

WACKER

CREATING TOMORROW'S SOLUTIONS



ELECTROFLUX —
电渣重熔 (ESR) 的成功因素

质量第一 —— 选择市场领导者提供的品质



图片：西门子股份有限公司

目录

电渣重熔工艺 (ESR)	3
预熔Electroflux产品	4
产品和性能	6
主要应用	10
熔融特性	12
使用说明	14
质量	15
服务	16
瓦克概况	17

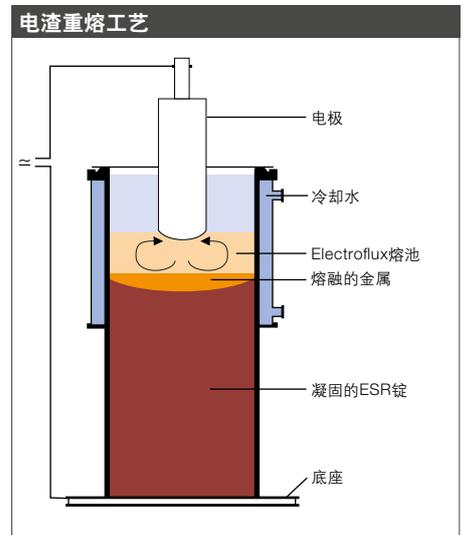
钢和镍基合金的质量关键取决于其纯度和微观结构。这两个特性可以通过在钢和合金ESR精炼工艺中加入Electroflux（电渣）产品得到优化。世界各地的众多公司更愿意使用市场领先厂家瓦克集团提供的优质Electroflux产品。

ESR 优质钢和超级合金的关键

铸锭作为电极将电极浸入由电阻加热的Electroflux熔池中，并在其中熔化。当熔化的金属液滴穿过熔融的电渣时，其中的杂质就从金属液滴中转移到Electroflux中，

金属液滴因此得到提纯。经过提纯的金属液滴入一个金属池，在那里以一定的速度凝固，这一速度可由水环冷铜模控制。

ESR精炼的材料没有缩孔、均质，而且纯净度高。所以ESR精炼级的产品强度最高，寿命最长，可靠性最好。就纯度和微观结构而言，ESR锭非常均一，因此它们的产量显著高于采用固定模具浇铸的钢锭的产量。



风险小，成本低 — 预熔的ELECTROFLUX产品

表1: 不同等级ESR渣料和产品的性能

型号	含水率	重金属含量*	在拿取使用期间形成的粉尘
预先混合的渣原料	≤1.5 %	Bi, Pb, Cu, As, Sb, P, FeO, Fe ₂ O ₃	相当多
预先混合和预干燥的渣原料	≤0.8 %	Bi, Pb, Cu, As, Sb, P, FeO, Fe ₂ O ₃	相当多
粒化烧结的渣原料	≤0.5 %	Bi, Pb, Cu, As, Sb, P, FeO, Fe ₂ O ₃	很少
预熔Electroflux产品	≤0.1 %	痕量	很少
预熔Electroflux产品ELH级别的	≤0.006 %	痕量	很少

*与原料中的杂质有关

预混合和/或预干燥的渣原料、粒化烧结渣料以及预熔的Electroflux产品在市场上全部可以买到。它们之间的差别在于其含水率和重金属含量。

用预熔的电渣产品能得到最好的电渣重熔效果。因为它们的成分稳定可靠，只有它们才能确保电渣重熔结果的稳定性和再现性。

含水率特别低的预熔Electroflux产品 — ELH系列

我们的ELH系列Electroflux产品，在水分含量上比其对应的标准预熔产品低一个数量级 (ELH表示极低氢) — 这对于氢敏感钢是一个重要的指标。此外，它们的高CaO/Al₂O₃比值使其比标准级产品的脱硫能力更强。

预熔Electroflux产品的优势

虽然生产方法增加了预熔Electroflux产品的成本，但是使用预熔Electroflux产品仍是合算的。毕竟，电渣重熔钢锭的质量在很大程度上取决于所用渣料的质量。使用劣质渣料隐含着很高的废品风险。潜在的损失远超过使用预熔Electroflux产品的成本。



预熔Electroflux — 对冷启动不可或缺

现代的电渣重熔厂使用经济的冷启动方法。具有适宜粒度的预熔Electroflux产品是决定冷启动能否成功的关键。用Electroflux产品冷启动可以避免从原料水分中过度吸氢以及吸收杂质。

