

**Высоко-
качественные
ЧУГУНЫ**
для отливок

高质量铸铁

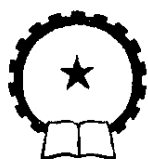
[苏] Н.Н.阿列克赛得罗夫 主编

高质量铸铁

〔苏〕H.H.阿列克赛得罗夫 主编

王·金·华 译

李 达 校



机械工业出版社

本书叙述了国内外有关感应电炉熔化铸铁的研究成果，阐明了提高铸铁质量在熔炼方面的优化方案，比较了不同方法熔炼的铸铁之特点，研究了铸件凝固时结晶和组织形成的过程，总结了生产机械性能高、使用性能好的铸铁件的经验。

本书可供铸造工程技术人员参考。

Высококачественные чугуны для Отливок

Под редакцией д-ра техн наук

Н.Н.Александрова

МОСКВА «МАШИНОСТРОЕНИЕ», 1982

• • •
高质量铸铁

〔苏〕Н.Н.阿列克赛得罗夫 主编

王金华 译

李 达 校

•
机械工业出版社出版（北京阜成门外百万庄南里一号）

（北京市书刊出版业营业许可证出字第117号）

中国农业机械出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

•
开本 850×1168 1/32·印张 7 ·字数 183 千字

1986年12月北京第一版·1986年12月北京第一次印刷

印数 00,001—00,000 ·定价2.10元

•
统一书号：15033·6482

译 者 的 话

铸铁由于具有一系列的优点，在机械制造业中一直占有重要的位置。随着对机械产品质量要求的不断提高，对高质量铸铁铸件的需求量越来越大。本书从熔炼、变质处理、合金化等各方面，理论结合实际地介绍了苏联及其他一些国家，生产高质量铸铁铸件的成功经验与研究成果。重点突出，内容丰富、具体，便于借鉴，是一本有实用价值的参考书。

在我国，对铸铁件质量要求较高的机械制造部门，采用电炉熔化铸铁，生产高质灰铸铁、球墨铸铁、蠕墨铸铁的工厂也越来越多，而有关这方面内容的书籍尚少，因此本书对从事这方面工作的铸造技术人员将有一定的帮助。

本书刊出后，承蒙太原工业大学李达副教授进行了认真的校阅，在此表示衷心的感谢。

绪 言

苏共二十六大对机械制造业提出的任务是不断地研制与采用新的结构材料，改进现有结构材料和拟定由这些材料制造重要零件的先进工艺。

当前，现代机器和设备零件的45%以上（按重量计）是用铸造方法生产毛坯的，其中75%是铸铁件。

技术发展的预测指出，在不久的将来，机械制造业中铸铁件的生产和需要量将占据主要位置，因为在经济性和综合性能方面，与其他铸造合金相比，铸铁具有无可争议的优点。

铸铁件质量的提高对于近代机器制造的所有部门都具有头等重要的意义，因为这将延长零件使用寿命，降低金属消耗量，减少铸件需要量。

提高铸铁件质量是个综合性的问题，它包含下列一些环节：炉料的选择和准备，熔化过程的合理化，制定控制铸铁件结晶和组织形成的方法。

大量采用电炉熔炼铸铁的工业方针，不仅将使我国的铸造生产提高到一个崭新阶段，而且由于急剧增加具有各种石墨形状的高质量合金化的铸铁的比重，将真正改善铸铁的组织。

近年来，很多研究令人信服地表明：用各种添加物对液态原铁水进行变质处理的工艺，是提高铸铁物理-机械性能和使用性能最有效的手段，变质处理既改变了石墨的形状和分布，也影响了基体金属的结晶和组织形成的过程。

感应电炉和电弧炉熔炼铸铁时，由于能对铁水进行预处理（精炼、热时效处理等）和进行变质处理和微合金化等工艺过程创造最有利的条件，因此，它们便成了获得高质量铸铁工艺中必需的和重要的一环。

