1975 年总产量要达 10 万吨。

已采用电渣重熔生产的高温合金 表 1

Inco 718	A-286
Hastelloy X	Udimet 700
Waspaloy	L-605
713C	Inco 625
Udimet 500	16 25-6
901	

作者估计，到 1975 年将广泛采用电渣重熔法生产工具钢，模具钢，轴承钢，某些不锈钢，转子钢，轧辊，潜水艇结构用耐压钢，核技术用钢，有色合金，和特殊性能合金。仅提高金属收得率一项所获得的经济效果，就足以证明电渣重熔法的优越性。

实践证明，真空电弧炉设备复杂，限制了获得大钢锭。从经济观点而论，已不可能再扩大真空电弧重熔锭尺寸。两家电炉制造商对真空电弧和电渣重熔进行全面比较，证明电渣更有利。

电渣重熔的发展

美国曾致力于设计电渣炉及其辅助设备，为了利用同一电源化渣和重熔，使之能适应液渣下注引燃。如图 1 所示用下注液渣优点是：可使电渣炉操作人员减少至 2 人。此外，采用非自耗电极加热渣，就可以任何时刻更换电极，无需断开二次电路，当然只有在结晶器横截面尺寸相当大的前提下才能实现这点。采用非自耗电极在结晶器内化渣引燃，省去购置化渣炉，以及另一台变压器和输送液渣所需的设备的基本投资。英国贝尔里克(Birlec)公司的电渣炉设备既可用于三极三个单相，也适用于一个结晶器内三极三相重熔。

• 本文中所用的吨系指美吨（即短吨）

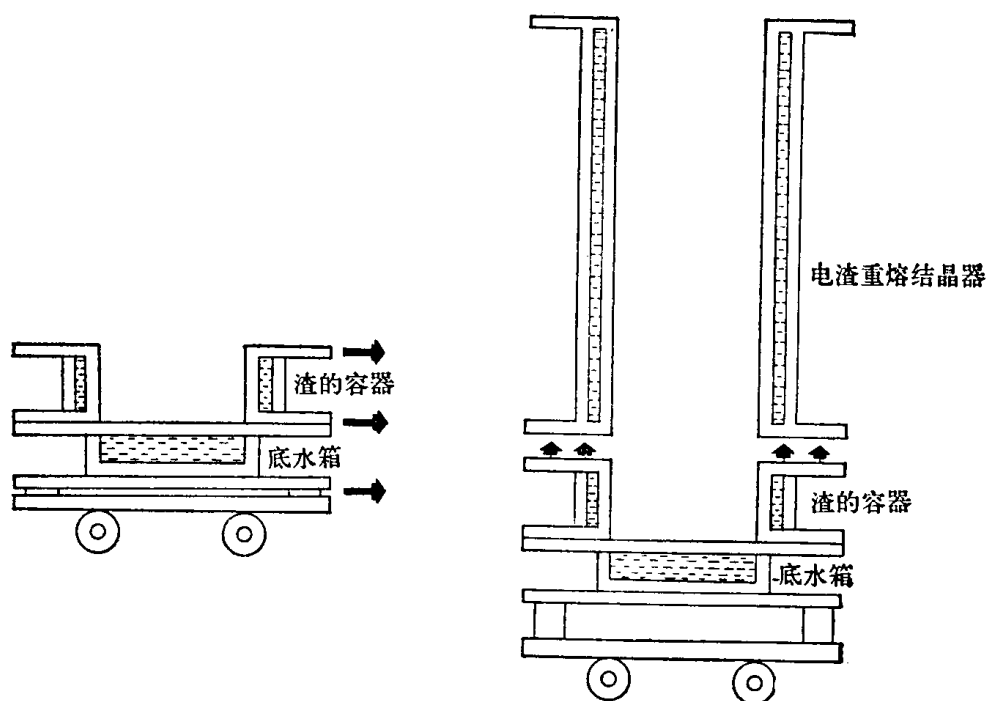


图 1 渣的预熔和输送渣的机构

当然，如果确认电渣重熔优越性，就应设计和建造大型三相电渣炉，建立电渣炉和电炉同样，应指出，它是属于自耗电极电阻熔炼。

扁锭的生产工艺

经验证明，完全可用扁结晶器来生产大型扁锭。在这方面采用电渣重熔法时，电极尺寸和个数，电源连接方法的合理性，将起重要作用。生产宽厚比 (w/t) 小的扁锭比较容易，但是当生产宽厚比大的扁锭时，就必须解决以下问题：1) 如何制造电极，特别是没有连铸装置情况下；2) 如果采用几根电极和交流电，如何组织生产，进行重熔。

