

机电产品革新展览会活页资料

用稀土镁钼球墨铸铁 制造拖拉机齿轮

(内部资料)

沈阳齿轮厂
一机部铸造研究所

第一机械工业部技术情报所翻印

1971.5

前 言

为辽宁农业打翻身仗，上级革委会要求沈阳齿轮厂供应大批东方红 54 大小减速齿轮，但合金钢材料供应有困难。在这种情况下，我们遵照毛主席“独立自主、自力更生”和“打破洋框框，走自己工业发展道路”的伟大教导，充分发动群众，大搞技术革新，实行工厂、研究所和拖拉机站，工人、领导干部和技术人员两个三结合，提出用球墨铸铁代替合金钢制造大小减速齿轮。但也有人吹冷风说：“这是瞎子点灯白费蜡”。厂革委会发动广大革命群众，狠批了“爬行主义”、“洋奴哲学”，坚决支持工人师傅和工程技术人员的敢想、敢干的革命精神。一种没有镍铬的稀土镁钼球墨铸铁齿轮终于试验成功了，并且已经成批生产，这是毛主席无产阶级革命路线的伟大胜利，是战无不胜的毛泽东思想的伟大胜利。

东方红 54 大小减速齿轮要求材质强度高，冲击值高和耐磨性好，原采用 18 铬锰钛合金钢。齿轮受交变重复载荷，常常出现磨损及疲劳剥落损坏，有的因为冲击而打牙掉齿。我们遵照毛主席“外国有的，我们要有，外国没有的，我们也要有”的伟大教导，最初采用了普通球墨铸铁等温淬火齿轮，其机械性能的主要指标达到了 18 铬锰钛钢的指标（见表 1），这种齿轮在沈阳郊区白塔堡和五三拖拉机站运行达 1300~1500 个小时，只磨损了 0.15 毫米，目前仍在运行。现已发现齿面上有黑点，因为这种材料内外硬度一样，所以虽有黑点仍可应用。为了更好的改进这种材料，提高强度、韧性，消灭脱碳层，提高硬度，消灭黑点，我们在前

前 言

为辽宁农业打翻身仗，上级革委会要求沈阳齿轮厂供应大批东方红 54 大小减速齿轮，但合金钢材料供应有困难。在这种情况下，我们遵照毛主席“独立自主、自力更生”和“打破洋框框，走自己工业发展道路”的伟大教导，充分发动群众，大搞技术革新，实行工厂、研究所和拖拉机站，工人、领导干部和技术人员两个三结合，提出用球墨铸铁代替合金钢制造大小减速齿轮。但也有人吹冷风说：“这是瞎子点灯白费蜡”。厂革委会发动广大革命群众，狠批了“爬行主义”、“洋奴哲学”，坚决支持工人师傅和工程技术人员的敢想、敢干的革命精神。一种没有镍铬的稀土镁钼球墨铸铁齿轮终于试验成功了，并且已经成批生产，这是毛主席无产阶级革命路线的伟大胜利，是战无不胜的毛泽东思想的伟大胜利。

东方红 54 大小减速齿轮要求材质强度高，冲击值高和耐磨性好，原采用 18 铬锰钛合金钢。齿轮受交变重复载荷，常常出现磨损及疲劳剥落损坏，有的因为冲击而打牙掉齿。我们遵照毛主席“外国有的，我们要有，外国没有的，我们也要有”的伟大教导，最初采用了普通球墨铸铁等温淬火齿轮，其机械性能的主要指标达到了 18 铬锰钛钢的指标（见表 1），这种齿轮在沈阳郊区白塔堡和五三拖拉机站运行达 1300~1500 个小时，只磨损了 0.15 毫米，目前仍在运行。现已发现齿面上有黑点，因为这种材料内外硬度一样，所以虽有黑点仍可应用。为了更好的改进这种材料，提高强度、韧性，消灭脱碳层，提高硬度，消灭黑点，我们在前