瓦克集团提供应用广泛的预熔Electroflux渣料

要确保用现代化的电脑控制ESR设备能够可靠地进行熔炼，要求电渣料具有热力学稳定性，在重熔时不会改变性能。瓦克Electroflux产品的性能远远超过了这些要求。要确保低碳(LC)或超低碳(ULC)钢和合金能可靠地重熔，需要使用碳含量极低的Electroflux渣料。瓦克的预熔Electroflux渣料也适合于这类用途。

自己生产Electroflux产品费用高且风险大

如果计划自己用原料熔融造渣的ESR业主想得到与Electroflux产品具有同样稳定的化学分析结果，那么他们在分析方面的支出将超过从一开始就购买高品质Electroflux产品所需的费用。那些不愿意支付高额分析费用或没有能力做分析的业主将面临巨大的风险。如果在重熔期间使用劣质渣料而造成工件出现质量问题，则不但会导致可观的废品支出，甚至将因产品出现质量问题而蒙受高额赔偿损失。这就是为什么

ESR钢和合金的大型生产厂家自己不生产预熔Electroflux，而宁可购买经认证并有质量保证的Electroflux产品的原因。

与自己使用原料生产电渣相比，使用瓦克集团的预熔Electroflux产品可以避免以下情况：

- 原料称量出现误差
- 因为没有采用恰当的分析方法，常常发现不了原料成分的变化
- 在开始熔化时出现渣料增碳现象

种类众多，质量相同 — 主要等级一览

表2: 瓦克标准等级Electroflux的分析成分指标

型号	% SiO ₂	% Al ₂ O ₃	% FeO	% TiO ₂	% CaO	% MgO
ESR 2015	1.5 ± 0.5	33.5 ± 2.5	≤ 0.2	≤ 0.2	29.5 ± 2.5	3.0 ± 1.0
ESR 2022	1.0 ± 0.5	23.0 ± 2.0	≤ 0.2		15.0 ± 2.0	2.0 ± 1.0
ESR 2027	≤ 0.5	15.0 ± 1.5	≤ 0.15	≤ 0.2	16.0 ± 2.0	≤ 1.5
ESR 2037	≤ 0.6	20.5 ± 1.5	≤ 0.15	≤ 0.2	18.0 ± 2.0	≤ 2.0
ESR 2052	≤ 0.5	≤ 1.5	≤ 0.2		≤ 2.0	
ESR 2059	≤ 0.6	22.0 ± 2.0	≤ 0.15	3.0 ± 0.6	20.0 ± 2.0	5.0 ± 0.8
ESR 2060	≤ 0.6	20.0 ± 2.0	≤ 0.2		27.0 ± 2.0	3.0 ± 1.0
ESR 2062	≤ 0.6	30.0 ± 2.0	≤ 0.15		28.0 ± 2.5	2.5 ± 1.0
ESR 2063	1.5 ± 0.5	41.5 ± 2.5	≤ 0.2	≤ 0.2	37.5 ± 2.5	4.0 ± 1.0
ESR 2065	≤ 0.8	30.0 ± 2.0	≤ 0.3	≤ 0.8	29.0 ± 2.0	≤ 1.0

表3: 瓦克ELH系列Electroflux产品的分析指标

型号	% SiO ₂	% Al ₂ O ₃	% FeO	% TiO ₂	% CaO	% MgO
ESR 2015 ELH	≤ 0.6	32.0 ± 3.0	≤ 0.3	≤ 0.2	33.0 ± 3.0	3.5 ± 1.5
ESR 2029 ELH	≤ 0.6	30.0 ± 3.0	≤ 0.3		≤ 2.0	
ESR 2037 ELH	≤ 0.6	21.0 ± 2.5	≤ 0.3		21.0 ± 2.5	2.5 ± 1.0
ESR 3002 ELH	≤ 0.8	46.0 ± 3.0	≤ 0.3	≤ 0.2	47.0 ± 3.0	5.0 ± 2.0