解决的办法是，采用扼流线圈，与变压器连接，均衡负荷。安装扼流圈可达到很大的操作灵活性。基本原理和淬火盐炉供电电路一样。

和电渣重熔法有关的其它问题

采用带扼流圈的炉用变压器易于解决电流调节问题，美国颇重视重熔前电极制备工艺。显然，由压紧粉料和压缩海绵铁制成电极可以和铸造电极竞争。用粉料和压缩海绵铁制压成团块，从经济观点权衡。具有一定价值。应特别注意电渣重熔铸造电极脱氧方法。用不同的脱氧剂，得出不同重熔效果，须进一步全面了解，并做出全面评价。

电渣重熔生产异型铸件

电渣重熔法可生产异型铸件。以图 2、图 3、图 4 作为例子所示即电渣异型铸件。设计这些异型铸件时，要求不同专业工程技术人员合作。在这方面美国有一些设计方案，在一些结晶器上热负荷最高部位，用冷却块。



图 2 电渣重熔的冲压成型坯料

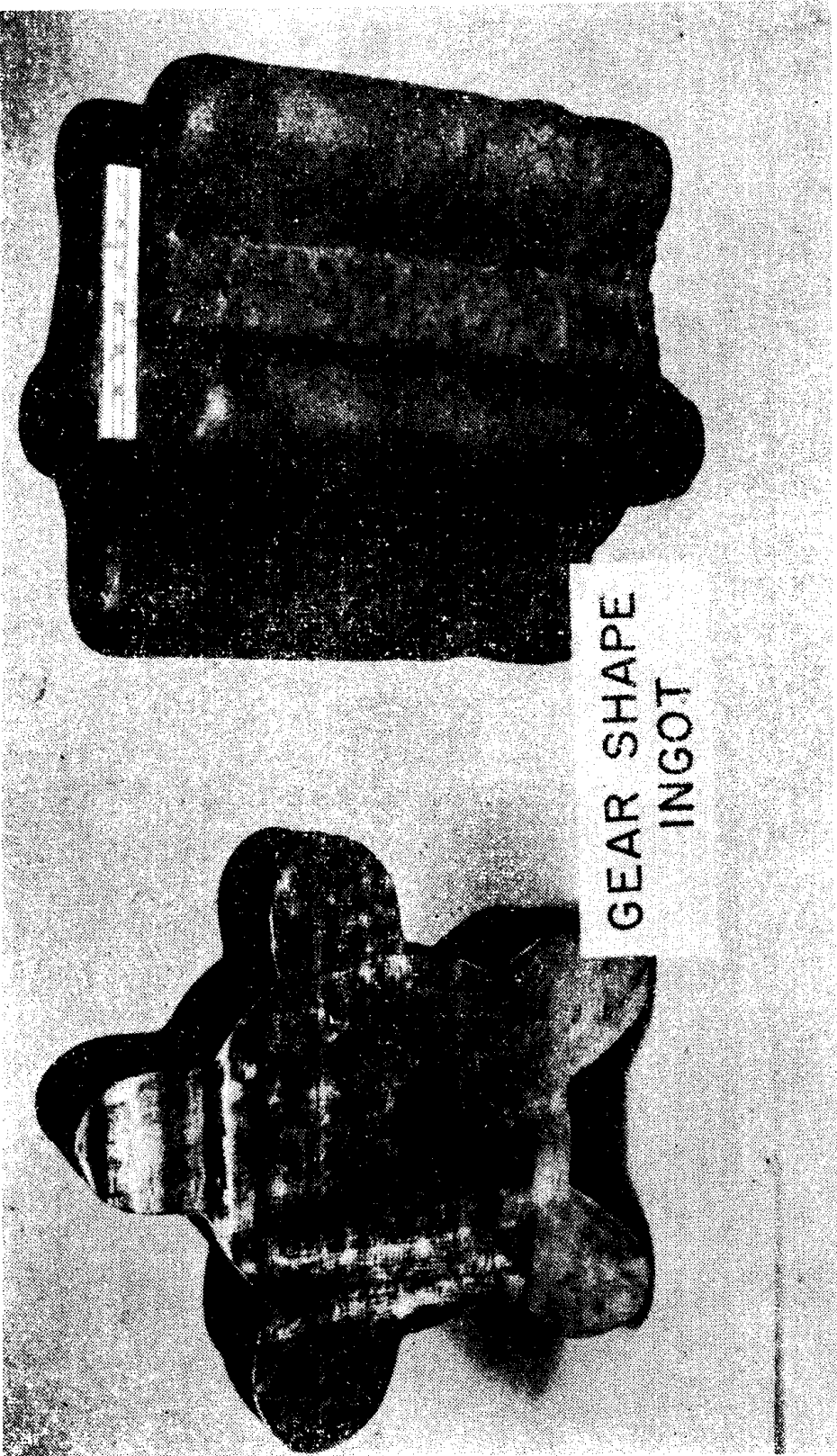


图 3 电渣重熔的齿轮形铸件

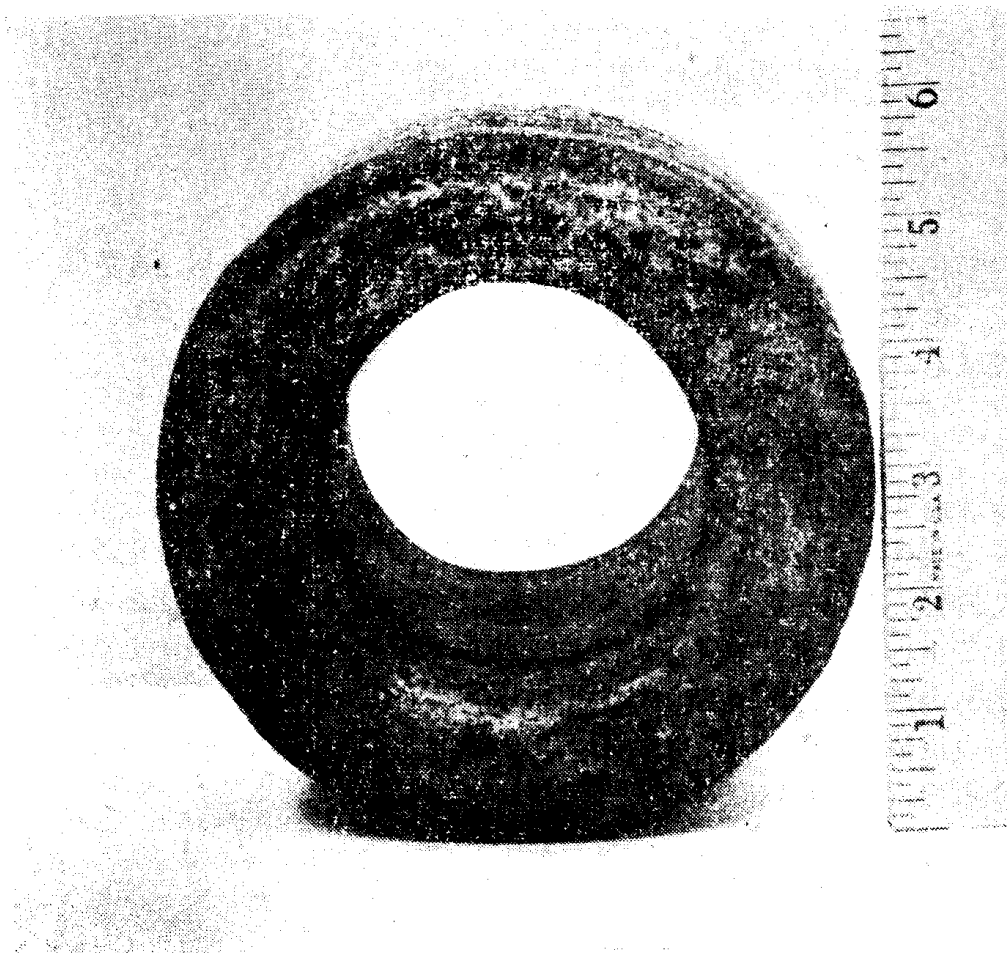


图 4 电渣重熔的空心锭

电渣重熔使用的熔渣

当然，我们要采用天然化合物作为熔剂的组成成份。必须预先对熔剂各组成成份的化学性质，物理性能和电工性能进行一系列大量研究工作。采用不同的渣系就使重熔铸锭形成不同类型，不同尺寸的非金属夹杂物。应该了解各类非金属夹杂物对金属疲劳性能，蠕变，破断特性的重要影响，这样我们就可以改变熔剂的组成成份来调节电渣特性和其它性能。