表 1

材料名称	抗拉强度 公斤/毫米 ²	硬 度 HRC	冲 头 值 公斤·米/ 厘米 ²	热处理工艺	备 注
18铬锰铁	>110	表面58~62 心部<35	1.7~2.2	渗碳淬 火回火	渗碳层为 1~1.5毫米
等温淬火 球铁	110~120	43~45	2.0~2.5	等温淬火	内外硬度一样 (已运转1500 小时以上)
等温淬火 铝合金球铁	120~145	47~51	3.0~6.0	等温淬火	内外硬度一样

一种普通球铁的基础上,经过多次试验,采用了现在的稀土镁钼球墨铸铁齿轮,其机械性能也见表1。这种材料不产生渗碳钢那种硬层剥落现象,又因为有石墨,可以作为一种补充润滑剂,所以耐磨性好。用这种齿轮代替合金钢齿轮每年可为国家节省几千吨合金钢,省去了炼钢、轧钢、锻造等一系列工艺,减少了加工工时,降低成本一半以上。热处理以后几乎没有变形,废品很少,深受工人和贫下中农的欢迎。拖拉机站的同志反映,这是一种便宜、耐磨的好材料。

一、熔化和炉前处理

1. 熔化

采用1.7吨的小风口曲线炉膛冷风冲天炉,铁水出炉的温度为1390~1410°C(铂-铂铑热电偶测量),铁水处理设备为700公斤保温铁水包。

炉料采用鞍山或本溪S10、Z15、Z20三种生铁,稀土镁球墨铸铁回炉料和废钢等。炉料配比见表2。生铁、回炉料、焦炭、合金等化学成分见表3、4、5。熔剂采用石灰石和萤石两种。生产东方红54大小减速齿轮过程中,由于炉料的变动比较频繁,所以在实际生产中也根据不同炉料进行配料。要求对原铁水

表2 炉料配比 (%)

S 10	Z 20	回炉球铁	廢 鋼	錳 鉄	鉀 鉄
35	35	20	10	0.6	0.3
70	/	20	10	1.1	0.3
/	70	15	15	/	0.3

表3 生铁和回炉料的成分

名 称	平均化学成分 (%)				
	C	Si	Mn	P	S
S 10	4.1	1.0	0.19	0.058	0.028
Z 15	3.8	1.44	0.68	0.061	0.065
Z 20	3.85	1.97	0.81	0.056	0.039
回 炉 料	3.4	2.9	0.65	0.043	0.025

表4 焦炭成分 (%)

固定碳	碳	水分	其 他
75~85	0.5	2~5	10~22

表5 铁合金成分

名 称	含 量 (%)
錳 鉄	Mn 62~67
硅 鉄	Si 71~77
鉀 鉄	Mo 61~65

化学成分进行严格控制，否则不能保证齿轮的质量。原铁水和处理后的铁水成分见表6。

表6 铁水成分 (%)

	C	Si	Mn	P	S	Mo
原 鉄 水	3.3~3.6	1.3~1.5	0.65~0.75	<0.06	0.05	0.15~0.2
处 理 后	3.2~3.5	2.9~3.1	0.65~0.75	<0.06	<0.03	0.15~0.2

2. 球化处理

(1) 球化剂的熔制

球铁的质量好坏，球化剂起着很大的作用。4# 稀土含镁量低，含稀土量高，不能满足高质量的要求，因此我们自己熔制球化剂。其中镁块8%，1# 稀土40%，铁22%，硅铁(含硅75%)30%。

镁高于9% 则因反应剧烈而球化不良，低于6.5%，则将增加球化剂用量。硅铁过多则影响炉前孕育量。加铁为了增加合金比重。除镁是一整块外，其他粒度均为15~20毫米。每批熔制30公斤，在80号坩埚中熔化，

