

编 号: 0099

内 部

科学技术成果报告

球墨铸铁中几种元素对临
界温度的影响

科学技术文献出版社

科学技术成果报告

球墨铸铁中几种元素对临界温度的影响

(内部发行)

编辑者: 中国科学技术情报研究所

出版者: 科学技术文献出版社

印刷者: 中国科学技术情报研究所印刷厂

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经销

开本 $787 \times 1092 \cdot \frac{1}{16}$ 1 印张 25 千字

统一书号: 15176·273 定价: 0.15 元

1978年5月出版

144(0099)

目 录

31-75/04

一、前言.....	(1)
二、试样的尺寸和实验设备.....	(1)
三、试验方法.....	(1)
四、试验结果.....	(2)
1. 硅.....	(2)
2. 锰.....	(7)
3. 磷.....	(9)
4. 钼.....	(12)
5. 铜.....	(13)
五、结论.....	(15)
参考资料.....	(16)

球墨铸铁中几种元素对 临界温度的影响

无锡柴油机厂、无锡球墨铸铁研究室

一、前 言

球墨铸铁经过热处理，可以在较宽的范围内调整基体中的碳份和它的组成相，从而改变它的机械性能和硬度^{〔1〕〔2〕〔3〕〔4〕〔5〕}。为了认识这一转变规律，知道球墨铸铁的临界温度是很重要的^{〔6〕}。

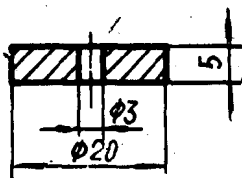
根据参考资料^{〔3〕〔4〕}介绍，球墨铸铁的临界温度是一个相当宽的温度范围，而这个温度范围与它的化学成份有密切的关系。因此研究球墨铸铁的化学成份对临界温度范围的影响，不仅具有理论意义，而且还具有现实意义。下面我们用 A_{s1} 表示球墨铸铁在加热时开始出现奥氏体的温度， A_{s2} 表示在加热时，铁素体完全转变为奥氏体的温度，而 A_{f1} 表示在冷却过程中，开始析出铁素体的温度， A_{f2} 表示在冷却时，奥氏体最终消失的温度。

本文研究用金相法测定球墨铸铁中硅、锰、磷、钼、铜对临界温度范围的影响。

二、试样的尺寸和实验设备

1. 试样尺寸

各种成份的球墨铸铁试样均取自梅花和楔型二种形式，然后车制成图1中所示的形状和尺寸。



2. 实验设备

试样加热采用管式电炉，这种炉子便于试样在加热完后能够较快地淬入水中。温度用镍铬热电偶和自动温度控制器控制在 $\pm 10^{\circ}\text{C}$ 以内。

三、试 验 方 法

根据参考资料^{〔4〕}介绍，临界温度最精确的测定方法是测量从共析转变范围内，不同温度淬火试样中铁素体和马氏体（奥氏体的转变产物）的相对量。在本研究报告中也是采用这种方法。在估计的临界温度范围内，选择若干个温度，并在这些温度下进行加热，保温30分钟^{〔7〕}，然后立即淬入水

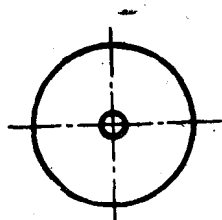


图1 试样尺寸

中，用金相法测量铁素体和马氏体量。

四、试验结果

1. 硅

在测定硅对球墨铸铁临界温度影响时，我们采用了四种不同硅量的球墨铸铁试样，其化学成分见表1。

表 1

试样编号	化 学 成 份 (%)						
	C	Si	Mn	P	S	Mg	R _x O _y
1	3.46	3.37	0.62	0.069	0.009	0.056	0.045
2	3.53	2.92	0.80	0.072	0.013	0.040	0.029
3	3.53	2.05	0.75	0.059	0.023	0.047	0.034
4	3.58	1.80	0.44	0.071	0.018	0.035	0.047

