

球墨鑄鐵

大断面球墨鑄鉄件

譯文集專輯

1

无錫球墨鑄鉄研究室

无錫柴油機厂

大断面球墨铸铁件 译文集专辑

无锡球墨铸铁研究所
无 锡 柴 油

1978年10月

编 者 的 话

《球墨铸铁》是我们编辑出版的内部刊物，本期为《大断面球墨铸铁件译文集》专辑。

球墨铸铁作为一种新型结构材料问世以来，其应用范围不断扩大，已遍及机械工业各部门。以球墨铸铁大件取代大型锻钢、铸钢件，对于高速度发展国民经济更具有十分重要的意义。

众所周知，大断面球墨铸铁件的结晶凝固过程、显微组织、机械性能、铸造缺陷等方面都有其固有的特点。在生产大断面球墨铸铁件时，在原材料的选择、工艺过程的确定、质量控制、铸造缺陷的防止诸方面都有许多问题。生产优质大断面球墨铸铁件是国内外球墨铸铁研究的重要课题之一。为了配合这方面的工作，我们遵照毛主席关于“外国资产阶级的一切腐败制度和思想作风我们要坚决抵制和批判，但是并不妨碍我们去学习资本主义国家的先进的科学技术和企业管理方法中合乎科学的方面”的教导。我们与清华大学、南京工学院一起收集了近几年来国外有关大断面球墨铸铁件研究的报道，编译了这本译文集，供从事球墨铸铁生产、科研的工人、技术人员参考。

由于水平有限，时间仓促，译文中难免有错误和不当之处，欢迎批评指正。

一九七八年五月

大断面球墨铸铁件译文集目录

1. 大断面球墨铸铁件……………H. Mayer 著 吴重庆译 (1)
2. 用高强度球墨铸铁生产大铸件的特点
…………… Н. И. Клочнев 等著 孙国宏译 (13)
3. 高强度球墨铸铁的生产——经验与知识
……………H. Mayer, F. Hammerli 著 吴德海译 (22)
4. 制作大断面球墨铸铁件的生产经验…………… K. Reifferscheid 著 吴德海译 (57)
5. 大断面球墨铸铁件的生产……………R. R. Kust, C. R. Loper 著 张荣华译 (64)
6. 大型球墨铸铁件的制造……………中岛常生, 石尻守央, 小寺佳积著 张荣华译 (75)
7. 大型球墨铸铁件的制造……………两角亲人, 石尻守央著 张荣华译 (90)
8. 用球墨铸铁生产 Д100 型大功率发动机曲轴铸件
…………… М. Г. Квасман 著 孙国宏译 (104)
9. 内燃机车发动机大曲轴的生产
……………А. А. Горшков, М. В. Волощенко 著 张荣华译 (110)
10. 球墨铸铁曲轴生产经验
……………И. П. Песченский, Н. Г. Либерман 著 张荣华译 (120)
11. 内燃机车发动机曲轴用球墨铸铁
……………Р. А. Семенов, В. Н. Садофьев 等著 张荣华译 (122)
12. 大型球墨铸铁柴油机机体的制造……………中山正义著 张荣华译 (125)
13. 球墨铸铁曲轴获得劳氏船级社批准
——机械性能试验结果表明其稳定上升……………朱君贤译 (135)
14. 大断面球墨铸铁件石墨组织的控制…………… S. I. Karsay 著 张荣华译 (137)
15. 大断面球墨铸铁件的组织与机械性能
……………岡田千里, 前桥良嗣著 张荣华译 (150)
16. 凝固时间和断面大小对高碳铁合金的机械性能和显微组织的影响
…………… T. W. Parks, N. G. Berry, C. R. Loper 著 张荣华译 (164)

17. 大断百球墨铸铁件的显微组织与热分析的关系
 P.K.Basutkar, C.R.Loper 著 张荣华译 (176)
18. 加入铈对大断百球墨铸铁件的热分析的形响
 P.K.Basutkar, C.R.Loper 著 张荣华译 (189)
19. 化学成分对大断百球墨铸铁件石墨组织的形响
 S.I.Karsay, R.D.Schelleng 著 张荣华译 (208)
20. 化学成分和冷却速度对大断百球墨铸铁件的组织和性能的形响
 Г.И.Сильман, А.А.Жуков, Ю.П.Симаков 著 张荣华译 (216)
21. 镍—钼—铜大断百球墨铸铁件的质另效果
 大井利继, 藤冈稔著 张荣华译 (221)
22. 怗冷铸铁的凝固过程..... 井川克也著 张荣华译 (223)
23. 铅、铋、铌和铈对大断百球墨铸铁件显微组织的形响
 R.K.Buhr 著 舒光北译 (229)
24. 钙对大断百球墨铸铁件石墨组织的有害形响
 N.L.Church, R.D.Schelleng 著 吴重庆译 (244)
25. 大断百球墨铸铁件中蠕虫状石墨的形成..... R.K.Buhr 著 张荣华译 (252)
26. 碎块状石墨形成机理的探讨..... P.Strizik, F.Jeglitsch 著 吴重庆译 (261)
27. 大断百球墨铸铁件中石墨退化的形成和防止..... W.Thury 著 张荣华译 (274)
28. 大断百球墨铸铁件中剥落性渣子的形成
 C.R.Loper, A.J.Saly 著 张荣华译 (282)