% CaF₂	% H₂O (650 °C)	% C	% P	% S	% Pb	% Bi
31.5 ± 2.5	≤ 0.06*	≤ 0.06	≤ 0.005	≤ 0.04	≤ 0.005	
58.0 ± 3.0	≤ 0.06*	≤ 0.06	≤ 0.005	≤ 0.04	≤ 0.005	
67.0 ± 3.0	≤ 0.06*	≤ 0.025	≤ 0.005	≤ 0.025	≤ 0.0002	≤ 0.0002
58.0 ± 3.0	≤ 0.06*	≤ 0.025	≤ 0.005	≤ 0.03	≤ 0.0002	≤ 0.0002
≥ 97.0	≤ 0.005*	≤ 0.03	≤ 0.005	≤ 0.03	≤ 0.0002	≤ 0.0002
48.0 ± 3.0	≤ 0.06*	≤ 0.03	≤ 0.005	≤ 0.03	≤ 0.0002	≤ 0.0002
48.0 ± 3.0	≤ 0.07*	≤ 0.06	≤ 0.005	≤ 0.04	≤ 0.0002	≤ 0.0002
38.0 ± 3.0	≤ 0.06*	≤ 0.03	≤ 0.005	≤ 0.03	≤ 0.0002	≤ 0.0002
14.5 ± 1.5	≤ 0.06*	≤ 0.06	≤ 0.005	≤ 0.04	≤ 0.005	
38.5 ± 3.5	≤ 0.06*	≤ 0.03	≤ 0.01	≤ 0.03	≤ 0.001	≤ 0.001

% CaF₂	% H₂O(650 °C)	% C	% P	% S	% Pb	% Bi
30.0 ± 3.0	≤ 0.006*	≤ 0.03	≤ 0.005	≤ 0.03	≤ 0.0002	≤ 0.0002
69.0 ± 4.0	≤ 0.025*	≤ 0.015	≤ 0.002	≤ 0.015		
53.0 ± 3.0	≤ 0.006*	≤ 0.03	≤ 0.005	≤ 0.03	≤ 0.0002	≤ 0.0002
	≤ 0.005*	≤ 0.03	≤ 0.005	≤ 0.05		

*封装时

按粒度分类

表4: 瓦克Electroflux的颗粒度指标^[1]

型号	颗粒尺寸	10毫米	8毫米 5/16英寸	6.3毫米 1/4英寸	4毫米 5目	1.4毫米 14目	0.3毫米 50目	0.1毫米 140目
ESR 2022	0 – 10毫米	≤ 15		20 – 60			≥ 90	
ESR 2027	0 – 10毫米	≤ 15		20 – 60			≥ 90	
ESR 2037	0 – 10毫米	≤ 15		20 – 60			≥ 90	
ESR 2059	0 – 10毫米	≤ 15		20 – 60			≥ 90	
ESR 2015	0 – 8毫米	≤ 5	≤ 30	20 – 60			≥ 85	
ESR 2062	0 – 8毫米	≤ 5	≤ 30	20 – 60			≥ 85	
ESR 2063	0 – 8毫米	≤ 5	≤ 30	20 – 60			≥ 85	
ESR 2065	0 – 8毫米	≤ 5	≤ 30	20 – 60			≥ 85	
ESR 2052	0 – 6毫米		≤ 5	≤ 30	20 – 60		≥ 80	
ESR 2060	0.1 – 3毫米				≤ 5	20 – 60		≥ 98
ESR 2015 ELH	0 – 6毫米		≤ 5	≤ 30	20 – 60		≥ 80	
ESR 2037 ELH	0 – 6毫米		≤ 5	≤ 30	20 – 60		≥ 80	
ESR 3002 ELH	0 – 6毫米		≤ 5	≤ 30	20 – 60		≥ 80	
ESR 2029 ELH	0 – 1.2毫米					≤ 5		≥ 80

^[1]以毫米筛眼尺寸 (DIN ISO 3310) 计算的过大尺寸渣料百分比, (筛目根据 ASTM E11#)



ESR 2015的颗粒



表5: 瓦克Electroflux产品的电导率
($\Omega^{-1} \text{ cm}^{-1}$), 依据Ogino^[2]

型号	1700°C	1900°C
ESR 2063	1.5	2.3
ESR 2015	2.3	3.0
ESR 2065	2.6	3.4
ESR 2062	2.7	3.5
ESR 2059	3.6	4.4
ESR 2022	3.7	4.5
ESR 2060	3.8	4.6
ESR 2037	4.0	4.7
ESR 2027	4.7	5.5
ESR 2052	6.5	7.3
ESR 3002 ELH	1.2	2.0
ESR 2015 ELH	2.4	3.2
ESR 2029 ELH	3.3	4.1
ESR 2037 ELH	3.8	4.6

