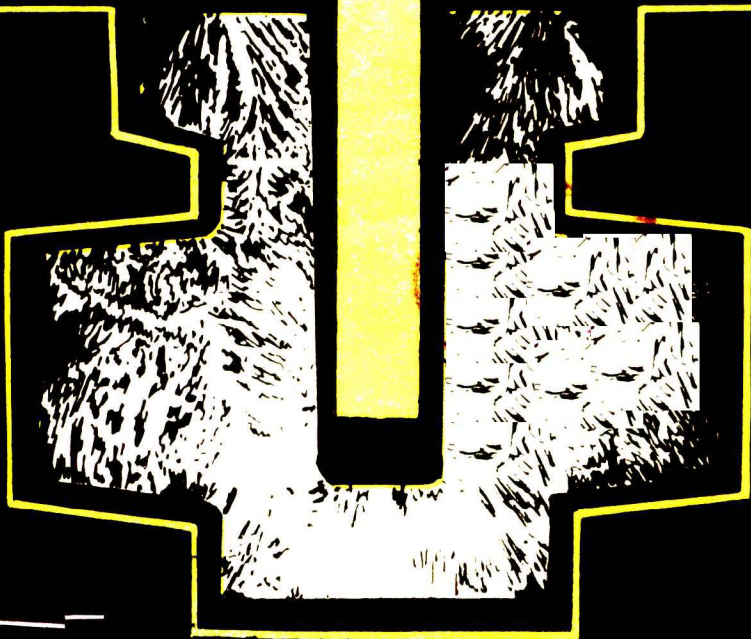


[苏] Б. Е. 巴顿 Б. И. 聂德瓦尔 Г. А. 布依柯

电 渣 熔 铸

ЛИТЬЕ



电 渣 熔 铸

【苏】Б. Е. 巴 顿

Б. И. 聂德瓦尔

Г. А. 布依柯 著

唐朝琰 张家雯 译

李正邦 校



机械工业出版社

本书主要介绍了一种生产铸件的新工艺—电渣熔铸的基础知识及实际应用。这种工艺在苏联机械工业中得到了广泛应用。书中叙述了这种工艺的特点，引证了不同钢种电渣熔铸件的性能，还介绍了电渣熔铸应用中的基本设备，确定它的经济效果并展望了这种工艺的发展前景。本书所反映的是乌克兰巴顿电焊研究所和一些工厂企业的科研成果。

本书适合于冶金和铸造专业的工程技术人员、技术工人及大专院校师生阅读。

Б. Е. ПАТОН, Б. И. МЕДОВАР, Г. А. БОЙКО
ЭЛЕКТРОШЛАКОВОЕ ЛИТЬЕ
Издательство «Наукова Думка», 1980

电 渣 熔 铸

【苏】Б. Е. 巴顿 Б. И. 聂德瓦尔 Г. А. 布依柯 著
唐朝瑛 张家雯 译 李正邦 校

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可出字第117号)

重庆印制一厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

开本 787×1092 1/32 印张 5¹/₈ · 字数 108 千字

1985年5月重庆第一版 1985年5月重庆第一次印刷

印数 0.001—4.000

定价 1.00 元

统一书号: 15033·5750

译 者 的 话

《电渣熔铸》一书全面叙述了电渣熔铸新工艺的原理、特点和类型，引证了不同合金电渣熔铸件的性能，并介绍了几种典型的电渣熔铸设备，以及该工艺在机械制造、冶金业中的应用，在介绍工艺的同时又分析了经济效果，最后还向读者展望了这种工艺的发展前景。因此，本书的翻译出版可为从事冶金和机械制造工作的工程技术人员提供一本颇有实际用途的科技书籍。

全书由唐朝瑛统稿。本书承蒙李正邦同志校审，在此致以谢意。

由于译者水平有限，错误之处敬请读者指正。

译者

一九八三年一月

序 言

机械制造业中的金属零件毛坯主要是通过铸造或热变形——锻造、模压、挤压生产出来的，机械制造业中的毛坯，运用轧材的较少，因此这两个过程——铸造和锻造——决定着整个机械制造业的技术水平。

