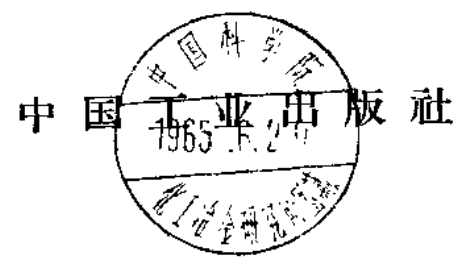


76.12
647

电渣冶金文集

傅 杰 曲 英 等 編譯



中国工业出版社

本文集比較全面地介紹了电渣重熔鋼和合金的先进技术。选輯了下述几个方面的主要文献:

1. 电渣重熔法的发展情况及展望;
2. 电渣重熔过程中电极金屬的熔化和重熔鋼錠的结晶特点以及某些电现象;
3. 熔渣的物理化学性能和精炼方法;
4. 电渣过程中鋼中元素的变化及防止金屬氧化的途径;
5. 电渣重熔过程中非金属夹杂的去除及脱气;
6. 电渣重熔对某些鋼及合金性能的影响;
7. 电渣重熔设备。

本书可供生产和科研单位电冶金专业的工程技术人员閱讀,对高等学校师生及电焊工作者亦有参考价值。

电渣冶金文集

傅杰曲英等編譯

*

冶金工业部科学技术情报产品标准研究所书刊編輯室編輯
(北京市灯市口71号)

中国工业出版社出版(北京佟麟閣路丙10号)

北京市书刊出版业营业許可証出字第110号

中国工业出版社第一印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店經售

*

开本 $787 \times 1092^{1/16}$ ·印张 $15^{1/4}$ ·字数325,000

1965年6月北京第一版·1965年6月北京第一次印刷

印数0001—2,440·定价(科五)1.70元

*

統一书号: 15165·3676(冶金-587)

序 言

近几年来，合金鋼及合金的电渣重熔在苏联得到了迅速的发展。美国、日本、捷克斯洛伐克、法国、英国等也进行了一些工作。

实践证明，电渣重熔能够显著地改善合金鋼及合金的加工性能（提高耐热合金可鍛性、改善不銹鋼穿孔性等）；提高金屬的机械性能（横向性能、疲劳极限、高温持久强度及低温冲击韧性等）；提高奥氏体不銹鋼的可焊性；改善高速鋼的切削性能及軟磁合金的磁性。

由于电渣重熔金屬具有良好的性能，这种方法已被应用于許多重要的現代科学技术部門。美国已将电渣重熔的耐热鋼和高强度結構鋼应用于核技术和火箭制造。苏联用电渣重熔法生产的滾珠鋼，能够滿足制造特小型軸承的要求。

鋼及合金性能的改善显然是由于金屬冶金质量的提高。研究指出，电渣重熔以后，鋼及合金中非金属夹杂、气体及硫等有害杂质减少；低倍組織改善（錠子致密、沒有縮孔及发紋、沒有表面缺陷等）；重熔錠子化学成分均匀、組織均匀。

在許多方面，电渣重熔金屬的质量与真空电弧重熔的相近，而前者具有設備简单，操作容易、可靠性高、錠子表面质量好等优点。除难熔金屬以外，其他用真空电弧重熔方法生产的鋼及合金，原则上可采用电渣重熔来制备。

电渣重熔的优越性是由其冶金特点决定的。电渣重熔就是在水冷銅或鋼結晶器中，利用熔渣的电阻热熔化金屬自耗电极，与电极消耗的同时，熔化金屬在冷却水作用下、在結晶器中逐渐凝固成重熔錠子。电渣重熔过程的冶金特点在于：

1. 金屬能被熔渣有效地精炼。电渣重熔过程中，自耗电极金屬呈薄层形式熔化，电极末端形成的熔滴在渣池内电弧放电机机械效应及电动力的綜合作用下强烈分散，渣鋼界面发生电毛细振动，从而渣鋼接触比表面特别大；电渣重熔过程中使用大的工作电流，熔渣温度高（渣面温度在1800°C左右，自耗电极末端下方的渣温还要高一些）；由于不用耐火材料炉衬，可以使用高碱度、氟化鈣系統的熔渣；此外，单位重量金屬与熔渣作用时间长。所有这些，保证了熔渣与金屬液强烈的作用、金屬被熔渣有效地精炼。

2. 錠子的快速、軸向結晶。

3. 金屬液不被耐火材料沾污。

国外冶金工作者对于电渣重熔过程中自耗电极金屬的熔化和重熔鋼錠的結晶特点以及电渣重熔过程中的某些电现象（整流、电解、电磁搅拌等）；电渣重熔用渣的物理化学性能（导电度、粘度、表面張力、对鋼的界面張力、熔点、比重、脫硫能力、透气性等）及精炼方法；电渣过程的温度；电渣重熔过程中鋼及合金中元素的变化及防止金屬氧化的方法；非金属夹杂及气体的去除；电渣重熔对不同鋼及合金质量的影响；电渣重熔过程的生

产率、电耗及其他经济技术指标；电渣重熔用设备；安全规程等方面进行了一系列的研究。

基于电渣重熔的特点和优点，可以预期电渣重熔将获得进一步发展，电渣冶金学将成为电冶金科学的一个新的分支。

为了将电渣重熔冶金方法介绍给我国的冶金工作者，我们根据过去几年以来的译稿，整理编译了这一文集。

考虑到读者参阅时的方便，编译时尽可能地把讨论同一问题的文章作了分类，但有些文献涉及的问题较多，分类作得不一定十分恰当，仅供参考。为了避免内容重复，对某些文献进行了综合译述。关于电渣重熔过程中氧化物夹杂去除的原因及决定重熔金属氧化物夹杂方面纯洁度的主要因素，意见比较分歧，编者对有关文献作了评论。考虑到了解电渣重熔过程中渣池内的电弧放电现象有助于全面地认识电渣重熔过程的冶金特点，文集中转载了“金属学报”8卷1期中“电渣重熔过程中渣池内的电弧放电现象”一文。

部分文献是电渣焊过程的研究成果，但对钢及合金电渣重熔的理论与实践亦具有一定的指导意义。

为便于读者查阅，文集末尾汇集了尚未选入本文集的有关其他文献名称。

编译工作是在朱觉教授指导下进行的。参加本文集译校工作的还有张鑑、马廷温、王涌、李世魁、刘仁刚、武怀忠、林企曾、潘大吉、任大成等同志。全书由傅杰、曲英校对整理而成。