目前还要解决有关在非石墨坩埚内化渣的很多复杂问题。关于解决制取无碳剂渣液的问题，前景是乐观的。

电渣重熔产品质量的控制

还要说明电渣锭的非破坏性检验法，必须改变一般试验方法，因为电渣锭的特点是晶晶体长，具有明显的方向性。采用超声波检验电渣锭，所产生的信号很难判断检验的质量，在这方面仅取得初步进展。

电渣重熔法可能用于生产 Cu-Mn，Cu-Ni-Mn，Cu-Be，和其它有色金属，以及用铀为合金的钢种。而用电渣重熔生产某些钢的理由，可能和一般见解不同。

从工业、科研和单纯商业观点看，电渣重熔都是有发展前途的。

电渣重熔发展的新动向

〔苏联〕B.E.巴 顿等

两年在匹兹堡举行的第一届国际电渣会议上，我们曾介绍过，电渣重熔已在苏联大规模采用，我们建立了设有各种类型电渣炉的特殊车间，生产了几十万吨的电渣锭。

关于电渣冶金领域中一系列新成就，我们将在此做一些介绍：

用虹吸式注渣操作的双极串联电渣炉

苏联一般都用交流电进行电渣重熔。采用交流电虽然在冶金上和操作上具有其优越性，但同时也存在一个缺点，就是众所周知的：随着电流增大，单根电极的交流电渣炉的功率因数 $\cos \phi$ 大大降低。与此相反，双极串联电渣炉二次短网显著改善，由于磁场相互补偿，功率因数接近于1。图1示出单相单电极和交流单相双电极串联电渣炉电路图。