广泛采用和不断改进熔炼方法（如等离子熔炼与感应电炉相

结合)、变质处理、合金化和热处理等便能稳定地满足近代工程技术对各种石墨形态铸铁件在强度、使用性能、工艺性能等方面提出的广泛的综合要求。

在进一步提高铸铁件质量和降低金属消耗量方面，新型的蠕墨高强度铸铁是特别令人感兴趣的材料，它的综合物理-机械性能和工艺性能，使其成为适用于各种用途的很有发展前途的结构材料。蠕墨铸铁的变质处理工艺稳定，铸造性能优良，使其能生产高质量的复杂形状的薄壁和厚壁铸件，重量从几公斤到几吨。

球墨铸铁就其物理-机械性能和使用性能综合来说，是机械制造业中很宝贵的材料。在我国进一步增加球墨铸铁件的产量，其中包括代替铸钢件与锻钢件，这是铸造生产的最迫切的任务之一。

顺利地解决这个问题与进一步完善球墨铸铁生产工艺有关，而这首先要研制具有很好变质效果及稳定性的变质剂，简化变质剂加到铁水中的方法，减少劳动量和改善劳动条件。

目 录

绪 言

第一章	获得高质量铁水的理论基础	1
1.1	各种近代熔炼铸铁方法的合理应用范围	1
1.2	铸铁熔炼工艺	6
1.3	获得高质量铸铁的基本原理	11
1.4	炉料的熔化和溶解	20
1.5	熔炼过程中各个组元的氧化和还原	24
1.6	非金属夹杂物的形成和组成	36
1.7	铸铁的精炼	40
1.8	等离子—感应电炉熔炼铸铁	42
1.9	铸铁质量的近代检验方法	50
第二章	铸态组织的形成过程	59
2.1	各因素对一次结晶过程的影响	59
2.2	高质量铸铁铸件中的基本转变	79
2.3	获得具有给定基体组织的铸铁件方面的主要动向	91
第三章	灰铸铁件的性能	94
3.1	孕育处理	94
3.2	合金化	105
3.3	应用	117
3.4	铸铁件的主要缺陷及其防止方法	130
第四章	高强度铸铁的性能	141
4.1	球墨铸铁的制造方法和性能	141
4.2	生产大型球墨铸铁件的特点	159
4.3	球墨铸铁的应用	167
4.4	蠕墨铸铁的生产方法和性能	187
4.5	蠕墨铸铁的应用	202
	参考文献	214

第一章 获得高质量铁水的理论基础

采用近代铸造工艺是保证铸件具有优良组织的必要条件之一，而熔炼液态金属是铸件生产过程的一个主要环节。正确地选择熔炼工艺，灵活地应用冶金措施对液态金属的作用，对提高铸铁件质量具有极重要的影响。现有的熔炼设备和工艺，在熔炼过程中对提高液态金属质量，可能产生的影响是有差别的。从这一点来看，用各种电炉熔炼金属的工艺是最富有成效的。本章将阐述用单炉和双联法电炉熔炼铁水的工艺特点及主要优点。

1.1 各种近代熔炼铸铁方法的合理应用范围

选择熔炼方法和设备要考虑下列一系列的因素：金属质量，原材料资源，能源种类，经济性等。最广泛采用的熔炼各种铸铁的方法列于表1.1。

各种感应电炉和混铁炉的主要系列见表 1.2，熔炼铸铁的主要设备的特性比较见表1.3。

表 1.1 熔炼铸铁的设备

熔炼设备	铸 铁					附 注
	灰 铸 铁	可 锻 铸 铁	高 强 度 铸 铁	特 种 铸 铁		
	CY10, CY40 CY18 以上					
单 炉 法						
无芯感应电炉	—	+	+	+	+	优质炉料
双 联 法						
无芯感应电炉- 有芯感应混铁炉	—	+	+	+	+	优质炉料
无芯感应电炉- 无芯感应混铁炉	—	+	+	+	+	优质炉料
电弧炉-有芯感 应混铁炉	—	+	+	+	+	无优质炉料

(续)