毛坯的尺寸越是接近零件尺寸，金属加工量越少，消耗于切屑、氧化铁皮及其他损耗的金属就越少，生产零件的困难程度也越小，金属的利用率越高。

毛坯质量的提高，它的机械性能与物理性能的改善决定了零件在机器中使用性能的提高。

铸造和锻造的方法从不同的方面和在不同的程度上解决了制造机器前两个重要的有价值的问题，使毛坯的尺寸和形状最大程度地接近所制造的零件的尺寸和形状，机械性能、物理性能和特定的使用性能达到最高的水平。

众所周知，铸件可在最大程度上满足第一要求。不仅现代的精密铸造方法，而且传统的普通铸造工艺也可以获得毛坯，甚至能生产出外形相当复杂的机械零件毛坯。

在通常情况下，锻件与零件所要求形状相差较远，锻件比铸件的机械加工余量也大的多，它的金属的利用率一般不超过15~20%，但是锻件在最大程度上能满足第二要求。大家都知道锻件在机械性能方面明显地超过铸件。

不久前人们一直认为铸态金属在致密度方面、性能和结构的均匀性方面不如变形金属，当然，系列指标也取决于金

属本身的可靠性和耐久性。

由于铸造和锻造过程各有其独特的特点，因而在选择毛坯的生产方法时，总会遇到偏重这种方法或那种方法的情况。当需要改造现有的生产线或是重新建造新型产品的生产线时，就会发生这种情况，两种毛坯的生产不仅在技术上而且在经济指标上都随着具体的条件、地点和时间在较宽的范围内变化，这样就使事情变得复杂了。如果对技术经济指标不进行仔细分析的话，那么连费用标准都没有足够的把握提出。何况在许多情况下，进行这样的分析时还要把外界的经济和政治条件等重要因素考虑进去。

总之，目前一些主要的机械制造厂都清楚地认识到这两种工艺——铸造和锻造的特点。但在多数情况下，机械制造厂还是把毛坯的生产放在最次要的位置。低劣的铸件质量是现在许多工厂的灾难，它远远地满足不了现代工业的需要。许多工厂甚至整个机械制造业也深深地感到缺少用大功率锻压设备生产的大型锻件。

建立一个现代化的铸造车间是件不容易的事情，但是建立一个新的具有极其昂贵和复杂锻压设备的锻压车间更为复杂和困难。

这个问题由电渣熔铸方法成功地解决了，它是一种完全新的能生产具有锻件性能的铸锭方法。

这种新的生产工艺可以更加完善地生产毛坯，并且它本身也没有离开工艺学的范畴。

目前苏联在电渣工艺的理论 and 实践上占据领先地位的项目包括：重熔、熔铸、超巨型截面毛坯的焊接和堆焊。

自二十年前在扎泊洛叶（Запорожье）市德聶泊尔（Днепропеталь）工厂建造了世界上第一台电渣炉以来，

苏联在电渣重熔方面的成就在全世界一直享有盛名。现在，苏联又在特殊钢厂里建成了大功率的电渣重熔车间。苏联每年生产几十万吨电渣金属，比世界上任何国家都多。苏联还输出电渣炉设备，世界上许多国家按照苏联的专利证建造了电渣炉。如南斯拉夫、奥地利、捷克等国家出卖电渣熔铸执照。法国购买了电渣焊特大截面毛坯的设备和许可证。在国外对新工艺已有了极大的兴趣。

苏联已经首先发表了有关电渣重熔和电渣熔铸方面的学术论文。其中一些论文已经在其他国家出版，仅乌克兰科学院巴顿电焊研究所的电渣工艺和设备方面在国外就获得 650 多个专利权。

电渣工艺特别是电渣熔铸正以极大的生命力飞快地发展着，各个机械部门要想进步，就必须在保证提高材料和产品质量的同时降低劳动强度和产品的成本，在改善劳动条件的情况下改善或者根本地改变现有的生产工艺过程。