电性能

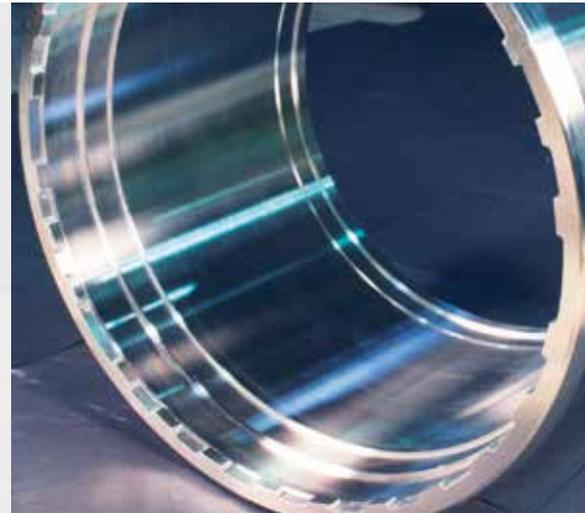
比电阻或电导率对于Electroflux产品在重熔期间的熔化效率来说是一个重要参数。为了能够比较各种Electroflux产品的电导率, 表5给出了依据Ogino^[2]的方法计算出来的各种Electroflux产品在1700 °C和1900 °C的电导率。您可以对这些数值进行比较。

^[2]K. Ogino, S. Hara, S. Nagai, Paper S, 129th ISIJ Meeting, April 1979, ISIJ Tokyo (1979)

具体应用的最佳选择 — 应用范围



图片: Merete Medical公司



图片: Energietechnik Essen公司

Electroflux	
型号	优点
ESR 2015	<ul style="list-style-type: none"> • 高电阻, 熔化效率高 • 用途广泛, 因此是应用最广泛的Electroflux产品。
ESR 2022	<ul style="list-style-type: none"> • 与ESR 2015相比, 电导率高, 吸湿性低。
ESR 2027	<ul style="list-style-type: none"> • 杂质 (SiO₂, FeO, C, S, Pb, Bi) 含量特别低 • 脱硫效果好
ESR 2037	<ul style="list-style-type: none"> • 由于氟石含量低, 比ESR 2027的电阻高, 因此熔化效率更高
ESR 2052	<ul style="list-style-type: none"> • 高纯度的预熔氟石 • 仅有轻微的吸湿性
ESR 2059	<ul style="list-style-type: none"> • 含3%TiO₂的钛成分。只要电极中的铝含量高, 含钛大约1%的合金就可以重熔而不会烧损。 • 低熔点
ESR 2060	<ul style="list-style-type: none"> • 碱性非常高、吸湿、低熔点 • 凝固温度区间很窄
ESR 2062	<ul style="list-style-type: none"> • 类似于ESR 2015, 但是SiO₂含量低, CaF₂含量略高
ESR 2063	<ul style="list-style-type: none"> • Al₂O₃含量高, 电阻高, 因此熔化效率高 • 尽管CaO含量高, 但吸湿性低
ESR 2065	<ul style="list-style-type: none"> • 类似于ESR 2015, 但是MgO含量低, CaF₂含量略高
ESR 2015 ELH	<ul style="list-style-type: none"> • 水分含量低 • 对于重熔大锭特别有利, 尤其是那些直径在1000mm以上的大锭
ESR 2029 ELH	<ul style="list-style-type: none"> • 水分含量低 • 杂质 (SiO₂, C, S)含量特别低
ESR 2037 ELH	<ul style="list-style-type: none"> • 水分含量特别低 • 脱硫效果好 • 优异的熔化特性
ESR 3002 ELH	<ul style="list-style-type: none"> • 只有微弱的吸湿性, 可以与ESR 2052混合使用



图片: ThyssenKrupp VDM公司

应用	型号
• 工具钢、热作工具钢、不锈钢的重熔	ESR 2015
• 结构钢、热作工具钢、高速钢和高碳工具钢的重熔	ESR 2022
• 镍和钴基合金、高速钢的重熔	ESR 2027
• 镍和钴基合金、高速钢的重熔	ESR 2037
• 生产客户定制成分合金的理想渣料	ESR 2052
• 与ESR 3002 ELH配合使用	
• 特别适合于718合金的重熔	ESR 2059
• 含钛的镍基合金、轴承钢、抛光冷轧板钢的重熔	ESR 2060
• 工具钢、热作工具钢、不锈钢的重熔	ESR 2062
• 工具钢、热作工具钢（例如玻璃模和针用板钢）的重熔	ESR 2063
• 镍和钴基合金的重熔	ESR 2065
• 工具钢、热作工具钢、不锈钢的重熔，由于SiO ₂ 和C含量低，因此也适合镍基合金的重熔	ESR 2015 ELH
• 镍和钴基合金、不锈钢的重熔	ESR 2029 ELH
• 工具钢、热作工具钢、不锈钢的重熔，特别适合重熔直径超过1000mm的大锭	ESR 2037 ELH
• 与ESR 2052以不同比例混合使用，可适合各种用途	ESR 3002 ELH