图2示出典型的Y436型双极串联电渣炉，它用来熔炼断面为600×1500毫米，高达2米的14吨扁锭。这种电渣炉所使用的自耗电极可以用扁锭，也可以用方断面的棒材（图3，图4）。与轧制或锻造电极一样也可以有效地使用连铸或半连铸机制成的电极。

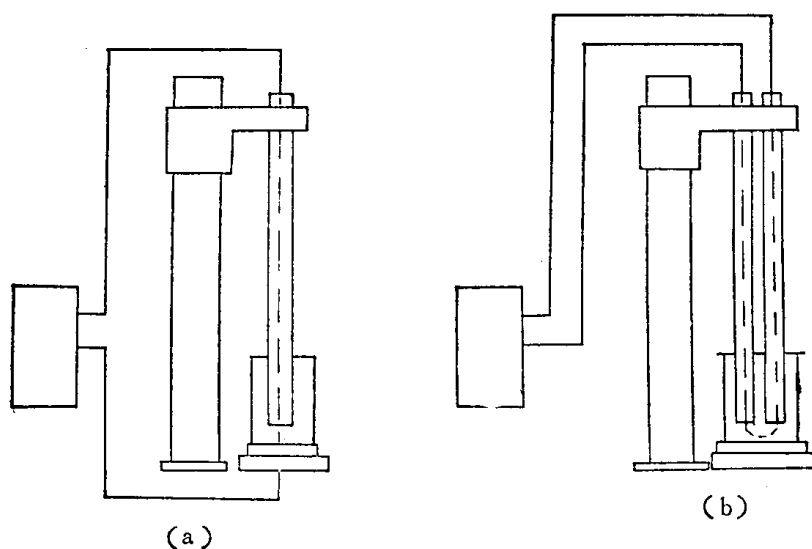


图1 单相电渣炉型式

(a) 单相单极；(b) 单相双极串联

苏联的双极串联电渣炉，采用虹吸式注渣法引燃。实践表明虹吸式注渣法比已有的引燃法优越得多，此方法本身和所使用的设备既简便又可靠。

虹吸式注渣方法的另一个很重要优点是在高结晶器内重熔并使用和结晶器内径相差很小的电极。如果熔渣从结晶器上部注入，自耗电极和结晶器内表面之间必须有较大的间隙。采用虹吸注渣法，这种空隙可以显著减小。这是工艺的一个非常重要的优点。在大型电渣炉中必须使用长度尽可能短，断面尽可能大的电极，而采用液渣下注法引燃，优点更为突出。