在1978年乌克兰科学院巴顿电焊研究所科研人员和工人因创建并在工业上推广了电渣熔铸的科学技术工作而被授予国家奖金。

直接参加电渣熔铸工作的是乌克兰科学院巴顿电焊研究所及一些联合企业，他们是：Брянский 机械厂，Ждановтяжмаш 厂，«Ижорский» 厂，Большевик 厂，Иеховский 动力机械厂，Сальский 锻压设备厂和其他工厂。

作者对巴顿电焊研究所的专家们：И. И. Кумышу Л. В. Чекогило, Р. С. Ддубинкому, В. Я. Саенко Б. Б. Федоровскому, В. М. Баглаю, Г. А. Тимашову, Л. М. Ступаку, В. П. Андрееву, Ю. Г. Емельяненко, С. П. Егорову, А. П. Белоглазову, М.

Ф. Зевакину, Л. А. Шуруеву, Г. Б. Шупаку, В. И. Олейнику等以及企业团体的专家们 Л. В. Поро-
ву, В. Ф. Карпову, Б. Т. Симакову, В. А. Изве-
кову, В. А. Ковалеу, С. С. Аяциферову, А. П.
Куликову, А. Д. Чепурному, В. И. Рабиновичу,
Ю. Н. Кригеру, Ж. И. Южанину, Л. И. Бонда-
ренко, А. П. Аликину等表示感谢, 因为在论文中引用
了这些人的资料。

作者希望本书的发行能够进一步引起机器制造业的专家
们对电渣熔铸的优点予以更大注意, 并引导他们为采用这种
新方法而去探索创造更新的目标。

目 录

一、电渣熔铸原理.....	1
二、电渣熔铸类型.....	8
三、电渣铸件的金属组织.....	13
四、电渣熔铸件的设计.....	19
五、电渣熔铸所用材料.....	22
六、电渣熔铸设备.....	24
七、机器制造业中的电渣熔铸.....	51
八、电渣熔铸在冶金业中的应用.....	82
九、电渣熔铸钢的热处理特点.....	89
十、电渣熔铸钢的使用性能.....	93
十一、应用电渣熔铸的效率及提高效率的途径.....	139
十二、电渣熔铸的发展前景.....	146
参考文献.....	153

一、电渣熔铸原理

电弧熔化自耗电极工艺成功地用于焊接生产大约有 100 年了。长期以来焊工仅用明弧焊接。

三十年前,安装在查波罗什市,查波罗什钢铁厂 (Запорожсталь) 的高炉体在进行机械化垂直接缝焊接时,燃烧的电弧在固体焊剂层下面突然熄灭,但是焊接过程并没有中断,而是变成为无电弧焊接。后来,就把这种无弧熔化电极的方法叫做电渣焊。

于是,一种完全新型的立位焊接法即电渣焊 (ESW) 诞生了。事实上,这种方法的特点在于被焊接边缘不是和各类电弧焊一样靠电弧的热量,而是靠熔渣来熔化。熔渣的温度比被焊接金属的熔化温度高得多(图 1)。

焊接厚工件方面的电渣焊标志着革命性的飞跃,这一点是十分清楚的。电弧焊的热源电弧大小与焊接的横断面尺寸彼此相适应。当焊接厚钢坯时,电弧必须沿焊缝往复运动,使一块钢坯焊到另一块钢坯上。

电渣焊的热源是有导电性的液态渣池。其原理是这样的:用一根或几根焊丝沿着焊缝运动,使需要的渣量保持在熔化状态,以便使大断面的焊件可能一次焊成。

固渣引燃(通过固体熔剂熔化形成渣池)、细丝电极、小容量的渣池、作为电源的低功率变压器、窄焊缝等是传统式电渣焊的典型特点。甚至,进一步应用所谓熔极嘴、固定式自耗电极,也没能引起电渣工艺技术的任何明显变化。