测定是在740~910℃的范围内进行，除745℃外，每相隔10℃选择一个温度。在各个选择的温度下，对四种不同硅量的球墨铸铁试样进行了测定，其结果见表2。

表 2

温 度	试样编号	基 体 组 织	硬度(RB)
740℃	1	5~10%珠光体+铁素体	91 94
	2	10~15%珠光体+铁素体	
	3	30~40%珠光体+铁素体	
	4	铁素体+少量球状珠光体	
745℃	1	// // // 铁素体+少量球状珠光体+少量马氏体	
	2		
	3		
	4		
750℃	1	5~10%珠光体+铁素体	90.5 101
	2	10~20%珠光体+铁素体	
	3	铁素体+球状珠光体+5~10%马氏体	
	4	铁素体+20~30%马氏体	
760℃	1	5%珠光体+铁素体	92 108.5
	2	10~20%珠光体+铁素体	
	3	铁素体+30~40%马氏体	
	4	铁素体+40~50%马氏体	

续表 2

温 度	试样编号	基 体 组 织	硬度(RB)
770℃	1	铁素体 + 少量球状珠光体	98.5 110.5
	2	铁素体 + 10~20%珠光体 + 少量马氏体	
	3	60~65%马氏体 + 铁素体	
	4	马氏体 + 35~40%铁素体	
780℃	1	铁素体	101.5 116.5
	2	铁素体 + 10~20%马氏体	
	3	马氏体 + 20~30%铁素体	
	4	马氏体 + 60~70%铁素体	
790℃	1	铁素体 + 少量马氏体	111.0 119.0
	2	马氏体 + 20~30%铁素体	
	3	马氏体 + 10~20%铁素体	
	4	马氏体 + 10%铁素体	
800℃	1	铁素体 + 20~30%马氏体	115.5 119.5
	2	马氏体 + 10%铁素体	
	3	马氏体 + 5~10%铁素体	
	4	马氏体 + 少量铁素体	
810℃	1	铁素体 + 25~30%马氏体	117.5 120.5
	2	马氏体 + 5~10%铁素体	
	3	马氏体 + 少量铁素体	
	4	马氏体 + 残余奥氏体	
820℃	1	铁素体 + 30%马氏体	116.5 120.5
	2	马氏体 + 5~10%铁素体	
	3	马氏体 + 残余奥氏体	
	4	马氏体 + 残余奥氏体	
830℃	1	铁素体 + 30~40%马氏体	118.5 120.5
	2	马氏体 + 5~10%铁素体	
	3	马氏体 + 残余奥氏体	
	4	—	
840℃	1	铁素体 + 40%马氏体	117.5
	2	马氏体 + 少量铁素体	
	3	—	
	4	—	

续表 2

温 度	试样编号	基 体 组 织	硬度(RB)
850°C	1	马氏体+40~50%铁素体	118.5
	2	马氏体+少量铁素体	
	3	///	
	4	///	
860°C	1	马氏体+20~30%铁素体	120
	2	马氏体+残余奥氏体	
	3	///	
	4	///	
870°C	1	马氏体+10~20%铁素体	
	2	马氏体+残余奥氏体	
	3	///	
	4	///	
880°C	1	马氏体+5%铁素体	
	2	///	
	3	///	
	4	///	
890°C	1	马氏体+少量铁素体	
	2	///	
	3	///	
	4	///	
900°C	1	马氏体+残余奥氏体	
	2	///	
	3	///	
	4	///	
910°C	1	马氏体+残余奥氏体	
	2	///	
	3	///	
	4	///	

由表 2 知, 用金相法或用硬度法来确定球墨铸铁的临界温度, 其值基本上是一致的, 不过用金相法更为精确一些。

我们也测定了在冷却过程中, 硅对临界温度的影响。采用 920°C 完全奥氏体化, 保温 30 分钟, 然后随炉冷却至不同温度, 并立即淬入水中, 其试验结果见表 3。