所有重要组分 — 来自一个合作伙伴

CaO-Al₂O₃-CaF₂三元系的熔融特性

图1-3是Ries和Schwerdtfeger^[3]、Mitchell^[4]以及Nafziger^[5]描述的CaO-Al₂O₃-CaF₂三元系。我们的产品范围囊括所有重要组分。(为了标示渣料在三元系中的位置，MgO含量包含在CaO含量中，较少的SiO₂含量包含在Al₂O₃含量中。)

图1是Ries和Schwerdtfeger给出的1600 °C等温截面。

图2是Mitchell给出的三元系。像Ries和Schwerdtfeger一样，Mitchell也发现了液/液混合区。

图3: Nafziger没有在他的研究中标出混合区，而且其大部份的熔点较低。然而，即使如此，这张图及其熔融等温线仍然能很好地反映电渣重熔渣的熔融特性。

图中标示出了Electroflux产品所处的位置。除了ESR 2022外，其余型号的Electroflux产品都是稳定的单相液体。ESR 2022位于液/液混合区的边缘；在实际操作中罕有分离现象发生。

图1: Ries和Schwerdtfeger给出的1600 °C CaO-Al₂O₃-CaF₂系^[3]

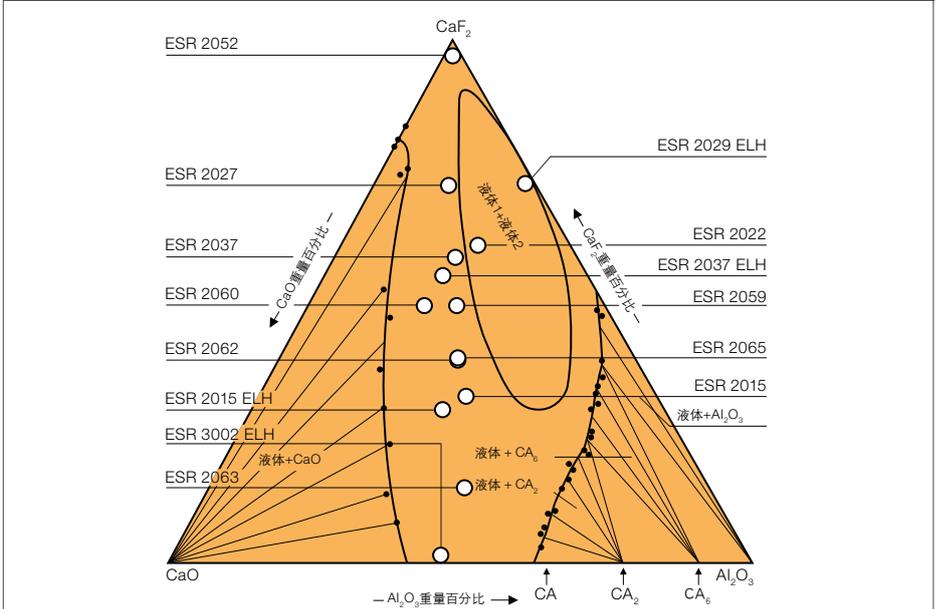


图2: Mitchell给出的CaO-Al₂O₃-CaF₂^[4]