熔炼设备	铸 铁					附 注
	灰 铸 铁		可锻铸铁	高 强 度 铸 铁	特 种 铸 铁	
	СЧ10, СЧ18	СЧ40 以上				
电弧炉-无芯感应混铁炉	—	+	+	+	+	无优质炉料
冲天炉-电弧炉	—	—	—	+	—	生铁锭
冲天炉-有芯感应混铁炉	+	—	+	—	—	无优质炉料
冲天炉-无芯感应混铁炉	+	+	+	—	+	在混铁炉中可加入固态炉料20%
冲天炉-无芯感应电炉	+	+	+	—	+	在感应电炉中加入固态炉料30%以上
高炉-无芯感应电炉	—	+	+	+	—	生铁锭①
高炉-无芯感应混铁炉	+	+	+	+	+	在混铁炉中可加入固态炉料20%

注：+表示可采用；—表示不可采用。

① 原文如此。——校者注

表 1.2 铸铁熔炼设备的规格 (全苏电炉科学研究所资料)

熔炼设备	炉子容量 (t)	变压器(交流器)功率 (kW)	电流频率 (Hz)	计算熔化速度(过热100℃) (t/h)
无 芯 感 应 电 炉				
ИЧТ-1.0	1	400	50	0.6
ИЧТ-2.5	2.5	1000		1.7
ИЧТ-6.0	6	1600		2.7
ИЧТ-10	10	2500		2.4
ИЧТ-21	21	5600		11.3
ИЧТ-31	31	7100		14.2
ИЧТ-60	60	20000		33.6
ИСТ-1	1	800	1000	1.4
ИСТ-2.5	2.5	2400	500	3.5
ИСТ-6	6	2400	500	4.0
无 芯 感 应 混 铁 炉				
ИЧТМ-1	1	180		2.8
ИЧТМ-2.5	2.5	400		4.2

(续)

熔炼设备	炉子容量 (t)	变压器(变流器)功率 (kW)	电流频率 (Hz)	计算熔化速度(过热100℃) (t/h)
ИЧТМ-6	6	400	50	7.0
ИЧТМ-10	10	1000		17.6
ИЧТМ-16	16	1600		23
有 芯 感 应 混 铁 炉				
ИЧКМ-2.5	2.5	—	50	7
ИЧКМ-4	4	—		14
ИЧКМ-6	6	—		14
ИЧКМ-10	10	500/1000		29
ИЧКМ-16	16	500/1000		29
ИЧКМ-25	25	1000/2000		55
ИЧКМ-40	40	1000/2000		55
ИЧКМ-60	60	2000/4000		115
ИЧКМ-100	100	2000/4000	115	

注：10t和10t以上的有芯感应混铁炉按变压器功率有两种型号。

表 1.3 主要铸铁熔炼设备技术指标的比较

技 术 指 标	密封式水冷冲天炉	无芯感应电炉		电弧炉
		中 频	工 频	
能量消耗(每吨液态金属) (kW/h)	小于150kg焦炭	小于700	小于700	小于600
热效率				
总的	0.30~0.40	0.70	0.62~0.68	0.55
用于熔化	0.40~0.60	0.60	0.50	0.60~0.70
用于过热	0.05~0.07	0.69~0.74	0.65~0.70	0.25
金属的总烧损量 (%)	7	2~3	2~3	5
炉渣量 (kg/t)	100~120	10~15	10~15	70~90
废气中含尘量 (kg/t)	10~18	0.3	0.3~0.35	5~10
烟气排出量 (m³/t)	小于1000	小于30	小于30	小于60
噪声声压级 (dB)	小于80	小于70	小于70	小于90
温度控制 (在一定温度下保温)	受限制	能控制 (装料时)	能控制 (装料时)	能控制
不合标准的返回金 属料利用情况	受限制	受限制	受限制	能利用
出铁情况	连续	间断	间断	间断

能否利用便宜的炉料是选择熔炼设备时要考虑的重要指标,采用哪一种熔炼方法,首先应根据原材料资源变化的前景来决定。目前,主要原材料的成本和能源消耗约占铁水成本的60%。今后,原材料在总成本中所占的比例还将逐步增加,而能源费用将逐步下降,各种熔炼方法的经济性只取决于是否能广泛采用容易得到的便宜的原材料,从另一方面来看,熔炼设备的选择决定于产品最终质量的要求与生产的稳定性。