表 3

温 度	试样编号	基 体 组 织	硬度(RB)
830℃	1	马氏体+残余奥氏体	
	2	马氏体+残余奥氏体	
	3	—	
820℃	1	马氏体+残余奥氏体	
	2	马氏体+残余奥氏体	
	3	—	
810℃	1	马氏体+少量铁素体	
	2	马氏体+残余奥氏体	
	3	—	
800℃	1	马氏体+5%铁素体	
	2	马氏体+残余奥氏体	
	3	马氏体+残余奥氏体	
790℃	1	马氏体+10%铁素体	
	2	马氏体+残余奥氏体	
	3	马氏体+残余奥氏体	
780℃	1	马氏体+20~30%铁素体	
	2	马氏体+少量铁素体	
	3	马氏体+残余奥氏体	
770℃	1	马氏体+40~50%铁素体	
	2	马氏体+70~80%铁素体	
	3	马氏体+残余奥氏体	
760℃	1	50~60%铁素体+马氏体	
	2	70~80%铁素体+马氏体	
	3	马氏体+少量铁素体	
750℃	1	70~80%铁素体+马氏体	
	2	70~80%铁素体+马氏体	
	3	马氏体+10%铁素体	
740℃	1	80~90%铁素体+马氏体	
	2	80~90%铁素体+马氏体	
	3	马氏体+40~50%铁素体	

续表 3

温 度	试样编号	基 体 组 织	硬度(RB)
730°C	1	铁素体+珠光体	
	2	铁素体+10~15%马氏体	
	3	70~80%铁素体+马氏体	
725°C	1	铁素体+珠光体	
	2	铁素体+5~10%珠光体	
	3	—	
720°C	1	铁素体+珠光体	
	2	铁素体+珠光体	
	3	铁素体+20~30%珠光体	
710°C	1	铁素体+珠光体	
	2	铁素体+珠光体	
	3	铁素体+30~40%珠光体	

加热和冷却过程中所测得转变温度的数据列于图2。由图2可知,硅提高了临界温度。硅对 A_{c1}^s 的影响比对 A_{c1}^f 大,因此随着硅含量的增加,临界温度范围也随着变宽。但必须指出,由于硅在凝固时,可能发生偏析,因此必须考虑到当球墨铸铁具有相同硅量时, A_{c1}^f 和 A_{c1}^s 会有一定的偏差,其大小与硅的偏析程度有关。在冷却时,我们测得的临界温度范围要

