

内部资料

注意保存

技術介紹

稀土金属在鋼鉄工业中的应用

8

鞍鋼技术处

目 錄

稀土金属在国外鋼鉄工业中的应用.....	項宏瑤 綜述.....	1
国外炼鋼与冶炼合金时合金元素及稀土元素的应用.....	Э.И. Виткина.....	17
稀土金属的一些新的应用.....	Felix Trombe.....	24
利用稀土元素改善鋼的質量.....	В.Ф. Кравченко.....	30
稀土元素对合金結構鋼白点敏感性的影响.....	А.М. Якушев 等.....	37
含鋁結構鋼的回火脆性.....	М.М. Штейнберг 等.....	39
結構鋼中的稀土金属.....	А.П. Гуляев 等.....	43
加入稀土金属的合金結構鋼的机械性能与非金属夹杂的特点.....	Ю.В. Криковский 等.....	48
用稀土元素处理鋼水的試驗.....	Б.Д. Вервольская 等.....	53
利用稀土元素防止鋼結晶时形成“胡須”状缺陷.....	В.М. Татеев 等.....	58
用稀土金属鎔及鍍作合金生产結構鋼.....		65
稀土元素加入物对低碳鋼鋼坯表面質量的影响.....	J.V. Russell.....	73
稀土元素在冶炼不銹鋼及合金結構鋼时的应用.....	В.П. Явойский 等.....	79
用稀土金属处理的結構鋼与不銹鋼的化学不均匀性.....	В.Ф. Попов 等.....	83
稀土金属对 1X18H9T 不銹鋼性能的影响.....	Е.М. Савицкий 等.....	86
含稀土金属氧化物的 X18H12M2T 不銹鋼的性質.....	Е.М. Савицкий.....	89
稀土元素在不銹鋼熔炼中的应用.....	С.В. Пост 等.....	94
稀土元素对鎳基耐热合金性能的影响.....	Т.В. Светунова 等.....	102
鎳鑄鉄軋輥.....	А.Е. Кривошеев 等.....	107
用稀有金属变質处理的鑄鉄組織和初次結晶特点.....	Д.П. Худокормоз.....	112
鎳在鑄鉄变質处理中的利用.....	И.А. Воронова 等.....	115
鎳对 15X1M1Φ 鋼机械性能的影响.....	И.С. Крецановский 等.....	118
以稀土金属和硼为加制剂的 35Г1 鋼的性能.....	В.П. Полисадов.....	123
鎳在鑄鋼中的分布及其对組織和性能的影响.....	И.С. Крецановский 等.....	125
鋼中用鋁、鎳、鎂、鉍脫氧的热力学.....	Г. Кинне.....	131
鎳土元素对鋼水表面張力的影响.....	А.Ф. Вишкарёв 等.....	135
稀土元素对鉄水中氫溶解度的影响.....	А.М. Якушев.....	140
鋼中稀土元素的測定.....	Heinz Kapp.....	147

附 录

稀土元素的各种性質.....	150
----------------	-----

稀土金属在鑄鐵工业中的应用

項 宏 瑤

一、稀土金属用于改善鋼鐵質量的成效

1. 鑄鐵生产中的应用

(1) 球墨鑄鐵生产。稀土金属在高强度鑄鐵生产中的应用具有远大的前途。它在鑄鐵中的主要作用是孕育和脫硫(表1)。孕育处理的結果使鑄鐵获得球状石墨,因而显著提高了鑄鐵的机械性能(表2)。

表 1

編 号	孕育剂加入量 (%)		化 学 成 分 (%)					
	*ΦMn—5 合 金	Mg	C	Si	Mn	P	处理前 S	处理后 S
1	—	0.5	3.2	2.8	0.8	0.11	0.03	0.007
2	0.3	0.25	3.38	2.43	0.86	0.12	0.03	0.013
3	0.5	—	3.34	2.17	0.74	0.71	0.03	0.013
4	0.7	—	3.48	2.45	0.66	0.04	0.03	0.017
5	1.0	—	3.22	2.40	0.62	0.059	0.03	0.01
6	1.0	—	3.25	2.35	1.02	0.05	0.03	0.007

* 即含有約 5%Mg 的鉍鉄。

表 2

鑄 鉄	拉 伸		弯 曲		硬 度	冲 击 韌 性
	σ_b (公斤/毫米 ²)	δ (%)	$\sigma_{彎曲}$ (公斤/毫米 ²)	f (毫米)	H_B (公斤/毫米 ²)	a_k (公斤·米/厘米 ²)
灰鑄鉄.....	38.0	—	70	1.5—2.5	—	—
鉍孕育鑄鉄.....	60—70	1.5—10.0	110—120	10—20	240—250	1.5—3.0
鉍孕育鑄鉄.....	60—70	1.5—10.0	110—120	10—20	240—250	1.5—3.0

世界上第一次用鉍作球化剂处理球墨鑄鐵是在1948年間,首先为英国的維里雅姆斯和蒙罗所創造。当时他們拟訂了用鉍处理鑄鐵的基本工艺原則:先用混合金属处理鉄水,随后加入硅鉄进行二次孕育。同时他們还确定了孕育处理的基本条件:

甲) 孕育处理的鉄水在凝固后应当为灰口;

乙) 碳含量应超过按 $4.3 - \frac{1}{3} (Si + P)\%$ 公式計算出来的数量;

丙) 在鎳含量 > 10% 时,鑄鉄可以不是过共晶的;

丁) 含硅量可以是任意的,但希望在 2.3—7% 的范围内;

戊) 硫含量应低,用鉍处理后, $\leq 0.002\%$ 。

由上可知,当原鉄水的含硫量增加时,鉍的加入量亦应相应的增加,应用二次处理(鉍及墨化剂)可以使石墨的結構改善从而提高鑄鉄的机械性能。

高的机械性能和简单的处理工艺使这种新型的孕育剂具有强大的生命力和广阔的应用前途。但是由于它很貴,所以直至今天世界各国仍多以鎂做球化剂。

随着稀土产品产量的增加,苏联于1957年亦开始进行了这方面的工作,并建立了很多的有关研究鉍在鑄鉄中应用的机构。在很多工厂里也广泛的开展了鉍的应用試驗。例如从1957年至1959年3月,在格里考夫斯克工厂鑄造了1460根“伏尔加”汽車发动机曲軸和几拾根

“海鷗”汽車軸。經過幾年的使用，效果良好。在拖拉機製造中也進行了大量試驗，用作曲軸等零件。

美國也進行了很多研究試驗，結果指出：提高稀土金屬混合物中鐳的含量能夠增加鑄鐵的塑性和韌性。

(2) 軋軋生產。也象起初用鎂作球化劑時的情況一樣，對於鑄造重型鑄件在緩慢冷卻的條件下能否得到球墨鑄鐵，在試驗的開始階段不能不給予很大注意。蘇聯А.Е. Кривошеев等解答了這個問題。他們採用鈾合金（50—56%Ce, 4—6%Mg, 4—6%Fe, 余為La）作孕育劑在兩種類型的軋軋上作了試驗。一種是具有珠光體——碳化物工作層的冷硬軋軋；一種是具有珠光體——碳化物——石墨工作層的半冷硬軋軋。各種試驗軋軋的尺寸（直徑×長度）和重量如下：

重量(噸)	軋身(毫米)	軋頸(毫米)	梅花頭(毫米)
2.80	460×1100	300×580	250×300
3.19	655×755	305×300	290×240
6.25	720×900	520×500	430×250
6.45	705×1525	305×300	290×240
7.25	720×1000	525×500	480×300
8.80	805×950	570×570	500×350
10.50	815×1100	600×680	500×350