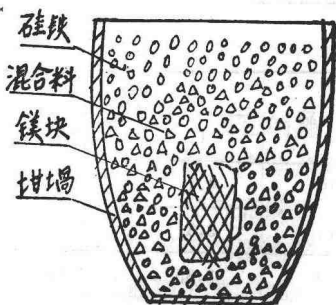


图1

装料方法如图1。先将地坑

炉点着，然后将予热好的坩埚放在炉内，四周填好焦炭，然后强烈鼓风。使炉温升高达到坩埚红热，停风，把炉料放入坩埚内。装料程序是：将混合料（全部铁料+全部1# 稀土+2/3硅铁）放在坩埚底部5~10毫米进行垫底，然后用钳子将镁放入中心，再将混合料放在镁块四周用铁棍捣实，最后将剩余1/3硅铁装入上面作复盖剂，而后通风熔

化。第一炉40分钟即可熔化。熔化后要充分搅拌，以防偏析，而后迅速将坩埚提出，浇注到事先预热好的铁模内。第二炉30分钟即可，最快25分钟即可熔制一炉。

熔制好的球化剂断口致密，

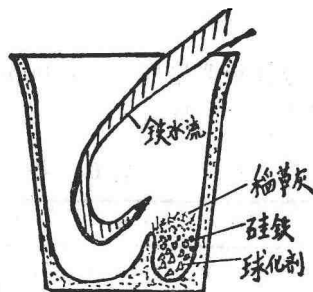


图2

沒有气孔，含镁量6.5~7.5%，稀土氧化物含量5~7%。

(2) 炉前球化处理

球化处理采用冲入法，加大孕育量，增多孕育次数。首先将铁水包预热，将1.3~1.5%的球化剂放到堤坝孔中，捣实，上面放一层硅铁粒再复盖上稻草灰，冲入铁水500公斤，此时将预热好的占孕育量30%的硅铁由出铁槽缓慢冲入。球化反应2.5分钟。补加铁水时再将余下的70%硅铁量由出铁槽冲入包内。而后加食盐脱氧和稀渣，连续扒渣7次，测量铁水温度，取样，最后盖上稻草灰进行浇注。为了避免球化衰退，从处理完到浇注完最好不超过20分钟。

3. 化学成分的选择

(1) 碳和硅

碳和硅含量对球墨铸铁的球化、机械性能、铸造性能都有重要影响，我们采用共晶或稍过共晶成分。由于加钼，易于产生碳化物，所以我们加高了硅的含量。为了不产生石墨偏析和漂浮，碳当量也不宜太高，希望碳当量不超过4.6为好，我们采取含碳量3.3~3.5%，含硅量2.9~3.1%。

(2) 锰、硫、磷

锰是稳定碳化物的元素，对提高硬度有一定作用，铸造齿轮希望铁素体多一些，故采用0.65~0.75%锰。

硫是有害元素，对球化处理起阻碍作用，所以原铁水要求硫在0.05%以下，处理以后在0.03%以下。

磷含量也要求尽量低。磷提高球铁的脆性，对冲击值影响较大。在生产中我们发现磷含量在0.08%以上时就出现磷共晶。因此应使磷控制在0.06%以下。

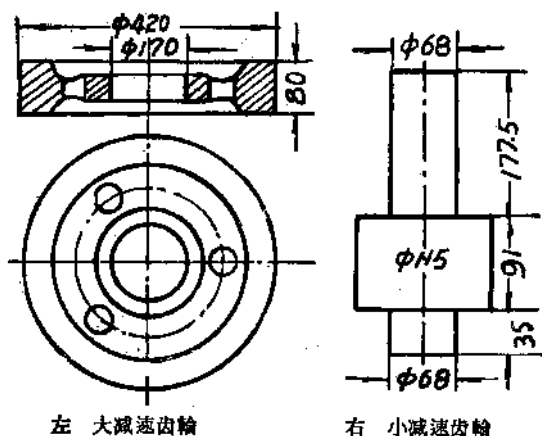
二、大小减速齿轮铸造工艺

齿轮厂生产的东方红 54 大小减速齿轮，系采用手工潮模造型。造型混合料成分如表 7。

表 7 面砂混合料成分性能表 (%)