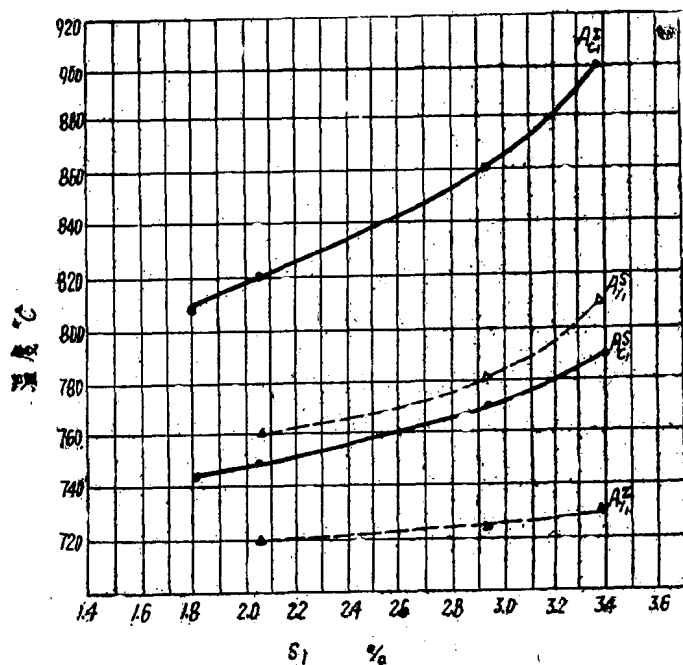


图2 硅对临界温度范围的影响

比加热时小得多。我们认为这是由于炉冷还不够缓慢的缘故，使组织转变滞后于温度的变化。冷却速度越快，这种滞后现象就愈大。

2. 锰

在测定锰对球墨铸铁临界温度影响时，我们采用了四种不同锰量的球墨铸铁试样，其化学成份见表4。

表 4

试样编号	化 学 成 份 (%)						
	C	Si	Mn	P	S	Mg	R _x O _y
1	3.53	2.10	0.75	0.059	0.023	0.047	0.034
2	3.53	2.18	0.96	0.073	0.018	0.062	0.063
3	3.53	2.18	1.10	0.073	0.025	0.053	0.040
4	3.53	2.18	1.42	0.073	0.025	0.043	0.040

测定是在720~820℃的范围内进行，除725℃外，每相隔10℃选择一个温度，在各个选择的温度下，对四种不同锰量的球墨铸铁试样进行了测定，其结果见表5。

表 5

温 度	试样编号	基 体 组 织	硬 度
720℃	1	—	
	2	球状及片状珠光体	
	3	球状及片状珠光体	
	4	球状及片状珠光体	
725℃	1	—	
	2	球状及片状珠光体	
	3	球状及片状珠光体	
	4	球状珠光体 + 10~20% 马氏体	
730℃	1	铁素体 + 30~40% 珠光体	
	2	球状及片状珠光体	
	3	珠光体 + 10~20% 马氏体	
	4	珠光体 + 20~30% 马氏体	
740℃	1	铁素体 + 30~40% 珠光体	
	2	珠光体 + 10~20% 马氏体	
	3	马氏体 + 40~50% 珠光体	
	4	马氏体 + 30~20% 珠光体	

续表 5

温 度	试样编号	基 体 组 织	硬 度
750℃	1	珠光体 + 铁素体 + 10~20% 马氏体	
	2	马氏体 + 20~30% 铁素体	
	3	马氏体 + 10~20% 铁素体	
	4	马氏体 + 少量铁素体	
760℃	1	铁素体 + 30~40% 马氏体	
	2	马氏体 + 少量铁素体	
	3	马氏体 + 少量铁素体	
	4	马氏体 + 残余奥氏体	
770℃	1	马氏体 + 35~40% 铁素体	
	2	马氏体 + 少量铁素体	
	3	马氏体 + 残余奥氏体	
	4	马氏体 + 残余奥氏体	
780℃	1	马氏体 + 20~30% 铁素体	
	2	马氏体 + 残余奥氏体	
	3	马氏体 + 残余奥氏体	
	4	马氏体 + 残余奥氏体	
790℃	1	马氏体 + 10~20% 铁素体	
	2	马氏体 + 残余奥氏体	
	3	马氏体 + 残余奥氏体	
	4	马氏体 + 残余奥氏体	
800℃	1	马氏体 + 5~10% 铁素体	
	2	///	
	3	///	
	4	///	
810℃	1	马氏体 + 少量铁素体	
	2	///	
	3	///	
	4	///	
820℃	1	马氏体 + 残余奥氏体	
	2	///	
	3	///	
	4	///	

将表中所测得的转变温度的数值列于图3，该图为对含硅量大致相同，而锰量逐渐增加的球墨铸铁试样进行测定的结果。由图3可知，锰引起临界温度的降低。锰降低 A_{C1}^2 的幅度比 A_{C1}^S 为大，尤其在锰含量低于1%时，此现象更为显著，因此随着锰含量的增加而临界温度范围变窄。