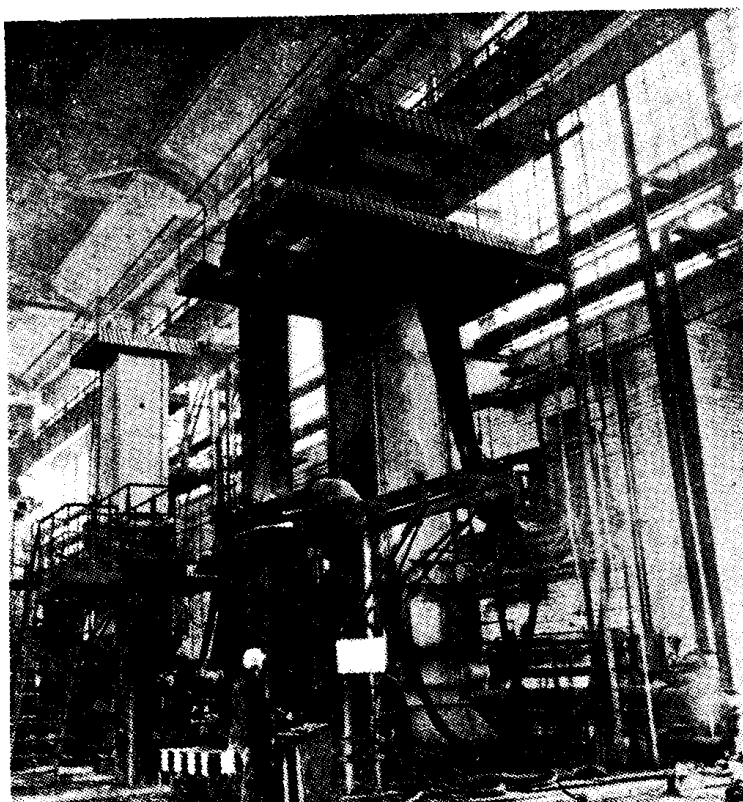


图 2 Y436型双极串联电渣炉

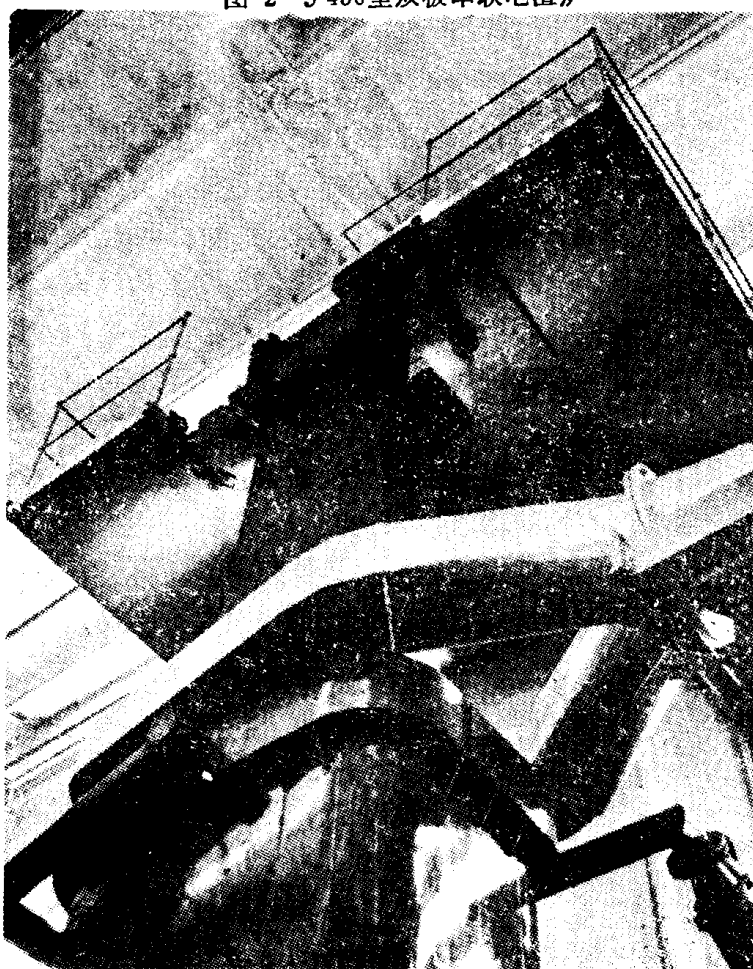


图 3 扁坯自耗电电极Y436炉

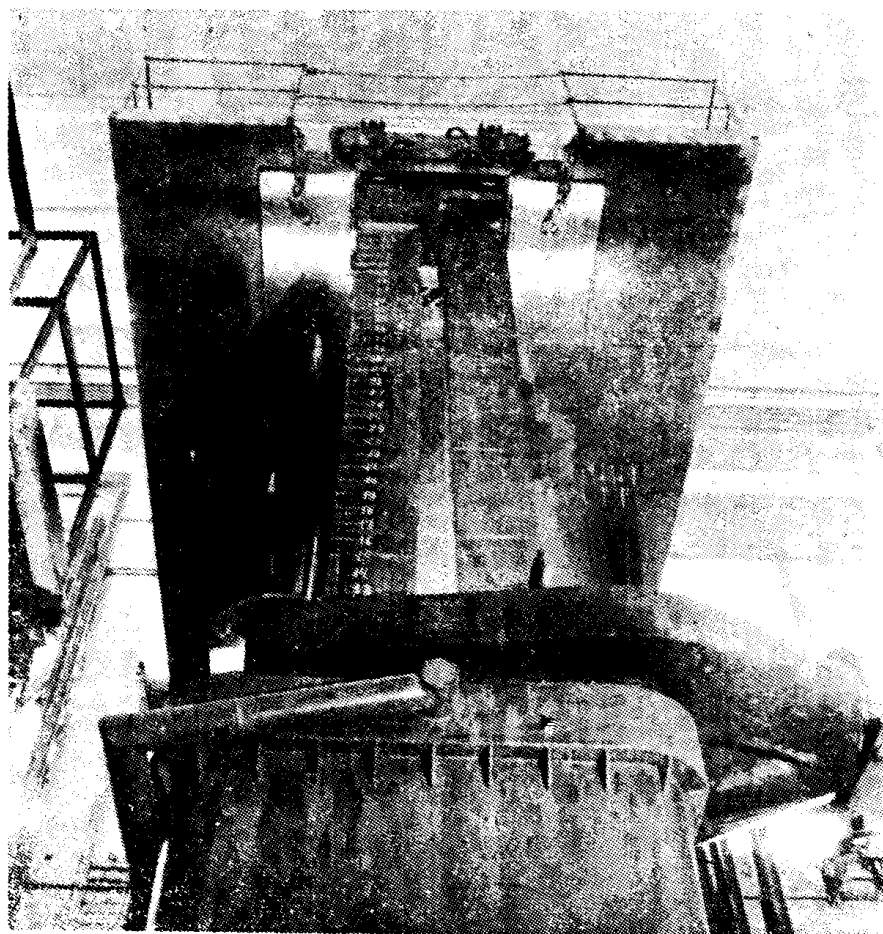


图 4 方断面自耗电电极Y436炉

采用液渣下注法引燃，有助于建立一种完全新式的电渣重熔操作。建立一种电极和结晶器无相对移动的完全新式电渣炉，现在苏联已有这种新式电渣炉。它的尺寸非常紧凑（特别是高度）结构十分简单。这种炉子实际上无任何传动机构，因为在重熔的过程中无须向下移动电极，重熔时自耗电电极和结晶器都是固定的，不断上升的渣熔池，以给定的速度熔化自耗电电极。对电工制度各参数进行程序控制，就保证了电极熔化和铸锭结晶器的特征，达到预期的结果。