他們指出，採用如下的工藝便可獲得軋身（快冷部位）和軋頸及梅花頭（慢冷部位）都有球狀石墨的球墨鑄鐵軋軋：

1) 採用含3—8%Mg的鈾合金或鎂及鈾雙聯處理鐵水；

2) 鐵水的處理溫度為1400—1430°C；

3) 鈾合金的加入量依鐵水的原始含硫量而定：

原始含 硫量 (%)	0.01—0.02	0.02—0.03	0.03—0.04	0.04—0.05
鈾合金 加入量(%)	0.25—0.35	0.35—0.50	0.50—0.60	0.60—0.70

4) 鐵水處理後在包中的保持時間不超過15分鐘，以減少鈾的損失和削弱球化效果。

澆注工藝和鎂鑄鐵一樣。但是，由於鈾形成碳化物的作用比鎂強，所以白口層的含硅量

提高0.1%，而中心部分則應提高0.2—0.3%硅量，以防止自由碳化物的出現。

在含有3.36%C及0.76%Si的鑄鐵軋軋冷硬層中，鈾的殘留量達到0.015—0.028%，即可去除多餘的石墨夾雜，並具有比鎂鑄鐵少得多的非金屬夾雜物。應當說明，即是這僅有的一點非金屬夾雜物也是因為鈾合金中含有約5%的鎂所致，與殘留鈾的含量無關。不言而喻，比較純淨的冷硬層的獲得應當有利於提高板鋼軋軋工作層的耐磨性和熱穩定性。

用鈾處理可以改善鑄鐵的基體組織：隨著殘余鈾含量的增加，珠光體的不規則性減少，而弥散度增加。在含有0.028%Ce鑄鐵的組織中已有粒狀珠光體區和很小的不規則性，在珠光體——碳化物——石墨組織的鈾鑄鐵軋軋（含3.05%C；1.0—1.2%Si及0.51—0.62%Ni）工作層中珠光體已達到和具有同樣碳硅含量而含有1.48或1.65%Ni的鎂鑄鐵軋軋相同的弥散程度。作者指出，鈾對這類軋軋中石墨和碳化物的結構沒有影響，因此說在含硅量不變的情況下，半冷硬軋軋工作層的硬度僅與鈾的殘余含量有關（它決定着工作層中碳化物的數量）。

鈾對冷硬鑄鐵軋軋冷硬層的基體組織沒有多大影響，因而冷硬層的硬度幾乎與鈾無關。

鈾鑄鐵軋軋中心區域的機械性能主要決定於石墨的形狀亦即決定於該區鈾的殘余含量：

	H_B 公斤/毫米 ²	σ_b 公斤/毫米 ²	σ_k 公斤·米/厘米 ²
混雜石墨：25%球形； 75%片狀及卷曲狀 (0.009%Ce)	218	33.5	0.43
球狀石墨(0.028%Ce)	248	52.9	0.62

在石墨完全球化的情況下，具有相近化學成分和等量脆性組織成分的鈾鑄鐵和鎂鑄鐵軋軋中，其中心區的機械性能實際上是一樣的。

基於上述可以得出幾點結論：

1) 鈾合金在重型球墨鑄鐵鑄件的生產中作為球化劑是完全合理的；

2) 它的加入量決定於鐵水的原始含硫量；

3) 用鈾孕育处理能保証获得比較純淨的冷硬层、較小的珠光体不規則性和較大的弥散度。

(3) 鋼錠模生产。苏联齐略宾斯克冶金工厂对錠重 1.115 吨, 模重 1.63 吨及模錠比为 1.48 的鑄鉄鋼錠模进行了加稀土金属試驗, 其結果列于表 3, 采用混合金属(50%Ce, 2%Fe, 余为其它稀土元素) 和 MM—5 合金(40—50% Ce; 3.2% Fe; 4% Mg; 余为其它稀土元素)

作为孕育剂。鉄水在 1320—1450°C 的温度下进行孕育处理, 随后加入占鉄水重 0.5% 的 75% Si 的硅鉄进行墨化处理。

浇注成的鋼錠模进行如下制度的退火: 以 150°C/时的速度加热至 950°C 保温 10—10.5 小时, 用 65°C/时的速度由 950°C 冷至 750°C, 在 700—750°C 下保温 12 小时, 之后在 4 小时内从 700°C 冷至 500°C 出炉。退火后的基体組織如表 3。

表 3

熔 化 设 备	温 度 (°C)		鋼 錠 模 的 化 学 成 分 (%)							鎂的加入量	退火后的显微組織	澆注次数		
	处理时	澆模鋼錠时	C	Si	Mn	S		P	Cr			Ce	至出現紋	至报废
						处理前	处理后							
冲天爐	—	1190	3.3—3.8	2.2—2.6	0.4—0.8	至 0.06	—	0.15—0.2	至 0.1	—	—	鉄+珠+片状石墨	19	40
电 弧 爐	1340	1260	3.85	1.75	0.97	0.029	0.024	0.17	0.08	0.025	0.5	鉄+珠+片墨+球	48	66
												珠+鉄+片墨	30	38
电 弧 爐	1320	1200	3.7	2.07	0.91	0.034	0.013	0.20	0.09	0.017	0.3	珠+鉄+片墨	20	39
													20	40
电 弧 爐	1450	1350	3.5	2.9	1.05	0.011	0.004	0.19	0.10	0.04	0.2	鉄+珠+球墨+片墨	65	75
感 应 爐	1350	1220	3.6	2.34	1.05	0.046	0.004	0.164	—	—	0.6	鉄+珠+球墨+片墨	25	73
冲天爐	1260	1210	3.8	1.97	0.89	0.045	0.0014	0.15	0.08	0.09	0.8	鉄+珠+球墨+片墨	48	76
冲天爐	1260	1200	3.75	1.79	0.91	0.046	0.033	0.13	0.08	0.015	0.4	鉄+珠+片墨	40	70

* 鉄——鉄素体, 珠——珠光体

鋼錠模的使用試驗是在电炉車間内进行的, 用于浇注 HX15 鋼, 結果如表 3。平均使用寿命为 60 次, 比普通鑄鉄鋼錠模的使用寿命提高 50%。

鈾的残余含量从 0.017% 提高到 0.04%, 鋼錠模的寿命由 40 次增加至 75 次, 已經确定鈾鑄鉄的生长稳定性比鎂鑄鉄高一些, 比灰口鑄鉄大很多, 灰口鑄鉄和鈾鑄鉄的抗氧化性差不多, 但均比鎂鑄鉄小的多。

1 吨鈾鑄鉄鋼錠模的价格比灰口鑄鉄的高 1 倍。因此要使这种鋼錠模正式投入生产必須降低孕育剂的价格 50% 或降低孕育剂的損耗 50%。

2. 鑄鋼生产中的应用

(1) 提高鋼水流动性, 增加充填能力和减少鑄件热裂。例如 40X 鋼加入稀土元素后, 其流动性提高 2 倍, 螺旋綫长度由 200 毫米增

至 600 毫米，图 1 是向含 1.6% Mn 的鋼中加稀土金属后流动性的增加情况。美国的李立費斯特証实，鑄鋼加稀土后不仅可以防止热裂而且可以增加鑄件的密实性。

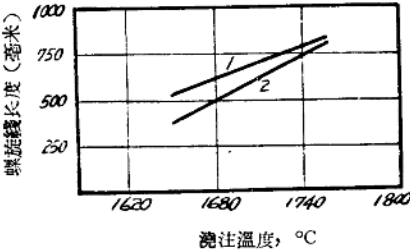


图 1 稀土金属对 1.6% Mn 鋼流动性的影响
1—加有稀土金属； 2—未加。

(2) 脫氧和脫硫。鋼水加入稀土金属后可以达到进一步脫氧和脫硫的目的。

脫氧，苏联 С.Я. Резникова 对鉻鋁鉀鋼做的試驗証明：在 1550°C 左右，向鋼水中加入 0.35% 的 FeCe 可使含氧量由 0.006% 降至 0.005%，减少 16.7%；在 1530°C 左右加入 1.0% 的 FeCe 可使含氧量由 0.007% 降至 0.005%，减少 28.6%。