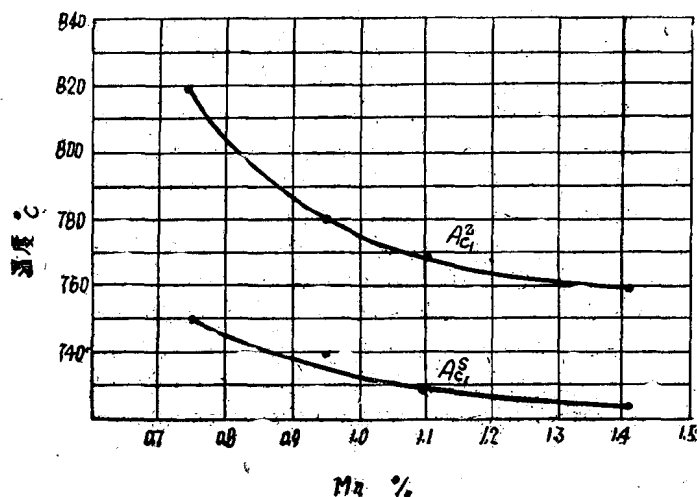


图3 锰对临界温度范围的影响

3. 磷

在测定磷对球墨铸铁临界温度影响时，我们采用同一包铁水，浇注了不同含磷量的试样，其化学成份见表6。

表 6

试样编号	化 学 成 份 (%)						
	C	Si	Mn	P	S	Mg	R _x O _y
1	未分析	2.66	0.61	0.059	0.018	0.044	0.047
2		2.66	0.61	0.096	0.018	0.044	0.047
3		2.66	0.61	0.14	0.018	0.044	0.047
4		2.66	0.61	0.19	0.018	0.044	0.047
5		2.66	0.61	0.26	0.018	0.044	0.047
6		2.66	0.61	0.32	0.018	0.044	0.047

测定是在740~860℃的温度范围内进行，选择了九个温度。在各个选定的温度下，对不同含磷量的球墨铸铁试样进行了测定。其显微组织及硬度值见表7。

表 7

温 度	试样编号	基 体 组 织*	硬度(RC) 平 均
740℃	1	铁素体 + 20~30%珠光体	9.1
	2	铁素体 + 20%珠光体	11.1
	3	铁素体 + 30~35%珠光体	13.1
	4	铁素体 + 20~30%珠光体	13.8
	5	铁素体 + 30%珠光体	15.7
	6	铁素体 + 30%珠光体	16.0
760℃	1	铁素体 + 珠光体 + 少量马氏体	9
	2	铁素体 + 珠光体 + 少量马氏体	10
	3	铁素体 + 少量珠光体 + 少量马氏体	10.5
	4	铁素体 + 少量珠光体 + 少量马氏体	13
	5	铁素体 + 少量珠光体 + 少量马氏体	13.5
	6	铁素体 + 少量马氏体	14.5
780℃	1	铁素体 + 10~15%马氏体	20.7
	2	铁素体 + 10~20%马氏体	19.1
	3	铁素体 + 20%马氏体	18.1
	4	铁素体 + 20~30%马氏体	22.5
	5	铁素体 + 30%马氏体	28
	6	铁素体 + 30~35%马氏体	22
800℃	1	铁素体 + 40%马氏体	34.4
	2	50%马氏体 + 铁素体	38.8
	3	马氏体 + 45~50%铁素体	40.7
	4	马氏体 + 20%铁素体	51.0
	5	马氏体 + 15~20%铁素体	45.0
	6	马氏体 + 20%铁素体	40.7
820℃	1	马氏体 + 5~10%铁素体	54.8
	2	马氏体 + 5%铁素体	50.7
	3	马氏体 + 2~3%铁素体	56
	4	马氏体 + 1~2%铁素体	53.3
	5	马氏体 + 残余奥氏体	51.7
	6	马氏体 + 残余奥氏体	52.2
830℃	1	马氏体 + 10%铁素体	49
	2	马氏体 + 少量铁素体	52
	3	马氏体 + 残余奥氏体	55
	4	马氏体 + 残余奥氏体	53.5

