

鑄鐵材質檢查

林 華 寿
蔣 坤 洪 編 著
楊 宝 兴

人民鐵道出版社

鑄鐵在工業上應用極廣。它的材質檢查，對於掌握鑄鐵件的性質，提高鑄造質量，關係很大。

本書介紹了鑄鐵的基本組織及性質，石墨及各種元素對鑄鐵件性質的影響，以及鑄鐵和冷鑄生鐵貨車車輪熱處理後的性質。文中結合金相圖說明，比較容易理解。

本書廣泛適用於機車車輛工廠、機務段、車輛段以及工礦、冶金等部門冶金工作人員業務參考。



鑄鐵材質檢查

林華壽 蔣坤洪 楊寶興 編著

人民鐵道出版社出版

(北京市霞公府17號)

北京市書刊出版業營業許可証出字第010號

新華書店發行

人民鐵道出版社印刷廠印

書號 1709、開本 787×1092 $\frac{1}{32}$ 印張 14 字數 16千

1960年6月第1版

1960年6月第1版第1次印刷

印數 0,001—5,200 冊

統一書號：15043·1237 定價 (9)

目 录

第一章 鑄鐵的基本組織及其性質	1
初晶石墨.....	1
共晶石墨.....	1
二次石墨.....	2
共析石墨.....	2
初晶滲碳體.....	2
共晶滲碳體.....	3
二次滲碳體.....	3
共析滲碳體.....	4
第二章 鑄鐵件金屬基體中石墨的影響及其檢查	5
第三章 鑄鐵中各種化學元素對鑄鐵件性質的影響及 元素含量改變的原因	7
鑄鐵中碳矽含量對材料性質的影響.....	7
鑄鐵中碳磷含量對鑄件性質的影響.....	9
鑄鐵中錳和硫對鑄件性質的影響.....	11
鑄鐵中磷對鑄件性質的影響.....	14
第四章 鑄鐵熱處理金相檢查及冷鑄生鐵貨車車輪的 金相檢查	16
普通灰鑄鐵的金相檢查.....	16
冷鑄生鐵貨車車輪的熱處理金相檢查.....	18

第一章 鑄鐵的基本組織及其性質

在灰口鑄鐵中，除與鑄鋼有相同的基本組織（如鐵素體和珠光體，參看“鑄鋼材質檢查”一書，人民鐵道出版社1958年出版）外，尚包含有石墨、滲碳體及斯氏體，其中石墨可分為如下幾類：

初晶石墨

如圖1，配件之具有初晶石墨者，加工后的光潔面有許多小凹痕，俗稱為“蒼蠅腳”，這種配件強度很低，不能應用。



圖1. 灰口鑄鐵中之初晶石墨分布情況。100倍。未侵蝕。粗大黑長條為初晶石墨，短條為共晶石墨。

共晶石墨

如圖2及圖1，共晶石墨之如圖2者，往往表示鑄件碳當量太高，例如在冷鑄生鐵車輪的幅板上出現了這類石墨時，則在做“降落檢查”時便不能通過。

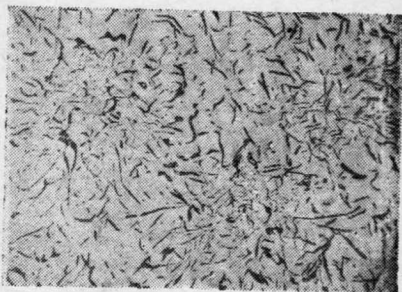


圖2. 灰口鑄鐵中玫瑰狀共晶石墨之分布情況。20倍。未侵蝕。當配件碳矽含量在碳當量為4.3%左右時，會出現玫瑰狀共晶石墨。

二次石墨

如图3，当鉄中除了矽外尚含有强有力的石墨化元素镍时，产生这种石墨。

共析石墨

如图4，这种石墨产生在含銅較高的鑄鉄中，由于它很細，在檢查时常不易分清其为珠光体或共析石墨。一般可以用測定硬度的方法分清之。珠光体硬度較高，共析石墨硬度很低。

在白口鉄中的渗碳体可分为以下几类：

初晶渗碳体

如图5，出现在含碳大于4.3%、而含矽很少又是激冷凝固的鑄件中。往往碳鋼在作固体渗碳时，由于炉温控制不当，如高达1200°C时，鋼件表面由于急剧产生增碳作用，以至鋼件冷却后，取其表面作金相檢查时，可以发现这种結構。

