

213-5

大型铸锻件文集

太原重型机器厂情报室编译

5

1981

一机部大型铸锻件情报网

目 录

技术报导

稀土元素铸钢的抗热裂性 ----- 1~12

译 文

大型锻件金属质量的控制方法 ----- 13~28

大型锻造钢锭的制造方法 ----- 29~62

大轴锻造过程的改进 ----- 63~72

无磁性护环 ----- 73~82

透平机转子大型锻件中材料缺陷的分类 ----- 83~88

套圈形锻件的辗轧扩孔 ----- 89~105

大锻件热处理时复杂材料添加规范的研究 ----- 106~121

钢的热物理性能的研究 ----- 122~137

提高铸件质量和降低废品的办法 ----- 137~141

含Cr1%的抗蠕变铬钢制钢造轮机转子的热处理 ----- 142~163

铸钢浇注温度的决定 ----- 164~177

生产过程中受扭转应力作用时裂纹的扩展 ----- 178~192

第十届国际落锤会议——会议报告 第一分 ----- 193~215

第十届国际落锤会议，会议报告 第二分 ----- 215~235

稀土碳素铸钢的抗热裂性

——李兆劲——

近二十几年来，稀土元素在钢铁生产中由于其对净化钢液、改善组织和性能的良好作用，已引起了广泛的注意。

一九七七年以来，我厂在老试验的基础上，对铸钢 ZG 35 和 ZG 35 R 的抗热裂性进行了生产试验对比。以期对铸钢的热裂缺陷有所克服，从而提高铸钢件质量，减少切割、焊补、回火的工时，减少材料、燃料消耗，降低铸钢件成本。

我们选择了容易产生铸造热裂的两种铸钢件作为典型铸件进行试验生产。一种是无砧座模锻锤的上下锤头（ $16^{\text{t-M}}$ 、 $25^{\text{t-M}}$ ）；另一种是 4 M³ 电炉的左、右履带架，尤其是履带架，件长壁薄，多年来都存在严重的热裂缺陷质量问题，其次裂率一般都在 50% 以上。一九七九年推广稀土碳钢后，履带架热裂率稳定的降至 9.2%。无砧座锤头的热裂已基本消除。现在我厂已将稀土碳钢纳入正式工艺，生产履带架、锤头、三通缸、汽缸体等质量要求较高的铸钢件。

一、稀土元素的加入量和脱硫效率

稀土元素在钢中的加入量一般按下式计算。

$$Re_j = 5.85 ([O]_a - [O]_b) + 2.93 ([S]_a - [S]_b) + Re_i$$

其中：[O]_a —— 原始含氧量，[O]_b —— 残余氧量，

$[S]_a$ — 原始硫含量, $[S]_b$ — 残余硫含量,

Re_i — 钢中残余稀土量。

$$\begin{aligned} \text{即 } Re_j &= 5.85(0.0240 - 0.0050) + 2.93(0.045 - 0.030) + 0.03 \\ &= 0.1851\% \approx 0.2\% \end{aligned}$$

但按我厂碱性平炉出钢1.5吨钢水时仅需70公斤金属Ce, 换成稀土硅铁则需346公斤(按含Ce 26%), 这样加入数量太大, 势必超过35钢的含Si规格。因之在实际加入时, 我们按

$Re_j = 0.05\%$ 左右加入。各炉的稀土加入量和回收率如下表:

表1

炉次	稀土加入量 (kg)	出钢量 (t)	实际加入 $Re(\%)$	回收率 (%)	钢中残余 $Re(\%)$
7M ₁ -231	90	49	0.048	20.8	0.010
7M ₂ -262	90	47	0.050	12.0	0.006
7M ₁ -247	90	41.5	0.056	15.4	0.0075
7M ₁ -261	90	44	0.053	18.8	0.010
7M ₁ -279	110	48	0.060	18.4	0.011
7M ₁ -362	90	45	0.052	11.6	0.006
7D-489	38	22	0.045	13.4	0.006
8M ₁ -34	120	45	0.069	15.3	0.0105
8M ₁ -55	90	48	0.049	18.4	0.009
8M ₂ -109	100	45	0.058	12.2	0.007
8D-230	40	19	0.055	12.8	0.007
8M ₁ -138	80	49	0.043	11.6	0.005
8M ₁ -150	100	46	0.056	10.7	0.006
8M ₁ -168	90	45	0.052	9.6	0.005