操作绝对安全及可以在炉子工作电压下引燃是虹吸式注渣法的另一个优点。该法操作迅速，可以在几分钟之内将所有的液体渣注入结晶器。

应该指出，快速引燃使得电渣重熔过程的初始阶段就能获得良好成型的铸锭，锭子的底部极少切除，在多数情况下根据铸锭底部的形状，可以完全不切尾。

应注意到，合理地进行热补缩同样可使切头最短。由于钢锭表面质量好，它在锻造、冲压、轧制之前不需车削扒皮。双极串联电渣炉（用虹吸式注渣法引燃）重熔锭确保生产率很高。

电渣重熔生产20~25吨大型板锭时，我们主张采用双极串联电渣炉和虹吸式下注渣法引燃，这也是很自然的。这种双极串联电渣炉也适用于生产扁锭，这种扁锭可在板材轧机上直接轧制，特别是在宽厚比超过10时，而不需要开坯机。

在电渣重熔扁锭方面，电极和结晶器都相对移动的电渣炉（图5）是有发展前途的。在该情况下，结晶器比铸锭短。在重熔过程中结晶器沿着铸锭向上移动，而电极向下送进，这

种电渣重熔操作方案我们已在许多国家获得专利权。

采用这种型式电渣炉时，就可能实现很有发展前途的方案：采用长度和铸锭差不多，甚至与锭等长的自耗电极。考虑到连续熔炼，我们采用交替式地送进许多根短电极进行电渣重熔。

关于电渣重熔300~350吨锭子问题

制造原子能发电站用的涡轮发电机转子轴锻件时，须要提供巨型铸锭。然而用传统的普通炼钢法和铸锭法来生产如此巨大的铸锭，并且要保证金属达到高质量是十分困难的，甚至不可能办到。电渣重熔法为解决这一重要问题提供了新的可能性。

重熔200、300、350吨锭子用的电渣炉，可以在短期内建成。苏联已设计了这种电渣炉的总图。此外已经建立了模型炉，并进行了试验，它有助于检验这种巨型电渣炉的总体结构。这种巨型电渣炉设计方案规定采用三相交流电和长度和锭子相差不大的自耗电极。单纯从冶金质量来看，并没有看出如此加大电渣锭重达350吨会产生什么问题。

应当着重指出，在发展这种特殊巨型电渣炉来生产巨型钢锭同时，必须对生产特殊用途大型锻件的优质板坯进行其它方面的研究。

苏联乌克兰科学院电焊研究所承担解决几根电渣锭焊接成大钢锭的问题。在这种情况下，采用电渣焊是适宜的图6，该研究所设计了一种新型式电渣焊方法，它能使设备大大简化，工艺稳定可靠而且焊缝质量高。

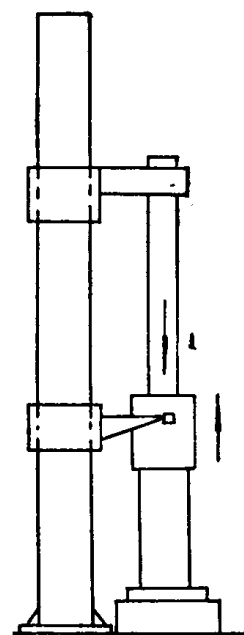


图5 电渣重熔过程中结晶器、电极相对运动，结晶器较短

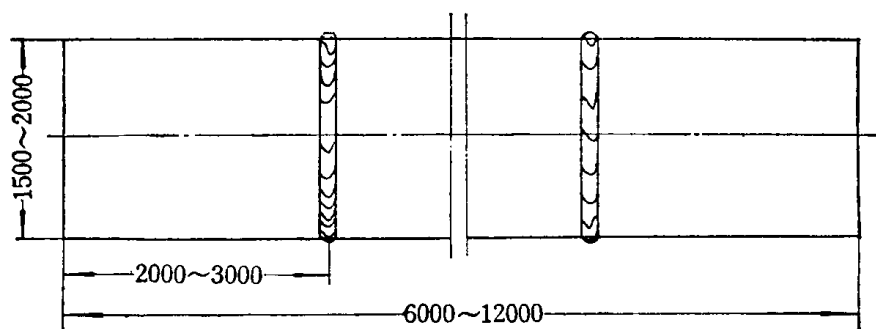


图6 电渣重熔锭电渣焊示意图

采用双极串联电渣重熔法的基本原理是使用大断面的电极，虹吸液渣法引燃进行电渣焊，可以使焊缝金属的成份和组织与基体金属没有差别，也就是与电渣重熔铸锭的金属无差别。这一点是新电渣焊工艺的一个很重要优点。因为，对于像涡轮发电机转子轴，这样的坯料，必须保证锻件在全长和整个断面上金属的化学成分和物理性质（包括组织）是均匀的。

