

苏联钢铁企业冶金渣的加工和利用

北京钢铁设计研究总院技术情报室

一九八四年八月

*
*
*
*
*
*
*
*
*
*
*
*
*
*
*
*

苏联钢铁企业冶金渣的加工和利用

钢铁企业每年都要产生大量高炉渣、钢渣、铁合金渣、含铁粉尘和泥渣。1980年苏联第十个五年计划的最后一年，苏联产铁10720万吨，产钢14794万吨。该年炉渣总产量8000多万吨，其中，高炉渣5400万吨，钢渣2300万吨，铁合金渣430万吨，平均每冶炼一吨生铁生成高炉渣504公斤，每冶炼一吨钢生成钢渣189.3公斤。随着炼铁备料质量的提高和炼钢工艺的改进，炉渣单位产量有所下降，现在每冶炼一吨生铁平均生成高炉渣412公斤，冶炼一吨钢平均生成钢渣165公斤。尽管炉渣单位产量有所下降，但因钢铁总产量不断提高，炉渣总产量并未大幅度下降。这么多炉渣如果不加以利用，变废为宝，不但要投资建渣场，而且是一项巨大损失。多年来，苏联致力于冶金渣的利用，已初见成效。各钢铁企业的炉渣利用量逐年增长。近几年苏联钢铁企业的炉渣利用量占各种炉渣总产量的百分数详见表1。

苏联钢铁企业各种炉渣的利用率〔1,4〕

表1

炉 渣	1975年	1978年	1979年	1983年
高炉渣	78.3	81.1	82.0	84
炼钢炉渣	16.4	23.3	24.3	27
铁合金渣	44.4	41.6	42.8	50
总利用率	58.0	62.2	63.2	64.4

炉渣利用率之所以逐年上升，是因为改进了炉渣加工工艺，增建了高生产能力的炉渣加工设备。例如，新利佩茨克钢铁厂等企业掌握了3000米³以上大高炉的高炉渣炉前粒化生产工艺，顿涅茨钢铁厂建了一个有三台机组（能力50万吨/年）的粒化工段，克里沃罗格钢铁厂、卡拉干达钢铁公司、新利佩茨克钢铁厂、塔干罗格钢铁厂等企业建了现代化高能力炉渣加工设备。

早在七十年代，苏联就有一批钢铁厂和车间实现了无渣场或接近于无渣场生产。1976年这些工厂处理炉渣的情形详见表2~4。

1976年苏联一部分钢铁厂处理高炉渣的情形〔2〕 表2

工 厂	高炉渣处理量，万吨							该厂高炉渣利用率 %
	粒化渣	膨胀渣珠	碎 渣	矿渣棉	其它单位	应	供	
1	2	3	4	5	6	7		
伊里奇钢铁厂	178.87	-	57.04	-	-	97.8		
新利佩茨克钢铁厂	170.09	-	114.02	-	5.04	100		
科木纳尔钢铁厂	110.74	-	39.77*	-	-	94.7		
亚速钢厂	71.58	96.5	104.52	8.2	-	100		
顿涅茨钢铁厂	62.43	-	30.06	-	2.3	87.0		
斯塔罗乌特金斯克钢铁厂	-	-	-	2.1	1.38	100		
车里雅宾斯克钢铁厂	129.5	29.78	28.69	-	-	85.9		
彼得罗夫斯基钢铁厂	60.02	-	-	-	36.94*	100		
马格尼托哥尔斯基钢铁公司	133.7	-	-	-	127.6	70.1		
克里沃罗格钢铁厂	367.68	14.34	15.07	1.44	130.23*	100		
捷尔任斯基钢铁厂	158.33	-	-	-	80.41*	100		

1	2	3	4	5	6	7
扎波罗什钢铁厂	133.01	-	-	-	77.40*	100
叶那基耶沃钢铁厂	94.77	-	35.08*	-	-	100
克拉马托尔斯克钢铁厂	22.38	-	19.01*	-	7.35*	100
康斯坦丁诺夫卡钢铁厂	10.52	-	10.48*	-	-	100
阿沙钢铁厂	11.5	-	-	-	-	95.4
库什瓦钢铁厂	9.16	-	4.01*	-	-	100