大断百球墨铸铁铸件

H. Mayer

摘 要

用途日益广泛的大型球铁铸件，由于冷却速度缓慢，使机械性能受到影响。

文献中的数据表明，随壁厚加大，机械性能相应下降，特别是韧性。有关这方面的资料不多，因为这要花很大的努力才能获得。

“大断百”指的是壁厚至少100毫米的铸件。

大断百球铁铸件的显微组织

球铁薄壁铸件的显微组织，一般总是完全的石墨球，布于珠光体或铁素体或两者的混合基体上。

增大铸件的壁厚，使凝固过程和 $\gamma-\alpha$ 转变的冷却速率下降。这导致了石墨的形状、大小和金相基体的改变，机械性能亦随之改变。

石 墨 形 式

随断百增大，石墨球的个数减少，尺寸增大。石墨球数随断百增大而减少的数据示于表1。

表1 大断百球铁铸件中的石墨球数

铸 件 形 状 和 尺 寸	含 量, %		球 数 个/毫米 ²	参考书目
	C	Si		
125mm 正 立 方 体	3.5 ~ 3.7	2.1 ~ 2.3	69~125	4
125mm 正 立 方 体	3.3 ~ 3.8	1.4 ~ 3.0	100~209	5
125mm 外 径 元 筒	2.19~3.65	2.32~3.40	11~50	3
125mm 直径元棒 (铸型用发热材料)	3.3 ~ 3.8	1.7 ~ 2.5	20~40	6
200mm 正 立 方 体	3.51	2.62	80	5
200mm 正 立 方 体	3.77	1.18	37	5
300/240mm 椭 元 试 块	3.36~3.82	2.6 ~ 3.19	12~34	3
300mm 直 径 元 棒	3.29	1.62	10	7
300mm 直 径 元 棒	3.42	1.87	9	7

在其它条件不变的情况下，提高碳当量（C E），可提高球数，且可使石墨球的形状得到改善〔1—3〕。

往球铁中加入少铋（Bi），用铈（Ce）处理后，在直径 300 毫米的试块中，球数提高 6 倍〔8〕。

用硅铁孕育同样提高球数，如将孕育推迟到临浇注时，则最为有效，更进一步，采用型内孕育时，直径 300 毫米试块的球数达 40—60 个/毫米²，而采用一般的包内孕育，仅有 9 个/毫米²〔8、9〕。

随断面增大，石墨形状发生衰退的倾向增大：

不规则球状——此类石墨（见图 1），在大断面球铁铸件中很常见，尤其是在孕育不充分或碳当量过低时。

伪片状石墨（Quasi-Flake Graphite）——当镁（Mg）含量不足时，此类石墨（见图 2）在各种壁厚的球铁铸件中均可找到。获得良好球状石墨的残余镁量，取决于许多生产条件，一般为 0.03—0.04%。镁量并不需要随断面增大而提高。残余镁量，建议为 0.04—0.06%〔3〕。

片状石墨——此种石墨（见图 3）主要是使用了不纯的原材料而引起，在大断面球铁中，主要出现于液体最后凝固区。在未加少铋或含铈混合稀土予以中和的话，利于片状石墨生成的主要微量元素有：铅（Pb）、钛（Ti）、铋（Bi）、锑（Sb）、碲（Te）。一般来说，这些微量元素的影响会随冷却速度的下降而增加。

对于许多种生铁是否适

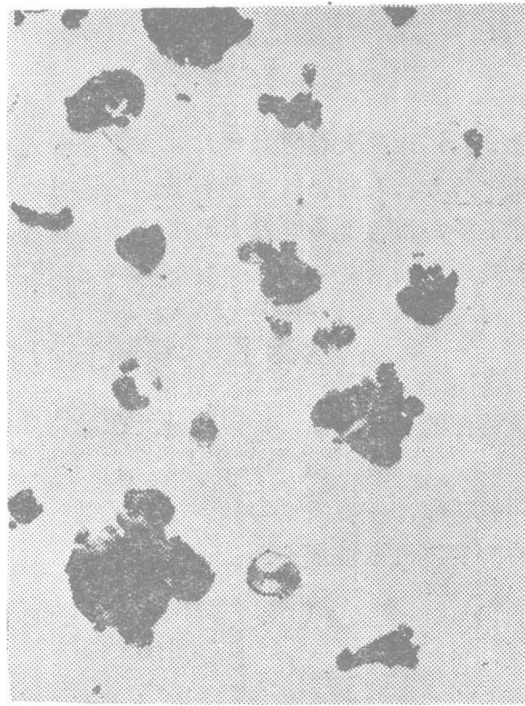


图 1 不规则球状石墨（未侵蚀，×63）

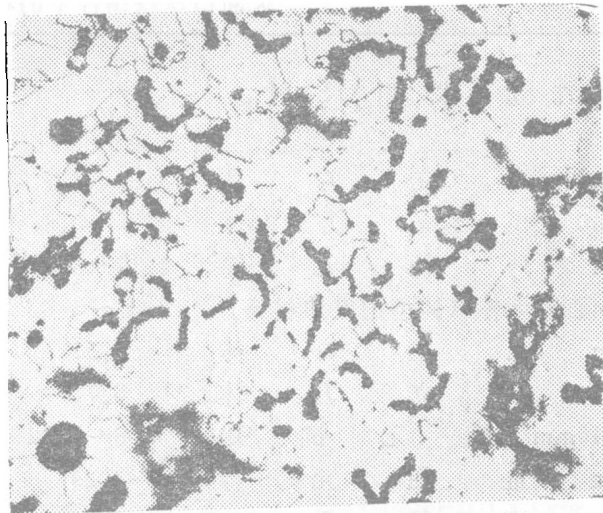


图 2 伪片状石墨（硝酸试剂侵蚀，×100）

用于球铁生产所作的研究〔3〕表明,无论使用何种生铁,在薄壁铸件中,均可得到良好的石墨形状。在缓冷的试样中使用许多种生铁时,都产生了非球状石墨,特别是Bi、Pb、Sb和Ti的总量在0.029—0.03%者。