根据锻坯的要求可由两个或几个电渣锭焊接成一个坯料，这种新的电渣焊法对所要焊的锭子没有任何限制，直径为800和2000毫米的电渣锭，同样可以很好地焊接在一起，而且铸锭长度也不受限制。

以上系谈用电渣焊焊铸锭，还可以焊大锻坯，即将电渣锭，预先锻粗成较大直径，然后焊接（可将直径 ϕ 1400~1600毫米重40吨，锻粗到1800~2000毫米，再焊成一件）再加以锻造，达到所要求的几何尺寸。

不用说，还可以用这种方法将几个棱形多边形锭子焊接大件。

用电渣重熔生产空心锭

与电渣重熔板坯，扁锭及由若干锭子焊接成重达300~350吨的大坯件方面一样，研制电渣重熔空心锭用的设备和工艺也是很有前途的发展方向之一。在这方面苏联取得了一定成就，已掌握下列几种空心锭的生产：

1. 空心管坯——用于挤压特殊用途的小口径薄壁钢管。

2. 空心坯——用于挤压中等直径厚壁钢管。

3. 空心坯——用于轧制薄壁壳体。

4. 空心坯——用于轧制轮箍或肋。

图7所示为第一种空心管的典型照片。采用实心断面自耗电极进行电渣穿孔，是当前生产空心管坯最为有效的方法。它是借助水冷芯棒（穿孔器）进行穿孔的。

图8示出了第二种空心管坯，用于挤压或轧制生产成的中等直径厚壁管。图9示出的电渣重熔空心锭，用于轧制薄壳体。图10所示为直径大于1800毫米的电渣重熔空心坯，也可以轧制成为薄壁壳体。图11所示的空心坯供轧制轮箍用。

众所周知：生产空心锭的主要困难是必须采取特别措施来防止由于锭子凝固的收缩引起锭子内孔卡住成型芯管。应当注意到，奥氏体钢和合金的相对收缩量大于高强度结构钢。此外，还得考虑到：绝对收缩量随锭内径增大而增加。

我们克服了大量困难，研究出许多有价值的电渣重熔空心锭工艺，而且为实现这些工艺试制出可运行的设备。所有的电渣空心锭特点是低倍组织好，机械性能高。现在不仅可以生产任何几何尺寸，任何钢种的空心锭，而且还可以生产出