限于编译者的水平，本文集难免存在有缺点和错误，希望读者批评指正。

編 譯 者

目 录

序 言

一、电渣重熔法的发展情况及展望

1. 苏联电渣重熔冶金的发展·····	1
2. 美国电渣重熔冶金的发展·····	10
3. 电渣重熔鋼錠的优点和改进方向·····	15
4. 电渣重熔的发展远景·····	18

二、电渣重熔过程中电极金属的熔化和重熔鋼錠的結晶特点 以及某些电現象

5. 电渣重熔时的放热与热分布·····	30
6. 电渣重熔时电极的熔化及錠子的形成·····	31
7. 熔化大断面电极时电渣过程规范对金屬熔池大小的影响·····	36
8. 电渣錠中温度場的研究·····	41
9. 电渣重熔时錠子凝固的某些热工艺問題·····	45
10. 电渣过程中金屬熔滴的过渡·····	48
11. 关于大断面电极电渣重熔时电极金屬熔滴的过渡·····	53
12. 电渣重熔过程中熔滴过渡的特征·····	57
13. 鋼电渣重熔过程的 X-射綫研究 ·····	58
14. 电流种类与极性对电渣焊冶金过程的影响·····	63
15. 电制度、电流种类及其极性对电渣重熔冶金过程的影响·····	70
16. 电渣重熔过程中渣池内的电弧放电現象·····	75
17. 关于电渣重熔过程的整流現象·····	83
18. 电渣加热鋼錠冒口过程中的电解現象·····	84

三、熔渣的物理化学性能和精炼方法

19. 电渣过程用渣的导电度与粘度·····	94
20. 电渣焊接及电渣重熔用熔剂的粘度·····	106
21. 焊接用渣表面張力与炉渣金屬界面張力的研究·····	107
22. 氟化鈣渣系的某些物理性质及电渣过程的温度·····	112
23. 电渣重熔用熔剂的精炼·····	115

24. 电渣焊接过程中渣成分的变化	121
-------------------------	-----

四、电渣过程中钢中元素的变化及防止金属氧化的途径

25. 电渣重熔时碳的反应	125
26. 电渣重熔时金属的脱磷	126
27. 电渣重熔时金属的脱硫	127
28. 电渣过程规范对硅锰过渡的影响	130
29. 电渣重熔时金属中氧的可能来源和保护金属不受氧化的方法	133
30. 电渣重熔时防止金属氧化的方法	137
31. 电渣重熔钢及合金的化学成分	139

五、电渣重熔过程中非金属夹杂的去除及脱气

32. 电渣重熔过程中非金属夹杂的去除	141
33. 电渣重熔的某些问题	146
34. 电渣重熔过程中钢中气体的去除	150
35. 电渣重熔对高合金钢及合金非金属夹杂去除的影响	153
36. 电渣重熔时炉渣对滚珠轴承钢中非金属夹杂的影响	159
37. 进一步降低电渣重熔金属被氧化物夹杂沾污程度的途径	167
38. 电渣熔化金属中非金属夹杂物的研究	174
39. 电渣加热保温帽时钢锭中的非金属夹杂	181
40. 电渣过程中氢的变化特征	184

六、电渣重熔对某些钢及合金性能的影响

41. 电渣重熔对 0X18H9 和 1X14H19B3E (9H851) 不锈钢质量的影响	189
42. 电渣重熔对 9H847 铬镍铜钢质量的影响	195
43. 电渣重熔对铁镍铬基合金工艺塑性的影响	199
44. 耐热不锈钢的电渣重熔	204
45. 电渣重熔对奥氏体钢及合金可焊性的改善	210
46. 关于钛的电渣焊	213
47. 钛合金锭的电渣熔炼	220
48. 电渣重熔对软磁合金磁性的影响	224

七、电渣重熔设备

49. 关于电渣重熔设备的某些问题	225
50. 电渣重熔设备的电制度特征	230
其他参考文献	235

一、电渣重熔法的发展情况及展望

1. 苏联电渣重熔冶金的发展

曲 英 傅 杰

1954年, 苏联乌克兰科学院巴顿电焊研究所在电渣焊的基础上, 制定了自耗电极电渣重熔钢和合金的方法^{[1][2]}。最初, 采用一根或多根焊丝作电极, 焊丝直径为3~8毫米, 合金料一般以粉状加入。这样获得的锭子成本很高。后来, 把大断面电极电渣焊的原理应用到电渣重熔上, 用预先冶炼好的合金钢或合金锻材、轧材或铸棒作自耗电极。重熔时, 过程稳定以后, 一方面, 电流通过渣层产生热量, 使电极金属熔化成熔滴穿过渣层形成金属熔池。另一方面, 与电极金属熔化的同时, 在冷却水的作用下, 熔池自下而上地结晶。电极化完后, 头部金属液迅速凝固, 成为重熔锭子。制成的锭子或由下部连续抽出, 或在熔炼结束后自结晶器内脱取(图1)。

1957年, 在某些工厂中进行了试验。1958年德聶伯尔特殊钢厂建立了半工业性电渣重熔设备。1958~1959年间该厂还设计并制造了电渣重熔的工业性设备, 其变压器功率为2250千伏安, 锭重700~1100公斤, 年产约7000吨^[3]。

在1956年全苏高温实验技术与研究方法会议上^[4]及1959年第五次炼钢物理化学会议上^[5]都讨论了电渣冶炼问题。1960年底, 又召开了有关钢及合金电渣重熔的全苏会议^[6]。

目前, 在苏联几乎每个特殊钢厂都建立了电渣炉, 已经能生产重达12吨的合金钢锭。在机械工厂正在建立能生产重达40~50吨锭子的电渣重熔设备^[6]。

通过电渣重熔质量显著改善的合金钢及合金主要有 ШХ15、ШХ15Г、P18、P18M、18ХНБА、38ХМЮА、12Х2Н4А、15Х2Н2ТРА、35Х3СНМВФА、1Х13、2Х13、Х28、Х17Н2、ОХ18Н9、1Х18Н9Г、1Х18Н12Т、ЭИ347、ЭИ437В、ЭИ643、ЭИ654、ЭИ726、ЭИ769、ЭИ770、ЭИ847、ЭИ851、ЭИ961、ЭП65、79НМ、镍基А、ЖС-6КП等。