表 4 是 X23H18 鋼加鉀鉄后的脫氧情况。

表 4

熔炼号	沿熔池高度的取样位置	鉀的计算加入量 (%)	氧 (%)	
			加鉀鉄前	加鉀鉄后
58	下 部	0.0	0.0179	0.0179
	上 部	0.0	0.0225	0.0225
59	下 部	0.02	0.0236	0.0080
	上 部	—	0.0308	0.0254
60	下 部	0.05	0.0197	0.0156
	上 部	—	0.0195	0.0097
61	下 部	0.10	0.0076	0.0107
	上 部	—	0.0236	0.0100
62	下 部	0.15	0.0115	0.0036
	上 部	—	0.0157	0.0063
63	下 部	0.20	0.0090	0.0067
	上 部	—	0.0077	0.0057
64	下 部	0.30	0.0218	0.0101
	上 部	—	0.0136	0.0026

Е.М. Савицкий 向工业純鉄中加 0.1% 氧和 0.1% 氧及 0.2% Ce 的結果証明：后者的氧化鉄夹杂物显著减少。

脫硫，加入鋼中之稀土金属的脫硫程度与鋼的化学成分、稀土金属的加入量、金属液的温度以及渣的成分等有关。

化学成分的影响如表 5，从中可見 40 号碳素鋼的脫硫程度最高达 81%。

鉀鉄的加入量主要与鋼水的原始含硫量有关，一般稀土金属的加入量比含硫量高 5—10 倍以上。另外，也与鋼水的脫氧程度有关，理論和实践都已証明，如不將鋼水事先充分的脫氧，脫硫效率便显著下降。这是因为稀土金属与氧的亲合力更大一些，生成稀土金属氧化物較之于生成硫化物带来了更多的热 函 值 的 降 低。

表 5

化 学 成 分 (%)					脫硫程度 (%)
C	Cr	Cu	Ni	Ti	
0.04	—	—	—	—	39
0.21	—	—	—	—	63
0.40	—	—	—	—	81
0.24	—	1.6	—	—	64
0.24	1.13	—	1.43	—	42
0.33	2.78	—	—	—	54
0.39	—	1.72	—	0.18	48
0.33	1.50	1.43	1.62	—	45
0.44	2.27	1.55	1.64	0.17	37

在工艺因素中最重要的是鋼水温度，因为硫化物形成的反应主要的与温度有关，其反应平衡常数温度关系式为：

$$\lg \frac{K_1}{K_2} = \frac{Q}{4.57} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right)$$

式中：K₁—温度 T₁°K 时的反应常数；K₂—温度 T₂°K 时的反应常数；Q—硫化物生成时的反应热。

从这个公式可以看出，降低温度时反应可以进行得比較完全。然而，反应产物自金属向熔渣中的排除速度則与金属液温度成正比。提高鋼水温度排除过程易于进行。因此，对于脫

硫来说，必定存在一个适当的温度区间，在此区间内两个条件都可得到较好地实现。

试验证明，对于一些钢种，这个区间为1500—1590°C。小于1500°C时由于钢水粘度增加，虽然能生成很多硫化物，但是它们不能上浮至渣中仍然不能很好脱硫，相反的有时反而会带来其它不良后果。

同样的，如果温度太高，如超过1600—1640°C时，由于反应激烈向左移动也不能保证钢水含硫量的降低。图2即是一个很好的例子。

Е.А. Вербо́льская 等指出：对于铬镍钼钢在真空处理和加钪的情况下可得到最大的脱硫效果。

综上所述：脱硫是一个极复杂的过程，受多方面因素的影响。这就是现在国内外，在作稀土脱硫试验时获得的效果各不相同的主要原因。但有一点是肯定的，大家都承认稀土金属是一种较强的脱硫剂。一般，稀土金属的脱硫效率可达40—60%。最低者亦在20%以上，高者可达80%以上。表5即是一例。

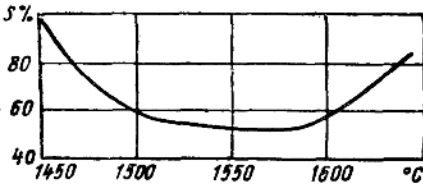


图2 15X1M1Φ钢之钢水过热温度对钪脱硫作用的影响。

(3) 孕育作用。各种加剂剂对不同钢种

的孕育作用列于表6。从中可见，稀土金属亦属比较强烈的孕育剂。

表6

钢种	Ti	B	Zr	混合金属	Ca	V
20Л	1	0	0	0	0	0
V12	1	0	0	1	0	0
40XЛ	2	1	1	0	0	0
30XH3M	1	2	1	1	1	2
1X18H9	2	2	2	1	1	1
X25H20	—	—	2	2	2	—

* 0—没有作用；1—作用较弱；2—作用较强。

(4) 淬透性。由图3可见，稀土元素加入钢中后可以显著提高钢的淬透性，这对保证较厚重的铸件在整个断面上获得比较均匀一致的性能是很重要的。

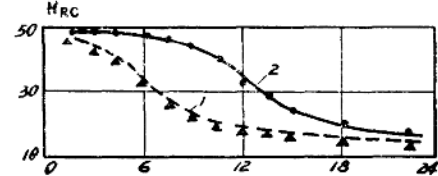


图3 硼和钪对35Л钢淬透性的影响
1—无加剂；2—0.002%B; 0.15%Ce

(5) 中和有害杂质的影响。由表7可见，钪可以有效的消除40Л钢中有害杂质对其机械性能的负作用。钢的化学成分为：0.37% C；0.62% Mn；0.3% Si；0.048% S；0.032% P。用酸性法熔炼和用Ca—Si(0.25%)及铝(0.05%)脱氧。

表7

特征	σ_b (公斤/毫米 ²)	σ_T (公斤/毫米 ²)	δ (%)	ψ (%)	α_k (公斤·米/厘米 ²)	D_6 (毫米)
无加剂剂	$\frac{60.5}{66.5}$	$\frac{38.8}{46.0}$	$\frac{23.0}{23.5}$	$\frac{38.0}{54.0}$	$\frac{6.5}{6.5}$	$\frac{4.6}{4.4}$
加入0.1%Pb+0.1%Bi+0.1%Sn	$\frac{60.4}{64.5}$	$\frac{38.8}{43.2}$	$\frac{20.0}{20.5}$	$\frac{30.6}{50.0}$	$\frac{5.3}{6.0}$	$\frac{4.6}{4.4}$
加入0.1%Pb+0.1%Bi+0.1%Sn+0.2%FeCe	$\frac{60.5}{66.8}$	$\frac{38.8}{45.8}$	$\frac{23.3}{23.8}$	$\frac{56.0}{60.0}$	$\frac{7.25}{9.2}$	$\frac{4.6}{4.4}$
加入0.1%Pb+0.1%Bi+0.1%Sn+0.4%FeCe	$\frac{60.1}{66.5}$	$\frac{37.5}{45.8}$	$\frac{21.7}{22.3}$	$\frac{39.0}{58.0}$	$\frac{7.5}{10.0}$	$\frac{4.6}{4.4}$