近代的铸铁生产应着眼于利用碎小的轻质金属废料、高炉铁水、废钢铁、炼钢生铁等,因为在黑色冶金工业中生产铸造生铁是不经济的。

在铸造生产中,随着电炉熔炼铸铁的应用,在炉料组成中,碎小的轻质金属废料,特别是钢板切割碎料有增加的趋势。最好的办法是在产生金属炉料处直接作相应的加工,以适合熔炼的需要。

在铸造生产的动力资源利用方面,应当注意到这样一个总趋势:电能的比例在增加,气体燃料的增长不大,固体燃料不断减少。

比较铸造车间不同熔炼方法能量消耗的资料表明:甚至在采用同样的熔化工艺和设备的情况下,电能消耗也不是一样的(表1.4),因此,对这一种或那一种熔炼方法在能量消耗方面的评价是有不同的。所以,令人感兴趣的是将各种熔炼方法的能量消耗折合成标准燃料单位来进行比较。其中应考虑熔炼铸铁时,获得所用的工业燃料或电能所消耗的总能量,表1.4中提供了各种熔炼方法折合成标准燃料的能量消耗量。众所周知,在高温炼焦时,出焦率是70~72%,因此将焦炭折合成标准燃料时消耗系数是1.4,生产1kW.h电所消耗的标准燃料是0.342kg。

约500℃预热送风的焦炭冲天炉和焦炉煤气冲天炉的焦炭消耗量,单炉法按出铁温度在1460~1480℃范围,双联法按出铁温度不超过1400℃来考虑;在电炉中熔炼铸铁时,电能的消耗是按金属液过热到1480~1500℃考虑。比较所得的资料表明:在单炉法的情况下,以能量消耗而论,电弧炉是最经济的设备,无芯感应电炉和冲天炉的能源消耗大致相同。

表 1.4 熔炼1t铸铁折合成标准燃料的能量消耗

	单 炉			法			双 联			法					
	焦炭冲天炉	焦炉煤气冲天炉	无芯感应电炉	电 弧 炉	容 量 (t)	生 产 率 (t/h)	焦炭冲天炉—— 有芯感应混铁炉	焦炭煤气冲天 炉——有芯感应 混铁炉	无芯感应立 电炉——有芯感 应混铁炉	电弧炉—— 有芯感应 混铁炉	高炉—— 有芯感应 混铁炉				
	生 产 率 (t/h)						4.0~ 6.0	25~ 30	4.0~ 6.0	25~ 30	4.4 26	5 25	—		
	4.0~6.0	25~30	4.0~6.0	25~30										4.0~6.0	25~30
	前——种熔炉的生产率 (t/h)														
熔炼1t铁水的燃 料与电能的消耗	约150	130	约120	约90	—	—	约100	约90	约70	约50	—	—	—		
	—	—	25	25	—	—	—	—	25	25	—	—	—		
	12	12	12	12	—	—	12	12	12	12	—	—	—		
	—	—	—	—	520	650	50	50	50	50	350	100			
	12	12	12	12	—	—	12	12	12	50	50	50			
燃料消耗 焦炭(冲天炉用) (kg)	244	216	219	177	178	220	186	162	164	116	257	197	205		

高炉—有芯感应电炉双联法是最合理和最有效的方法，因为它能利用高炉铁水，只需要消耗最少的能源就可以将其精炼成杂质含量低的高质量铸铁。

从节能角度来看，焦炭冲天炉—有芯感应混铁炉、焦炉煤气冲天炉—有芯感应混铁炉以及电弧炉—有芯感应混铁炉等双联法比无芯感应电炉—有芯感应混铁炉要经济。

设置生产率约为 5t/h 的感应电炉所需的基本建设投资，与同样生产率的带有热风和气体净化装置的冲天炉相等。当熔炉的容量比较大时，设置感应电炉的投资比冲天炉高，但是在所有情况下，感应电炉是比较经济的，因为它的折算费用低 10~13%。