为了提高重熔金属的质量和改善技术经济指标, 许多作者对电渣重熔工艺和理论进行了大量研究。

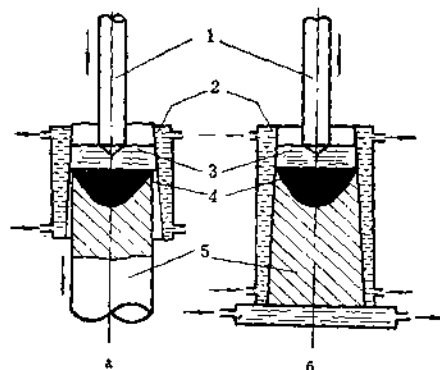


图1 电渣重熔锭子的类型图

a—抽锭式; b—充模式

1—自耗电极; 2—水冷结晶器; 3—渣池;
4—金属熔池; 5—重熔锭子

首先研究了工作电压、电流、渣成分、工作气氛、结晶器内径及自耗电电极断面等主要工艺参数对电渣过程稳定性，金属熔滴过渡特征，金属熔池形状，金属被非金属夹杂及气体沾污程度，元素烧损率和过程生产率及单位电能消耗的影响。

结果表明，为降低重熔金属被氧化物夹杂沾污的程度，提高生产率和降低单位电能消耗，应有合适的电力制度。苏联德聶伯尔特殊钢厂用 $\Delta H\Phi-6$ ($30\% \text{Al}_2\text{O}_3$, $70\% \text{CaF}_2$) 渣系在內径为300毫米的结晶器中重熔滚珠钢自耗电电极时，采用55伏电压及6000安电流获得最佳效果^[7]。电压及电流过低时，生产率低，渣温低，金属熔滴直径大^[8]，对去除夹杂不利。电压及电流过高时，金属熔池深度及体积加大，且自耗电电极表面被大气氧化厉害，不利于重熔金属纯洁度的改善。

$\Delta H\Phi-6$ 熔剂是电渣重熔最常用的熔剂。这种渣具有高的脱氧去夹杂能力^[9]^[10]，透气性小^[11]，能有效地脱硫，其生产率也是较高的^[10]。

电渣重熔过程中，操作得当时，基本上可以保证碳、锰、镍、铬、钒、钨、钼等合金元素的回收。硅的氧化主要取决于电极表面的清洁程度，当自耗电电极表面完全没有铁锈时，硅烧损也不大^[12]。

Al、Ti、B等易氧化元素的回收问题是比較难以解决的。渣中 SiO_2 和 Al_2O_3 的存在可导致 Ti 的烧损。为了保证渣料中不含有不稳定的氧化物，采用化学纯 CaF_2 或精炼萤石 $\Delta H\Phi-1\Pi$ 作熔剂。由于 CaF_2 渣容易使大气中的氧传递给金属^[9]，必须采取氩气保护。当用 CaF_2 渣系在氩气保护下重熔 $\Delta 11\text{T}$ 时，Ti 烧损不大。而在大气下重熔时，距锭底200毫米以上时钛回收率只有30%^[12]。

向渣面通入流动的氩气保护时，氩气消耗量大且保护不彻底。为此，在电渣重熔钛锭时，进一步采用了密封式的电渣重熔设备，整个自耗电电极均保持在静止的氩气气氛下熔炼^[13]。

电渣重熔时金属的熔化和凝固是同时进行的。在整个熔炼过程中，钢锭头部永远保持着一个碗形的金属熔池。液态金属与凝固锭子界面就是晶粒长大的起始面，即晶粒长大方向为液固相界面的法向。当金属熔池底面平坦时，晶粒生长是轴向的（图2b）。而在普通锭模内浇注时，柱晶呈辐射状（图2a）。随锭子熔炼速度的增加，金属熔池深度加大，熔池底部变凹，结晶方向由轴向转向辐射方向。为了保证过程有高的生产率，熔池较浅并有轴

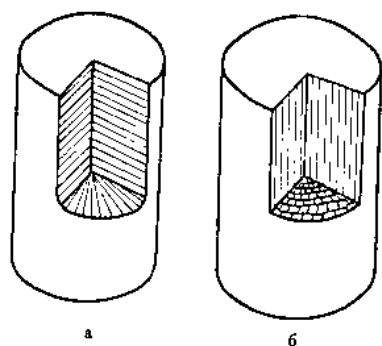


图2 普通钢锭(a)和电渣钢锭(b)的结晶方向

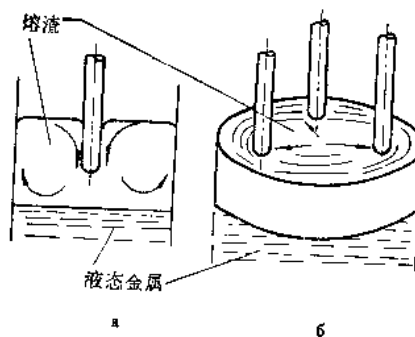


图3 电渣重熔过程中熔流的运动方向
a—单相；b—三相

向結晶，可以采用較高的工作电压，較大的渣量与自耗电極断面^{〔12〕〔14〕}。

电渣重熔的特点和优点之一是金属液可以受到熔渣有效的精炼，除渣鋼接触界面大、系統温度高和渣鋼作用時間长以外，渣池中熔渣强烈地运动利于反应产物离开反应区，这也改善了渣鋼作用的动力学条件。电渣重熔过程中熔渣的运动方向如图3所示。

电渣重熔最突出的优点是显著地降低了合金鋼及合金被非金属夹杂沾污的程度。滾珠鋼重熔前后非金属夹杂的变化示于表1、图4和图5。

表1 34X15鋼的非金属夹杂評級

熔 炼 方 法	錠 子 直 径 (毫米)	炉 数	氧 化 物 夹 杂 平 均 評 級	硫 化 物 夹 杂 平 均 評 級
真空电弧重熔 ^{〔15〕}	70	$\frac{5}{8}$	$\frac{1.42}{1.04}$	$\frac{1.23}{0.55}$
	100	$\frac{2}{6}$	$\frac{1.66}{0.92}$	$\frac{1.07}{0.54}$
电渣重熔 ^{〔12〕}	>200	$\frac{314}{98}$	$\frac{2.69}{1.03}$	$\frac{2.27}{0.75}$