附：分子——正火处理；分母——调质处理（880°C淬火，600°C回火）。

(6) 对机械性能的影响。由表 8 可见，稀土金属加入的结果可以使铸钢的机械性能得到显著提高。而且说明了稀土金属是唯一的在

不降低强度的前提下大大提高塑性和韧性的有效加剂。

表 8

钢 种	加 稀 土 情 况	处 理 情 况	σ_s (公斤/毫米 ²)	σ_b (公斤/毫米 ²)	δ (%)	ϕ (%)	α_k (公斤·米/厘米 ²)	H_B
35ГЛ	未 加	退火	35	61	13	16	2.5—3	190
	0.20%P3M	”	35	62	16	20	5—5	190
	未 加	正火	37	64	14	16	3—3.5	190
	0.20%P3M	”	38	65	18	22	6—7	190
	未 加	890°C油淬, 650°C回火	45	68	14	20	3	215
	0.20%P3M	”	46	70	16	30	6—7.5	220
35XII	未 加	铸态	69.0	85.0	12	38.0	6.0	—
	0.15%Ce	”	70.0	88.3	13.3	43.3	8.7	—
40Л	未 加	正火	43.5	71.0	16	28.5	3.8	207
	0.15%Ce	”	46.3	71.6	23.5	55.4	5.6	207
	未 加	调质	62.0	76.5	15.0	37.0	5.0	241
	0.15%Ce	”	62.6	77.5	18.2	55.5	10.1	241
15X1M1ΦЛ	未 加	1040°C—1060°C扩散退火, 990°C±10°C正火, 710—730°C回火。	46.0	62.0	15.0	36.0	2.5	—
	0.15%Ce	”	52.0	64.5	23.0	54.5	8.0	—

(7) 对冷脆性的影响。其结果列于表9。从中可见，稀土金属可以显著降低钢的冷脆

性。而且随热处理制度的不同效果不等。以调质处理的结果最佳。

表 9

钢 种	稀 土 加 入 数 量 (%)	热 处 理 制 度	α_k (公斤·米/厘米 ²)					
			+100	+20	-20	-30	-60	-80
15X1M1ΦЛ	无	1040—1060°C 扩散退火, 990±10°C正火, 710—730°C回火。	5.0	2.5	1.9	—	—	—
	0.15%Ce		17.0	8.0	4.5	—	—	—
35Л*	无		—	4.5	1.8	—	1.6	—
	0.3%Ce		—	6.5	3.8	—	2.6	—
40Л*	无		—	2.8	2.2	—	1.8	1.4
	0.3%Ce		—	4.3	3.7	—	3.4	3.0
35Л**	无	铸态	—	1.1	—	1.1	0.7	—
	0.15%Ce	”	—	2.6	—	1.2	1.1	—
	无	870°C退火	—	4.0	—	1.9	1.7	—
	0.15%Ce	”	—	5.3	—	1.7	1.4	—
	无	880°C正火	—	4.4	—	1.4	1.6	—
	0.15%Ce	”	—	6.7	—	3.7	1.9	—
	无	860°C水淬	—	4.5	—	3.8	3.0	—
	0.15%Ce	600°C回火	—	8.9	—	8.6	6.5	—

* 与0.3%的CaSi同时加入; ** 含有0.002%B。

(8) 对回火脆性的影响。根据 Н. С. Крещановский 的资料, 稀土金属对15X1M1ΦA

铸钢的冲击值(ak)影响如下:

回火温度(°C)	350	400	450	500	550	600	650	700	750
无 铈	2.5	2.6	2.9	2.3	2.8	1.9	1.4	3.2	5.5
加 0.15%Ce	5.5	7.2	5.6	4.6	2.5	2.05	1.75	7.0	8.0

由上述可见, 对于这种钢 550—650°C 之间是回火脆性区。在此区域内铈的作用消失。

对于其它钢种的研究也有类似现象。只是脆性出现的温度不同而已。

3. 在变形结构钢中的应用

在变形的结构钢中加入稀土金属亦同样地可以使钢水得到进一步的脱氧、脱硫以及发生良好的孕育作用。这和 在 铸 钢 中 的 作用相类似, 而且这些作用已为大多数科学工作者所公认。所以这里不再重复。下面仅就稀土元素对各种牌号的变形结构钢在机械性能、淬透性、回火脆性、冷脆性、临界点(A_1 , A_3)以及白点敏感性等方面的良好作用分别简要加以介绍。

但是稀土金属对变形结构钢各种性能的影响, 至今尚存在着不同的看法, 各国作者的资料也不统一。因此下面只能分钢种叙述, 不易综括归纳。

(1) 稀土金属对于镍铬钢和镍铬钼钢的作用。英国以及苏联的一些学者指出: 它可以改善这种钢的树枝状结晶、变形能力、提高收得率以及低温冲击韧性等。这些钢, 一般含碳 0.3—0.4%, 铬 1% 左右, 镍 1—3%, 钼 0.2—0.5%。

向钢中加入 0.09—0.225% 的稀土氧化物, 在所有情况下均能得到良好的效果。它可以有效的消除钢锭中树枝状结晶组织, 增大初轧坯轧制品尺寸, 因而提高钢坯收得率。他们认为, 据到目前 (1956年) 已知的数据已可推测: 每吨钢加入 0.9—1.25 公斤的稀土金属混合物除掉大尺寸的钢锭以外, 钢的组织必将得到改善。

图 4 为稀土金属对高温塑性的影响; 图 5

为对低温冲击韧性的影响。

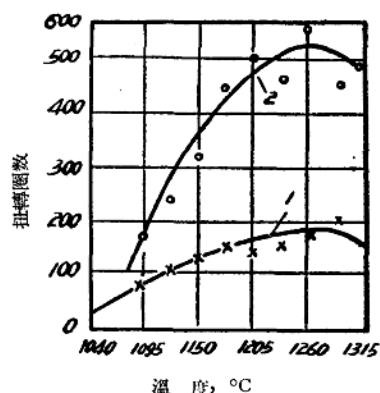


图 4 加与不加稀土元素之低合金钢高温塑性的变化情况

1—无稀土元素加抑制剂; 2—加有0.11%的稀土金属混合物 M.C.A.

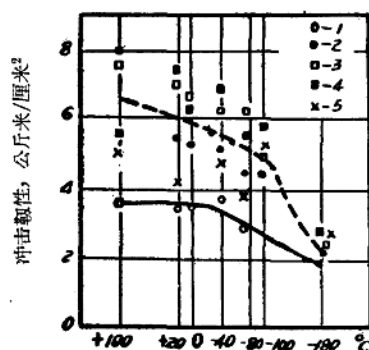


图 5 稀土金属对钢之低温冲击韧性的影响 (800°C 油淬, 630°C 回火后水冷)

1—含0.65%Mn; 2—0.08%Mn; 0.05%Ce;
3—0.08%Mn; 0.10%Ce; 4—0.10%Mn; 0.20%Ce;
5—0.08%Mn; 0.30%Ce.

苏联另一些作者的研究结果却恰与此相反。他们认为稀土金属对改善这种钢的性能作用不大。例如表10中 Е.Д. Вербольская 的数据指出, 对于变形钢来说, 稀土金属对其塑性及冲击韧性没有什么作用; 对于铸钢的作用则非

表 10

鋼 的 性 能	鑄		鋼		變 形 鋼		
	普通法熔煉	真空法, 用 碳 還 原	普通法, 用 0.2%P3M及0.02 %Al還原	真空法, 用 0.2% P3M 還 原	真空法, 用 0.2% P3M 還 原	普通法, 用 0.2%P3M及 0.02%Al還原	直接還原法, 含0.3%C
σ_b (公斤/毫米 ²)	107.2	110.3	107.2	110.2	102.1	104.0	112.1
δ (%)	10.3	11.9	14.0	16.0	18.0	17.5	14.5
ψ (%)	20.7	34.2	46.9	59.7	62.1	57.2	54.3
α_k (公斤米/厘米 ²)	3.9	4.9	8.3	10.5	10.7	8.2	7.9

注—P3M 稀土金屬

常明显, 塑性及韌性均提高 1 倍以上。甚至超过了变形鋼的同种指标。

A.П. Корн 的資料指出: ①向低錳的鑄鋼中加入 0.15%Ce, 可以使鋼的脫硫效率達 50—60%; ②對於鍛造時的變形性没有什么作用; ③在 0.12% 鈾合金 (0.054%Ce) 加入量的情況下, 冲击韌性有不多的提高, 但塑性降低了; ④鋼錠的中心区域發生稀土硫化物的聚集和粗化; ⑤切向試样冲击值有所降低, 其主要原因是沿鍛造軸向析出了粗大拉长了的硫化物夹杂。