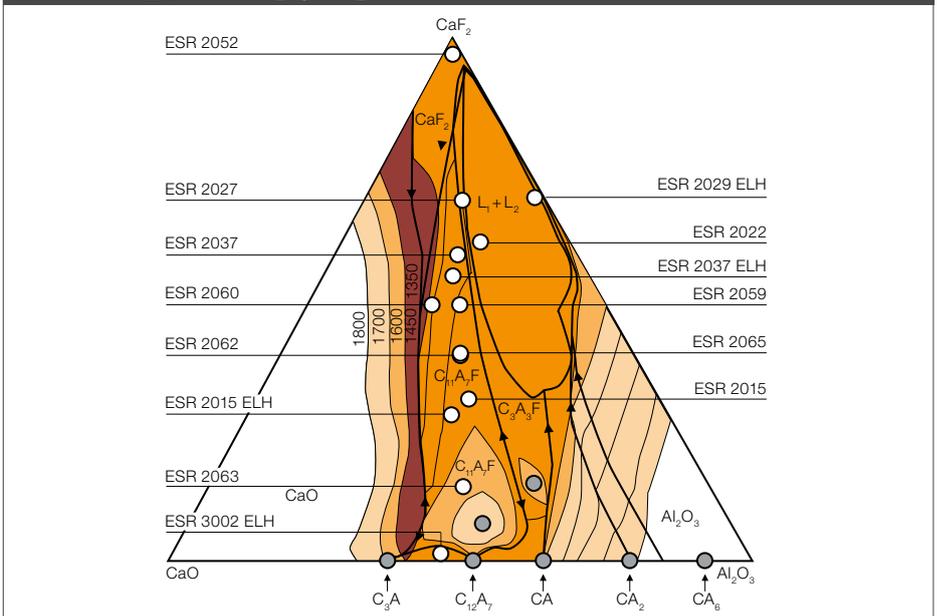


图3: Nafziger给出的CaO-Al₂O₃-CaF₂系^[5]

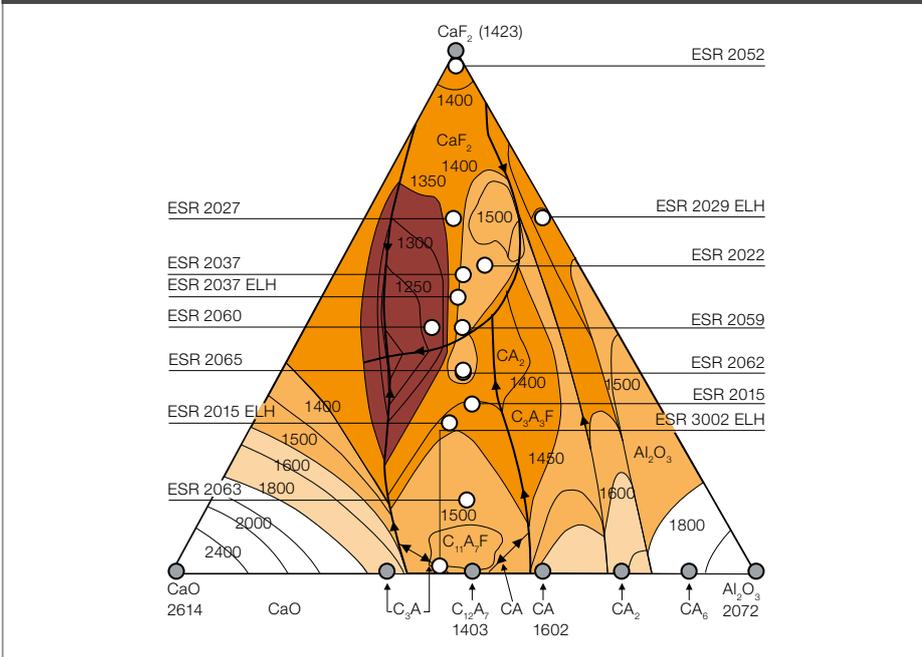


表6: 瓦克Electroflux产品的凝固温度 (近似值)

型号	凝固温度
ESR 2015	1400 °C
ESR 2022	1380 °C
ESR 2052	1380 °C
ESR 2027	1330 °C
ESR 2063	1300 °C
ESR 2037	1290 °C
ESR 2062	1225 °C
ESR 2059	1200 °C
ESR 2060	1100 °C
ESR 2029 ELH	1450 °C
ESR 3002 ELH	1350 °C

表6列出Electroflux产品的近似凝固温度。尽管这些不是精确测定的熔点，但是这些温度表明各个Electroflux产品在冷却时什么温度下开始凝固。

^[3]R. Ries, K. Schwerdtfeger, Archiv Eisenhüttenwesen 51 (1980) pp. 123 – 129

^[4]A. Mitchell, Canadian Metallurgical Quarterly, Vol. 20,1 (1981) pp. 101 – 112