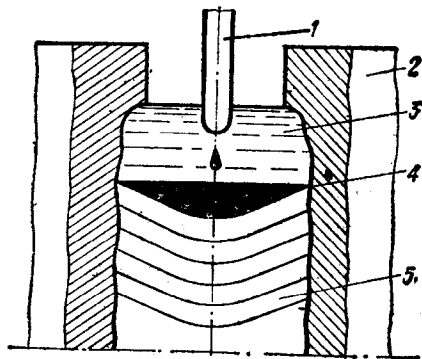


图1 电渣焊示意图

1—金属丝电极 2—焊件边缘 3—渣池 4—金属熔池 5—焊缝

但是，这一点通过电渣重熔（ESR）实现了。专家们受到电渣焊生产的高质量铸态金属的启发，得出以下结论：通过重熔自耗电极，然后使熔融的金属在水冷结晶器中凝固的电渣工艺，能够生产出优质的金属铸锭。不久，这种细金属丝电极就被轧制、锻压或铸造的钢坯电极所取代了，这些电极的横断面比金属丝电极大10~100倍。于是，固渣引燃被液渣引燃所取代，渣池的容量增加10~100倍，变压器的功率也增加一个数量级以上。

1958年5月，即发现电渣工艺十年之后，世界上第一台工业电渣炉在苏联投入了生产。从此，以焊接技术的成就为基础的电渣冶金技术问世了，在它的演变过程中，诞生了一个崭新的特殊电冶金生产部门。

新的电冶金技术的优点是令人信服和无可争辩的，而且电渣重熔生产能力的增长率越来越高。4~5年之后，几乎所有的优质冶金厂都装备了电渣炉。目前，苏联一些专业化的

大型电渣重熔车间已装备了几十台不同类型及不同用途的电渣炉。

继苏联之后，波兰、捷克、英国、奥地利、西德、美国、日本、法国、瑞士、保加利亚、南斯拉夫，以及其它国家都开始迅速地建造了电渣炉。不久，一台电渣重熔 200 吨以上铸锭的世界上最大电渣炉，将在苏联和波兰投入生产。

电渣重熔在理论上和实践上的成就使电渣焊接技术的发展有了一个新的质的飞跃。从 1969~1970 年，E. O. 巴顿电焊研究所实质上提出了两种更新的应用：即电渣熔铸(ESC)和双极串联电焊渣(ESWB)，以专门解决钢坯增加到 200~400 吨(或更大吨位)，以及焊接截面达 10 米²时所产生的问题。

由于那段时间在研究电渣熔铸金属性能方面积累了一定经验，这就大大地有助于电渣熔铸概念的 现实化。其结果是，就使用性能来讲，与锻造金属相比铸造金属不仅质量不低劣，而且在化学和物理的均匀性，以及机械性能的稳定性方面也大大地超过了锻造金属。

众所周知，对于各种生产铸件的一般方法，其熔融金属在浇注铸模之前都是预先在熔炼设备中熔化好。所浇注金属的性能通常低于原来的金属，这与所浇注金属液的二次氧化有关，即与大气中的气体、铸型内的环境气氛和铸型材料发生反应有关，铸型材料还引起外来夹杂物的污染。又由于全部金属液是一次浇入铸型的，因此在液态金属凝固过程中，由铸锭内熔析和收缩所引起的缺陷也严重地恶化了铸锭的物理和化学均匀性。同时，还可能出现许多如缩孔、皮下气孔、带状和点偏析、轴向疏松、裂纹等缺陷。

采用电渣熔铸方法就完全消除了上述现象。电渣熔铸是

一种在水冷金属铸模（结晶器）里生产铸件的方法，它是以熔化自耗电极的电渣工艺为基础的。

此外，电渣熔铸法为生产优质金属和所需形状的铸锭提供了可能性。同其它铸造方法不同，它是基于在象铸型一样的铸造装置里制备和消耗金属。当电流通过导电熔渣时，渣中产生的热量使自耗电极熔化，所以电渣熔铸跟其它电渣方法一样，其热源是熔渣。

能量消耗率取决于熔渣的电阻，电阻越高，能量消耗就越低。高的熔渣电阻有助于提高自耗电极的熔化速度，从而提高电渣熔铸工艺的生产率。

从电极熔化端部熔融的金属，持续地浸入渣池并进入铸模，因而不会与空气接触（图2）。这种铸模有两种作用，即用于液态金属的贮存，然后形成铸锭，后者是主要的任务。

在电渣熔铸过程中，完全消除了熔融金属同铸模材料之间的任何反应。这是由于温度通常高于电极金属熔化温度 $150\sim 220^{\circ}\text{C}$ 的熔融合成渣池起了有效的精炼媒介作用，吸收了非金属夹杂物如硫、氮、氧，甚至在一定条件下还吸收氢。上述渣池还对熔化的金属起了可靠的保护作用，以防止当液态金属进入铸模里时被氧化。由于铸件在一薄层渣里凝固，所以它的表面不需要进行任何机械加工工序。