(2) 在 40X 和 40XH 鋼中的作用。苏联 A.П. Гуляев 認為: 對於精煉鋼水, 稀土金屬各元素的作用極為相似; 而做為合金元素, 其作用便各不相同, 一般它們多聚集在晶粒周圍的边界处。

鈰和鐳提高淬透性; 釷和鐳增加韌性系数; 鈰、鐳和釷能 (不多的) 减少可逆回火脆性。

稀土混合金屬對這種鋼的良好作用是由于它汇集了各稀土元素的作用。

(3) 对 30XPH 和 30XPC 鋼的作用。釷對於减少這種鋼的可逆回火脆性系数比鈰稍强, 它对回火脆性的作用在提高淬火温度时仍然保持。對於 30XPH 鋼, 加 0.15—0.23%La 比較合适, 對於 30XPC 加 0.26—0.30%La 比較合适, 釷对阻止脆性試样晶間破断的作用比鈰强。这里应当說明, 苏联由于缺鈰, 所以他們在这方面作了很多研究工作。以期用稀土金屬来代替鈰。

(4) 在 12X1MΦ 鋼中的作用。每吨鋼加入小于 1 公斤的稀土金屬, 便可: ①提高这种

鋼的冲击韌性指标: 例如: 對於縱試样可由 20.4 提高至 25.2 公斤米/厘米²; 對於橫試样可由 9.9 提高至 12.2 公斤米/厘米²。②降低冷脆性: 如果普通的不加任何加制剂的 12X1MΦ 鋼, 在零度 (°C) 时的冲击韌性小于 4 公斤米/厘米² 算做冷脆限; 那末加有稀土金屬的試驗鋼的冷脆限 (≤ 4 公斤米/厘米² 时) 便由 0°C 降至 -40~ -100°C。

(5) 在 12XH2 鋼中的作用。这种鋼試驗時稀土金屬的加入量为 0.8 公斤/噸。采用 6.5 吨重的鋼錠进行試驗, 加稀土金屬后的性能改善情况如下:

	σ_b (公斤/毫米 ²)	σ_s (公斤/毫米 ²)	δ (%)	ψ (%)	α_k (公斤米/厘米 ²)
加有稀土金屬	83.4	57.9	17.3	46.5	11.2
不加稀土金屬	72.2	53.5	9.3	28.5	5.7

可見, 加稀土金屬的結果, 使 12XH3 鋼的五項机械性能指标均有提高, 以塑性和韌性为甚, 尤其是韌性达 1 倍以上。

(6) 苏联齐喀宾斯克工厂的試驗結果。

向 40XH 和 OCB 鋼 (0.40%C; 0.70%Mn; 0.33%Si; 0.030%S; 0.032%P; 0.08%Cr; 0.08%Ni; 0.14%Cu) 中加入鈾鉄可以降低硫含量及临界点 A_1 及 A_3 (如图 6), 同时提高其强度, 但塑性降低。关于后一結果是与大多数作者的結論相异的。

在 18XHBA, 30XPCA, 12X2H4A 以及 X17H2 鋼中加入 0.15—0.25% 的鈾將发生如下的作用:

對於 18XHBA 鋼提高强度极限及延伸率, 但降低冲击韌性;

對於 30XPCA 鋼提高强度极限及屈服点,

但亦降低冲击韧性；

对于 12X2H4A 及 X17H2 鋼，所有机械性能皆有所降低。

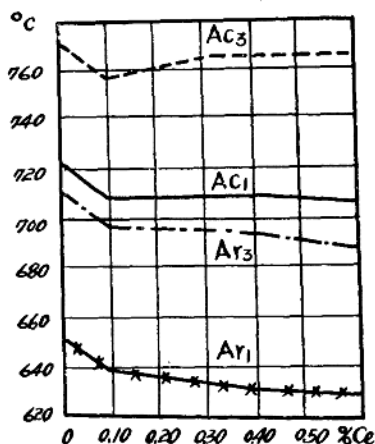


图 6 加入不同数量的铈对 40XH 鋼临界点的影响

該厂用自己的試驗結果确定，只有在炉內加入銻鉄才是比較合适的，从而使軋制塑性得到改善。

稀土金属能降低試驗鋼对白点的敏感性。

(7) 在碳素鋼中的应用。美国的資料指出，稀土金属可以显著改善低碳鋼的加工工艺性能，减少开坏破裂，降低清理损失和費用，提高收得率。对于 SAE 1020 鋼(0.18—0.23% C; 0.30—0.60% Mn; $\leq 0.04\%$ P; $\leq 0.05\%$ S)，只需加入 0.09% 的稀土金属混合氧化物便可提高收得率 4.2%，如表 11 所示。

稀土金属混合氧化物对 SAE 1020 低碳鋼軋制的影响 表 11

	非試驗鋼	加有稀土的鋼 (0.9 公斤/噸)
初 軋 坯 重 (公斤)	3240	直接軋成鋼坯
鋼 坯 重 (公斤)	2950	3240
品种軋件重 (公斤)	2810	2960
合 格 率 (%)	78.0	82.2

在碳素結構鋼中加入稀土金属对提高机械性能的作用不太明显，例如苏联的資料指出；对于 35 号鍛鋼，经过热处理后，它們的机械性能为：

	σ_b (公斤/毫米 ²)	σ_s (公斤/毫米 ²)	δ (%)	ψ (%)	a_k (公斤/厘米 ²)	d_{Be}
正火后:						
不加稀土金属的	69	43.9	25.7	55.5	8.6	4.4
加有 0.3% FeCe 的	71	45.0	26.4	55.5	8.0	4.3
經 850°C 淬火, 650°C 回火后:						
不加稀土金属的	78.0	67.0	25.0	60.0	14.3	4.0
加有 0.3% FeCe 的	80.0	67.0	22.9	55.5	13.0	3.9
經 1050°C 扩散退火, 850°C 淬火和 650°C 回火后:						
不加稀土金属的	74.5	57	24.5	70.0	17.5	4.3
加有 0.3% FeCe 的	75.6	61.0	21.0	59.0	16.0	4.2

4. 在耐热不銹鋼中的应用

稀土金属在耐热鋼中应用所取得的成績是肯定的。目前发表的資料还比較一致，已經确定，稀土金属加于耐热鋼中后可以显著消除紅脆性，提高热塑性变形性，抗氧化性和持久强度。其主要原因，粗略看来是由于稀土金属加于鋼中能强烈地脫氧、脫硫和去除易熔杂质

的有害影响。它与氧和硫以及易熔杂质能形成熔点极为高的化合物。这不仅是消除紅脆性的重要原因，也是提高高温持久强度的重要因素。下面便列举一些例子来说明它的这些作用。

美国的 C.B. Post 最先得出了 Ce + La 的用量与含釒量的关系。如图 7 所示。

他在总结稀土金属对鋼之性能的作用时指

出，稀土元素的氧化物最好用于改善低合金奥氏体类型的鋼种，如20—20；25—20以及18—

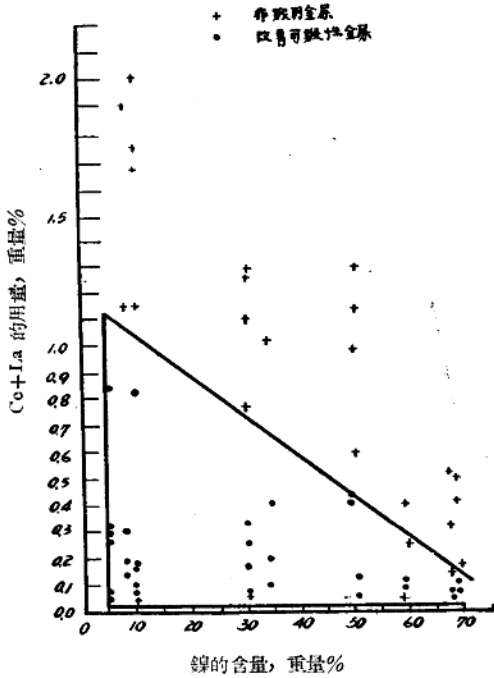


图7 含镍量对铈和铈板限量（在这个用量下奥氏体不銹鋼在热状态下具有良好的变形性）的影响

12等，而稀土金属最好用于消除高合金中出現的热脆性。試驗已表明，向18%Ni; 20%Cr类型的合金中加入每吨0.9—1.35公斤的稀土金属混合氧化物，可以显著提高它的可鍛性。美国广泛的研究了稀土金属对SAE308, 309, 310和316鋼的性能的影响，它們的成分如下：