除生成更多的片状石墨外,微量元素也导致其它的石墨形状,如蟹状、三花状、海星状等等。高镁量也非所追求的,因要引起“刺猬”状石墨(即团片状石墨——译者)。

炸裂状石墨(Exploded Graphite)——此类石墨(见图4)的形成归因于Ce的过量。以多于0.20%混合稀土球化时,出现此种石墨,特别是在石墨漂浮区。

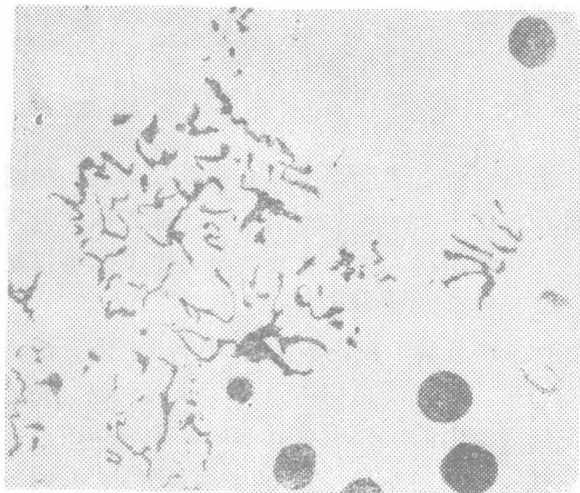


图3 偏析区内的片状石墨(未侵蚀,×100)

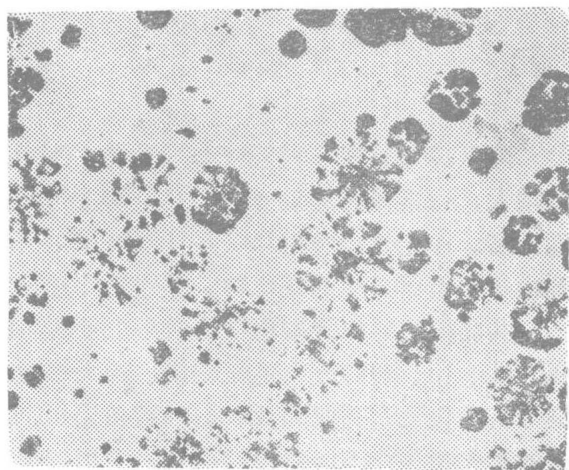


图4 炸裂状石墨(未侵蚀,×100)

碎块状石墨(Chunky Graphite)——此类石墨(见图5)常出现于原材料中含微量元素极少的大断面球铁铸件中,特别是在大铸件的热节处,在文献〔3—5、11—13〕中屡有论述。用扫描电镜对这种组织的研究表明,在共晶团内的石墨颗粒是互相联结的。

虽然碎块状石墨的生成原因尚不清楚,但这类石墨可以通过改变某些生产条件而予以防止。采用极纯原材料,并加含铈混合稀土,常常导致碎块状石墨的生成。但是如果炉料不太纯,不用含铈混合稀土会出现上述的其它的石墨衰退的形状。

提高镍(Ni)含量。同样会增加碎块状石墨生成的倾向。镍的影响如此巨大,以致在奥氏体球铁(含镍约18~22%)中,即使在薄断面中也会出现碎块状石墨。

与Ce一起加Te、Sn、Cu、Pb或Bi,阻止碎块状石墨形成。但在加此类元素时,

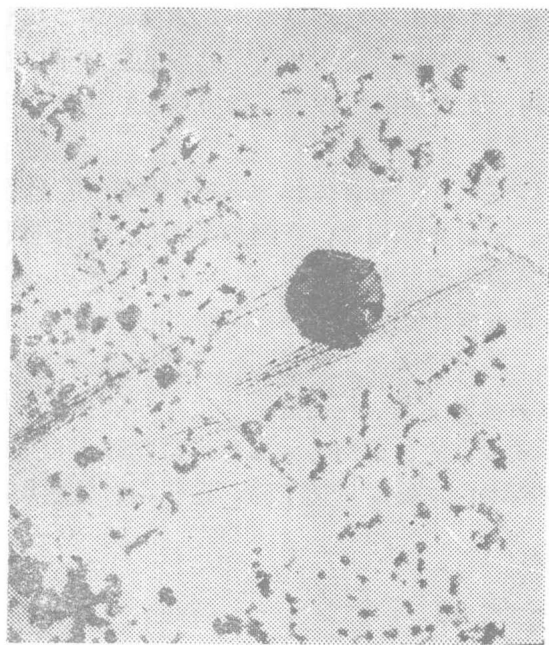


图5 碎块状石墨(硝酸沆转侵蚀,×100)

务必要严格控制，以避免出现其它类型的退化石墨和在铁素体球铁中出现多量珠光体。

即使不加混合稀土，提高碳当量（超过4%），同样地有利于碎块状石墨生成。

Church和Schelleng [13] 用含钙的硅铁处理后，也发现了碎块状石墨。研究的结果，说明此类石墨伴有金层钙的偏析。将炉料中的含钙硅铁代之以低钙硅铁或在镁处理前将铁水过热，则碎块状石墨的量减少。结论是，元素钙（而非钙的氧化物——译者）才有利于此类石墨的生成。