内蒙大罕砂 (70~140目)	旧砂	膨润土	煤粉	水分	透气性能 AFA	湿压 (磅/吋 ²)
10	90	1~2	1~3	5~5.5	60~70	12~14

齿轮的毛坯简图见图 3、4。

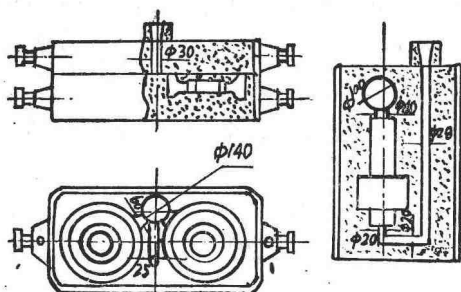


左 大减速齿轮

右 小减速齿轮

图 3 大小减速齿轮毛坯简图

大减速齿轮采用侧面大冒口一箱浇两个铸件。冒口延长了凝固时间，防止铸件缩松。过去齿轮内浇口直径为 20，因为直径小，先凝固，得不到补缩，所以靠近内浇口的轮缘有缩松。目前采用的这种工艺已铸造 300 个齿轮，没有发现因工艺而造成的废品。



左 大减速齿轮 右 小减速齿轮

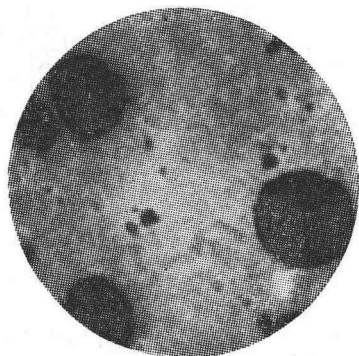
图4 大小减速齿轮铸造工艺简图

小轮齿采用底注法。上面放一个球形冒口。这样使铸件压头加大防止了心部缩松。曾进行中心解剖，没有发现缩松。现已生产500个小减速齿轮。除因球化衰退造成个别废品外，没有发现其他类型的废品。

三、齿轮的金相组织和热处理工艺

1. 等温淬火工艺

等温淬火是使齿轮获得好的金相组织和综合机械性能最有效的途径之一。经过多次生产试验，我们认为比较好的金相组织是



照片1 球铁等温淬火后综合机械性能较好的组织（放大250倍）

均匀细针状托氏体（贝氏体）+少量马氏体+少量残余奥氏体+球状石墨（球化在1~2级，球径0.3左右）。照片1是等温淬火处理后，比较好的金相组织。

目前我们所采用的齿轮等温淬火工艺如图5所示。

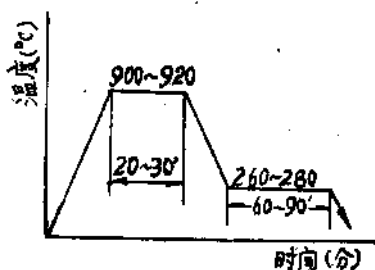


图5 齿轮淬火工艺

先将齿轮放在600~700°C的炉子里预热15~30分钟，然后放在高温液体渗碳炉中加热保温，如图6所示。

盐浴成分为33%NaCl + 65%BaCl + 2%NaCN。而后把加热的齿轮淬入等温淬火的冷却介质中，等温方式与图6相似。冷却介质的成分为：50%KNO₃ + 25%NaNO₃ + 25%NaNO₂。等温一段时间出炉空冷。检查齿轮冲突值的试样栓在齿轮上与齿轮同时处理，然后打冲击。金相和硬度直接在齿轮上检查。