* 出厂碎渣未进行粒度分级。

1976年苏联一部分钢铁厂处理
炼钢炉渣的情形〔2〕

表3

工 厂	炼钢炉渣处理量, 万吨			
	碎 渣	肥 料	用 于 该厂钢渣	
冶 金			利 用 率 %	
亚速钢厂	48.1	42.27	-	100
塔干罗格钢铁厂	13.0	-	-	100
奥穆特宁斯克钢铁厂	2.7	-	-	100
彼得罗夫斯基钢铁厂	-	-	23.93	100
新利佩茨克钢铁厂	140.01	-	-	95.1
阿穆尔钢厂	0.11	13.6	-	78.2
伊里奇钢铁厂	56.96	-	-	58.4
克拉马托尔斯克钢铁厂	18.31	-	-	68.6

1976年苏联一部分铁合金厂处理
铁合金炉渣的情形〔2〕

表4

工 厂	铁合金炉渣处理量, 万吨				
	粒 化 渣	肥 料	生 产 用	建 筑 用	该厂铁合 金渣利用 率 %
的碎渣			的碎渣		
库兹涅茨克铁合金厂	-	-	-	1.07	89.9
泽斯塔弗尼铁合金厂	19.49	-	25.95	-	91.8
尼科波尔铁合金厂	-	-	-	28.86	41.5
谢罗夫铁合金厂	-	19.43	-	-	41.5

现在，亚速钢厂，彼得罗夫斯基钢铁厂，康斯坦丁诺夫卡钢铁厂，塔干罗格钢铁厂，新利佩茨克钢铁厂，以及卡迪耶夫卡铁合金厂，库兹涅茨克铁合金厂等企业的新炉渣，均全部予以处理。新利佩茨克钢铁厂，亚速钢厂，伊里奇钢铁厂，谢罗夫钢铁厂，科木纳尔钢铁厂，马凯耶夫卡钢铁厂，顿涅茨钢铁厂，克拉马托尔斯克钢铁厂，叶那基耶沃钢铁厂等企业的炼铁车间，都没有渣场。

将炉渣加工成各种粒度的碎渣和渣粉，并从中回收金属，是大量利用炉渣的有效方法。苏联的高炉渣平均含金属2%，钢渣平均含金属12%。1980年共生成高炉渣5400万吨，钢渣2800万吨。这一年从新渣和渣场旧渣中总共回收金属130万吨。据1983年报导，在苏联钢铁工业部所属各企业的各种新炉渣中，被加工处理的高炉渣为84%，钢渣为27%，铁合金渣为50%；每年抛弃的各种炉渣共2700万吨以上，约损失金属100万吨。由此可见，在炉渣利用方面，大有潜力可挖。

苏联从炉渣中回收金属，主要集中在二十多个钢铁企业。1977年各厂回收的金属量详见表5。

1977年苏联各主要钢铁厂从炉渣中
回收之金属量(万吨)(1)

表5

企 业	高炉渣和炼 钢炉渣产量 万吨	从渣中回收金属量, 万吨		合 计
		从新渣 中回收	从旧渣 中回收	
1	2	3	4	5
乌克兰共和国钢铁工业部	3111.11	22.09	41.96	64.05
“苏联冶金工业”生产联合公司	3186.09	39.14	19.61	58.75
“苏联特殊钢”生产联合公司	541.55	3.16	4.97	8.13
“苏联钢管钢”生产联合公司	154.26	2.68	2.00	4.68
“苏联金属制品”生产联合公司	22.90	-	0.36	0.36
“黑色冶金修理”生产联合公司 技术局	14.11	-	-	-
苏联钢铁工业部合计	7142.62	67.07	68.90	135.97
其中, 各钢铁厂:				
马格尼托哥尔斯克钢铁公司	700.88	16.90	5.56	22.46
卡塔吉尔钢铁公司	359.44	6.49	1.86	8.29
库兹涅茨克钢铁公司	259.64	2.31	5.43	7.74
奥尔斯克—哈里洛沃钢铁公司	193.95	4.05	0.60	4.65
卡拉干达钢铁公司	383.85	-	2.14	2.14
新利佩茨克钢铁厂	487.73	4.51	-	4.51
西西伯利亚钢铁厂	317.60	1.72	-	1.72
车里雅宾斯克钢铁厂	404.26	2.14	1.53	3.67
“红十月”钢厂	27.66	-	1.70	1.70
塔干罗格钢铁厂	14.20	1.62	-	1.62