Karsay和Compomanes [5] 报道，球数减少，碎块状石墨也减少。通常，在大铸件中，希望得到高球数，以避免畸形石墨并提高机械性能。

基 体

降低冷却速度，利于铁素体生成。铁素体主要以环绕石墨的形态或在晶界处出现。随断面增大，铁素体晶粒也变大。在冷却很慢的铸件中，由于碳的扩散距离加大，珠光体含量再度升高。珠光体成为粗片状并且常常连在一起。在共晶团粗大且少的共晶团边界上，可以见到由于偏析而产生的碳化物。在铁素体球铁中，它们往往与珠光体同时出现。

共晶团晶界出现碳化物，乃是由于共晶团数目少而且最后凝固的液体中聚集铬、锰、钒、钛、钼、砷等元素的正偏析。绝大多数此类元素，利于碳化物析出，而硅、铝、镍、钴、铜等石墨化元素与此相反，它们是负偏析，即在最后凝固的液体中含量偏低，故共晶团晶界上的碳化物往往不能避免，而且，采用较纯的原材料时，即使V、Ti的平均含量在0.01~0.02%之间，也仍然会发现钒、钛的碳化物 [3]。

温度高于900℃的热处理和长时间保温，可以消除一些偏析 [14]，但控制原材料的纯度，是减少大断面铸件中共晶团晶界碳化物和元素偏析的更为有效的方法。

由于缓冷利于铁素体的形成，欲获得全珠光体组织，一般必须加珠光体稳定剂。比较适合的添加剂是铜和镍，或此两者。这两种元素都是负偏析，故在共晶团晶界的含量低。最好不要加锰，因它在共晶团晶界浓集并形成碳化物。在大断面铸件中，锡宜慎用，因为加入量大时会促进脆性。

绝大多分球铁大铸件的基体是珠光体、铁素体或两者的混合体。为适应工件的更高要求，贝氏体球铁是有前途的。在大断面球铁件中，与珠光体相比，在延伸率和缺口冲击韧性相等的情况下，贝氏体球铁有更高的屈服强度、抗拉强度 [3,15]。

贝氏体球铁中Ni、Mo含量，必须按断面大小而调查，随断面加大而增加。必须指出，Mo高了以后，由于共晶团晶界有钼碳化物析出，韧性下降。故Mo含量应低，Ni含量可相应提高。

与贝氏体球铁相反，油淬并回火的球铁，似乎希望不大。在高温下回火，与钢相反，析出的石墨颗粒，并不与已有的石墨球相联，而形成很小的、不均匀分布的球，此种小石墨球的析出，发生于一特定的狭窄的温度范围，在此范围内，硬度急速下降，这些小石墨颗粒，对机械性能有不良影响 [3]。

大断面奥氏体球铁

由于欲得到奥氏体必须把镍含量提到很高，奥氏体球铁倾向于生成碎块状石墨 [12]。

同时，缓冷导致共晶团晶界的元素偏析（富集Cr、Mn而贫Ni）。这种偏析与断百俱增，使抗拉强度与延伸率下降，一般认为，断裂发沉于共晶团晶界的碳化物。与铁素体、珠光体球铁相反，奥氏体球铁没有由韧性至脆性断裂的转变。

大断百球铁铸件的机械性能

文献中有不少大断百球铁机械性能的资料〔1、3、7、11、16、17〕。随断百增大，机械性能相应下降。资料中说，强度和延伸率很低，是石墨衰退的结果〔18、21〕。另外，有厚片状石墨的大断百试样，测得的强度和延伸率颇低。在拉力试验中，从大断百铸件上切取的试样，在塑性变形的比较早期断裂。

拉伸延伸率曲线较陡的珠光体球铁在塑性范围的早期裂纹，使抗拉强度下降。而铁素体球铁在断裂以前的拉伸延伸率曲线接近于水平，并且延伸率下降时，对强度影响不大，拉伸延伸率曲线的初始 σ 分到0.2%屈服强度之间，受冷却速度影响很小，故弹性模数、比例极限、0.2%屈服强度和泊松比，珠光体球铁和铁素体球铁之间无显著变化。图6和图7表示随壁厚增大，机械性能的下降。球化良好但强度和延伸率较低，主要是共晶团粗大和在共晶团晶界的偏析所致。