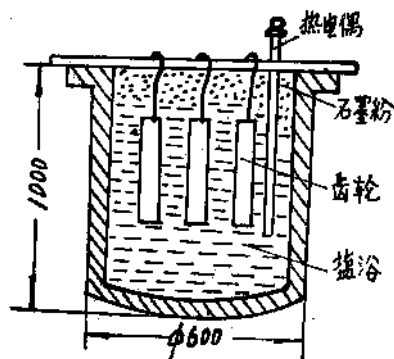


图6 齿轮加热方式

齿轮等温温度不宜低于260°C，否则组织中易出现较多长针状

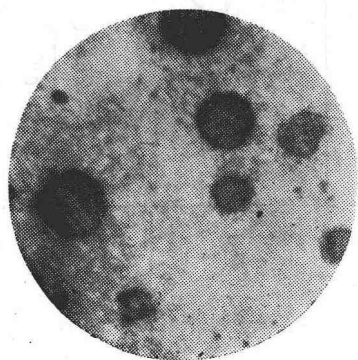
马氏体，强烈的降低了齿轮的冲击韧性。齿轮经等温淬火后不必校正即可出厂。表 8 是大减速齿轮生产中抽查的记录。

2. 齿轮金相组织和热处理工艺分析

(1) 加热温度与保温时间

齿轮的加热一开始是在高温箱式炉中进行的，在加热和保温过程中发现齿轮和试样的表面脱碳现象严重，脱碳层可达 0.15 毫米左右。脱碳层对机械性能、主要是对表面硬度影响大，从而影响齿轮的耐磨性。为了防止齿轮和试样的表面脱碳，将原用的箱式电炉和油炉改为液体渗碳炉。

为了确定齿轮的加热温度；我们进行了一系列的试验，从试验中得知，试样在加热时，碳溶入奥氏体中，加热温度愈高溶解速度愈快，同时奥氏体的碳饱和度愈大，试样淬火后硬度愈高。如试样 7-2 加热到 880°C ，保温 15 分钟， 260°C 等温 60 分钟，洛氏硬度为 $HRC46\sim 48$ 。同编号试样加热到 920°C 保温 15 分钟， 260°C 等温 60 分钟，硬度 HRC 为 $47\sim 52$ 。加热温度过高时，淬火后残余奥氏体量增加，基体组织粗大，硬度降低。加热温度过低时奥氏体中的碳含量减少，铁素体不能完全溶解，试样等温淬火后组织中有颗粒状铁素体存在使硬度降低，如照片 2 所示。



照片 2 加热到 850°C 保温 15 分钟等温淬火后有粒状铁素体 (放大 250 倍)

表 8

序 号	編 号	热 处 理 工 艺	齿 輪		冲 击 試 样		齿 輪 公 法 續		
			硬 度 (HRC)	金 相 組 織	硬 度 (HRC)	冲 击 值 (σ_k)	热 处 理 前	热 处 理 后	
1	14-1	<p>910°C 30' 265°C 70' +10</p>	46~51	中細針狀托氏体+7~10% (馬氏体+殘余奧氏体)+球狀石墨	48~49	3.6	中細針狀托氏体+5~7% (馬氏体+殘余奧氏体)+球狀石墨	+0.39 +0.40 107	+0.56 +0.59 107
2	15-1	<p>910°C 30' 265°C 60' +10</p>	/	/	48~49	3.8	/	+0.39 +0.41 107	+0.57 +0.58 107
3	17-1	<p>900~910°C 30' 263°C 60'</p>	/	細針狀托氏体+10% (馬氏体+殘余奧氏体)+球狀石墨	48~51	/	細針狀托氏体+6~8% (馬氏体+殘余奧氏体)+球狀石墨	+0.39 +0.40 107	+0.56 +0.58 107

如试样 18-2 加热到 850°C 保温 15 分钟, 280°C 等温 60 分钟, 硬度只有 $\text{HRC}37\sim 41$, 所以一般加热温度应控制在 $900\sim 920^{\circ}\text{C}$. 保温时间采用 20~30 分钟。

(2) 等温温度和时间

稀土镁钼球铁齿轮的最后热处理工序是等温淬火, 其目的是获得理想的金相组织。我们对等温的时间和温度作了一系列的试验如表 9 所示。我们在 $900\sim 920^{\circ}\text{C}$ 加热, 保温 15 分, 在 $260\sim 300^{\circ}\text{C}$ 的温度范围内用不同温度 and 不同时间等温, 考查球铁的机械性能, 结果如图 7 所示。等温温度过低, 球铁等温淬火后就会出现粗针状马氏体组织 (见照片 3), 这种组织的冲击值很低。