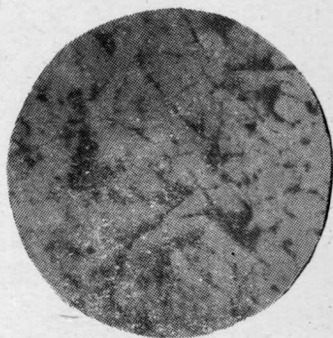


图3. 灰口鑄鉄中二次石墨之分布情况。100倍。未侵蚀。长条共晶石墨上的小块呈点状分布的石墨为二次石墨。

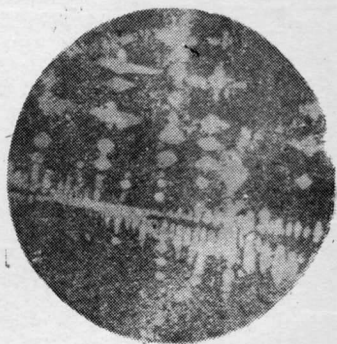


图4. 含銅較高之灰口鑄鉄中共析石墨分布情况。100倍。白色块状为鉄素体，这种鉄素体是原来的奥氏体树枝状結構相变而来的，其他曲折的黑細線是共析石墨。

共晶渗碳体

如图6及图7，图6所示为共晶渗碳体，具有一定方向的排列，这种方向与凝固散热方向完全一致。共晶渗碳体组织是产生于碳份等于4.3%左右、而矽很低的铸件中。



图5. 过共晶白口铁的显微组织。500倍。粗长白条为初晶渗碳体，其白色基体为共晶体中之渗碳体，黑色块状为共晶体中已由奥氏体相变而产生的珠光体。



图6. 共晶白口铁显微组织。500倍。由冷激凝固而产生，这是一种高温时渗碳体与奥氏体的共晶体（莱氏体）。

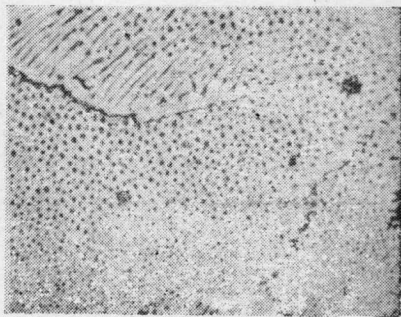


图7. 共晶白口铁显微组织。500倍。产生原因同图6，这种结构与图6同样有时称之为莱氏体，白底为共晶渗碳体。

二次渗碳体

如图8，是用来说明现象的。在铸铁件中，二次渗碳体

是和石墨共同存在的，如图9所示。象图9这样的金相組織，往往出現在含矽量較少而又遇上冷凝速度較快的配件上，所以有些鑄鐵件在“批縫”部分，在設有盖箱的鑄件澆鑄时的裸露于空气的部分，往往加工时感到比較硬，这是由于二次滲碳体存在的緣故。



图8. 500倍。图中白色为二次滲碳体，在鑄鐵件中是不会出現这种呈網狀分布的二次滲碳体及黑色珠光体金相組織的。



图9. 1,000倍。硝酸酒精溶液侵蝕。黑条为石墨，基体为珠光体，在珠光体間分布的白色針状为二次滲碳体。

共析滲碳体

如图10。所謂共析滲碳体就是珠光体中的层状滲碳体，因珠光体是由高温奧氏体在冷却至共析温度时同时析出之层状鉄素体及滲碳体二者交替排列所組成的。

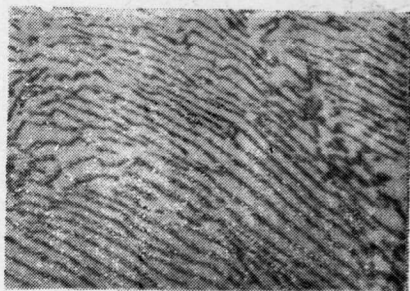


图10. 1,000倍。条状为鉄素体及滲碳体的混合結構。

鉄鑄件实物一般是由比上述更加复杂的金属組織所組

成，冶炼工作者愈能掌握获得多样金相組織的鑄鉄件，便愈能获得良好性能的鑄鉄件。可以理解，单纯由某种金相組織組成的鑄鉄件，肯定是不能应用的。实物的金相組織，是复杂的。