续表 1

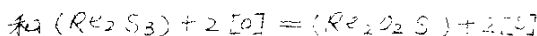
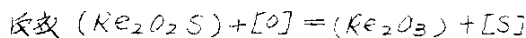
8M2-145	70	46	0.039	12.5	0.005
3M1-204	73	46	0.041	12.2	0.005
"-216	40	45	0.052	9.6	0.005
"-223	90	47	0.050	10.0	0.005
"-227	90	45	0.052	9.6	0.005
"-239	10	45	0.052	9.6	0.005
"-256	85	48	0.046	10.8	0.005
"-282	90	46.5	0.050	10.0	0.005
"-289	90	46	0.051	9.8	0.005
"-294	10	47.5	0.049	10.2	0.005
"-299	90	48	0.049	10.2	0.005
"-308	90	47.5	0.049	10.2	0.005
8M1-316	80	48	0.044	11.4	0.005

从上述统计看，碱性平炉在出钢后，顺流将稀土连续加入包中的加入方法，稀土回收率波动在9.6--12.5%之间。如果采用压入法加稀土，回收率还有可能提高。

钢中硫含量对稀土收率的影响也是一个决定性因素，而其对铸件产生热裂纹的倾向也是显而易见的。对125件钢铸件按硫含量统计，硫含量在0.035%以上者共44件，产生热裂纹者22件，佔50%。而硫含量在0.034%以下者共81件，产生热裂纹者26件，佔32%。由此可见，减少钢中硫含量，可以减小了铸件的热裂纹倾向。

由表2可见，脱硫率 η_s 在24~55.5%的广大范围内波动。

而多数炉次在 $\eta_s = 13.4 \sim 35.6\%$ 的范围, η_s 所以波动较大的原因, 主要取决于炉渣的碱度、氧化性、流动性; 其次则和钢水温度、钢中 $[O]$ 含量有关。平炉钢出钢前含氧量仍较高, 故依稀土的脱硫作用增大, 防止铸件热裂作用增强, 钢水应预脱氧至较低含氧量。这一关系可由反应的平衡常数看出:



两式的平衡常数为:

$$K_o^S = \frac{K_{os}}{K_o} = \frac{[S]}{[O]}$$

$$K_{os}^S = \frac{K_s}{K_{os}} = \frac{[S]^2}{[O]^2}$$

当 $Re \cdot O$ 和 $Re \cdot SO$ 平衡时, $[S] = 10[O]$ 。即当钢中 $[S]$ 含量低到 $[O]$ 的 $\frac{1}{10}$ 时, 才开始稀土硫氧化物; 当 $Re \cdot SO$ 和 $Re \cdot S$ 平衡时, $[S] = 100[O]$ 。即当 $[S]$ 低到 $\frac{1}{100}[O]$ 时才开始脱硫。若要发挥稀土脱硫作用, 则必须先脱氧, 所试验的炉次在出钢时含 $[O]$ 量仍很高, 多在 $[O] = 0.0210 \sim 0.0260\%$, 因此影响到脱硫的效果。在顺钢流以钢水量的 0.20% 加稀土硅铁处理后, 又以 180 公斤硅铁和 45 公斤铝块脱氧 (50 吨包中), 其结果含氧量仍较高。一般含 $[O]$ 量 = 0.0052 ~ 0.0085% (炉次

7M₁-362), 脱氧较好的炉次含 $[O]$ 量也仍在 0.0062% 左右 (炉次 7M₁-247)。所以很多炉次脱硫效率不理想。如能在炉前以 Si-Mn 合金或 AMS 合金预脱氧后, 再加稀土处理, 则脱硫