注：分子——原料；分母——重熔鋼。

硫化物夹杂評級降低解释为是由于鋼液的脫硫^{〔10〕}以及快速凝固錠中硫的偏析程度小的緣故^{〔7〕}。

对于电渣重熔过程为什么能强烈地去除氧化物夹杂，什么是决定重熔鋼純洁度的主要因素等問題，意見比較分歧。有人认为，氧化物夹杂的去除主要是由于夹杂在金属熔池内的浮升，去除程度取决于錠子熔炼速度^{〔10〕〔12〕}。也有人认为，渣鋼作用对去除夹杂具有重要影响^{〔18〕}。还有人认为，夹杂物的偏析条件（金属熔池形状）以及重熔过程中金属氧化程度对重熔鋼的純洁度起决定性作用^{〔7〕〔19〕〔8〕}。这些意見均正确地反映了問題的一个方面，但都不够全面。

电渣重熔能够降低鋼中气体的含量，12吨34XM鋼电渣重熔前后气体含量的变化示于表2。

表2 12吨34XM鋼电渣重熔前后气体含量的变化

金属	气体含量	O ₂ (%)	N ₂ (%)	H ₂ (毫升/100克鋼)
	原 料	0.02486	0.01500	5.5
电熔鋼錠	上	0.00229~0.00500	0.01175~0.01313	≤1.5
	中	0.00429~0.00700	0.01225~0.01313	
	下	0.00257~0.00271	0.00938~0.01100	

当鋼及合金中气体以稳定化合物存在时，去除比較困难。奥氏体不銹鋼及鈦重熔时，

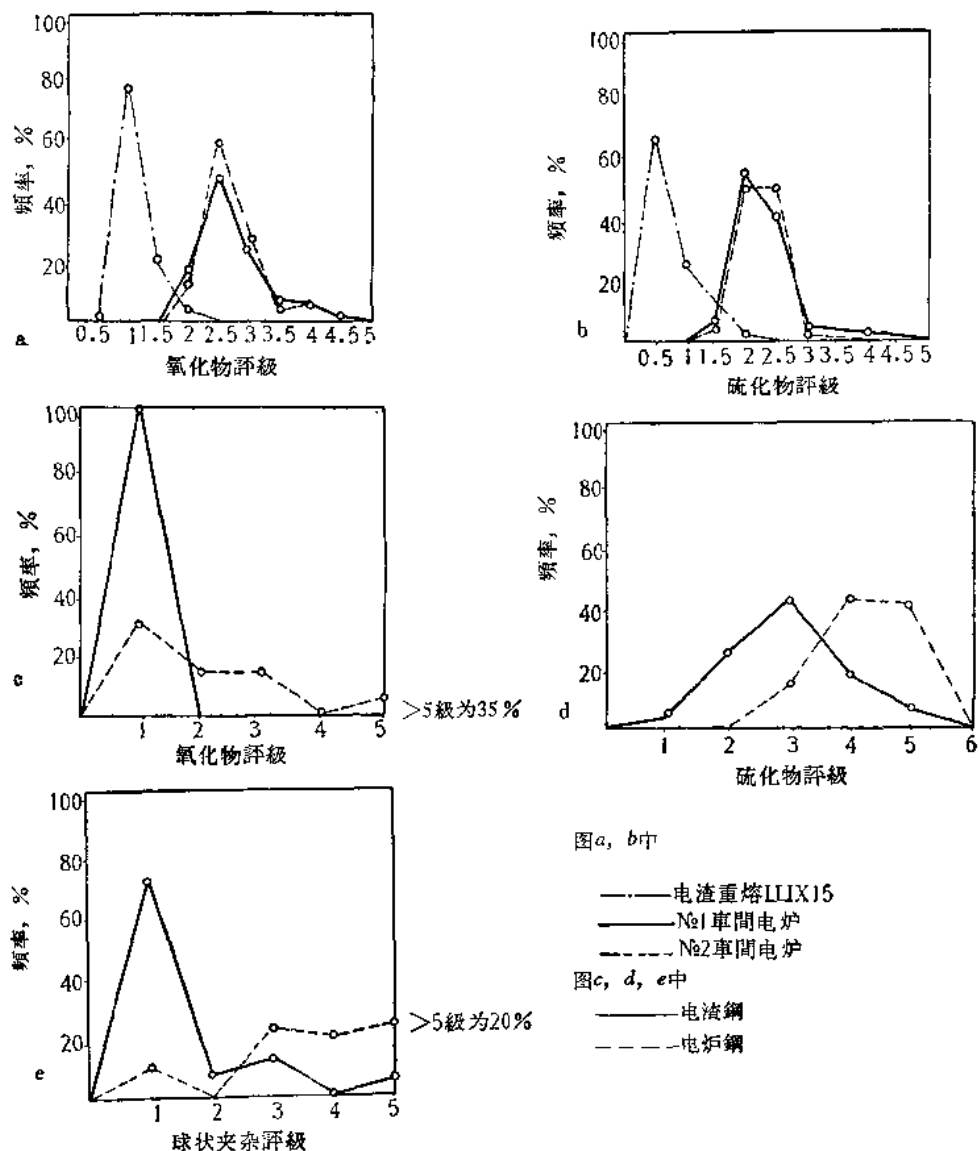


图 4 LUX15鋼重熔前后非金属夹杂評級頻率⁽¹²⁾⁽¹⁶⁾

金屬含氢量基本上不变⁽¹¹⁾⁽¹³⁾。

电渣重熔过程中以溶解状态存在的气体的去除，解释为是由于錠子軸向結晶便于气泡排出的緣故⁽¹²⁾。

由于鋼錠凝固时头部有高温的渣池存在，重熔鋼錠一般沒有縮孔，錠子致密。图 6 为电渣鋼錠纵剖面低倍組織，表 3 系电渣重熔前后金屬比重的变化。由表 3 可見，重熔鋼比重比原料高0.33~1.37%。