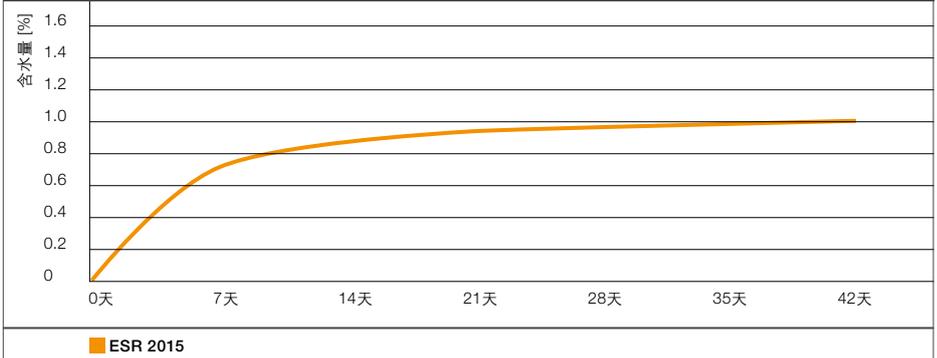
^[5]R. Nafziger, High Temperature Science 5 (1973) pp. 414 - 422

请注意—使用需知

存放和存放期限

Electroflux产品是具有致密颗粒结构的预熔产品。其中许多产品因含CaO而具有吸湿性。因此，它们储存在潮湿空气中时会发生水合作用。在取用Electroflux产品之后，要马上密封包装罐；开封袋中的渣料应该尽快用完。正确密封包装罐和包装袋能为产品提供最佳的防潮保护。密封的包装罐和包装袋能隔绝空气，防止水分进入。如果按照上述建议来存放产品，产品的储存期限是无限期的。Electroflux产品储存在镀铝薄膜袋中不会吸收水分。当储存在没有空调的库房中时，ESR 2015产品的水分含量几乎是恒定的。在650°C下测量的水分含量：在为期12个月的时间里测得的25次数据均在0.02%和0.03%之间。

图4: 置于空气中的预熔ESR 2015的含水量变化曲线 50 °C和90%湿度



后续干燥

交货后，Electroflux产品通常是“原样”使用。在对氢敏感很强的钢和熔融直径非常大的钢锭进行重熔时，最好将Electroflux产品干燥后再使用。建议用干燥空气进行后续的干燥处理。干燥温度应不低于700 °C，培烧时间2小时。在干燥处理之后，应马上将Electroflux产品装入电渣熔炼炉中，迅即开始重熔。

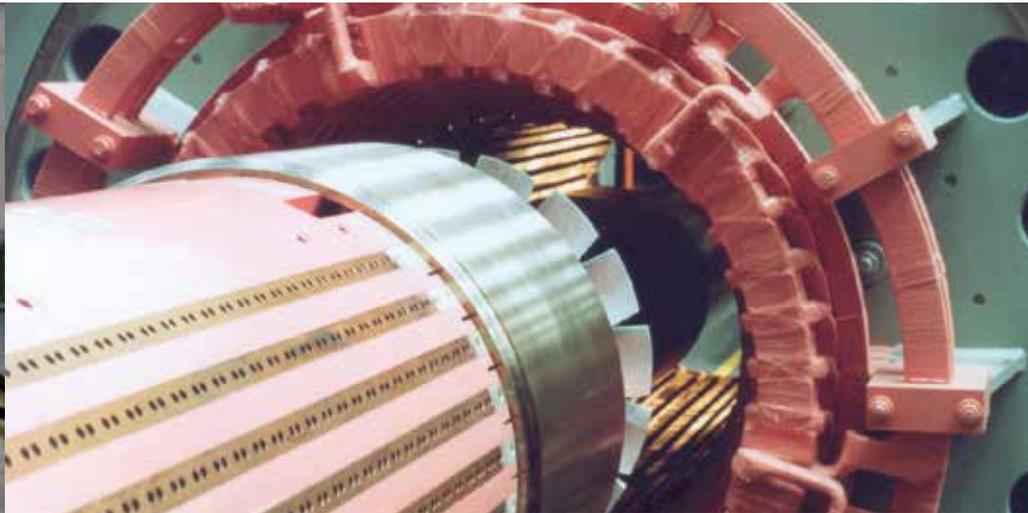
提示：

在对氢敏感钢进行重熔前，应预先用干燥空气清洁。

通向成功的秘密 — 品质至上...