第二章 鑄鉄件金属基体中石墨的影响及其檢查

鑄鉄中石墨的强度最差，如表 1。因此，檢查和控制鑄鉄件中石墨的形状、大小和分布情况是一件十分重要的事。在檢查方法上，片状石墨按其长度可分为八級，其长度級別如表 2 所示。

表 1

鑄鉄件基本組成物名称	抗 拉 强 度 公斤/平方毫米	延 伸 率 %	布 氏 硬 度 H _B
鉄素体.....	35~40	30~50	80~90
珠光体.....	70~85	10~15	180~200
渗碳体.....	2	—	800
斯氏体.....	—	—	400
石墨.....	—	—	—

表 2

石墨級数	石墨长度(毫米)*	石墨长度(吋)*
1	大于100	大于4
2	50~100	2~4
3	25~50	1~2
4	12~25	$\frac{1}{2}$ ~1
5	6~12	$\frac{1}{4}$ ~ $\frac{1}{2}$
6	3~6	$\frac{1}{8}$ ~ $\frac{1}{4}$
7	1.5~3	$\frac{1}{16}$ ~ $\frac{1}{8}$
8	小于1.5	小于 $\frac{1}{16}$

*：放大 100 倍所測量的尺寸。

不单是石墨的长度影响着鑄件的性質，而且石墨的形状及其分布也影响着鑄件的性質，如表 3 所示（其中球状石墨对鑄鉄件的影响在人民鉄道出版社出版的“球墨鑄鉄金相檢查”一書中已介紹过）。

表3

鑄鐵件的機械性質	片狀石墨		片狀偏析集 分布的石墨		球狀石墨	
	珠光體 基體	鐵素體 基體	珠光體 基體	鐵素體 基體	珠光體 基體	鐵素體 基體
抗拉強度 公斤/平方毫米	18~45	12~18	15~25	10~15	50~80	30~45
延伸率 %	0.2~0.5	0.3~1.0	0.1~0.3	0.2~0.5	1~6	8~15
抗彎強度 公斤/平方毫米	36~80	24~36	32~45	25~32	75~140	—
抗壓強度 公斤/平方毫米	90~140	60~90	70~100	50~70	150~250	—
沖擊值 公斤米/平方厘米 (無凹口試棒其截面 為20×20毫米)	0.5~1.0	1.0~1.5	0.3~0.5	0.5~1.0	3~6	5~10

偏析集狀石墨分布形狀如圖11及圖12所示。鑄件澆鑄時，模型的導熱愈好，在產生灰口鑄鐵時，其過冷度愈大，則愈易產生偏析集狀石墨，並且其中石墨片也愈細、短及沒有一定的方向，所以在由鑄件邊緣向鑄件中間檢查石墨金相時，往往發現邊上是細的、無方向性的偏析集狀石墨，往里一些是有方向性的偏析集狀石墨，如圖13所示。有許多鑄鐵件產生裂紋，主要的一個原因是鑄件冷卻太快，邊上產生了偏析集狀石墨，使鑄件

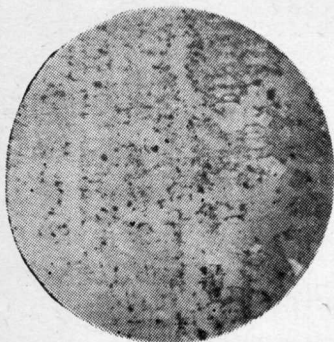


圖11. 無方向性偏析集狀分布的石
墨。放大100倍。未侵蝕。



圖12. 有方向性偏析集狀分布的石
墨。放大100倍。未侵蝕。

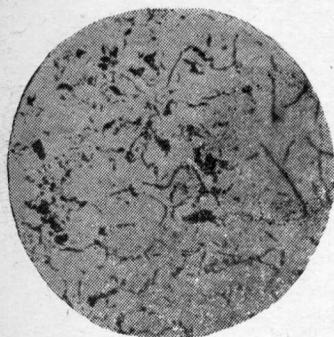


图13. 放大 100 倍。两种偏析集状石墨共存的金相结构。左方是接邻于铸件边缘的情况，右方是离铸件边缘较远的情况，故图中自左到右是表示无方向性偏析集状石墨到有方向性偏析集状石墨，中心部分是普通均匀散乱分布的片状石墨。