作为生产制备钢坯的技术，电渣熔铸法大大地胜过了一般的铸造方法。它不需要熔化炉、浇包、型砂、砂型。由于铸件在成型和凝固过程中避免了一般铸造方法所存在的内在缺陷，所以熔铸的铸件没有需切除的部分。

熔化装置和铸模连在一起，并连续熔化铸锭，可以省掉一般铸造方法所需的浇注系统和浇口。

现在的电渣熔铸工艺是按几种类型的工艺流程完成的。

如上所述, 第一种工艺流程情况(图2)是自耗电极直接在形成铸件的铸模里重熔。在这种铸模中按照它的设计和目的, 可以熔铸整个铸件或者只熔铸出连接部分。第二种方案(图3), 是预先用其它方法铸造出或准备好将要生产的钢坯零件, 并把它插到铸模相应的孔里, 然后在铸模中熔化这些零件的连接部分。

在上述工艺流程中, 自耗电极处于正在凝固的铸件型腔

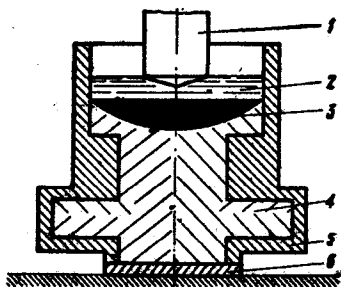


图2 电渣熔铸示意图

- 1—自耗电极 2—渣池
3—金属熔池 4—熔铸件
5—铸模 6—底板

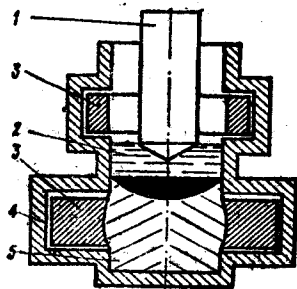


图3 带熔合坯的电渣熔铸示意图

- 1—自耗电极 2—渣池 3—被熔合的坯 4—铸模 5—熔化的铸锭连接部分

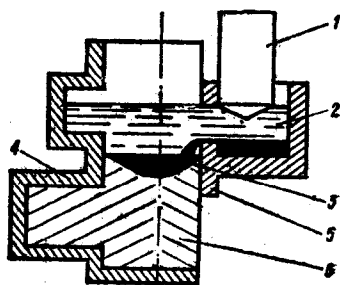


图4 金属转注电渣熔铸法示意图

- 1—自耗电极 2—渣池 3—金属熔池 4—铸模 5—可移动装置 6—铸件

内，由于受到某些铸造技术的限制，使这种工艺一般不能令人满意。在这种情况下，采用了将熔化室中的液态金属部分地或完全地转移浇注到铸模型腔里的方案，这是进一步的工艺技术(图4)。在这种浇注过程中，熔化装置相对于固定的铸模移动，直到铸模中充满铸造金属为止。

采用转移浇注的结果，使液态金属的精炼程度，特别是去除气体包括去除氢的能力大为提高。并且，用该方法可以获得复杂的异形铸件。实际上，这种金属转注电渣熔铸法不再受有关自耗电极与铸件之间截面比方面的各种限制。而且，有可能制造双金属，原则上还可以得到多层铸件。

我们都知道电渣熔铸和电渣重熔两种基本工艺过程多少有些相似。在这两种情况下，自耗电极的电渣熔融都是在铜制或钢制的水冷铸模里进行的，重熔的金属最终呈现铸模内腔的形状。他们的电渣过程都是相同的，即利用同样的物理现象。于是，一个很自然的问题提出来了。电渣熔铸和电渣重熔之间到底有什么不同呢？其特点又是什么呢？