与真空电弧重熔不同，电渣重熔过程中沒有金屬飞溅，电渣錠子表面质量良好。苏联用电渣法得到了表面成形良好的錠錠⁽¹³⁾。图 7 为电渣鋼錠的表面情况⁽⁴⁾。

由于錠子冶金质量的提高，电渣重熔鋼的性能显著改善。

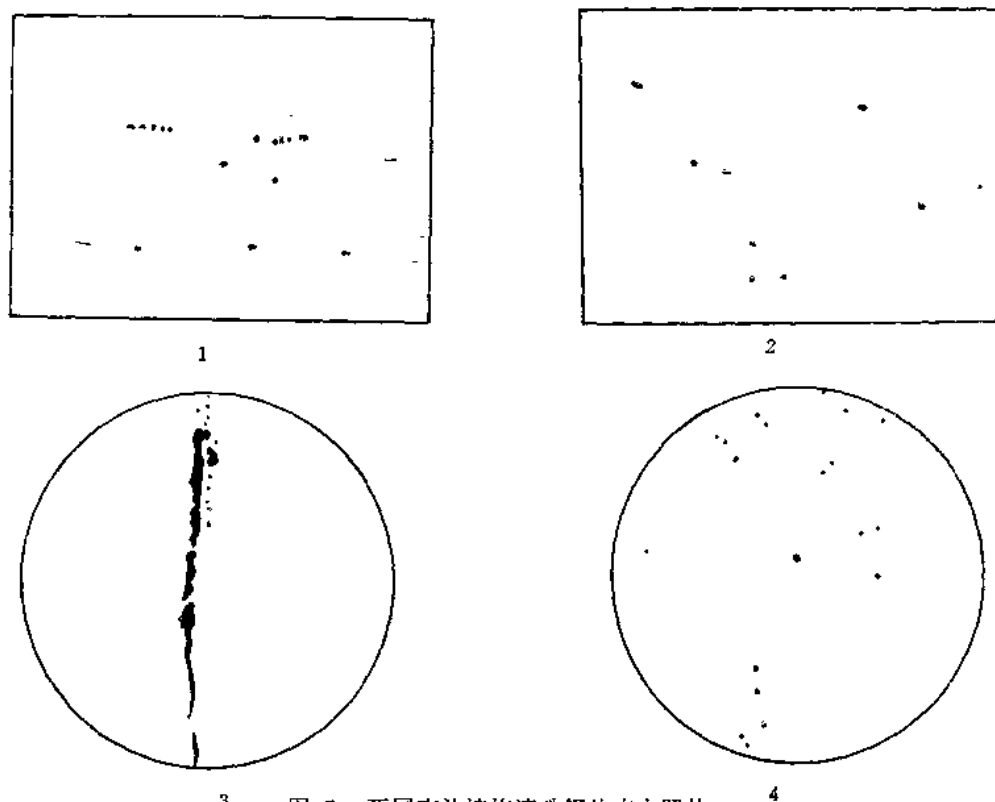


图 5 不同方法熔炼滚珠钢的夹杂照片
1—大气下熔炼^[17]；2—真空电弧重熔^[17]；3—电弧炉熔炼^[12]；4—电渣重熔^[12]

苏联曾用电渣重熔改善了高合金奥氏体钢 9H654, 9H769 和 9H770 的穿孔性。试验用 $\phi 85$ 毫米的自耗电极重熔成 $\phi 200$ 毫米的钢锭，然后再锻成 $\phi 85$ 毫米的管坯进行穿孔。结果表明，电渣重熔使这些钢的穿孔性大为提高。例如曾比较了 13 个 9H654 电渣重熔管坯和 9 个普通管坯，8 个电渣管坯穿孔后内外表面光洁，5 个在两端有 250~600 毫米长的疤痕区，而普通管坯穿孔后内表面全有疤痕与裂纹。图 8 是 9H770 普通管坯及电渣重熔管坯穿管内表面形状。普通钢锭中，铁素体相析集于锭心，而电渣重熔钢锭中，铁素体相分布均匀，而且晶粒不长大（图 9）。另外，氮化物夹杂聚集程度大大减小。这就是穿孔性改善的原因。

电渣重熔以后，金属机械性能提高了（表 7、表 8、图 10）。

关于电渣重熔设备问题，苏联正在建立能生产重达 40~50 吨锭子的三相电渣炉，三根自耗电极同



图 6 电渣钢锭纵剖面低倍组织^[4]

表 3 电渣重熔前后金属比重的变化^[6]

金 属 种 类	比重 (克/厘米 ³)					
	11X15	11X15CF	2X13	X17H2	X28	1X18H9T
重熔前	7.824	7.769	7.736	7.689	7.622	7.825
重熔后	7.850	7.804	7.809	7.735	7.727	7.921