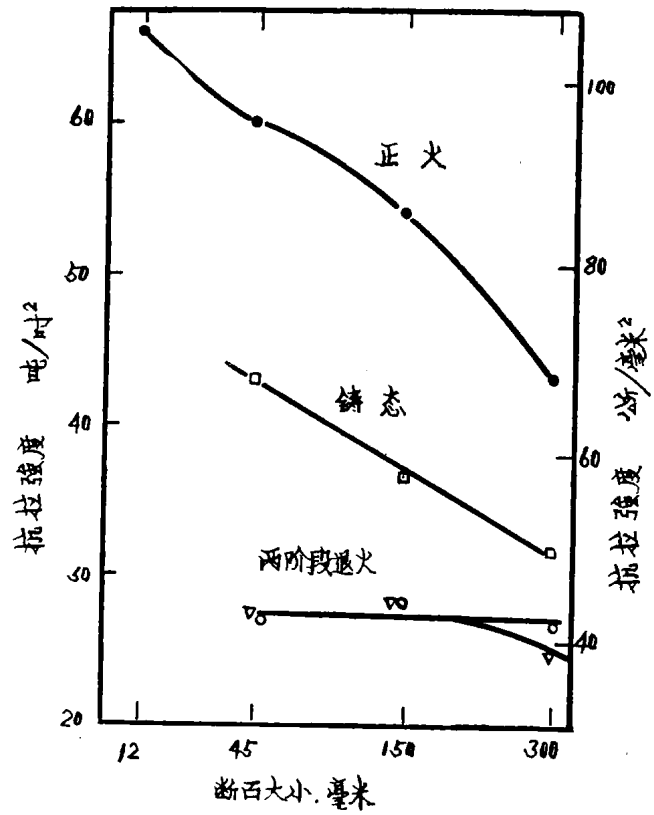


图6 抗拉强度随断口大小的变化

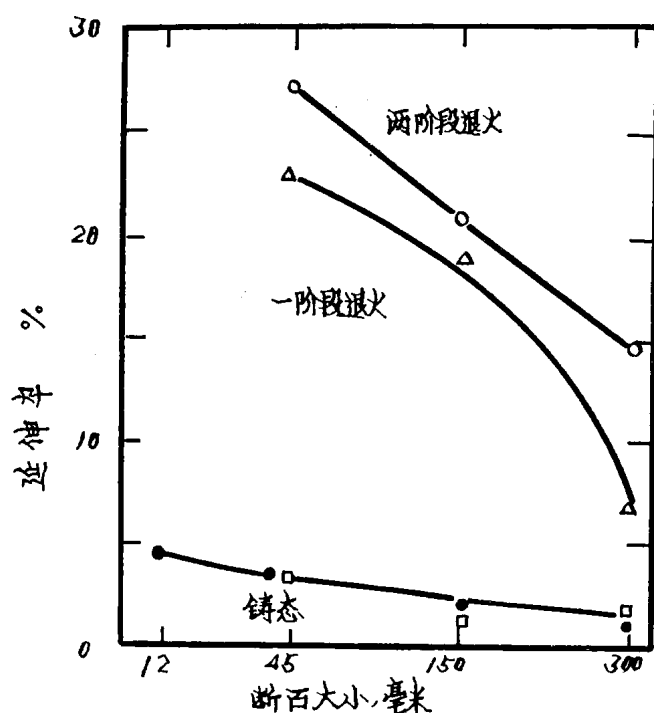


图7 延伸率随断面大小的变化

虽然，球铁的0.2%屈服强度和弹性模数不受断面增大的影响，从而设计者可按照与薄断面相同的安全系数来计标，但是在某些场合仍然要求具有高强度和高延伸率。能够得到的最高指标，取决于断面大小，或更确切地说，取决于凝固时间。表2和表3，列出一些断面超过100毫米的机械性能。

表2

大断面球铁试块铸态机械性能

试样尺寸	化学成分, %				0.2% 屈服强度 公斤/毫米 ²	抗拉强度 公斤/毫米 ²	延伸率 %	基体 珠光体 %	参考 书目
	C	Si	Mn	Cu					
300mm 直径 元棒	3.52	1.76	0.29	—	33.4	48.5	<2	95	17
300mm 直径 元棒	3.37	1.53	<0.14	3	42.8	61.0	1.5	95	11
300mm 直径 元棒	3.42	1.83	0.04	—	24.4	41.0	14	25	7
120mm 阶梯 试块	3.56	2.57	0.09	—	23.5	41.5	14	25	16
250mm 正立方体	3.33	2.18	0.40	—	36.3	51.0	3		1
250mm 正立方体	3.44	2.37	0.42	—	31.5	43.0	4		1
125mm 正立方体	3.34	2.14	0.40	—	41.5	67.0	4.5		1
125mm 外径 元筒	2.80	3.09	0.25	—	34.8	48.2	19	10	3
125mm 外径 元筒	3.42	2.72	0.31	—	31.5	44.9	10	20	3
300/240mm 椭圆试样	3.66	2.09	0.30	1.45	40.6	49.5	1.6	95	3
190mm 直径 元棒	3.66	2.09	0.30	1.45	48.1	63.8	1.6	95	3

表 3

大断面球铁试块铁素体化退火后的机械性能

试样尺寸	化 学 成 份, %			0.2% 屈服强度 公斤/毫米 ²	抗拉强度 公斤/毫米 ²	延伸率 %	基 体 珠光体 %	参考书目
	C	Si	Mn					
300mm 直径元棒	3.52	1.76	0.29	25.5	41.0	18.5	< 5	17
300mm 直径元棒	3.50	2.00	0.37	30.6	42.5	15	10	14
175mm 正立方体	3.34	2.14	0.40	32.4	46.0	11	< 5	1
250mm 正立方体	3.33	2.18	0.40	32.3	43.5	7	< 5	1

对大断面球铁件生产的建议

要生产石墨组织良好和所要求的一定的基体组织的大型球铁铸件，迫切要求对熔化和处理加以控制。

不可能列出普遍遵守的守则，特别是由于某些问题，尚未完全解决。但是可以提出一些规则，使大断面球铁得到令人满意的机械性能。

坩材料

球铁生产对坩材料的要求，比灰铸铁高得多，大断面球铁对炉料的要求更为严格。如果在处理过程中不加铈，微量的有害元素就可以导致不良的石墨形状，另外，Ce与一些极低含量的微量元素的组合，会产生我们所不希望的碎块状石墨。因此很纯的炉料，不应用含铈的镁合金处理。

是否应加铈，可将炉料熔化，浇入大断面铸型中，通过试验来决定。

对铁素体球铁而言，在炉料的选择上，更应尽可能少含稳定碳化物和珠光体的元素，不仅如Cr、Mn、V、Sn等，就是象Pb、Sb、Bi和As等微量元素也是如此。少量的合金元素因缓冷而聚集于最后凝固的金属液中，它们的影响便增强了，在珠光体球铁的生产中，也应采用很纯的炉料，为防止铁素体化，可适当加入如Cu、Ni等合金元素。