两种方法的基本不同点是在生产工艺上，电渣重熔的重熔金属是铸锭形式，而电渣熔铸是铸件形式。它们的外观也有区别，电渣钢锭具有规则的几何形状，即常见的对称形状，这样容易从铸模里脱出；电渣熔铸通常是几何形状相当复杂的零件，它们的横截面尺寸和形状在不同高度上厚度不同。为了使铸件脱出，水冷铸模必须分成独立的组合件。

普通的铸造方法与电渣熔铸法不同点在于电渣熔铸不应依靠铸件收缩时铸型的退让性，而是在铸模组合及整个熔炼过程中采取铸件逐次脱模，这样可以避免由于铸件收缩受阻而引起的裂纹源。此外，其它有效技术措施的采用，也防止了由于铸件收缩而引起铸型受压。

当然，上述的外部特征，有或没有可拆开的铸模，都不能充分地说明电渣重熔和电渣熔铸之间的区别。这里存在着许多特点，无论从科学的还是从实践的观点来看，都可以认为电渣熔铸工艺在电渣技术中是一个独立的分支。因此，铸件高度、形状和尺寸的任何变化都很自然地引起主要状态参数之一的渣池深度的变化。所以，对电渣熔铸而言，应经常进行专门的测量以适应渣池体积的变化，从而保持渣池深度实际上不变。例如，在某一情况下是测量从铸模中排出的渣量；而在另一种情况下则测量充满铸模的多余渣量。

随着金属逐渐充满水冷模，铸件的截面和形状不断发生变化，其结果必然涉及到铸模中熔化的液态金属和熔渣的膨胀、充满所谓型腔里的合适位置或凹槽、从一个截面平滑地过渡到另一个截面、从铸件某一部分平滑过渡到另一部分等一系列的有关问题。

除了在铸件表面形成凸耳外，电渣熔铸方法通过采用固定式水冷芯棒可以形成未贯通的型腔，这种芯棒频繁地重复使用，所以，这种工艺是以节省芯棒为基础的。当铸件外部熔化时，由于收缩的缘故，就要通过适当的热处理，使芯棒同铸件之间脱开。

包括相当准确的定量计算方法在内的现代电渣熔铸理论，可以预测水冷铸模里的充填过程。

电渣熔铸和电渣重熔之间的另一个主要不同点在于它广泛地用在生产所谓镶嵌物的铸件上，即把铸坯预先放在铸模里相应的位置上，然后在它熔铸过程中使镶嵌物和铸件连接部位熔合。这就是上面叙述过的电渣熔铸方案中的一种。

因而，电渣熔铸和电渣重熔之间主要区别是电渣熔铸采用了完全新的工艺方法，这些工艺对电渣重熔来说是陌生

的。

为了保证熔铸件内部各个部位都成型满意，常常对铸模采用不同程度的局部冷却。

电渣熔铸和电渣重熔之间还有一个相当重要的区别是必须保证电渣金属预定的机械性能，作为铸坯不要经逐次变形加工。除了解决这个问题的单纯冶金方法外，铸件正确的热处理也是一个有效的重要措施。这点在下面将详细说明。

二、电渣熔铸类型

用电渣熔铸法生产的铸件，相互在其形状及应用上都差异很大。他们的重量从几十克（假牙、齿套）到几十吨（船用柴油机曲轴）范围内变化。

所有这些铸件可以分成两类。第一类包括有未贯通内腔的铸件；另一类是外表面带有凸耳的实心横截面铸件。

第一类里大部分典型的，形状最简单的铸件是外表面不带凸耳的盲孔圆柱形铸件（图5）。这类铸件的外形象“套筒”，可用来做高压容器的毛坯。将两个套筒用环焊相互连接起来，就相当一个制造好的容器或钢瓶（图6）。圆柱形盲孔铸件还可用于做制造管子的毛坯。然后，用热拔的方法通过专用的圆环，进一步加工成大直径的管子。当在“筒”形铸件的开口端装上一个法兰后，就能做容器毛坯用了（图7），这种容器的一端用可拆开盖封闭。尤其是在“筒”形外表面装上圆柱形凸耳时，它更适于做在上面焊接管道的带连接管的容器壳体毛坯。在空心不通底的铸件上装一个法兰，并在铸件