效率会大大提高，铸件脱硫率会进一步降低。

试验各炉次脱硫率如表2

表2

炉次	成品 [S] $\%$	[S ₁]-[S ₂]	脱S率 $\eta_s\%$	出钢温度 T $^{\circ}\text{C}$
7M ₁ -231	0.022	0.009	29	
7M ₂ -262	0.024	0.021	46.6	1570
7M ₁ -247	0.027	0.018	40.0	1560
7M ₁ -261	0.034	0.011	24.5	1580
7M ₁ -279	0.033	0.009	21.4	1610
7M ₁ -362	0.020	0.005	11.1	1580
8M ₁ -34	0.026	0.019	42.2	1570
8M ₁ -55	0.025	0.015	37.5	1580
8M ₂ -109	0.035	0.010	22.2	1580
8D-230	0.032	0.015	32.0	
8M ₁ -138	0.044	0.001	2.2	1580
8M ₁ -150	0.030	0.015	33.4	1590
"-168	0.027	0.013	40.0	1585
"-145	0.041	0.001	2.2	1580
"-209	0.039	0.016	35.6	1590
"-216	0.026	0.019	42.3	1570
"-223	0.039	0.006	13.4	1580
"-227	0.039	0.006	13.4	1595
"-239	0.033	0.012	26.6	1575
"-282	0.030	0.015	33.4	1580
"-289	0.020	0.025	55.5	1620
8M ₁ -294	0.036	0.015	35.6	

接表2

8M1-299	0.029	0.016	35.6	1580
8M1-308	0.039	0.006	13.4	1610
"-316	0.039	0.006	13.4	1560

二、稀土碳钢的热态塑性和流动性

微合金稀土能提高铸钢的高温塑性，这一特性可能是稀土碳钢抗热裂性好的一个主要因素。我们对 ZG 35 和 ZG 35 R 的常温机械性能和高温机械性能作了对比试验，其结果见下表3：

常温性能和高温性能的试验数据 表3

试验钢种		铸件退火后的机械性能				
普通	常	σ _s kg/mm ²	σ _b kg/mm ²	δ %	ψ %	α _K kg·m/cm ²
		27	52	22	26	
ZG 35	温	27	52.5	25.5	30.5	
		27.5	52	24.5	32.5	
		29.5	62	24.5	32.5	4.1
稀土 ZG 35 R	常	30.5	55.5	23.5	34.0	4.6
		29.5	55.5	25	38.5	4.1
		—	11.5	45.5	28	
普通 ZG 35	高	—	12.0	50	90	
		—	14.5	51	94	
		—	11.5	84	96	
稀土 ZG 35 R	高	—	9.36	64	93.5	
		—	9.52	62	93.5	
		—	9.63	56.5	93.5	

表3中的高温性能是在温度 800℃ 下拉伸试验的结果。由表

3 中看出，稀土碳钢在常温机械性能表现为强度和韧性的提高，在高温机械性能时表现为塑性的提高。铸钢件在高温下收缩变形受阻后产生的高温应力，如果超过碳钢在该温度下的强度和塑性极限，则必然导致铸件产生热裂纹。而稀土碳钢恰能提高碳钢的热态塑性，因之很容易稀土满足它的这一特点，将对减少铸件在热态倾向发挥巨大作用。

钢水的流动性和浇注温度与铸件的收缩有密切关系。一般地说，铸件浇注温度低些，有利于减少热裂倾向。浇注温度高时，由于钢水温度高于凝固线太多，则固相和液相的温度范围又大，铸件各断面之间的温度梯度也增大，自然易于产生热裂。但当浇注温度过低时，则钢水流动性差，钢水不易顺序地对铸件补缩，产生浇不到、浇不足的情况。如 8Mn-299 炉浇的编号为 8~9 和 8~10 的两件房带架，上面顶口有浇不足的情况。