化学成份

碳当量（C + 1/3Si）应严格控制，并尽可能高，因为碳当量高，石墨球数增加。同时，共晶团数目也增加，强的偏析发生在大晶团的共晶团晶界上，便不大可能形成碳化物。碳当量愈高，收缩倾向愈小。然而，石墨漂浮的倾向随碳当量增高而加大。建议碳当量在4.2~4.4%之间。

高硅（2.8~3.0%）得到铸态以铁素体为主的基体，强度也较高。在要求高延伸率和韧性的场合下，Si含量应减少。此种品质的铸件应采用两阶段铁素体化热处理。

珠光体铸件中，Si含量应低一些，约2.0~2.2%左右。

珠光体球铁中的锰含量，也应尽可能低（不超过0.25%）。其它形成碳化物的元素，如Cr、V，不应超过0.02%，建议加Cu和Ni。

球化和孕育

在选择镁合金时，Ce含量是首先要考虑的。处理后，残余镁量应在0.04~0.05%之间。低于0.04%会不球化，而超过0.05%，非金属夹杂物不可避免，镁含量超过0.1%，导致畸形石墨（“刺猬”状石墨）。

对于孕育技术，必须予以充分重视。临浇注时进行后孕育，提高球数并使球减小。孕育剂必须在铁水中均匀分布。孕育前，务必扒渣。在什么时间孕育，应根据车间的具体情况而定。按增硅0.6%加含少许Ca、Al的75或80%硅铁，得到了良好的结果。孕育剂过多，导致碎块状石墨〔5〕。

浇注条件

球化与浇注以及孕育与浇注之间的时间，应尽可能短。当采用后孕育或型内孕育时，时间的因素就不那么尖锐了。

浇注温度对大铸件组织和性能的影响，尚缺乏资料。浇注温度低于1350℃，生成夹杂物、碳化物和非球状石墨的倾向增大。

冷铁的运用

大断面铸件的冷却速度，只要不致引起渗碳体生成，应尽可能高，在铸件冷却得最快的部位，运用激冷砂（chilling sand）或铁冷铁、石墨冷铁，取得了良好的效果。

热处理

铁素体球铁的两阶段热处理，包括奥氏体化和通过临界温度范围的缓冷，或在接近此温度和低于此温度下保温，延伸率可略有提高（图7）。采用这样的热处理，只有长时间保温或完全均匀化，才能减轻共晶团晶界的偏析。大断面珠光体球铁的正火处理，也不能完全消除偏析，但总能提高屈服强度、抗拉强度，有时还可以提高延伸率（图6和图7）。热处理改善机械性能的原因在于晶粒细化。

大断面铸钢件和球铁件的性能比较

原则上，铸钢的性能与断面大小有关。在这两种材料之间，作一番比较，是很困难的，因为涉及的因素颇多，确切地说，只能对普通铁素体钢和普通铁素体球铁，在性能上作一番比较。铁素体铸钢，和铁素体球铁一样，屈服强度和抗拉强度几乎不受缓冷的影响，延伸率、断面收缩率和缺口冲击韧性下降。与球铁相比，这些塑性性能，仍以铸钢略优，虽然屈服强度和断面抗拉强度略低。

大断面球铁铸件应用举例

图8~15表示了在实践中已被证明使用良好的一些大型球铁铸件。

实例证明，球墨铸铁这种新材料，用于大断面零件中，仍然可以得到令人满意的性能。进一步的要求，仍在不断提高，特别是强度。在提高使用性能的同时，改善其铸造性能，将为此种材料扩大使用创造条件。