1	2	3	4	5
克里沃罗格钢铁厂	695.35	0.11	6.46	6.57
马凯耶夫卡钢铁厂	277.45	0.25	12.99	13.24
捷尔任斯基钢铁厂	309.82	4.44	6.38	10.82
扎波罗什钢铁厂	287.49	3.43	5.46	8.89
科木纳尔钢铁厂	277.35	3.09	2.86	5.95
彼得罗夫斯基钢铁厂	132.66	5.54	-	5.54
亚速钢厂	388.79	3.22	1.59	4.81
伊里奇钢铁厂	359.80	0.37	3.79	4.16
顿涅茨钢铁厂	112.89	0.24	1.55	1.79
克拉马托尔斯克钢铁厂	57.51	-	0.91	0.91
上列钢铁厂合计	6048.32	60.43	60.81	121.18

利用炉渣中之金属，经济效益相当大。在苏联现在的情况下，从渣中回收一吨金属的成本比购买废钢的费用低30~40%。

关于此回收金属的利用问题，可以用新利佩茨克钢铁厂的事例作一粗略的说明。该厂无渣场，全部炉渣均予以处理，从渣中回收之金属也全部予以利用。该厂从渣中回收之金属，50~60%是矿物质，50~40%是金属。此金属的化学成分相当于该厂第二转炉车间生产的低碳钢的成分；矿物质的化学成分如下(%) [5]：

C ₂ O	F ₂ O	S ₁ O ₂	MgO	Al ₂ O ₃	P ₂ O ₅	S
50~56	12~18	14~17	1~3	1~3	1.3	0.14

该厂在25吨电炉中用含渣50~60%的回收金属代替部分废钢(占金属炉料的10%)冶炼35~55л号钢，钢的成本降低1.47

卢布/吨。这种回收金属也可用于烧结和炼铁。

苏联许多钢铁厂的渣场堆存大量弃渣。按苏联现有的技术水平考虑，综合处理100万吨弃渣，平均可以获得2.5万吨回收金属和34万吨粒度分级的碎渣。而目前存在的问题是，炉渣的利用量增长很慢，金属回收率和回收量增长幅度也很小。因此，需要改进炉渣处理工艺，增建炉渣处理设备，为提高炉渣的利用率作出不懈的努力。

一、苏联的碎渣加工法

在苏联被加工利用的新炉渣中，除了大部分高炉渣和一部分铁合金渣被加工成粒化渣以外，大部分钢渣，一部分高炉渣和铁合金渣被加工成碎渣，渣场旧渣被加工成碎渣。在加工碎渣时，从渣中回收金属。炉渣的破碎筛分和回收金属系交替地进行。

(一) 炉渣的破碎和粒度分级

炉渣的破碎和粒度分级，苏联普遍采用两阶段法。第一阶段将液态渣倒入渣坑，待冷却后，用机械设备取出。大块渣用落锤破碎，用电磁盘回收大块金属。第二阶段将经过预处理的炉渣按粒度要求进行破碎、筛分，并多次回收金属。

苏联炼钢车间的炉渣处理工段，跨度一般为30米，长达180米，有的大于180米；渣坑宽12~22米，深4米；吊车轨道高9~12米。苏联几个钢铁厂的炉渣处理工段的数据列于表6。