我们采用普通的圆型螺旋形试样，在铸型浇注系统和熔炼条件相同的情况下测定了普通碳钢和稀土碳钢的流动性。如表 4。

稀土碳钢钢水的流动性		表 4
试验钢种	浇注温度(°C)	流动长度(mm)
普 通	1540	210
	1540	180
	1460	135
	1460	102

表 4

稀 土 ZG35R	1540	458
	1540	420
	1480	445
	1480	197

试样为 8×8 杆形或乙，浇注温度是用热电偶测定。从上述简单的测定，可以看出钢中加入微量稀土可以明显地提高钢的流动性。因之在现场实际操作中，稀土碳钢钢水尽管在同样低的浇注温度下，仍然可以依铸模型腔填充得很快很好，没有浇不足的现象。从而得到表面良好、气孔少、热裂纹也少的铸件。

三、稀土碳钢铸件应用推广实例

基于稀土碳钢具有一定的抗热裂性，我们几年来在房带架和模液罐等头等易裂件上进行了对比试验。从 193 件房带架和 14 件锤头试生产情况说明，稀土碳钢可以大幅度降低热裂率（如房带架）和基本上消除热裂纹（如锤头）。因之目前我厂已将微素铸钢和稀土处理钢列入工艺，并在房带架、锤头等铸件生产中广泛应用。

(1) 电炉点、右房带架应用实例

四点为米电炉房带架全长 4550 公厘，是件长整落的箱形结构铸件。壁厚仅为 35 公厘，每件净重 7100 公斤，毛重 9900 公斤。几年来我们多次以 ZG35 和 ZG35 R 作对比试验，按试生产条件和时间顺序分为七组：

1、第一组：七七九年九月份，以 7 炉 ZG35 浇注房带架 4 件。

其中产生热裂致缺陷者就多达8件，裂纹件占到总件数的57%。

2、第二组：七七年十月至七八年元月，以9炉ZG35 R钢水浇注吊带架24件，其中产生热裂者4件（包括微裂1件），裂纹件低占总件数的19%。

3、第三组：七八年十月至七八年元月，以普通ZG35 共13炉钢水，浇注吊带架25件，其中产生热裂者12件，裂纹件占总件数的48%。

4、第四组：七八年四月至七月，以13炉ZG35 R钢水浇注吊带架33件，其中热裂11件，裂纹件占总件数的33%。

5、第五组：七八年四月至七月以普通ZG35 共9炉钢水，浇注吊带架20件，其中热裂者10件，裂纹件占总件的50%。

6、第六组：七八年八月以6炉ZG35 R钢水浇注吊带架15件，其中热裂者3件（包括微裂2件），裂纹件占总件数的20%。

7、第七组：七八年元月至九月，以27炉稀土ZG35 R浇注吊带架65件，其中热裂者6件，裂纹件占总件数的9.2%。

将试验对比生产质量归纳为下表表5。

表5

试验组别	材 质	试验炉数	浇注吊带架件数	产生热裂致者件数	占总数%
1	普通ZG35	7	14	8	57
3	1	12	25	12	48

附表 5

5	普通 ZG 35	9	20	10	50
4	稀土 ZG 35 R	13	33	11	33
2	"	9	21	4	19
6	"	6	15	3	20
7	"	27	65	6	9.2
分类	普通 ZG 35	29	59	30	50.5
总计	稀土 ZG 35 R	55	124	24	17.9
总计		84	193	54	27.9

综合上述 7 组试验对比，稀土碳钢房带架的热裂率从平均 50.5% 降低到平均 17.9%，总体可降至 9.2%，效果是显著的。

试验中第 4 组房带架由于采用直棍冷铁，热裂率仍为 33%，而第 6 组采用了丁字型通翅冷铁，并注意了消除披缝，因而热裂率又较低。第 7 组采用了丁字型大冷铁，合箱质量提高减少了披缝，打砂时间也严格控制，因而使热裂率降低到 9.2%。