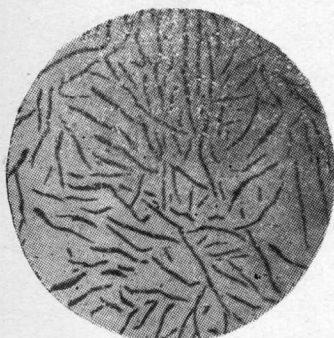


图14. 均匀分布而又较平直的石墨。放大100倍。未侵蚀。



图15. 散乱弯曲分布的石墨。放大 100 倍。未侵蚀。

的机械性质降低了。此时，应当考虑改用烘模浇铸。

在大型铸件中的厚壁部分，石墨生长的发展受外界影响小，因此石墨是较平直的，如图14。而在一些外形比较复杂的铸件中，产生的石墨往往是弯曲的，如图15所示。在金相检查切面时，很有可能切面与弯曲的石墨片平行，于是出现了大块的黑色石墨片。

第三章 鑄鉄中各种化学元素对鑄鉄件性质的影响及元素含量改变的原因

鑄鉄中碳含量对材料性质的影响

鑄鉄中的碳、矽含量愈多，鑄件的性质则愈弱，如表 4

表 4

全碳量 %	化合碳 %	石墨碳 %	粗 石 墨 片 (一級~四級)			細 石 墨 片 (五級~六級)		
			抗拉强度 公斤/ 平方毫米	抗弯强度 公斤/ 平方毫米	挠度, 毫米	抗拉强度 公斤/ 平方毫米	抗弯强度 公斤/ 平方毫米	挠度, 毫米
3.69	0.38	3.31	13.9	26.0	7.2	19.2	54.4	16.4
3.36	0.36	3.00	18.9	30.3	10.1	23.8	52.2	22.0
3.27	0.43	2.84	20.9	35.2	10.2	30.1	60.0	52.6
2.79	0.48	2.31	33.1	45.1	8.4	43.2	74.5	167.8

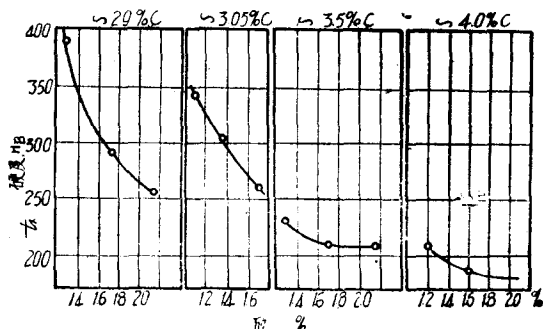


图16. 碳、矽含量对灰口鑄鉄硬度的影响。

及图16所示。影响鑄鉄熔化过程中碳、矽含量改变的因素有以下几項：

1. 炉料中廢鋼配得愈多，鉄水中碳含量愈少；
2. 焦比愈低，鉄水增碳愈多；
3. 焦炭愈碎，鉄水增碳愈多；
4. 焦炭愈松，鉄水增碳愈多；
5. 焦炭中灰份愈少，鉄水增碳愈多；
6. 配料时含矽愈少，鉄水含碳愈多；
7. 配料时含錳愈多，鉄水增碳愈多；
8. 主风口离炉底愈高，則增碳愈多；

9. 鉄水熔化温度愈高，則增碳愈多；
10. 廢鋼愈碎，則增碳率較大；
11. 化鉄炉风口愈少，风量增大，热风，則矽在熔化过程中燒損愈大；
12. 焦炭块愈大愈紧密，則矽在熔化过程中燒損增加；
13. 矽在酸性化鉄炉內損失达到10~15%，在小风口碱性化鉄炉內其損失則可达到50%左右。