苏联几个钢铁厂的炉渣处理工段的数据〔2〕

表6

指 标	马格尼托哥尔 斯克钢铁公司		卡塔吉尔钢铁公司		新利佩茨 克钢铁厂	车里雅宾 斯克钢铁厂
	第一炉渣 处理工段	第二炉渣 处理工段	第一炉渣 处理工段	第二炉渣 处理工段		
炉渣处理工段和渣坑尺寸, 米						
工段长度	101	168	114	48	140	168
第一渣坑长度	77	75	100	42	100	63
第一渣坑宽度	15.8	18	11	19	19.4	19
第一渣坑深度	3.7	4	4	4	3	4
第二渣坑长度	59	75	-	-	-	63
第二渣坑宽度	16	-	-	-	-	19
第二渣坑深度	3.7	4	-	-	-	4
渣坑总面积, 米 ²	2160.6	2745	1100	912	1940	2900
电动桥式吊车台数	4	5	2	2	3	5
每米渣坑面积容纳的渣量, 吨	428	-	524	-	200	208

— 10 —

每米²渣坑面积能容纳的渣量，各厂差别甚大，具体数据如下：

马凯耶夫卡钢铁厂	886吨/米 ²
捷尔任斯基钢铁厂	488吨/米 ²
科木纳尔钢铁厂	345吨/米 ²
奥尔斯克—哈里洛沃钢铁公司	322吨/米 ²
切列波维茨钢铁厂	295吨/米 ²
亚速钢厂	237吨/米 ²
克里沃罗格钢铁厂	155吨/米 ²
伊里奇钢铁厂	110吨/米 ²
彼得罗夫斯基钢铁厂	106吨/米 ²

由于钢铁厂改造以后炼钢能力增大，钢渣量增多，同时，为了提高碎渣质量和金属回收率，过去沿用的第一阶段炉渣处理工艺已不能适应需要，亟待改进。乌拉尔黑色金属科学研究所和新利佩茨克钢铁厂、塔干罗格钢铁厂、上伊谢特钢铁厂一起，研究成功炉渣初次破碎用的热冲击破碎法，已在新利佩茨克钢铁厂、塔干罗格钢铁厂、西西伯利亚钢铁厂、卡拉干达钢铁公司等钢铁企业应用。凡是新建炉渣处理工段，都要采用此工艺。

这种热冲击破碎法，是在炉渣温度高于“可碎温度界限”（“可碎温度界限”就是在喷水冷却时渣内产生的温度应力大于强度极限的最低温度。例如，平炉渣为1000℃）时，以有限制的冷却水量向炉渣喷水，使渣块中形成微裂纹，微裂纹相交，渣块乃自行破裂，其破裂部位多出现在矿物质、金属、渣相交界处，这样，渣内金属易于裸露，有利于回收。冷却水沿着裂纹渗入热渣块内，不仅能使炉渣进一步破裂，而且还会加速各游离氧化钙颗粒的相互作用。

塔干罗格钢铁厂在新建的炉渣处理工段对分层倒液态渣进行热冲击

破碎证明，炉渣浇水的冷却速度相当高，从1100℃降到50~70℃，只需1.5~2小时，而自然空冷则需30小时左右。此冷却时间与用下面的公式计算的结果基本相符〔2〕：

$$\tau = \frac{I_n \left(\frac{T_{BH}}{T_a - 100} \right) l^2}{a'}$$

式中：τ——炉渣浇水冷却时间；

T_{BH} ——冷却结束时渣内的温度；

T_a ——开始冷却时炉渣外表面温度；

l ——渣层厚度；

a' ——温度有效传导系数， 1.13×10 米²/小时。

用蒸汽冲击破碎法达到的炉渣冷却速度比自然空冷高30~50倍。用此法破碎而成的碎渣，其结构稳定；经全苏道路科学研究院、沃罗涅日建筑工程学院和乌拉尔黑色金属科学研究院试验，完全符合ГОСТ 3343-73对道路建设材料的要求；而用自然空冷的炉渣加工而成的碎渣，则不宜用作建筑材料。