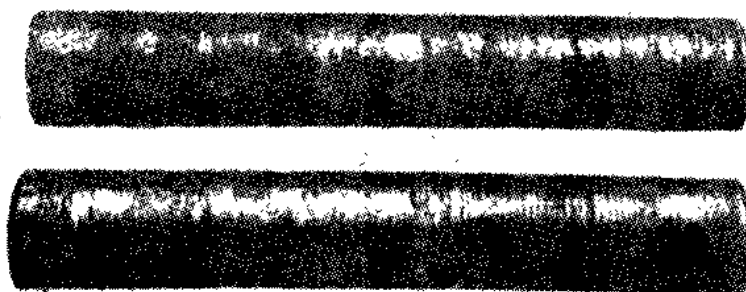


图 7 电渣钢锭的表面情况

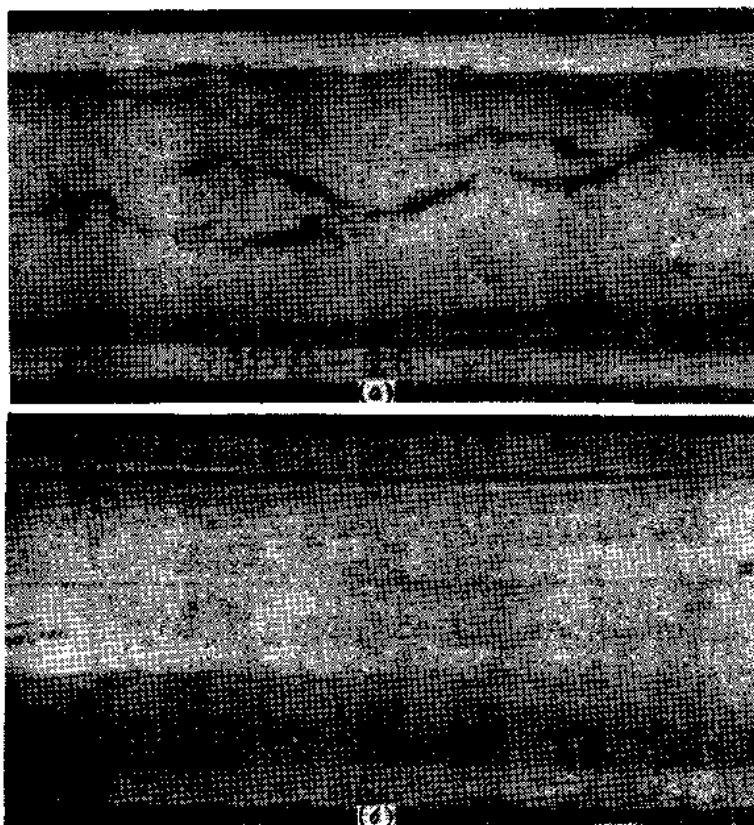


图 8 用3H770普通管坯(a)及电渣重熔管坯(b)轧成的钢管内表面形状

在一个结晶器内熔化。另外曾经将真空电弧炉改装成密封式的氩气保护电渣炉^[13]。对于电渣重熔设备的电制度特征已开始进行研究^[21]。

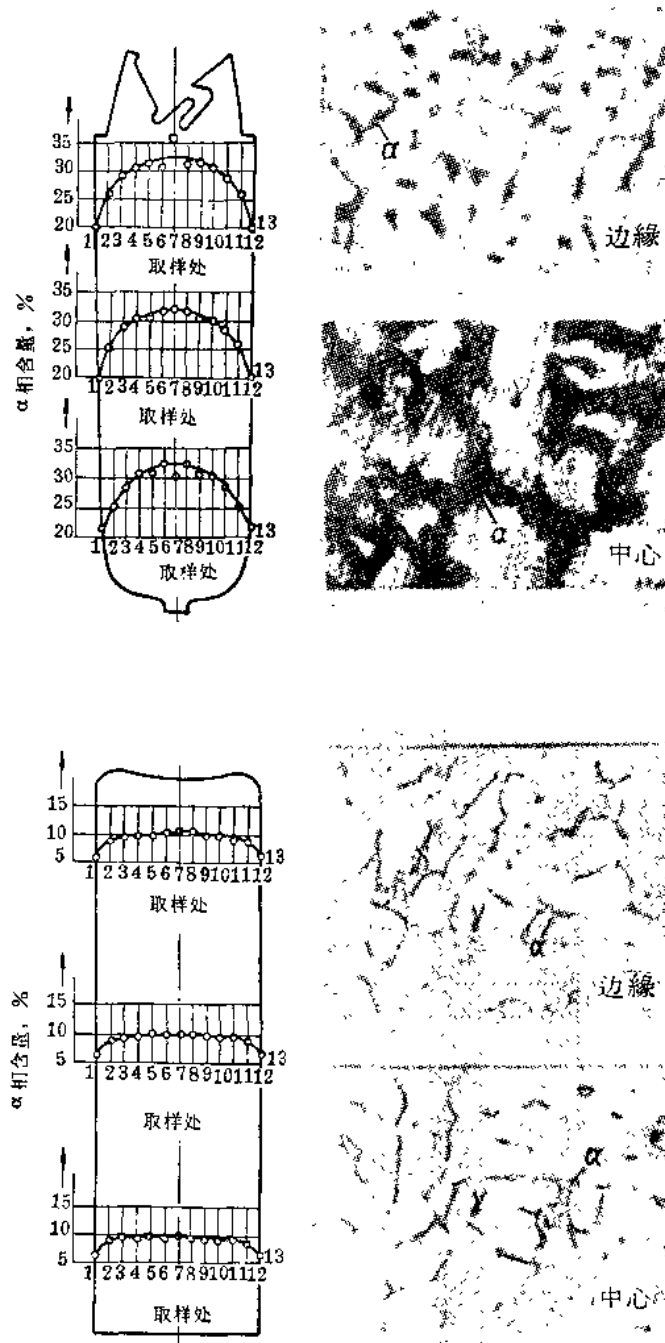


图 9 重熔 Zh770 的铁素体分布

表 4 20°C下电渣重熔前后钢的机械性能^[6]

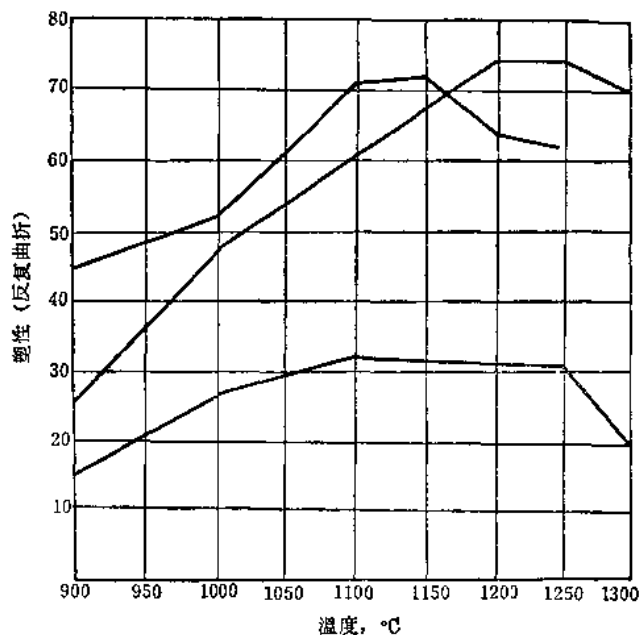
钢 种	σ_b	σ_s	δ	ψ	a_k	各 向 异 性	
	(公斤/毫米 ²)	(公斤/毫米 ²)	(%)	(%)	(公斤·米/厘米 ²)	ψ	a_k
15XHBА	$\frac{135.6/-}{135.0/137.5}$	—	$\frac{13.3/-}{13.7/11.6}$	$\frac{59.0/-}{61.6/49.7}$	$\frac{13.2/4.8}{15.0/10.3}$	$\frac{-}{1.24}$	$\frac{2.75}{1.47}$
ЭИ736	$\frac{96.8/94.2}{99.7/97.8}$	$\frac{81.5/81.6}{87.4/82.1}$	$\frac{17.5/10.4}{15.5/15.1}$	$\frac{59.6/37.5}{60.6/57.6}$	$\frac{13.5/3.5}{17.1/12.7}$	$\frac{1.59}{1.05}$	$\frac{3.86}{1.34}$
ЭИ961	$\frac{118.0/114.2}{120.8/122.0}$	$\frac{93.0/95.1}{97.8/98.0}$	$\frac{13.0/8.2}{14.8/13.1}$	$\frac{67.0/32.6}{66.9/54.6}$	$\frac{14.9/5.8}{13.2/8.9}$	$\frac{2.05}{1.22}$	$\frac{2.55}{1.49}$
ЭИ851	$\frac{58.9/55.6}{58.9/58.6}$	$\frac{23.2/27.3}{30.2/30.4}$	$\frac{46.4/26.0}{44.0/41.6}$	$\frac{63.9/26.0}{63.9/53.9}$	$\frac{20.3/6.4}{24.4/13.3}$	$\frac{2.46}{1.18}$	$\frac{3.18}{1.85}$
15X3 CHMBΦA	$\frac{196.4/183.2}{199.2/199.0}$	$\frac{181.1/165.4}{176.2/176.0}$	$\frac{8.3/8.2}{9.5/8.5}$	$\frac{14.0/16.0}{13.2/14.6}$	$\frac{6.7/6.7}{7.5/7.5}$	$\frac{-}{-}$	$\frac{1.00}{1.00}$