鑄鉄中碳、磷含量对鑄件性质的影响

鑄鉄中碳、矽、磷对鑄件的影响見表5，由这表可分析总结出图17、图18；由图17可以看出，当碳当量

$$\left[C + \frac{1}{3} (Si + P) \right] \%$$

大于3.95%时，抗拉强度剧烈地下降；从图18亦可看出，抗

表5

化 学 成 分, %						石墨 等級	机 械 性 质		
碳当量	碳	矽	錳	磷	硫		抗 拉 强 度, 公斤/ 平方毫米	抗 弯 强 度, 公斤/ 平方毫米	挠 度 (跨 距 300毫 米) 毫米
3.65	3.16	1.28	0.85	0.189	0.076	5	28.35	51.17	3.5
4.17	3.54	1.67	1.05	0.217	0.058	4	22.25	45.39	4.3
3.77	3.20	1.54	0.99	0.180	0.136	6	26.40	54.18	3.8
4.16	3.64	1.35	0.90	0.227	0.068	4	23.79	47.63	4.4
3.94	3.31	1.39	1.04	0.206	0.096	5	24.41	47.42	3.1
3.87	3.26	1.63	1.08	0.214	0.097	4	25.57	46.40	3.6
4.14	3.62	1.34	1.16	0.206	0.053	4	21.00	—	—
3.85	3.28	1.45	0.86	0.286	0.117	6	25.64	49.66	3.8
3.95	3.80	1.46	0.60	0.134	0.041	4	27.41	45.00	4.1
3.77	3.14	1.50	0.89	0.408	0.117	6	27.81	43.50	3.4
3.85	3.14	1.64	0.96	0.490	0.128	5	21.86	49.12	3.3
3.92	3.33	1.52	0.98	0.255	0.121	5	27.67	51.62	3.6
3.75	3.17	1.57	1.00	0.178	0.137	5	27.81	55.80	3.7
3.84	3.14	1.89	0.92	0.218	0.110	5	31.59	—	—
3.91	3.48	1.08	0.60	0.210	0.114	4	32.00	—	—

續上表

化 学 成 分, %						石墨 等級	机 械 性 质		
碳当量	碳	矽	錳	磷	硫		抗拉强度 公斤/ 平方毫米	抗弯强度 公斤/ 平方毫米	挠度(跨 距 300毫 米) 毫米
4.18	3.59	1.57	0.96	0.213	0.068	4	22.74	40.29	3.7
3.76	3.18	1.58	0.98	0.171	0.126	4	25.23	46.95	3.9
3.80	3.27	1.39	0.88	0.199	0.119	5	28.49	51.64	3.5
3.63	3.10	1.41	0.91	0.190	0.140	5	29.29	51.62	3.4
4.02	3.44	1.53	0.88	0.213	0.096	5	25.82	—	—
4.02	3.54	1.25	0.92	0.186	0.078	5	26.78	—	—
4.04	3.50	1.44	0.96	0.167	0.126	5	25.70	44.08	3.5
3.73	3.28	1.17	0.80	0.188	0.129	6	30.59	53.29	3.6
3.92	3.40	1.31	0.98	0.260	0.089	5	30.35	57.90	3.9
3.95	3.46	1.22	1.04	0.242	0.115	5	27.78	52.56	3.8
3.88	3.42	1.20	1.02	0.174	0.090	4	26.40	55.26	4.6
3.83	3.42	1.05	0.88	0.182	0.082	5	29.22	55.13	4.2
4.08	3.48	1.57	0.92	0.225	0.082	5	26.56	49.12	4.2
3.94	3.42	1.36	0.91	0.203	0.102	5	26.46	55.18	4.8
3.65	3.20	1.20	0.86	0.152	0.078	5	29.10	49.64	3.1
3.76	3.32	1.12	0.76	0.212	0.124	5	29.11	53.11	4.2
4.02	3.54	1.19	1.11	0.237	0.082	5	26.00	54.18	3.8
4.07	3.52	1.44	0.90	0.208	0.089	5	24.03	50.27	3.8
4.01	3.50	1.38	0.91	0.156	0.074	5	27.12	46.19	3.2
4.05	3.54	1.36	0.95	0.183	0.098	5	24.83	47.20	3.8
3.75	3.28	1.23	0.84	0.170	0.120	5	28.35	49.13	3.7
3.91	3.31	1.57	0.99	0.225	0.096	4	26.45	46.66	3.5
3.90	3.34	1.20	0.84	0.190	0.136	5	21.03	51.68	3.8
3.82	3.29	1.38	0.92	0.220	0.059	6	30.02	58.11	4.3
3.88	3.33	1.45	0.74	0.218	0.088	5	27.67	52.56	4.7
3.59	3.08	1.36	0.82	0.181	0.095	4	30.32	48.52	2.5
3.84	3.17	1.82	0.90	0.206	0.078	4	28.02	57.03	4.6
3.82	3.31	1.28	0.85	0.237	0.076	4	28.87	54.83	4.6
3.61	3.05	1.41	0.78	0.276	0.119	5	29.51	48.34	3.2