SAE	C	Cr	Ni	Mn
308	≤0.08	19—21	10—12	≤2
309	≤0.20	22—24	12—15	≤2
310	≤0.25	24—26	19—22	≤2
316	≤0.10	16—18	10—14	2—3Mo

稀土金属对这些鋼的塑性、持久强度和抗氧化性的良好影响如图8—11。

美国有一家大型炼鋼工厂在生产不銹鋼时，已使稀土金属氧化物的应用标准化。目前該厂已能浇注20吨的鋼錠，而在这以前鋼錠的最大重量只有4吨。同时軋材收得率由4吨錠的65%提高到20吨錠的75%。

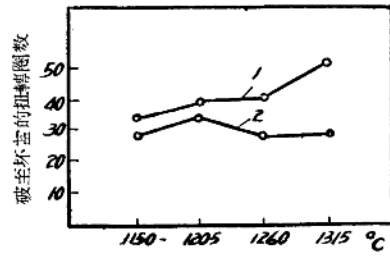


图8 稀土金属对SAE310(25—20)奥氏体不銹鋼高温塑性的影响
1—加有稀土金属；2—未加稀土金属的。

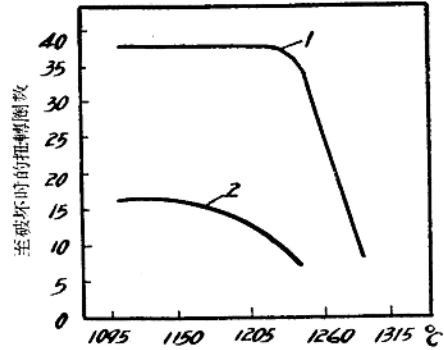


图9 在不同温度下稀土金属对奥氏体不銹鋼塑性的影响
1—加有稀土金属；2—未加稀土金属。

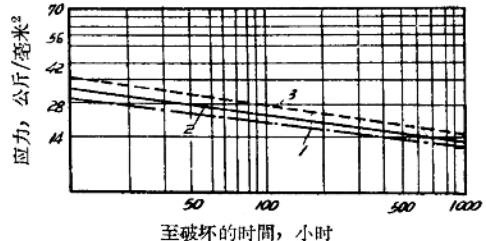


图10 試驗的不銹鋼試样650°C下的持久强度
1—无加剂；2—0.18% 稀土氧化物；3—0.18%稀土混合金属。

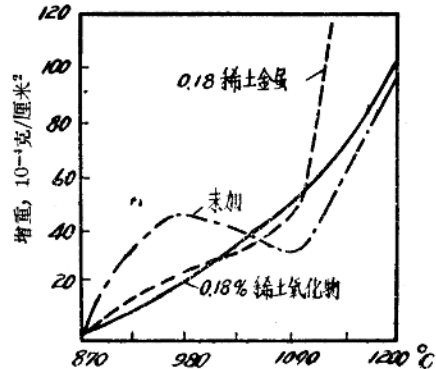


图11 稀土金属对SAE310鋼抗氧化性的影响（空气中保温100小时后試样的增重）

英国在生产高铬钢时，目前已用稀土金属氧化物代替过去的加氮以减少晶粒长大的倾向。由于稀土氧化物的加入也避免了因加氮而引起的困难。

稀土金属对钢之耐氧化性的良好作用，在英国和美国已是毫无疑义的。图11即是美国H.O. Beaver的数据。

苏联的科学工作者在这方面也作了很多工作，得出了同样的结论。

М.В. Приданцев 指出：铅、铋以及硫等对于高镍铬钢及合金是极有害的元素。它们的存在显著地降低钢及合金的各种机械性能指标。如表12—14所示。

但是稀土金属加入后即可扭转这种状况。因为它们能与硫、铅以及铋生成高熔点的化合物，并具有极高的脱硫作用。图12是X23H18奥氏体钢加入稀土金属后塑性的变化情况。可见在1200°C下加入0.1% Ce可以得到最大塑性。图中也指出了加入量超过0.15%以后，脱硫率与塑性的关系。此外对于这种钢来说，随着含硫量的提高其高温塑性亦是显著下降的，如图13所示。

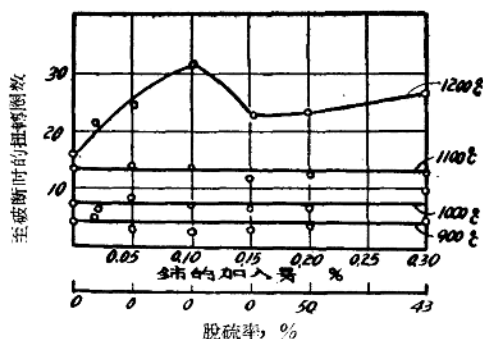


图 12 铈对X23H18钢高温塑性的影响

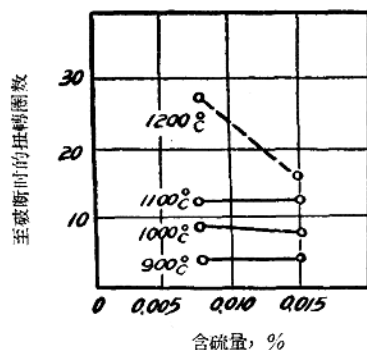


图 13 含硫量对X23H18钢高温塑性的影响

不同杂质含量的X25钢持久强度和塑性的试验结果（平均值）

（温度=600°C，应力 $\sigma=7$ 公斤/毫米²）

表 12

熔炼号	杂质	杂质的含量 (%)	持久强度 (小时)	塑性指标 (%)		硬度 (H _n)	
				δ	ϕ	试验前	试验后
551	Pb	痕迹	153	18.1	78.8	170	179
552		0.045	126	24.9	88.8	187	183
553		0.070	100	21.5	71.3	179	179
554		0.100	84	22.6	77.4	187	185
451		痕迹	131	17.0	68.1	170	187
452		0.01	111	31.5	81.1	170	181
453		0.03	88	34.7	81.1	179	187
454		0.07	65	35.9	76.2	170	183
251		0.017	121	26.2	83.5	170	187
252		0.045	116	46.9	82.6	187	187
253		0.070	101	30.0	79.8	187	187
951		没有	117	51.4	80.8	170	176
952		0.025	78	28.8	89.8	183	187
953		0.045	59	14.5	39.5	187	187
954		0.115	34	5.9	11.8	179	187

注—试样的热处理：加热至750°C保温30分钟后水冷。

不同雜質含量的X18H9T 和 X25H20 鋼持久强度和塑性的試驗結果 (平均值)

(溫度=700°C, 應力 $\sigma=11$ 公斤/毫米²)