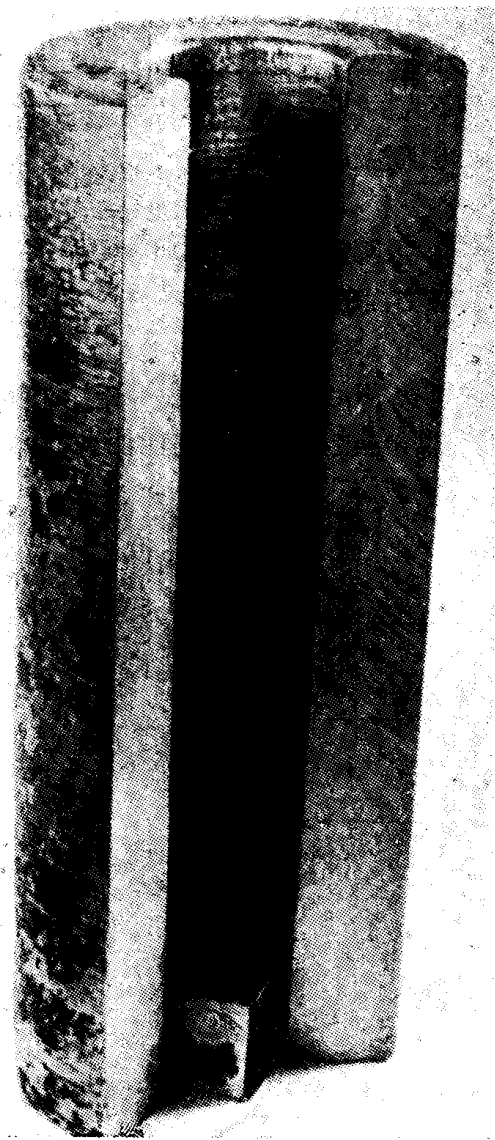


图7 电渣重熔法获得的管坯

图12所示半球形容器锭。由于为生产这种锭子创造了相应的工艺和设备。使我们能够解决另一个重大的课题，即用电渣重熔法生产铸造焊接的压力容器，来代替完全锻造或焊接锻



图 8 电渣重熔空心锭挤压或轧制成中等尺寸厚壁管



图 9 供轧制壳体的电渣空心锭

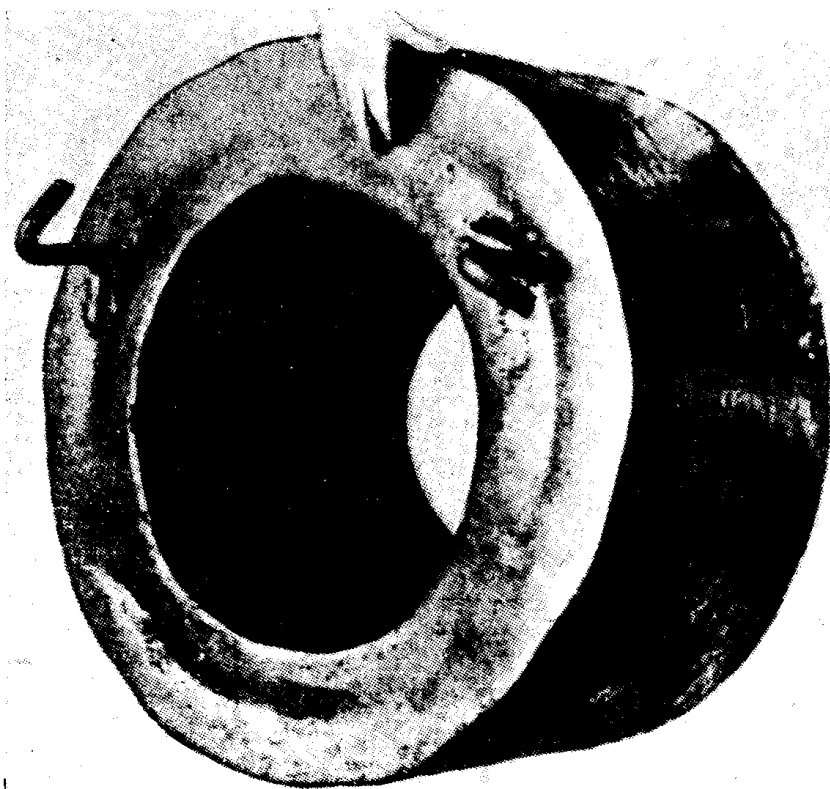


图 10 直径大于1.8米供轧薄壁壳体的电渣空心坯

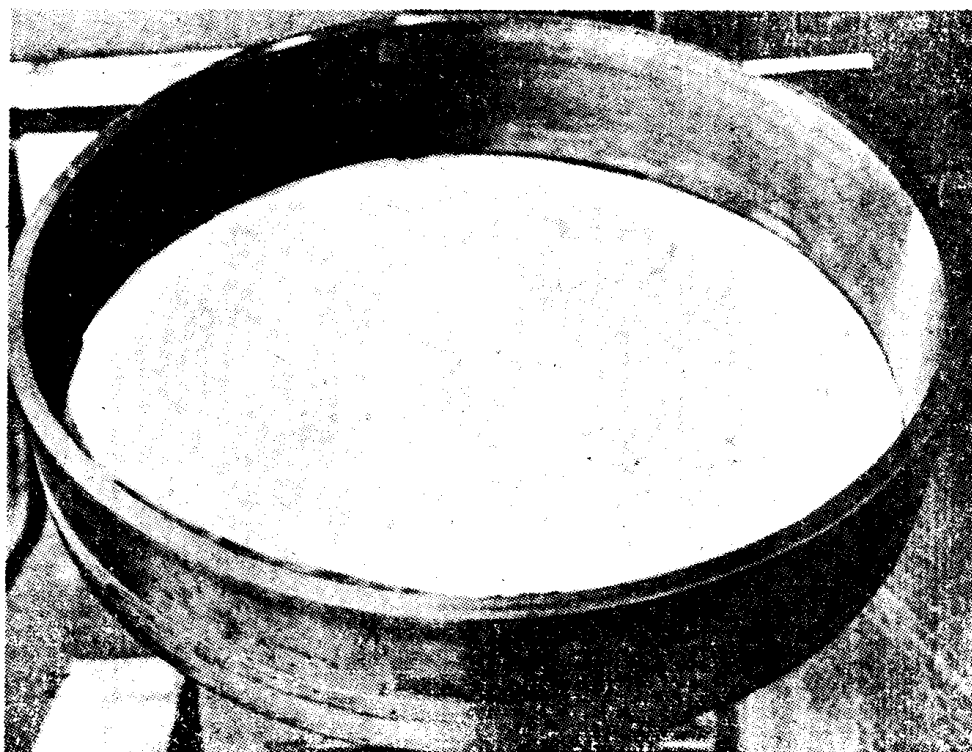


图 11 电渣重熔空心坯（轧制轮箍用）