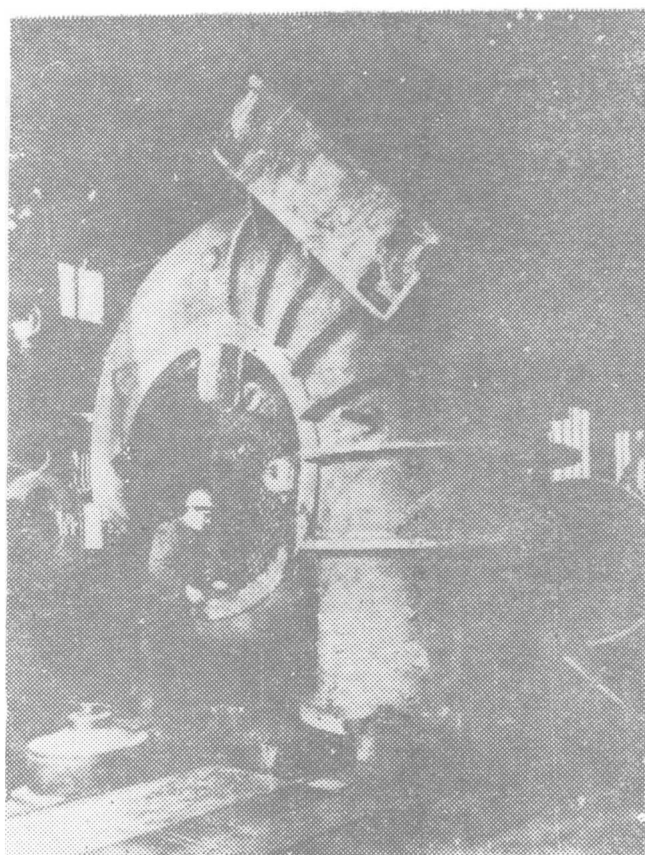


图8 铁素体球铁的水泵壳体，重13.5吨

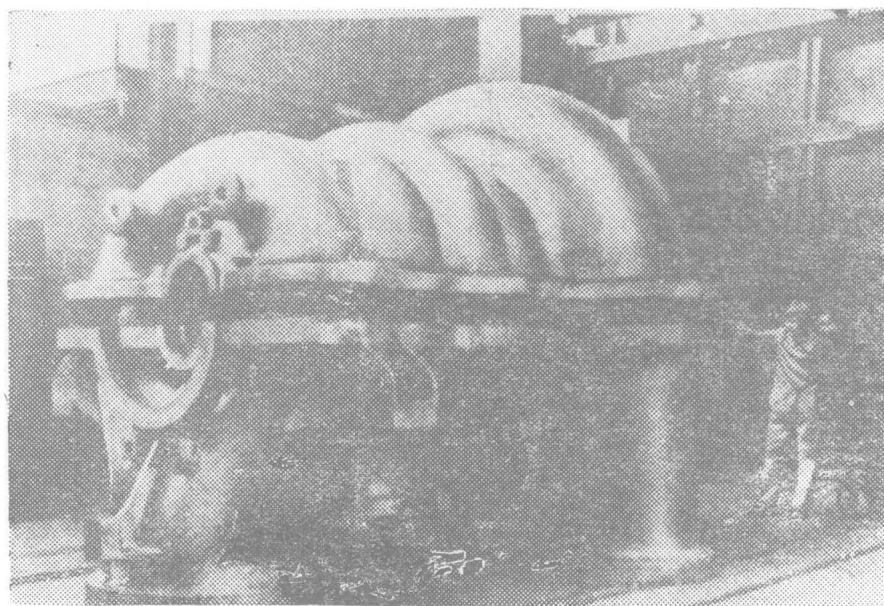


图9 铁素体球铁的离心式压缩机的上下壳体

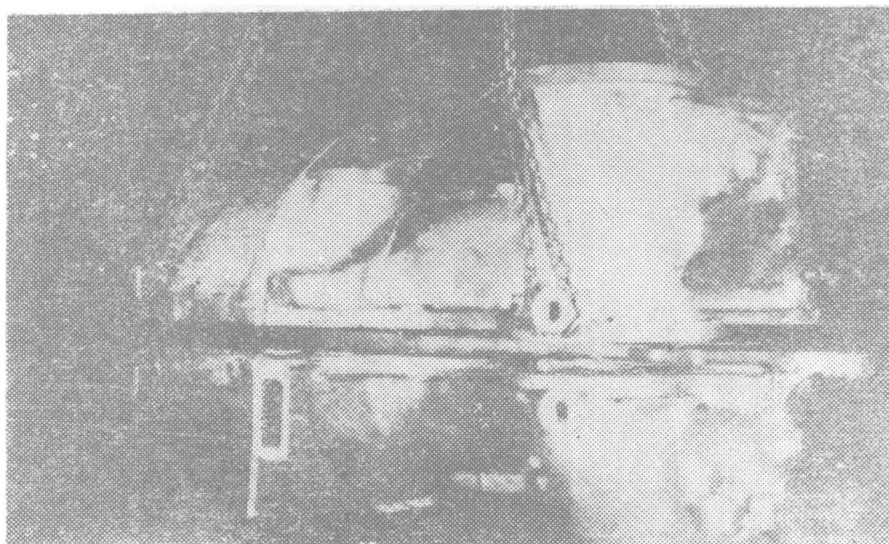


图10 铁素体球铁的燃气轮机外壳，总重21吨

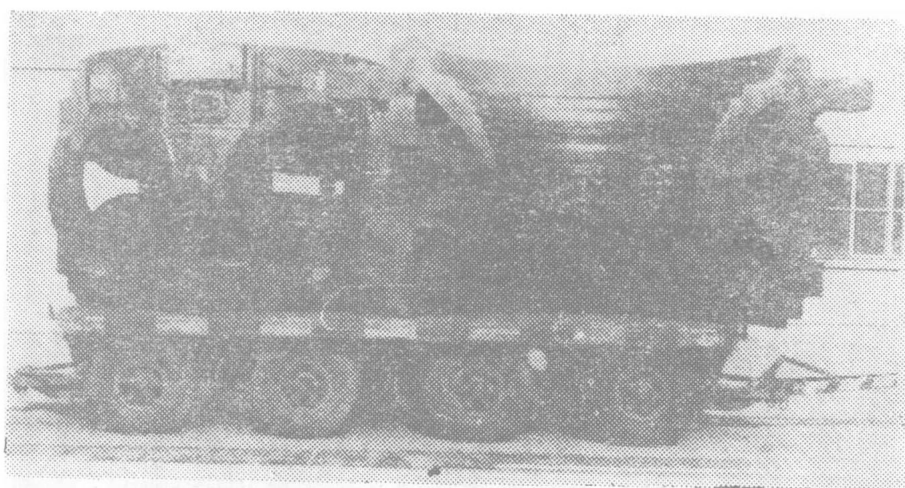


图11 铁素体球铁的汽轮机定子外壳，总重37吨

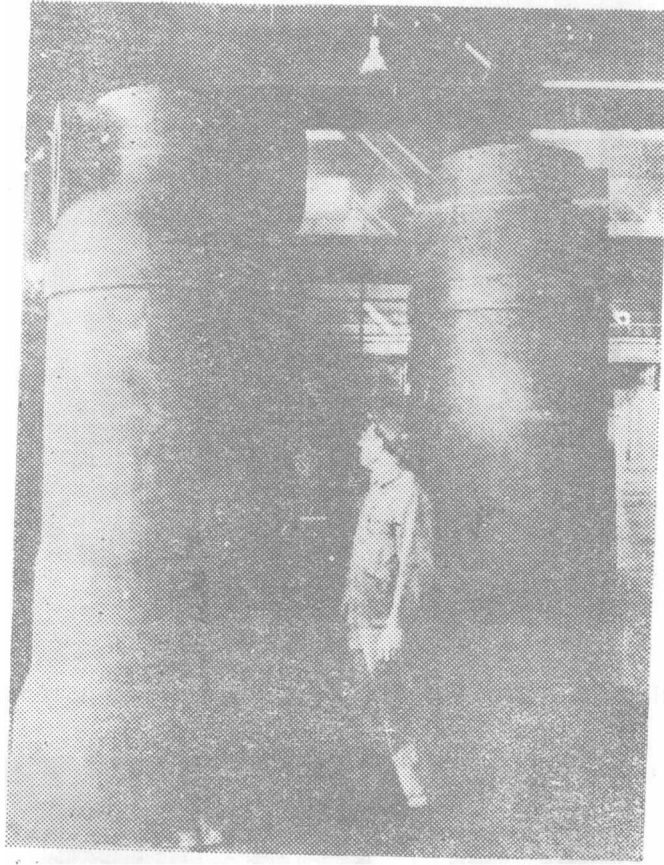