表 13

鋼 種	熔 煉 號	雜 質	雜質的含量 (%)	持 久 强 度 (小時)	塑 性 (%)		硬 度 (H_B)	
					δ	ψ	試 驗 前	試 驗 后
X18H9T	711	Pb	0.0011	251	10.0	36.0	137	146
	712		0.010	171	17.5	30.6	137	157
	713		0.026	132	23.0	32.6	143	143
	714		0.032	115	28.1	50.0	136	156
	511	Pb+Ca	痕 跡	205	14.0	28.2	149	159
	512		0.006	187	10.2	21.6	156	159
	513		0.009	299	11.5	24.2	156	159
	514		0.026	252	11.4	15.3	149	159
	211	S	0.017	263	29.1	53.1	156	156
	212		0.040	217	24.0	51.6	156	156
	213		0.081	101	20.2	24.8	170	159
	214		0.125	39	37.3	49.9	170	159
	911	Sb	0.003	226	23.1	32.3	156	156
	912		0.006	172	24.8	32.5	156	163
	913		0.0085	101	26.1	45.4	156	156
	914		0.010	63	43.4	48.9	156	156
X25H20	421	Pb	0.0012	86	15.3	17.2	143	156
	422		0.006	42	8.9	9.2	143	156
	423		0.016	41	9.7	10.0	131	143
	424		0.022	40	9.5	10.6	131	149
	221	S	0.020	120	47.4	45.2	163	149
	222		0.040	115	44.5	43.6	170	149
	223		0.080	82	36.6	26.6	170	156
	224		0.124	77	20.5	26.6	170	156
	921	Sb	0.0010	116	36.7	45.8	156	146
	922		0.0035	105	38.5	40.6	156	140
	923		0.0085	101	28.3	35.7	156	140
	924		0.0120	79	31.7	41.6	156	156

注—試驗的熱處理: 加熱至1100°C保溫30分鐘後空冷。

不同含硫量之 9H437 合金的持久强度, (溫度=700°C, 應力 $\sigma=36$ 公斤/毫米²)

表 14

熔 煉 號	S (%)	品 粒 度	至破坏的时间 (小時)
310—1	0.003	2—4	115
310—2	0.005	3—5	73
310—2	0.005	3—5	85
310—3	0.010	4—6	35
310—3	0.010	3—5	62
310—4	0.017	3—5	36
8954—1	0.015	5—6	21
8954—2	0.040	4—6	20
8954—2	0.040	—	13
8954—3	0.053	—	19
8954—3	0.053	6	17

注—熱處理制度: 1080°C—8小時, 爐冷; 700°C—16小時, 空冷。

Т.В. Свищунова 和 Г.В. Әсүлин 研究了稀土金属对ЭИ437 (0.03—0.05% C, 20—21% Cr, 2.5—2.8% Ti, 0.8—1.0% Al 及 75—76% Ni) 镍铬基合金机械性能的影响。他们指出：稀土金属除能显著增加其塑性以外，还显著提高了合金的持久强度 (图 14, а, б)。这与表14的结果相对照，恰好证实了稀土金属的特效作用。

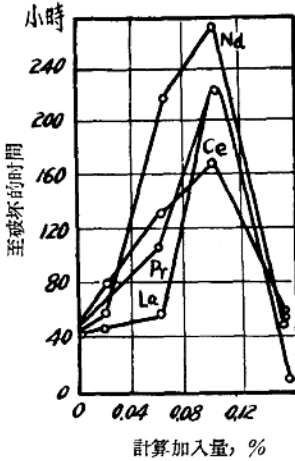


图14 а 在700°C和36公斤/毫米²应力下合金至破坏的时间与铈、镧、镨和钕之计算加入量的关系

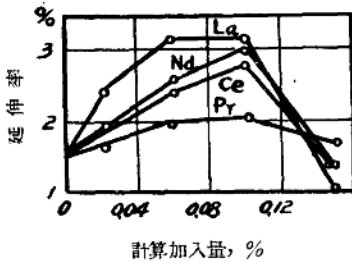


图14 б 在700°C和36公斤/毫米²应力下进行长时拉伸试验后合金之残留延伸率与铈、钕、钐和镨计算加入量的关系

最近，苏联的 Е.М. Савицкий 等研究了 X18H12M2T 钢加稀土金属氧化物后带来的变化。其结果指出：

- 1) 0.08%的数量是最好的加入量；
- 2) 在这个加入量下能改善钢锭及铸件表面质量，降低钢锭及钢坯清整费用约18%；还能细化钢的低倍及显微组织，减少铁素体数量和晶界腐蚀倾向以及改善钢的变形性，提高金

属收得率 (5%)；

3) 在1000—1200°C 用扭转法测定钢的塑性时指出：加入0.08%的稀土氧化物使塑性提高0.5—1.0倍，且沿钢锭高度和各锭盘具有同样的大小。此外，塑性提高的同时，扭矩并未降低；

4) 室温下的强度极限和屈服点分别提高11.5和15.4%，纵横向的性能差减少到最小限度。

关于稀土金属和钇对 Fe—Cr—Al 基合金抗氧化性的影响，很多人进行过研究。英美和苏联的一些作者都指出：它们可以显著提高其耐热性能，并强烈地阻止其在高温使用过程中晶粒的长大。例如美国的资料认为：对于 Fe—Cr—Al—Y 合金，当 X20H80 以及现代镍基合金已变成液体时它仍能在不大的负荷下正常使用。象 Fe—25%Cr—1%Y—3%Al 这样的合金即是其中的一种。在1430—1540°C 的温度下表面上能形成坚固的严如瓷釉一般的氧化膜，它不发生剥落并是热稳定的，所以这种合金极为耐热。经过长时间高温 (1260°C) 加热以后，表面仍是十分光滑的，和开始时一样，并且不发生晶粒的长大。

二、稀土金属的加入工艺

各国均依据自己的国情和某种要求采用各自认为比较合适的稀土金属加制剂。因此，加制剂的形式便达几十种之多。表15中所列举的即是一些常用的和市场上能买到的稀土合金。

表 15

合金名称	主要元素的含量 (%)							
	Ce	La	Pr	Nd	其它 P3M	Si	Mg	Fe
铈 铁	90—96	—	—	—	—	—	—	4—6
混合金属	40—50	20—24	—	15—18	<1.0	—	3.5—7.5	<10
含Fe10—30%，余为稀土金属，按混合金属的组成比例分配	40—50	22—25	5.0	18	3—5	—	—	—
混合金属	40—50	≥30	4.0	17.0	1.0	—	—	—
混合氧化物	氧化物83%，CaB ₂ —15%，KNO ₃ —2%。							
R—Ca—Si	稀土金属>19%，Ca18±3%，Si5±4%，余为Fe							
	稀土金属30%，Ca10%，Si47%，余为Fe							

注：R 是稀土金属的外文缩写字。

1. 鑄鐵生產中稀土金屬的加入工藝

(1) **孕育劑的成分特點。**在鑄鐵生產中用作球化劑的稀土合金要求含有一定量的鎂。因此它的比較適宜的組成爲。

鈾	40—50	鎂	3.5—7.5
鋇	20—24	鐵	<10
鈣	15—18	其它稀土金屬總和	<1

(2) **對鐵水成分的要求。**原鐵水的碳及硅含量應當接近共晶成分，比較好的結果是在含碳 3.5—3.8% 及含硅 1.8—2.2% 時得到的。但是，良好的效果不僅是在亞共晶成分，而且在過共晶成分的鑄鐵中也得到了。

在考慮原鐵水的成分時還應當特別注意硫的含量，在處理之前應使它的數量不超過 0.03—0.04%。

(3) **加入方法。**稀土合金在澆注和出鐵前，以不大的塊狀放在澆包底部直接加入鑄鐵中。金屬充滿澆包后立即進行攪拌均勻，隨後用強烈的氧化劑進行孕育處理（一般用硅鐵）。硅鐵的應用多在加鈾以後，旨在二次孕育處理，在這種情況下白口被消除，而鑄鐵組織中球狀石墨的數量顯著增加。