对感应电炉熔炼工艺规程的研究表明，在炉中经常保持有不少于炉体容量 50% 的铁水，可以降低电能消耗和提高效率。将炉料预热到 500~600℃ 也能减少 20~25% 的电能消耗，同时还能提高熔炉的生产率。此外，在炉料熔化期间应当尽可能采用最大的功率。感应电炉装料应当按下列顺序：增碳剂、废钢、废铁、返回钢和铁合金。所有这一切都有可能将能量消耗降到最低。

1.2 铸铁熔炼工艺

单炉法 这种方法只是在一个熔炉中熔炼铸铁。用电炉熔炼铸铁，容易采取冶金工艺措施对铁水施加影响。

感应电炉熔炼 感应电炉是通过直接在金属炉料中产生的感应电流加热金属炉料，这就避免了各种有害杂质和气体更多的污染铁水。工频感应电炉中存留着铁水，加料时金属炉料直接落到铁水中，这样就可采用诸如电工钢废料、切屑、金属轧压切头等轻质废料，元素烧损也比较少。感应电炉的主要优点是炉料中可以完全不用铸造生铁、焦炭和熔剂。元素的总烧损量通常比其他熔炉小 2~3%，仅当炉料组成中加入大量锈蚀的金属废料时，烧损才增加。

无芯感应电炉熔炼铸铁能保证得到任意的化学成分，能在炉内进行变质处理和将铁水加热到任意规定的温度。从能量观点

来看,这些熔炉最接近于平衡(炉料熔化期和铁水过热期效率足够高)。无芯感应电炉的能量和材料平衡可以精确地计算和控制,这样,很容易实现其熔炼过程的自动化。显著减少各种有害气体和杂质的污染也是无芯感应电炉的一项主要优点。

无芯感应电炉熔炼铸铁,除有上述优点外,也有其不足之处,其中包括投资大,能量消耗增加。工艺方面的缺点是周期性出铁,对于工频感应电炉,由于熔池内金属液在激烈的电磁搅拌下有飞溅出炉外的危险,因此,单位输入功率受到了限制。

有时也采用竖井式有芯感应电炉作为熔炼设备,它具有较高的效率(83~85%)和功率因素。这种炉子的输入功率和它的生产率几乎是同样容量无芯感应电炉的2倍多。但是有芯感应电炉由于对金属液的电磁搅拌作用小,其冶金效果比无芯感应电炉要弱。此外,它也难以熔炼多种牌号的铸铁。因此一般用作双联法中的第二台熔炼设备。

电弧炉熔炼 电弧炉在熔化期具有较高的效率(60~70%)和使用的可靠性,它在冶金和动力方面的特点使它能利用带很多铁锈和非金属夹杂物的大块重型金属废料。同时应当指出,由于金属熔池搅拌较弱和电弧区温度很高,电弧炉内的金属液增碳较困难。此外,碳的烧损比感应电炉要高,并且随着所添加的增碳剂的增加,碳的烧损也增加。将增碳剂装到炉底金属料下面时,碳的烧损最严重,这样装料,炉料熔化后碳的吸收率是40~50%。而在金属液过热到1500℃,保温30~40min的情况下,碳的吸收率可达55~60%。

将炉料(包括增碳剂)装入上一炉留下来的液态金属中,碳、硅的吸收率最稳定。当炉料中废钢量增加到40%时,碳的吸收率是75~80%,硅的烧损是7~10%,锰的烧损是15~20%。

在电弧炉中能通过精炼消除反变质(反球化、蠕化)元素,获得可以生产高强度铸铁(球墨铸铁、蠕墨铸铁)的高质量铁水。电弧炉的缺点是:金属局部过热和金属液被气体,特别是氮和氢所饱和;周期性出铁;噪声大,有害气体多;温度高,元素烧损

比感应电炉大；金属液过热的效率低（25%）等。

双联法 目前，在熔炼高质量铁水方面已经采用，而且有加速发展双联法的趋势。熔炼片状石墨铸铁主要采用冲天炉—电炉双联法；熔炼合金铸铁和高强度铸铁主要采用电炉—电炉双联法。而高炉—电炉双联法生产各种铸铁件是最有发展前途和最经济的。