使用此工艺时，灰尘逸出量较少，劳动条件较好，生产率可提高20~40%，金属回收量可增加50%；而且，可以大大缩短炉渣冷却时间，加快渣罐周转，能利用现有场地进行炉渣处理。此外，不必用吊车疏松炉渣，从而不会增大电磁盘—抓斗吊车的工作负荷。缺点是产生大量蒸汽，冬季尤为严重。

苏联各厂在第一阶段处理炉渣时，一般用电磁盘吊车回收大块金属，这种金属含炉渣和杂质较少，不必再作净化处理。有些工厂将回收之金属按300(400)~100(75)、100(75)~20(13)、20毫米以下这几种块度分级。大于300(400)毫米的金属可予以破碎或切碎。

块度最大的那一级金属，一般都很洁净，可以用作平炉炼钢原料；块度中等的金属可以用作高炉炼铁原料。渣中残留的小块金属在第二阶段处理时回收。

根据下塔吉尔钢铁公司和马格尼托哥尔斯克钢铁公司炉渣处理工段的生产情形来看，在第一阶段处理时，可以从渣中回收金属60~70%。

第二阶段处理是将第一阶段粗破碎的炉渣进一步破碎，根据用途进行粒度分级。例如，新利佩茨克钢铁厂将粗破碎的转炉渣经过两次破碎和四次磁力回收金属，筛分成70~40、40~20、20~10、10~5、5毫米以下五个粒度等级。小于5毫米的碎渣被送往粉磨机磨成渣粉。车里雅宾斯克钢铁厂只将钢渣分为200~8、8~0毫米两个粒度等级。大粒度碎渣作为含锰原料送入高炉，代替一部分石灰石；小粒度碎渣则掺到烧结料中使用。彼得罗夫斯基钢铁厂将钢渣分成200~50和50毫米以下两级。转炉渣供高炉炼铁用，平炉渣用作铺路材料。

某些炉渣具有自行粉化的特点，可以用风力进行分选。谢罗夫铁合金厂和乌拉尔黑色金属科学研究院等单位一起试验研究成功的精炼铬铁渣风力分选工艺，已在谢罗夫铁合金厂等企业应用。此工艺系利用空气流将降落的渣粒吹散，达到分选的目的。最佳空气流速为10米/秒。此法可以提高磁选设备的生产效率，金属回收率提高69%，也用不着配备筛分机和螺旋输送机。谢罗夫铁合金厂用此法处理2.5万吨炉渣，获得金属和渣粉，经济效益14.2万卢布/年。这种方法也可用于炉渣破碎系统，将1~0毫米渣粉分离出来。

(二) 从渣中回收金属

在第二阶段处理炉渣时用电磁盘回收金属，其回收率不高，效率也较低。乌拉尔黑色金属科学研究院研制的接触式吸铁设备，较好地解决

了这一问题，已在亚速钢厂等企业应用。

亚速钢厂的金属回收设备有一台由碎渣料仓供料的给料机，一台带式运输机，一个金属收集料斗，一个碎渣收集料斗，一台吸铁设备。吸铁设备由电磁轮和皮带运输机组成，铰接在带式运输机上方。当碎渣在带式运输机上通过时，电磁轮连续不断地从碎渣中回收金属。经皮带运输机进入金属收集料斗。该设备的金属回收率比电磁盘高50~70%，金属回收量多1~2万吨/年。

（三）碎渣加工设备举例

1. 克里沃罗格钢铁厂新建的碎渣加工设备

克里沃罗格钢铁厂在八十年代新建的碎渣加工设备，包括一个炼钢炉渣加工工段和一套高炉渣加工设备。在设计中，吸取了新利佩茨克钢铁厂、伊里奇钢铁厂、塔干罗格钢铁厂以及其它钢铁企业的碎渣加工生产经验，破碎用颚式破碎机，磨碎用管磨机，回收金属用电磁轮，也可以用悬吊式电磁盘。