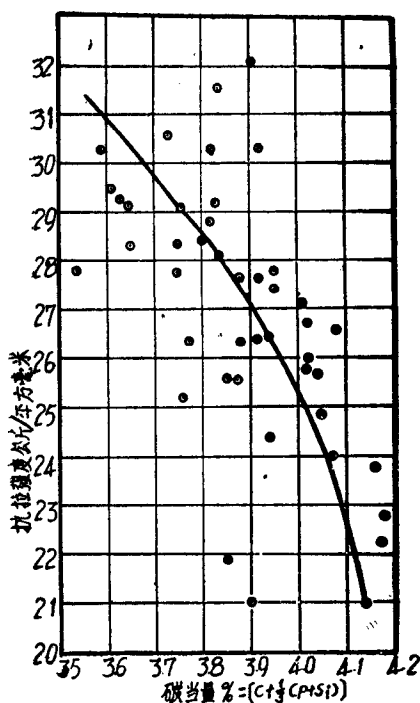


图17. 碳当量与抗拉强度的关系。

增加铁水的冷凝收缩量，往往在铸件的热节处产生缩孔，检查其金相组织时，石墨碳是由初晶及共晶石墨组成的，显示了石墨过量分布于基体中。此外，在组织中并呈现了以珠光体及围绕石墨周围的铁素体为主的金属基体结构，如图20所示。

铸铁中锰和硫对铸件性质的影响

锰使铁中的碳以化合碳存在，阻止其成为石墨，因此抗拉强度较高的铸铁件中应当含有锰0.8~1.2%，冲击强度较高的铸铁件且要求有较好的挠度时，其含锰量可以控制在

弯强度在碳当量大于3.95%时亦是最低的。所以，需要获得强度较高的铸件时，碳当量不宜大于3.95%；为了使铸铁碳当量降低，可以在配料时，在金属料中配入高达25%的废钢，以减少熔出铁水中碳、矽、磷的含量。

如果碳当量太大，铸件的强度便会很低，铸件在使用时易破碎，这种破碎的裂纹往往是沿石墨而开裂的，裂开情况如图19所示；此外，如果碳当量过大、超过4.3%时，会严重

0.3~0.6%。

錳在鉄水熔化时含量的改变受以下因素的影响：

1. 增加风量，改小化鉄炉风口，会增加錳的熔損；

2. 焦炭块愈大、愈紧密，則錳的熔損愈大；

3. 錳在酸性炉內的熔損一般为 15~20%，在大风量、小风口化鉄炉內熔損达 30% 左右。

鉄水凝固产生的渗碳体中溶解有硫时，会增强碳和鉄的結合力，因之硫具有增强鉄的白口性的性質。如果硫在鉄中的含量超过 0.02%，鉄中就出現 Fe—FeS 共晶体，此共晶体的凝固点低至 985°C，在鉄的凝固过程中最后于鉄的結晶晶界上凝成，这減弱了鉄晶粒晶界的强度，增加了鉄的硬度，使鉄的脆性增加，因此在化鉄时慣用控制鉄中