注：分子——原料；分母——重熔钢；左边——纵向；右边——横向。

表 5 20°和900°C下镍基耐热合金的机械性能^[6]

炉 号	σ_a	δ	ψ	τ_p
	(公斤/毫米 ²)	(%)	(%)	
1	$\frac{91.0/62.5}{114.2/77.6}$	$\frac{1.8/0.0}{11.3/13.8}$	$\frac{4.0/2.8}{12.2/14.1}$	$\frac{81-30}{92-05}$
2	$\frac{97.2/76.1}{118.0/67.3}$	$\frac{3.2/2.1}{15.5/16.5}$	$\frac{6.0/2.0}{15.2/16.5}$	$\frac{87-10}{85-30}$
3	$\frac{97.0/69.7}{119.1/75.3}$	$\frac{3.0/2.3}{16.5/16.1}$	$\frac{5.3/2.8}{16.2/14.1}$	$\frac{66-20}{81-20}$

注：分子——原料；分母——重熔金属；左边——20°C；右边——900°C； τ_p —— $\sigma=22$ 公斤/毫米²、900°C时的持久强度。

图 10 X16H15M3S钢的高温持久强度^[20]

1—原料；2—真空电弧重熔钢；3—电渣重熔钢

結 論

1. 近几年来, 电渣重熔冶金在苏联获得了迅速的发展。他們已經能够生产12吨的合金鋼錠, 且正在建立容量为40~50吨的三相电渣重熔設備。

2. 电渣重熔提高了一系列合金鋼及合金的质量, 改善了它們的性能。

3. 对下列問題进行过比較多的研究:

- 1) 电极金屬熔滴过渡的特征;
- 2) 电渣錠子的結晶特征;
- 3) 熔渣的物理化学性能(导电度、粘度、表面張力与界面張力、脫硫能力、透气性、去除氧化物夹杂的能力等);
- 4) 电渣重熔过程中鋼中元素的变化及防止金屬氧化的途径;
- 5) 非金属夹杂去除机理(电渣过程有效去夹杂的原因及影响重熔金屬純洁度的因素)。

4. 需待进一步研究的問題是:

- 1) 电渣重熔金屬的性能(滾珠鋼的寿命等)及其与真空电弧重熔金屬的对比;
- 2) 电渣重熔对高温合金和精密合金质量的影响;
- 3) 电渣法在鉄合金生产中的应用;
- 4) 选择工艺参数和設計电渣炉及車間的原则;
- 5) 大电渣炉的冷却制度;
- 6) 大型三相电渣炉的設備、工艺特点及其冶金特点;
- 7) 电渣重熔过程中渣池內的电弧放电现象以及它对电渣重熔过程冶金特点和重熔金屬质量的影响;
- 8) 电渣重熔过程中氮化物夹杂(TiN 等)的变化規律;
- 9) 影响电渣重熔过程中气体去除程度的因素;
- 10) 电渣重熔过程中稀土元素的变化。

参 考 文 献

- [1] Б. Е. Патон, Б. И. Медовар, Ю. В. Латаш, Авт. св., 1958, № 11.
- [2] Б. Е. Патон, Б. И. Медовар, Ю. В. Латаш, Исследования по жаропрочным сплавам, 1959, Том V.
- [3] Б. Е. Патон, Б. И. Медовар, Ю. В. Латаш, Б. И. Максимович, А. Ф. Трегубенко, Физикохимические основы производства стали, Металлургиздат, 1961.
- [4] Б. Е. Патон, Б. И. Медовар, В. Е. Патон, Ю. В. Латаш, Экспериментальная Техника и методы исследований при высоких температурах, Изд. АН СССР, 1959.
- [5] Л. М. Ступак, Авт. св., 1961, № 3.
- [6] Б. И. Патон, Б. И. Медовар, Ю. В. Латаш, Б. И. Максимович, Л. М. Ступак, Сталь, 1962, № 11.
- [7] С. А. Лейбензон, А. Ф. Трегубенко, Производство стали методом электрошлакового переплава, Металлургиздат, 1962.
- [8] Д. А. Дудко, И. Н. Рублевский, Г. С. Тягун-Белоус, Авт. св., 1959, № 5.