图12 铁素体球铁的缸套，重11.9吨

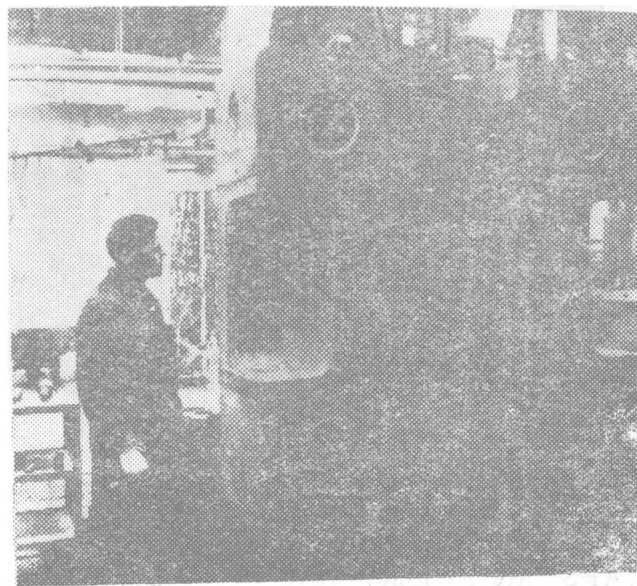


图13 铁素体球铁的塑料压力机的移动部分，重11.2吨

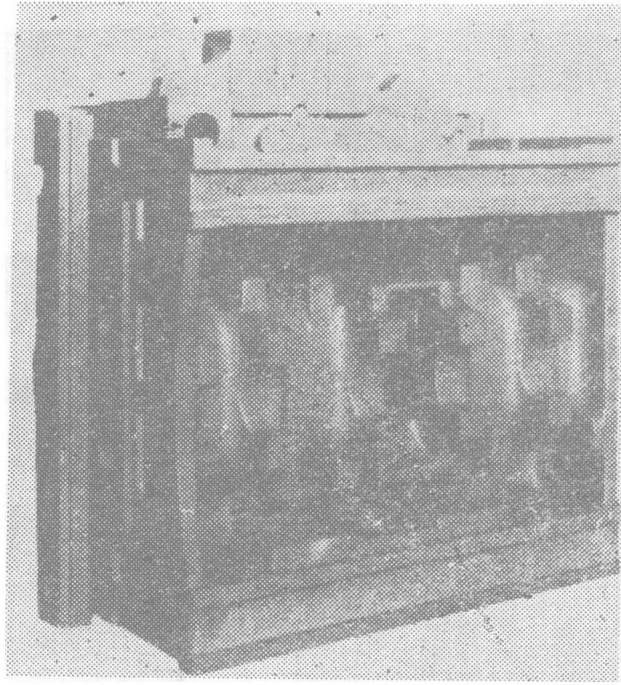


图14 珠光体球铁的卡片压制机的移动平台，重10吨

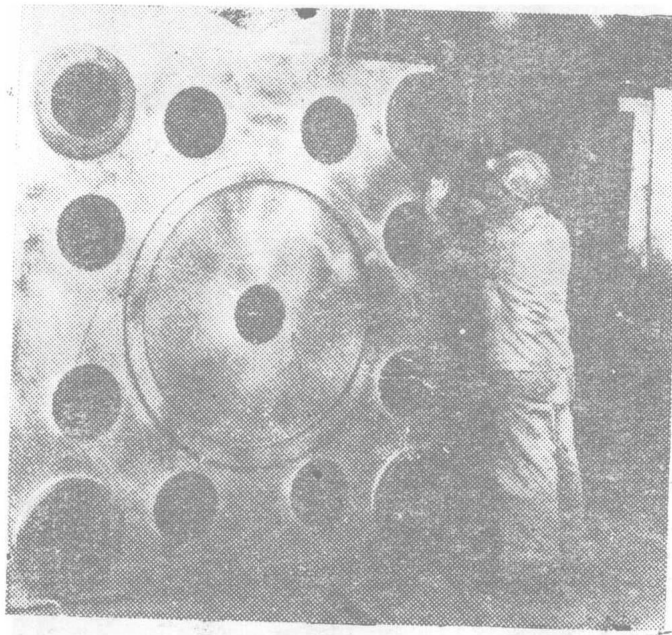


图15 珠光体球铁的塑料压力机的板，重12吨

参考文献22种，略

吴重庆 译自《AFS International Cast Metals Journal》, Vol.1 (1976), No.4,
P21~27