在炼钢炉渣加工工段建三条生产线，每条生产线的设计能力为100万吨/年。其中，两条生产线加工新渣，一条生产线加工旧渣。此外，还留有第四条同样能力的生产线建设场地。

炼钢炉渣加工工段每年加工炉渣290万吨，其中，新渣196万吨，旧渣94万吨；碎渣粒度分级符合ГОСТ 3344-73的规定。高炉渣加工设备每年加工高炉渣90万吨。新设备的主要技术经济指标详见表7。

克里沃罗格钢铁厂新建碎渣加工

设备的主要技术经济指标〔8〕

表 7

指 标	炼钢炉渣 加工工段	高炉渣 加工设备
炉渣加工量, 万吨/年	290	90
粒度分级碎渣产量, 万吨/年	269	80.2
金属回收量, 万吨/年	12	7.3
生产中的损失, 万吨/年	9	2.5
单位能耗:		
电力, 千瓦小时/吨	2.96	5
生产用水, 米 ³ /吨	0.01	0.61
职工定员, 人	208	87
投资, 万卢布	1748.022	755.655
其中: 建筑 装工程	1268.985	588.014
设备	365.58	122.017
每米 ³ 碎渣单位投资, 卢布	4.05	5.9

2 塔干罗格钢铁厂的碎渣加工设备

塔干罗格钢铁厂的平炉渣在出炉以后立即运往碎渣加工工段倒入渣坑。此时, 炉渣温度为 700~1400℃。渣坑分为两段, 一段倒液态渣, 另一段倒渣罐里的残渣。在倒液态渣之前, 先清除上一批渣。坑底如有集水, 则用抓斗运来热渣块填平, 以免在倒渣时发生爆炸。

倒入渣坑里的液态渣用热冲击破碎法加以破碎, 喷水历时 30~40 分钟, 喷水量为每米² 面积 0.1~0.15 米³/小时。大块凝固渣用落锤加以破碎 (历时 20~30 分钟), 而后重新浇水, 直到不再产

生蒸汽，炉渣温度不高于50℃，再用机械法破碎成不大于250毫米的块度。所有这些作业约需2小时。用电磁盘从渣中回收大块金属。

经上述第一阶段处理过的碎渣，用抓斗装入料仓。料仓上面有斜置的筛板，网孔为250×250毫米。装到料仓里的碎渣，经过给料器，落到安有电磁轮的皮带运输机上。如果渣温超过100℃，则喷水降温。而后将碎渣筛分成250~70和小于70毫米两种粒度。小于70毫米的碎渣，不经破碎，便送入筛分机；250~70毫米那一级碎渣则经颚式破碎机和磁力回收金属以后进入筛分机。筛分机将全部炉渣筛分成70~40、40~20、20~10、10~5、小于5毫米五种粒度级。

被加工而成的碎渣经过物理——机械试验，其强度大于用天然石块加工而成的碎石，抗冻能力大于50周期，粉化率不超过5%，质量符合铺路碎石技术条件。这种碎渣已被用作二级公路的垫底层，用于配制沥青混凝土，作为铁路路基道渣，用作基础坑的回填料等。此碎渣还可代替石灰石用于化铁炉。

该加工工段投产后，厂内全部平炉渣（14.2万吨/年）被加工成7.7万米³碎渣，并回收1.6万吨金属。从此不再向渣场运渣，经济效益为20万卢布/年以上。

3 新利佩茨克钢铁厂的转炉渣加工车间

新利佩茨克钢铁厂的转炉渣加工车间于1977年建成投产。该车间有一个112×19.3×3米的渣坑，两台电磁盘——抓斗吊车（起重量15/15吨，抓斗容积2.5米³），一台100/20吨吊车。

转炉渣的第一阶段处理是将渣罐里的液态渣分层地倒入渣坑，用热冲击破碎法加以破碎，再用挖掘机弄松。渣罐里的残渣和凝渣取下来以后，用落锤破碎。在此用电磁盘回收大块金属。