房带架铸件由于长度较大并且壁较薄，造型时内镶心块大砂芯，使铸件内筋条隔筋和外壁相交处形成六个热节环。此六个热节环，尤其是最中间的一个热节环，最容易产生热裂或缺陷。因此，热节处，尤其是铸件中部的热节下分，是否放置内冷铁和内冷铁的尺寸、型式，就成为非常重要的问题。在这里内冷铁的引颈必须顺筋凝固，细化晶粒，消除疏松，缩孔等的作用，尤其是在冷却时增强铸件抵抗收缩应力的作用，都对防止热裂改产生有益处。从我们 193 件房带架的对比试验中可以看出，在同

样以稀土碳钢钢水 ZG 35R 浇注时，采用丁字双大冷铁（侧长 120 公厘）优于丁字鱼翅冷铁；丁字双鱼翅冷铁优于一般鱼翅冷铁；一般鱼翅冷铁优于无翅冷铁。

(2) 对上锤头、下锤头改用实例

16 吨·米无翅冷铁铸件，上锤头净重 10100 公斤，毛重 11850 公斤。下锤头净重 13600 公斤；毛重 15000 公斤。25 吨·米无翅冷铁的 1 上锤头净重 17000 公斤，毛重 25500 公斤；下锤头净重 23000 公斤，毛重 29570 公斤。上锤头在生产中经常在两孔轴上和上圆弧处产生热裂致。下锤头则多在侧面产生热裂致。这些热裂致尺寸大，深度深，不易补焊。因而上锤头在使用中所受冲击负荷较大，对补焊的质量也要求较高，因而在锤头上防止热裂致产生就显得尤为重要。

一九七七年七月浇铸的上锤头、下锤头各两件，就因产生热裂致无法补焊而报废。七七年八月以后，我们采用了加 1# 稀土硅酸孕育处理的工艺生产的 10 件锤头，基本消除了热裂致缺陷，具体情况见下表 6：

试验序号	生产时间	钢号	熔炼号	锤头浇铸			产生热裂致者	
				件数	件数	件数	件数	占总数%
1	1977年7月	青03535		4	4	0	0	100
2	1977年8月	稀土 ZG35R	7M ₁ -171	5	0	0	0	0

接表6

3	1978年2月	稀土ZG35R	8M ₁ -100	3	0	0
4	1979年9月	"	9M ₁ -366 "-373 "-397 9M ₁ -389	4	0	0

四、小结

通过试验证明,稀土元素对提高元素铸钢的抗热裂性是十分显著的。在内冷铁型式、尺寸合适,披缝不大,总埋砂深度合理,初态圆溃性良好的情况下,以稀土铸钢 ZG35R 浇注 16 吨、米和 25 吨、米对试型 2 头时,可以完全消除热裂致。在浇注 4 M³ 电炉炉带钢时,将热裂率降低到 10% 以下完全是可以的。并已在生产实践中付诸实现了。

从经济效果上看,稀土铸钢件成本,不但没有增加,反而还有所下降。按每公斤 1⁴ 稀土合金 3.30 元计称,每炉增加成本 330 元 ~ 100 元 (硅铁价) = 230 元,平均每件炉带钢只增加 57.5 元。但由于减少了热裂致,每件炉带钢节约了补焊工序及回火工序而节约费用 649 元。除了补偿稀土增加的费用外,尚可降低铸件成本 649 元 - 57.5 元 = 591.50 元。

总之,稀土元素铸钢为提高铸钢生产质量,节约材料、燃料消耗,降低铸件成本提供了一个途径。它在经济上是合算的,生产上推广是可能的。

大型锻件金属质量的控制方法

B. A. ТЮРУН

国内机械制造业关键设备大型关键零件的生产由在 250 吨级的大型锻件来保证。当前要锻造的锻件重量已达 350 吨。随着耐热合金、难熔合金和轻质合金的应用日益广泛，这些金属的压力加工也就提到了议事日程。因此，现代锻造技术和工艺发展的主要特点之一，就是查找和综合利用锻件对金属质量有影响的新的文献资料，以保证其所介绍的实用方法能得到最充分的利用。有关金属加工理论 [1, 2, 3] 和加工工艺方面的著作 [4, 5, 6, 7] 为锻造过程的研究打下了良好的基础。在锻造过程中，不仅可以充分利用金属的可塑性，而且可以得到具有细晶金属宏观组织和物理机械性能毛坯。这种毛坯是根据锻件的实际情况来调节金属的塑性流动而获得的。