无芯感应电炉—有芯或无芯感应混铁炉双联法 这种双联法用于大量生产，因为它能存贮较多的铁水，保持铁水化学成分长时间稳定，可用于自动线上连续浇注。两台感应电炉配套装置能保证较高的效率，其中第一台感应电炉承担熔化和精炼（调整化学成分），第二台感应电炉用于存贮和使铁水在一定的温度下出炉。

电弧炉—无芯或有芯感应电炉双联法 在近代化的大型铸造车间，采用这种配套装置，电弧炉由于在熔化期效率高，主要用作熔化炉料的第一台设备，金属液的过热和保温，以及碳、硅等化学成分的调整在感应电炉中进行。电弧炉熔炼出的含碳量2.5~2.7%、含硅量不超过1.3~1.5%的铁水，可以在感应电炉中比较方便地通过调整碳、硅含量，熔炼出各种牌号的铸铁，同时降低了这些元素的烧损量，因为在感应电炉中它们的吸收率比在电弧炉中要高。采用这种双联法时，每吨铁水的电能消耗比工频感应电炉低15~20%。

也有用电弧炉作为双联法中第二台设备的实例，在这种情况下，熔化炉料在感应电炉中进行，而电弧炉用作铁水过热和在高碱度渣下进一步脱硫。应当看到，采用电弧炉作为第二台设备是不合理的，因为它过热金属液的效率不超过25%，同时降低总的生产率。根据国外企业的资料，对于各种生产规模，用电弧炉—有芯感应电炉双联法的基本投资，比带预热炉料装置的无芯感应电炉少14%，比无预热炉料装置的少20%。

熔化各种劣质的金属炉料，采用电弧炉—感应电炉双联法能获得最佳的效果。因此，这类双联法最好用于大量采用劣质金属

废料的场合。

冲天炉—有芯或无芯感应电炉双联法 这种方法在国外（美国、西德）得到最广泛的采用，而且出现下列明显的发展趋势：

采用带有净化和热风（温度达600℃或600℃以上）装置的大容量的水冷冲天炉；

仅在双联法中，和电炉配套才选用冲天炉；

用金属废料代替生铁锭；

工艺过程全盘机械化与自动化。

在很多情况下，冲天炉作为独立的设备不能保证得到优质铸铁，冲天炉铸铁的化学成分波动范围，由于铸造车间不同，大致在这样一个范围内变化：C0.06~0.14%，Si0.14~0.2%，Cr0.015~0.05%，Mn0.1~0.13%（表1.5）。由于其他各种因素的影响，化学成分上的这些偏差使得铸件机械性能指标的分散度增大，并且出现白口（图1.1a和б）。

表 1.5 汽车拖拉机厂各种工艺流程熔炼出的CЧ25铸铁
化学成分的标准偏差值(%)

熔炼设备	C	Si	Mn		Cr		Ni
			<0.75	>0.75	<0.15	>0.15	
冲天炉 (单炉法)	0.07~ 0.14	0.14~ 0.20	0.04~ 0.07	0.10~ 0.13	0.015~ 0.025	0.025~ 0.05	0.02~ 0.03
冲天炉-电弧炉 (Z<0.5)	0.07~ 0.14	0.12~ 0.16	0.04~ 0.06	—	—	0.02~ 0.04	0.02~ 0.03
冲天炉-有芯感应 混铁炉 (Z>2)	0.04~ 0.05	0.1~ 0.12	0.02~ 0.03	—	—	0.01~ 0.015	—
电弧炉-无芯 感应混铁炉	0.035	0.08	0.026	—	—	0.02	—
无芯感应电 炉-有芯感应 混铁炉	0.04	0.04	0.026	—	—	0.02	—

冲天炉—感应电炉双联法，不仅保证了铁水化学成分，而且保证其温度稳定。有混铁炉的情况下，碳和硅含量的稳定程度与比值 $Z=q/Q$ （q—冲天炉生产率，t/h；Q—混铁炉容量，t）的关