- [9] В. В. Топилин, М. М. Ключев, Е. В. Войновский, В. М. Доронин, Д. П. Розанов, *Сталь*, 1963, № 9.
- [10] Ю. В. Латаш, В. И. Максимович, Б. И. Медовар, *Авт. св.*, 1960, № 9.
- [11] Ю. В. Латаш, В. И. Медовар, *Авт. св.*, 1959, № 3.
- [12] Б. И. Медовар, Ю. В. Латаш, В. И. Максимович, Л. М. Стулак, *Электрошлаковый переплав*, Металлургиздат, 1963.
- [13] С. М. Гуревич, В. П. Дидковский, Ю. К. Новиков, *Авт. св.*, 1963, № 10.
- [14] В. В. Панин, Е. И. Молчанов, Е. Р. Плоткин, *Изв., ВУЗ. ЧМ.* 1963, № 9.
- [15] С. Г. Воинов, А. Г. Шалимов, *Шарикоподшипниковая сталь*, Металлургиздат, 1962.
- [16] С. Ф. Белков, Д. С. Ларионова, А. А. Царева, А. С. Шейн, *Применение вакуума в металлургии*, 1960.
- [17] A. M. Aksoy, *Quality Requirements of Super-Duty Steels*, 1958, Vol. 3.
- [18] В. В. Панин, *Изв. АН СССР, ОТН, Металлургия и Топливо*, 1962, № 2.
- [19] М. М. Ключев, В. В. Топилин, *Изв. ВУЗ. ЧМ.* 1962, № 1.
- [20] В. Е. Ратон, В. И. Медовар, *Engineering Materials and Design*, 1962, № 10.
- [21] Л. Н. Беляничков, Р. Н. Григораш, П. П. Евсеев, А. В. Панов, *Изв. ВУЗ. ЧМ.* 1963, № 7.

2. 美国电渣重熔冶金的发展

一九三五年美国开始出现了用自耗电极重熔合金钢及合金的方法。一九三九年三月该法获得了专利权，称为“Kellogg电力铸造法”或以发明者的姓名命名叫做“Hopkins”法。重熔时，自耗电极在渣层下熔化，液态金属在水冷铜结晶器内结晶。炉渣使金属液与大坩埚得以避免接触，同时还对金属进行精炼。由于凝固的金属表面具有一层渣壳，重熔锭子具有良好的表面。电流通过渣池时放出熔炼过程所需的热，过程中没有电弧，熔池深度不大，以致重熔金属偏析很小。

早期，采用管状电极重熔合金钢或合金时，以基体金属作管子（如重熔镍基合金用镍管）。其他合金材料则根据成品规格要求，在重熔过程中以细粒状按一定数量与速度自管中心加入。设备如图1所示。

最初，这一方法主要用来生产高级优质不锈钢，有时也用来制取一些特别纯的合金。二次世界大战期间，重熔了几百吨的钢，其中大部分为高速工具钢。战后，1947年，第一次熔炼了耐热钢16-25-6。接着，为了改善其他一些高温合金的性能，也采用了“Hopkins”法。曾生产过直径400毫米重1360公斤的钢锭。

在实践过程中，发现重熔锭内有未经熔化的管极碎块，影响了成品的质量。1950年以后，管状电极电渣重熔被淘汰，出现了棒料电极电渣重熔法。电极的成分基本上与成品的成分相同，重熔主要完成提高质量的任务。

1959年2月费思-斯特林（Firth-sterling）公司，为了改善锭子表面质量与可锻性

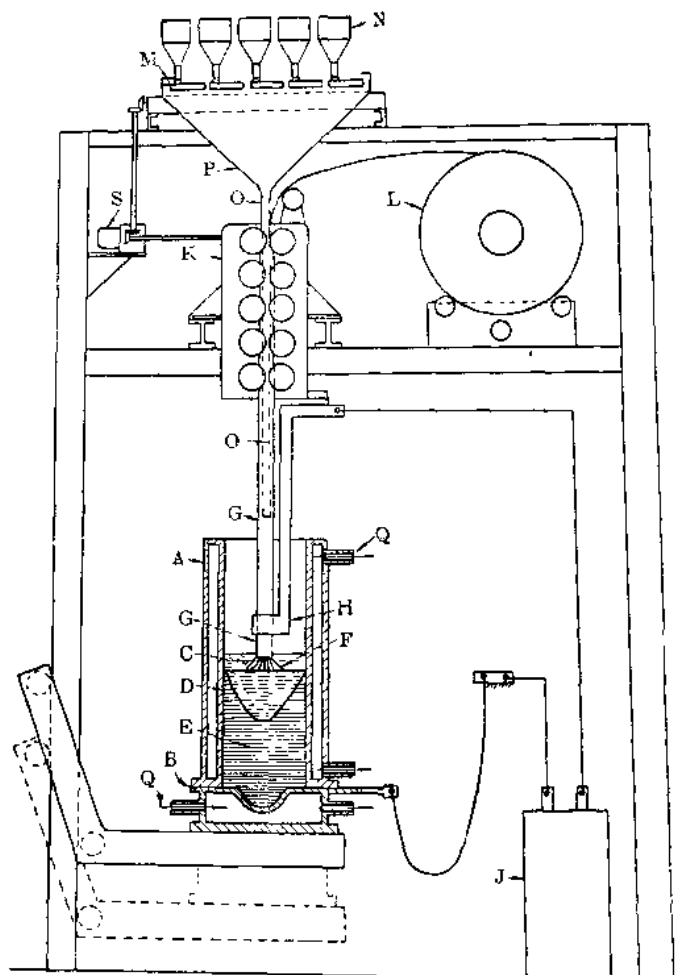


图 1 管状电极电流重熔设备图

A—水冷结晶器；B—水冷底盘；C—熔渣层；D—金属熔池；E—固态金属；F—高温锥体区；G—管状自耗电极；H—导电把手；J—电源；K—卷管机械；L—钢带卷筒；M—合金料称量设备；N—料仓；O—合金料输送管；P—漏斗；Q—进水口；S—电动机

以及降低成本，成功地用“Kellogg”法生产了用于航空工业的高温合金 A-286。继之又制造了其他一些用于现代技术的优质金属材料。

下面是有关的技术资料。

按该法可生产直径为508毫米重3630公斤的锭子。重熔时采用 $\text{CaO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-CaF}_2$ 渣系。

重熔钢锭表面光滑，锻造前几乎无须精整。图 2 是重熔锭子的外形。

开始阶段，电渣重熔钢锭中轴向柱状晶特别发展，仅在进行一定的热处理后才能进行锻压加工。以后，借助于特殊的机械作用（不是高频振荡或电磁搅拌，具体方法不详），获得了细晶粒（图 3），从而保证了良好的可锻性。

重熔金属低倍组织中几乎完全没有偏析。锭子致密。