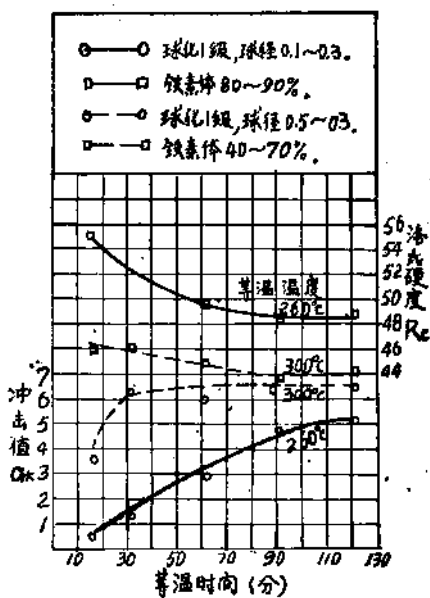
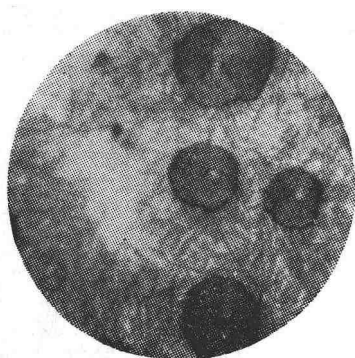


图 7 不同的等温淬火工艺对冲击值和硬度的影响

表 9' 等温淬火的时间和温度对金相组织和机械性能的影响
(温度910°C保温 30 分钟后淬火)

序 号	260°C等温淬火及其金相組織				300°C等温淬火及其金相組織			
	等温时间 (分)	冲击值 a_k	洛氏硬度 HRC	金 相 組 織	等温时间 (分)	冲击值 a_k	洛氏硬度 HRC	金 相 組 織
1	15	0.5	54~56	粗针状马氏体 + 针状托氏体 + 少量残余奥氏体	15	3.6	45~47	中等针状托氏体 + (马氏体 + 残余奥氏体) 8~10%
2	30	1.4	51~53	粗针状托氏体 + 马氏体 + 残余奥氏体	30	6.3	45~47	细针状托氏体 + (马氏体 + 残余奥氏体) 4~5%
3	60	2.8	48~51	中粗针状托氏体 + (马氏体 + 残余奥氏体) 5~6%	60	6.0	44~46	细针状托氏体 + (马氏体 + 残余奥氏体) 4~5%
4	90	4.6	47~49	中粗针状托氏体 + (马氏体 + 残余奥氏体) 5~6%	90	5.4	43~44	中等针状托氏体 + (马氏体 + 残余奥氏体) 1~2%
5	120	5.2	48~50	中细针状托氏体 + (马氏体 + 残余奥氏体) 4~5%	120	6.5	43~45	细针状托氏体

照片3 240°C等温有
大量的粗针状马氏体
(放大250倍)



从图7中可以看出，如果等温时间较短，奥氏体不能完全转变为针状托氏体，取出空冷时，形成较多的粗针状马氏体，硬度较高，冲击值低；等温处理保温时间较长时，冲击值高，硬度稍低。奥氏体完全转变为针状托氏体后，再继续增加等温时间，对冲击值和硬度的影响就不显著了。根据上述分析，我们采取了260~280°C等温60~90分钟的工艺。

四、机械性能

稀土镁钼球墨铸铁的机械性能是根据齿轮工作条件，参照18铬锰钛的机械性能和球墨铸铁的特点而定的。抗拉强度超过18铬锰钛，在球化合格的情况下，通常超过120公斤/毫米²，冲击值一般超过18铬锰钛渗碳钢，达3.5~6.0公斤·米/厘米²，硬度比18铬锰钛齿轮的渗碳表面低，比心部高。我们考虑到球铁有石墨，耐磨性要好一些，而且内外硬度一样，所以要求达到HRC50左右，可以满足齿轮工作要求，现在稀土镁钼球墨铸铁的齿轮洛氏硬度是47~51。