图片: ALD Vacuum Technologies Hanau公司



图片: Energietechnik Essen公司

瓦克在开发、生产和销售预熔Electroflux产品和助熔剂方面有很长的历史。

在20世纪30年代初开发了第一个预熔渣产品。大约35年后，随着电渣重熔法开始商业化，Electroflux也被收录到产品目录中。因为钢包冶金在炼钢中的重要性上升，继而又为炼钢厂开发出了预熔合成渣料。

面向未来的生产

将顶级优质原料精确调比，以间歇生产的方式使用电热炉进行熔融。熔体倒入钢槽，在分析合格后取出研碎、筛选成指定粒度，装入货柜并准备发运。只有当全部的产品质量检查项目都符合检验计划的规格标准时，才能放行发运。只有在产品的化验证明书满足所有规格标准的情况下，产品才能装运发货。生产设备和分析仪器都具有最先进的水平并且由受过训练的技术人员操作。我们有充足的生产能力满足市场未来的需求。

现代化的质量体系

瓦克通过了ISO 9001:2008 und ISO 14001:2004 认证。

整个的产品工艺流程，从开发、原料采购到生产和装运，都受到质量检控，并且在一体化管理体系手册中予以详细说明。



... 注重服务

瓦克提供的服务如同其产品解决方案一样，都非常注重质量和精度。无论是资源规划、技术支持还是物流问题，我们的服务重点始终是满足客户及其个性化的要求。

灵活可靠的供货

博格豪森和农特里茨的工厂保证向世界各地的客户提供可靠、准时的供货和品质始终如一的高质量产品。经过检查合格的原料来源、现代化的仓储物流、单独的包装和可靠的运输系统，确保在最短的交货期内准时供货。

合作增值

采用最高的技术标准和紧密的合作能够持续创造附加值，瓦克集团提供一系列的服务来确保我们与客户之间的高效合作：

- 电子商务解决方案
- 买方管理存货 (VMI)
- 供应链管理 (SCM)
- 客户门户 "LOGIN4MORE"
- 自助采购 (SAP-SUS)

领先源于创新

瓦克集团是许多国际性机构的成员，并与大学和研究机构有密切的合作。因此，我们是您理想的创新伙伴，我们愿意与您携手共创未来！欢迎您与我们联系！

遍布全球的知识、技术与服务网络



瓦克是一家全球领先的研发投入力度最大的化学品公司之一，2015年的销售额为53亿欧元。瓦克面向众多工业领域提供种类丰富的产品，包括有机硅、粘合剂、聚合物添加剂、采用生物技术生产的药物活性成分以及半导体和光伏产业用高纯硅等。作为高度重视可持续发展的技术领导者，瓦克以提高能源效率、加强环境及气候保护为本，致力于推广具有高增值潜力的产品和理念，为提高人们的生活品质贡献自己的一份力量。

瓦克拥有五大业务领域，在全球设有25个生产基地、22个技术中心、11家负责培训

的瓦克学院，以及50个驻欧洲、南北美洲、中国和其他亚洲国家的销售代表处，为客户提供高度专业化的产品和全方位的服务。

瓦克集团拥有约17,000名员工，作为值得信赖的创新伙伴，瓦克与客户密切合作，共同开发具有开创性的解决方案，并积极协助客户取得成功。我们的技术中心拥有掌握当地语言的专家，能够很好地协助世界各地的客户针对具体需求研发产品，如有需要，他们还为客户在生产工艺的各个环节提供技术支持。

瓦克电子化解决方案是瓦克通过客户门户网站提供的在线服务，是一套一体化的流程解决方案。我们的客户和业务伙伴能从中获得全面的信息和可靠的服务，以保证项目实施和订单处理能够做到快速、可靠、高效。

欢迎随时随地访问我们的网站：
www.wacker.com

The WACKER logo is displayed in a white rectangular box with a black border, set against a background of molten metal being processed by a mechanical tool.

Wacker Chemie AG
Johannes-Hess-Strasse 24
84489 Burghausen, Germany
电话: +49 8677 83-0
传真: +49 8677 83-3100
info.burghausen@wacker.com

www.wacker.com/socialmedia



本文中所列数据是基于我们当前所掌握的知识,但不免除用户在收到产品后对其进行仔细检查的义务。在技术进步或新开发的范围内,我们保留变更产品常数的权利。由于一些加工过程中无法控制的条件,特别当使用其他公司的原材料时,本文中的建议需经初步的实验验证。我们所提供的信息并不免除用户检查是否有第三方侵权可能性的义务。如有必要,请阐明情形。无论是明示还是暗示,本文中的建议并不构成对产品在某些应用下的有效性或通用性的担保。