续表 7

温 度	试样编号	基 体 组 织	硬度(RC) 平 均
830°C	5	马氏体+残余奥氏体	48.6
	6	马氏体+残余奥氏体	56.5
840°C	1	马氏体+1%铁素体	52.2
	2	马氏体+残余奥氏体	51.3
	3	马氏体+残余奥氏体	52.8
	4	马氏体+残余奥氏体	51.3
	5	马氏体+残余奥氏体	54
	6	马氏体+残余奥氏体	55.5
850°C	1	马氏体+残余奥氏体	60.2
	2	马氏体+残余奥氏体	59.3
	3	马氏体+残余奥氏体	60
	4	马氏体+残余奥氏体	57.3
	5	马氏体+残余奥氏体	58
	6	马氏体+残余奥氏体	57.2
860°C	1	马氏体+残余奥氏体	60
	2	马氏体+残余奥氏体	60.5
	3	马氏体+残余奥氏体	60
	4	马氏体+残余奥氏体	60
	5	马氏体+残余奥氏体	60.3
	6	马氏体+残余奥氏体	61

* 基体组织中磷共晶数量未包括在内。

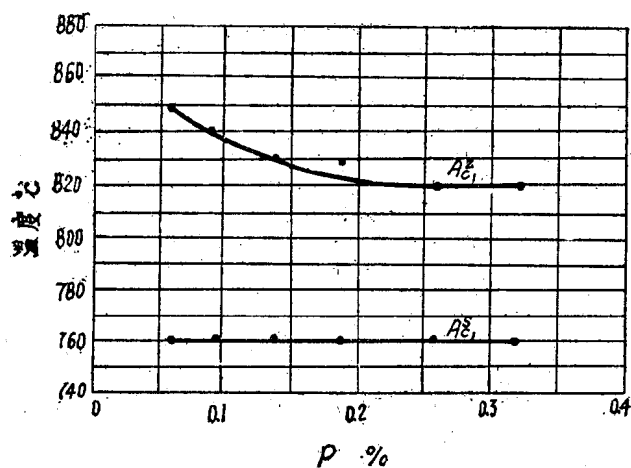


图 4 磷对临界温度的影响

将表 7 中所测得的转变温度的数值列于图 4。该图为对一批磷量逐渐增加的球墨铸铁试样进行测定的结果。

由图 4 可知, 磷对 A_{c1}^s 没有影响, 而对 A_{c1}^z 有较大影响, 特别是含磷量在低于 0.2% 时更为突出, 它是随着磷含量的增加而有较大幅度的降低, 因此使临界温度范围变窄; 但在含磷量超过 0.2% 时, A_{c1}^z 就没有变化了, 使临界温度范围保持不变。

4. 钼

钼和铜是球墨铸铁中最常用的合金化元素。因此它们对临界温度的影响, 也分别进行了测定。在测定钼对临界温度影响时, 我们采用四种不同含钼量的球墨铸铁试样, 其化学成份见表 8。

表 8

试样编号	化 学 成 份 (%)							
	C	Si	Mn	P	S	Mo	Mg	R _x O _y
1	3.73	1.78	0.28	0.079	0.022	0.16	0.041	0.022
2	3.57	1.64	0.44	0.076	0.020	0.45	0.035	0.047
3	3.54	1.94	0.48	0.075	0.022	0.68	0.035	0.047
4	3.51	1.80	0.47	0.077	0.021	0.92	0.035	0.047

测定是在 740~810℃ 的温度范围内进行, 选择了十个温度, 在各个选择温度下, 对不同含钼量的球墨铸铁试样进行了测定, 其显微组织见表 9。

表 9

温 度	试样编号	基 体 组 织	硬 度
740℃	1	珠光体 + 铁素铁	
	2	珠光体 + 铁素体	
	3	珠光体 + 铁素体	
	4	珠光体 + 铁素体	
745℃	1	珠光体 + 铁素体 + 少量马氏体	
	2	珠光体 + 铁素体 + 少量马氏体	
	3	珠光体 + 铁素体 + 少量马氏体	
	4	珠光体 + 铁素体 + 少量马氏体	
750℃	1	未测	
	2	铁素体 + 30~40% 马氏体	
	3	铁素体 + 25~30% 马氏体	
	4	铁素体 + 35~40% 马氏体	