系示于图1.1a, 此图是对生产中各炉次进行统计处理的结果, 曲线的计算公式为 $K = \sqrt{2Z+1}$ 。为了获得最稳定的结果, 混铁炉的容量应比熔炉 (冲天炉) 的生产率高1~1.5倍。采用这样的双联法, 能平衡协调铸造车间造型和熔化工段的工作。依靠比较有效的变质处理和合金化还能进一步提高铸件的质量。

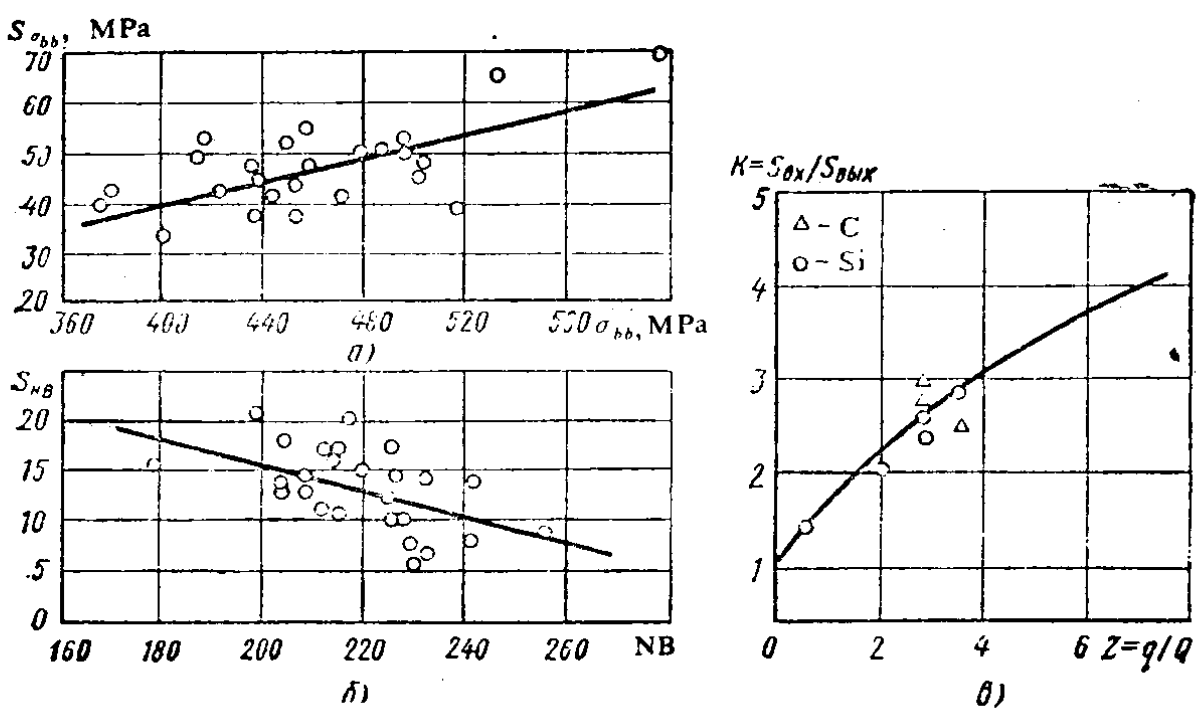


图1.1 抗弯强度(a)和硬度(б)与平均值的标准偏差,
混铁炉容量对铸铁化学成分稳定性的影响(в)

为了得到不同牌号的铸铁, 在第二台熔炉中可添加数量小于铁水量20%的炉料。在这种情况下, 作为第二台熔炉最好采用无芯感应混铁炉。当用两台容量是冲天炉生产率1.5~1.8倍的无芯感应混铁炉时, 这样的双联法具有最佳的工艺配合。此时, 无芯感应电炉应按这样的方式依次工作: 一台在装料, 另一台在出铁。

高炉—感应电炉双联法 高炉—感应电炉是最合理和最有效的双联法, 它能利用含杂质少, 能量消耗最少的高炉铁水。这种双联法不仅在冶金工厂, 而且在机械制造厂应用也日益广泛, 后者所需的高炉铁水是通过长距离运输而来 (例如在美国, 运输距离可长达400km)。