为了模拟新的锻造工艺过程的实际和结构，而首先了解物理和数学模型：

变形物体的几何模型具有下列特征（这些特征从锻件物理机械性能的影响来看是最重要的）：

- 1、呈柱状晶体的铸造枝状晶体组织形成穿晶区。
- 2、非金属夹杂物形成偏析带（轴向的和非轴向的）。
- 3、金属的宏观疏松形成轴心疏松带。

4. 非金属夹杂物以不同的方式分布在钢锭中。

该模型用于编制锻造程序, 并根据局部变形、压缩应力, 特别是剪切变形的分区集中情况来绘制金属流动的宏观系统图。而在编制详细工艺时再考虑钢锭的某些具体特点。编制金属流动复杂系统图的原始资料是锻粗和拔制时钢锭宏观组织变化的两种简单流动系统图。例如: 锻粗圆板坯毛坯时, 主要成型工序是锻粗, 锻粗时, 锻件中间下分偏所带的过分膨胀是工件机械加工质量不合格的主要成因(在偏折带钻孔时情况尤其严重)

锻粗空心钢锭时(中心孔常被闭合, 见图2a), 金属宏观组织的初步分析可以提出保持(各2.5)或冲掉(各2.B)孔径的两种锻粗方案。这样就不必对已锻粗的毛坯再冲孔了。孔口的金属质量(一般在冲孔时被冲掉), 而孔的形状则变为(成型)轧制而准备的。

金属流动的物理模型用于预示和(构成)以下列顺序流动的
金属流动宏观系统所必需的变形区:

- 1、分出具体过程的各主要阶段。
- 2、分析每个阶段变形区的形状和金属组织(完成平凸变形(2)一系列的边界条件[1,3])。
- 3、根据实际的工艺过程详细区分边界条件[8]。
- 4、考虑锻造时金属流动的三轴特性(估计第三个轴的变形和修正物理变形区的假设条件)。

5. 估计金属塑性流动过程中锻造工具的变形能力。

6. 研究变形物的宏观组织。

7. 估计机械性能和锻件质量的其他特性。

是否可利用边界

条件的改变 (工具的

形状、接触应力的

大小) 来控制局部、

单独和总变形的分布,

这与变形物体接触面

的相对值有关。特别

是在用大型锻粗一

般毛坯时, 几乎不会

因接触应力作用而

形成凸度。因此就可

以认为在锻粗大型锻

件时, 边界条件对所

有锻件的金属流动特性都没有重要影响。相对接触面的值 ($\frac{F_k}{V}$)

是毛坯体积和形状的函数。例如对圆柱体来讲, $\frac{F_k}{V} = \varphi(V, \frac{D}{H})$;

(D 和 H — 圆柱体的直径和高度)。随着 V 的增加, 函数中降低, 该函数降低速度放慢可以看作是随毛坯重量的变化, 接触面的作用在降低 (边界条件的影响也变小)。从最易上看函数中的

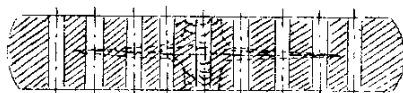


图1 圆盘锻件锻粗之后钢锭组织
向区重新配置的宏观组织

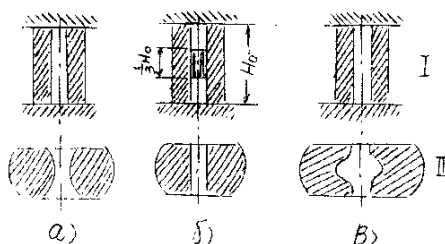


图2 原始毛坯 I 和锻粗后的锻件
形状 II;

a — 自由锻粗; b — 带心棒
锻粗, b — 带环孔锻粗 (H_0 —
毛坯的原始高度)。