续表 9

温 度	试样编号	基 体 组 织	硬 度
760°C	1	铁素体 + 30~40% 马氏体	
	2	铁素体 + 40~50% 马氏体	
	3	铁素体 + 30~40% 马氏体	
	4	马氏体 + 40~50% 铁素体	
770°C	1	未测	
	2	马氏体 + 35~40% 铁素体	
	3	铁素体 + 40~50% 马氏体	
	4	铁素体 + 30~40% 马氏体	
780°C	1	马氏体 + 10~20% 铁素体	
	2	马氏体 + 10% 铁素体	
	3	马氏体 + 15~20% 铁素体	
	4	马氏体 + 10% 铁素体	
790°C	1	马氏体 + 少量铁素体	
	2	马氏体 + 残余奥氏体	
	3	马氏体 + 残余奥氏体	
	4	马氏体 + 残余奥氏体	
800°C	1	马氏体 + 残余奥氏体	
	2	马氏体 + 残余奥氏体	
	3	马氏体 + 残余奥氏体	
	4	马氏体 + 残余奥氏体	
810°C	1	马氏体 + 残余奥氏体	
	2	马氏体 + 残余奥氏体	
	3	马氏体 + 残余奥氏体	
	4	马氏体 + 残余奥氏体	

将表 9 中所测得的转变温度的数值列于图 5。该图为对含硅量和含锰量大致相同的情况下，而含钼量逐渐增加的球墨铸铁试样，进行测定的结果。由图 5 可知，钼对 A_{C1}^s 没有影响，而对 A_{C2}^s 则随着钼含量的增加略有降低；当含钼量超过 0.4% 以后， A_{C2}^s 却保持不变。因此，钼对球墨铸铁临界温度范围的影响较小。

5. 铜

在测定铜对球墨铸铁临界温度影响时，我们采用了一批有一定含钼量的球墨铸铁试样，来研究它的影响。其化学成份见表 10。

测定是在 730~800°C 的温度范围内进行，选择了六个温度。在各个选定的温度下，经试验后，其显微组织的变化见表 11。

表 10

试样 编号	化 学 成 份 (%)								
	C	Si	Mn	P	S	Mo	Cu	Mg	R _x O _y
1	3.73	1.78	0.28	0.079	0.022	0.16	0	0.041	0.022
2	3.73	1.86	0.25	0.079	0.020	0.16	0.38	0.055	0.025
3	3.73	1.97	0.25	0.09	0.020	0.16	0.58	0.060	0.033

表 11

温 度	试样编号	基 体 组 织	硬 度
730°C	1	珠光体+30%铁素体	
	2	珠光体+5%铁素体	
	3	珠光体+5%铁素体	
740°C	1	珠光体+铁素体	
	2	珠光体+铁素体	
	3	珠光体+铁素体	
745°C	1	铁素体+珠光体+10~20%马氏体	
	2	铁素体+珠光体+10~20%马氏体	
	3	铁素体+珠光体+10~20%马氏体	
770°C	1	40~50%马氏体+铁素体+珠光体	
	2	马氏体+10~20%铁素体	
	3	马氏体+10~20%铁素体	
780°C	1	90%马氏体+铁素体+渗碳体	
	2	马氏体+少量铁素体+渗碳体	
	3	马氏体+残余奥氏体+渗碳体	
790°C	1	马氏体+5~10%铁素体	
	2	马氏体+残余奥氏体+渗碳体	
	3	马氏体+残余奥氏体+渗碳体	
800°C	1	马氏体+残余奥氏体+渗碳体	
	2	马氏体+残余奥氏体+渗碳体	
	3	马氏体+残余奥氏体+渗碳体	

将表11中所测得的转变温度的数值列于图6。该图是在硅和锰大致相同,并且含有0.16%钼的条件下,对不同含铜量的球墨铸铁试样进行测定的结果。若将0.16%钼的影响消除后,得到的 A_{C1}^s 曲线,以虚线表示在图上。由图可知,铜对 A_{C1}^s 的温度没有影响,而对 A_{C1}^s 有一