元素含量对机械性能的影响较大。其中硅和钼影响较大。当硅的含量低时（如硅在2.8%以下时）等温淬火后析出断续网状

与小块状碳化物，致使强度和延伸率较低，且剧烈地降低了球铁的冲击值。如照片4、表10所示。含硅量高时，冲击值有显著提高。

照片4 含硅2.3%时的
金相組織 (放大250倍)

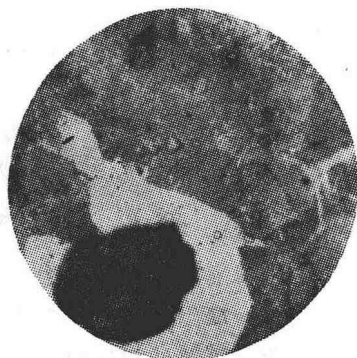


表10 硅含量对等温处理球铁的冲击值和硬度的影响

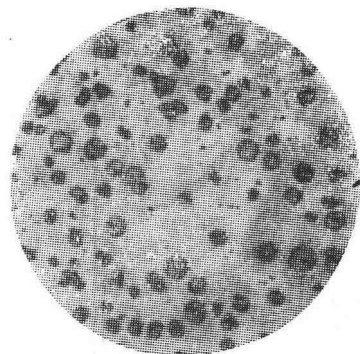
序号	编号	硅含量 (%)	热 处 理 工 艺	洛氏硬度 HRC	冲击值 σ_k	金 相 组 织
1	5-1	2.57		49 }	2.9 }	細針狀托氏体+馬氏体和殘余奧氏体10~12%+斷續网状和塊粒狀碳化物 \leq 1%
2	5-2	2.72		50 }	3.2 }	
3	7-2	2.95		48 }	2.8 }	細針狀托氏体+微量碳化物+(馬氏体+奧氏体)2~3%
4	7-3	3.15		50 }	2.8 }	
				47 }	6.1 }	細針狀托氏体+ (馬氏体+奧氏体) 2~3%
				48 }	6.8 }	
				45 }	6.5	細針狀托氏体+ (馬氏体+奧氏体) 2~3%
				48 }		

铝加入球墨铸铁中通常是强化基体，细化组织，提高硬度。我们加入0.2%左右的铝，增加了白口倾向，相应的提高了硅含量，消除了碳化物，硬度和强度都有所提高。但更高的铝含量不

仅不经济而且白口倾向大，得不到好的效果。

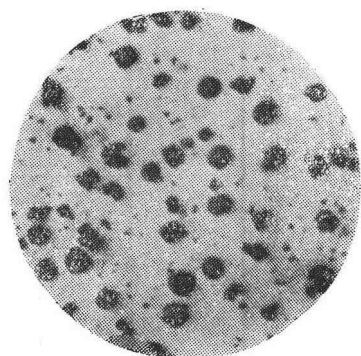
铸态组织的好坏是等温淬火球墨铸铁机械性能好坏的关键。

铁素体（要求75%以上）+珠光体+石墨（球化1~2级）是铸态组织较好的情况（照片5、6）。等温淬火低钼球铁的机械



照片 5

較好的鑄态組織(放大250倍)



照片 6

較好的鑄态組織(放大250倍)

性能决定于金属组织中石墨的球化率、球径大小、分布情况和金属基体的粗细，如图8及表11。图8说明原始组织石墨球化好、

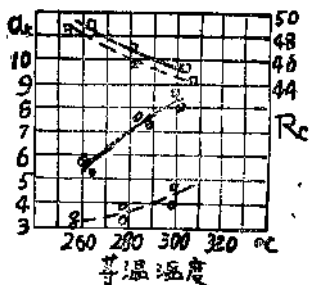


图 8