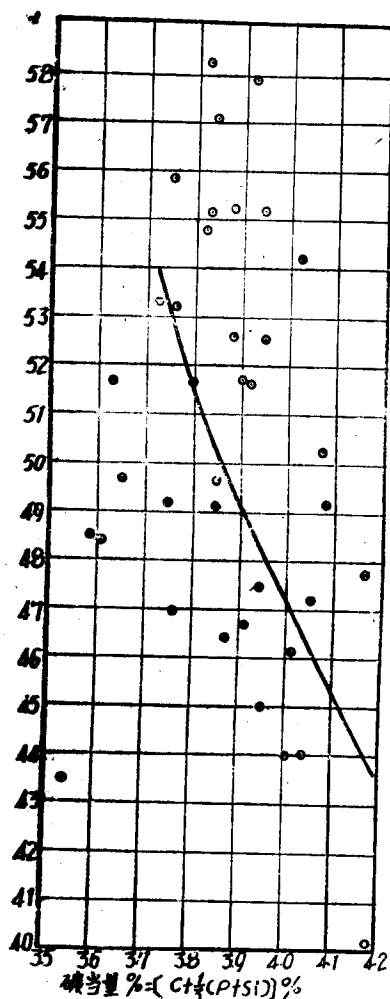


图18. 碳当量与抗弯强度的关系。



图19. 沿石墨的裂纹。未侵蚀。

放大100倍。

的锰含量等于硫含量的3.5~5倍，使硫在铁水冷却时组成富锰的 $(\text{Mn}, \text{Fe})\text{S}$ 或 MnS 的硫化物，从而提高了硫所产生的固体化合物的凝固温度，大于铁水的凝固温度，这样可以减少硫对于铸铁性质的损害。硫虽与锰结合生成对铁的性质影响较小的硫化物，但是由于预先析出的悬浮在铁水中的硫化物固体微粒，严重地减低了铁水的流动性，使铸造成型的铸件中往往包含有小气孔，严重的能使铸件报废。所以在铸铁件中硫含量不能超过0.18%。即使在有足够锰含量的铸铁件中，硫含量大于0.18%后，如硫含量增加一倍，能使铸件的强度减小四倍，所以当铸件含硫高、尤其是遇上含锰量又不足时，常会引起铸件因为开箱后存在的内应力而自行碎裂；同时，铸件中硫含量超过0.18%以后，会使铸件硬度剧烈增加，挠度下降，对铸件切削加工极为不利。

硫在铁水熔化过程中的改变受以下几点影响：

1. 焦炭含硫愈多、

的锰含量等于硫含量的3.5~5倍，使硫在铁水冷却时组成富锰的 $(\text{Mn}, \text{Fe})\text{S}$ 或 MnS 的硫化物，从而提高了硫所产生的固体化合物的凝固温度，大于铁水的凝固温度，这样可以减少硫对于铸铁性质的损害。



图20. 放大100倍。长黑条为初晶石墨，

其间短黑条为共晶石墨，白色为铁素体，黑块为珠光体，其化学成分为3.46%碳、3.77%砂、0.245%磷、0.56%锰、0.109%硫。

块愈小，則鉄水增硫愈多；

2. 金属料表面锈蝕愈多，則鉄水增硫愈多；

3. 熔渣中 $\frac{\text{CaO}}{\text{SiO}_2}$ 比值愈大，渣的流动性愈好；FeO 量愈少，熔化温度愈高，則鉄水增硫愈少，并且可以去掉一部分金属配料中的硫含量；

4. 鉄水中含碳愈高，矽愈高，則鉄水增硫愈少；

5. 預热鼓风，增加化鉄炉炉缸高度，采用小风口，亦可以减少鉄水中硫的含量；

6. 在酸性化鉄炉中熔化鉄水，其含硫量一般比配料时金属料中的含硫量多出 15~40 %；

7. 在碱性化炉中应用热风，增加石灰渣量到 12~14 %，并且加入鉄钒土 2%，螢石 2%，以提高炉渣的流动性，并且应用碱性前炉，可以使金属料中硫的含量在熔化之后去除 80%。

鑄件中高熔点硫的化合物夹杂物如图 21 所示。

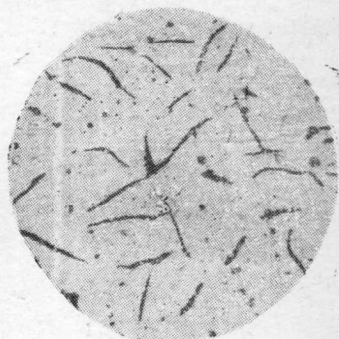


图 21. 放大 100 倍。小黑点为硫化物夹杂物，条状为石墨。

鑄鉄中磷对鑄件性质的影响

磷在一般鑄件中理想的含量应当小于 0.2%，鋼錠模鉄中应当不小于 0.1%，因为磷可以使鋼錠模内壁获得良好光洁的表面。磷在鑄件中常见的含量是小于 0.3%，除了对高温下使用的配件外，它的坏影响不大。但是对某些鑄件需要有良好的耐磨负荷面时，可以提高鉄中磷的含量到 0.5~0.6%，