(4) **加入數量。**稀土金屬在鑄鐵中主要的“消耗”於鐵水的脫硫及其合金化。試驗證明，鑄鐵僅在其含硫量降至一定的程度以後才發生孕育作用。因此，稀土金屬開始消耗於脫硫，而後才是孕育作用。英國的蒙羅和維利雅姆斯認為，鈾的孕育作用效果僅在硫的含量降至 <0.02% 以後才能顯示出來。蘇聯的 E.M. 薩維茨基指出，他們在工業生產中，鐵水原始含硫量在 0.03—0.04% 的情況下便能獲得令人滿意的孕育效果。他又指出當原始含硫量高達 0.1% 時，如不相應提高稀土金屬的加入量，甚至在薄壁鑄件中也不得到球狀石墨。在這種情況下只有加入不是百分之零點幾而是約 1% 的稀土合金方能實現。所以，原則上說來，鐵水原始含硫量高不影響它得到球狀石墨，不過這是不經濟的。

鑄件的冷卻速度同樣地涉及到孕育劑的

消耗量。在原始含硫量為 0.03% 及壁厚小於 50—60 毫米的鑄件生產中，稀土金屬的耗量只占鐵水重的 0.35—0.40%。當壁厚增大至 150—200 毫米時，它的耗量便增至 0.8—1.0%。鐵水在長時間（超過 20—30 分鐘）保持時孕育作用消失，鑄鐵在第二次重熔時亦如此。

由上所述即知：為使石墨球化及考慮到鑄件的冷速（壁厚），稀土金屬的加入量一般應是鐵水原始含硫量的 10—20 倍。

(5) **稀土金屬對鑄鐵的作用特點。**雖然借助於稀土金屬和鎂的幫助都可得到高強度鑄鐵，但在作用特點上則與鎂有很大區別。

① 向鐵水中加入稀土金屬不發生象加鎂那樣的沸騰作用，因而無需將鐵水激烈的過熱。用鎂處理時，由於鎂蒸汽吸收走了大量的熱，所以對於 1500—1520°C 的鐵水用 Mg 處理後溫度便降至 1380°—1390°C。而用鈾處理時溫度只降低 10—20°C。因此，鐵水可以不在爐中過熱，並在 1420—1400°C 下進行處理即能保證在 1380—1350°C 下進行鑄型的澆注。這樣一來既降低了煉鐵時的電能消耗，也延長了熔煉設備的壽命。

② 稀土金屬使鑄鐵的脫硫程度比鎂小。在相同的加入量（0.5%）下幾乎比鎂的脫硫能力小 50%。如表 1 所示，在原始含硫量為 0.03% 的情況下，加鎂時硫量降至 0.007%，而加鈾的只降至 0.012—0.013%。由於它的脫硫能力比較小，所以也就顯著降低了鑄件因為“黑斑”而置廢的數量。並且也可以認為這也就是稀土金屬充當球化劑時能減少“黑斑”的重要原因。因為黑斑主要是硫化物的聚集物，對於鎂處理的鑄鐵在澆至鑄型中以後，硫與鎂的作用依然繼續進行。而用鈾處理的鑄鐵在澆注鑄型時這種作用已經結束，避免了黑斑的形成。蘇聯不少工廠所做的曲軸進行低倍和硫印檢驗實沒有出現任何黑斑。即使當原始鐵水的含硫量波動在 0.031—0.045% 的範圍內時，也是如此。

在蘇聯 HAMH 試驗室里所做的試驗指出：黑斑的完全消除僅在薄壁鑄件中得到了實現（拖

拉机及汽車发动机軸)。在砂型中鑄造橫截面超过 150 毫米的鉑鑄鉄零件(如內燃机車軸)时,近表面处依然有某些数量的黑斑。但是它們比在鎂鑄鉄的零件中少多了。

③ 稀土金属(鉑)比鎂具有較大的白口化傾向,所以应当注意使用墨化剂和鑄件的冷却速度。

④ 稀土金属使鑄鉄中析出之石墨形状不如鎂;所得到的石墨是不規則的“球形”;所以鑄鉄的强度极限有时稍許比鎂鑄鉄的低一些。但是对于在周期負荷下工作的零件具有重要意义的除强度极限以外,尚有疲劳强度。当强度极限在50—70公斤/毫米²的范围内变化时,疲劳强度几乎相等。所以虽然鉑鑄鉄的强度极限較低(50—60 公斤/毫米²)一些,也不致影响曲軸和其它零件的使用性能,和鎂鑄鉄的一样。

綜上所述,用稀土金属作球化剂具有如下的优点:

① 能保証在100—150毫米截面的鑄件中 得到球状石墨,并具有和鎂鑄鉄一样的机械性能;

② 处理过程中沒有强烈的“热現象”和鉄水的飞溅。因此不需要特設的保护罩和压入器以及将鉄水激烈过热等。同时也不会象鎂处理那样引起过多的起运工序。这一些特点給机械制造工厂中的連續作业創造了有利的条件;

③ 鉑比鎂对含硫量的敏感性小的多。例如对于重要用途的零件(曲軸等),用鎂处理时,鉄水中硫含量不应大于0.007%,这必須将鑄鉄进行特殊的脱硫才能达到。在用鉑处理时鉄水含硫量达 0.04%时也能成功。亦即对于鉄水的含硫量來說,后者允許比前者大四倍;

④ 能减少黑斑废品和改善鑄鉄性能;

⑤ 在經濟方面,用鉑鑄鉄制做的零件可以代替某些鍛件,从而能降低成本。例如,苏联弗拉基米尔斯克拖拉机工厂自从把用鍛鋼制造的 AB—37 拖拉机发动机曲軸改为鉑鑄鉄的以后,每根曲軸可以节约1.5—2.0卢布。另外,由于稀土金属的加入代用了某些稀缺金属(鋳

和鉍等)和一些鑄鋼及有色金属件等节约消耗降低成本的另一重要方面。

2. 炼鋼生产中稀土金属的加入工艺

(1) 稀土金属的加入形态。采用金属形态或是氧化物状态加入,由其所要达到的目的而定,而这种目的又需借助于加入这种形式的加制剂才能得到解决。从經濟观点出发加稀土金属氧化物是有利的。何况它也有可能起孕育作用,从而改变鋼錠的結晶过程。另外从保持金属純洁度的观点出发,加入氧化物亦是有益处的。但是为了中和某些杂質的有害作用(形成难熔化合物,使硫重新分布)以及为了合金化以达到强化的目的等都应当以金属形式加入。

(2) 加稀土金属前鋼水的状态。鋼水在加稀土合金前必須进行充分彻底的脫氧。不然即会降低脫硫和孕育效果,或者增加稀土金属的耗量。

同时鋼水的温度也应当控制在一定的范围内。如前已述,对于一些鋼种这个范围大致在 1500—1590°C,象碳素結構鋼及一些合金結構鋼即属此类。

另外,加稀土合金前鋼渣的成分应严格控制。把易被还原的組成物尽最大的努力减至最低限度。以降低稀土金属的消耗和增加它的吸收率。

(3) 稀土金属的加入量。現在很多科学工作者对稀土金属在其它金属中的溶解度进行了測定。它在純鉄中的溶解度为 0.2—0.4%。可見,它在鋼中的溶解度必然小于这个数字。这就决定了,当引用它来改善鋼的机械性能以及热压力加工性能时,其加入量一般說来便以小于 0.2—0.3% 或更低一些为宜。在最近一两年来,的最新資料报导中所看到的,对于大多数的鋼种多采用 0.1—0.15 (或 0.2)% 的加入量。大家都认为这是一个較好的加入量。加入过量的稀土金属会导致中間金属化合物的出現,使鋼变脆,但加入量不足,也同样达不到预期效果。所以在使用稀土金属来改善鋼的質量时这