

铁液中加废钢对灰铸铁组织和强度的影响

西安交通大学(陕西省西安市 710049) 上官 宝 方 亮
第一拖拉机工程机械公司 龚出群 赵志康

摘 要 研究表明,在高碳当量铁液中加废钢,可以明显提高灰铸铁基体中 D 型石墨及初生奥氏体数量,降低最低共晶转变温度,减小石墨尺寸。可获得高碳当量、高强度灰铸铁,从而提高铸铁的机械性能。通过对拖拉机飞轮铸件进行生产验证,本体机械性能由 σ_b 200 MPa 提高到 σ_b 218 MPa,大大降低了生产成本。

关键词: 灰铸铁 强度 废钢

Effect of Adding Steel Scrap into Liquid Iron in Ladle on the Tensile Strength and Microstructures of Gray Iron

Shangguan Bao Fang Liang

(Xian Jiaotong University)

Gong chuqun Zhao Zhikang

(Chinese First Tractor and Machinery Corporation)

Abstract In order to satisfy the needs of mechanized production in foundry, it has been paid much attention to obtain gray iron with high tensile strength with high carbon equivalent. On this ground, a method is proposed by which steel scraps are added into liquid iron to increase the tensile strength of gray iron with high CE melt. It can be concluded that the increase of tensile strength is attributed to the increase of type D flak graphite and primary austenite in the matrix after the steel scrap treatment. It is also found that the size of flak graphite is decreased and the minimum transformation temperature for eutectic also decreased in the mean while. It has been approved by production applications that tensile strength of flywheel body itself for tractor can be increased from σ_b 200 MPa to σ_b 218 MPa with 4.0 % CE, and the production cost can also be remarkably reduced.

Key words: Gray iron Tensile strength Steel scraps

不少铸造厂要在同一个生产班次、炉次或同一台保温炉、同一条造型线上,生产多个品种、牌号及不同壁厚的灰铸铁件,从而给生产的组织管理和质量控制带来很大不便。人们曾提出过许多对炉前铁液进行处理的办法,以图实现多品种精益化的要求。加入合金元素虽有较好的效果及一定的灵活性,但在壁厚相差悬殊的情况下,仍难达到满意的效果。

第一拖拉机工程机械公司第二铸铁厂通过对高碳当量铁液在炉前大包中加废钢进行处理后,使原本用于生产薄壁高性能复杂铸铁件(缸盖、机体等)的 HT250 铁液,用来浇注厚壁(20 ~ 67 mm)的飞轮铸件,本体石墨明显细化,强度、硬度得到提高,在取消铜、铬合金化的条件下,稳定地达到了技术指标要求。从 1986 年到现在,已生产出 2 500 吨以上数量达 6 万件的合格飞轮铸件,简便而有效地满足了冲天炉与一台大型保温电炉双联时,生产多个品种灰铸铁的要求,从而为一种铁水经处理后用于不同牌号的铸件生

产开辟了一条新的途径,使生产的组织具有更大的灵活性。但对铁液加废钢后灰铁性能变化的研究还不够深入,加废钢处理能否成为强化灰铸铁的手段,人们还没有形成共识,因此有必要对铁液加废钢后灰铁的组织 and 性能的变化进行研究。本文对在高碳当量铁液中加废钢后灰铁性能的变化规律进行探讨,以求加废钢强化灰铸铁性能的可能性。

1 试验条件

采用 150 kg 中频感应电炉熔炼,炉前包内冲入废钢进行处理,所用废钢为 $D = 20\text{mm} \times 1\text{mm}$,表面光洁无锈,孕育剂为 SiFe75。试验所用合金成分,见表 1。

每炉浇注直径 $D = 30\text{ mm}$ 干型机械性能试棒,金相试样取自抗拉试棒。在光学显微镜下观察灰铸铁的金相组织。对初生奥氏体照片采用面积称量法测量初生奥氏体枝晶的数量。

表 1 试验用合金成分

Tab. 1 Chemical compositions of pig iron and steel scraps melted in induction furnace %

材料名称	C	Si	Mn	S	P	Cr	Cu
济源生铁	4.33	1.45	0.28	0.016	0.067	/	/
废 钢	0.15	0.15~0.3	0.5	<0.05	<0.05	/	/
冲熔废钢	0.17~0.3	0.17~0.37	0.45	0.04	0.035	<0.25	<0.25

2 试验结果与分析

对不同碳当量灰铸铁进行了加废钢试验。本文

仅对在高碳当量铁液中加入废钢后灰铸铁性能及组织的变化情况进行探讨,试验结果,见表 2。

2.1 加废钢后灰铸铁组织变化

2.1.1 加废钢后石墨形态和尺寸的变化

试验结果表明,在以基体为 A 型石墨的情况下,在铁液中加入废钢可显著增加基体中 D 型石墨的数量,随 D 型石墨的出现, A 型石墨的尺寸显著减小,见图 1 和表 2。

2.1.2 加废钢对初生奥氏体数量的影响

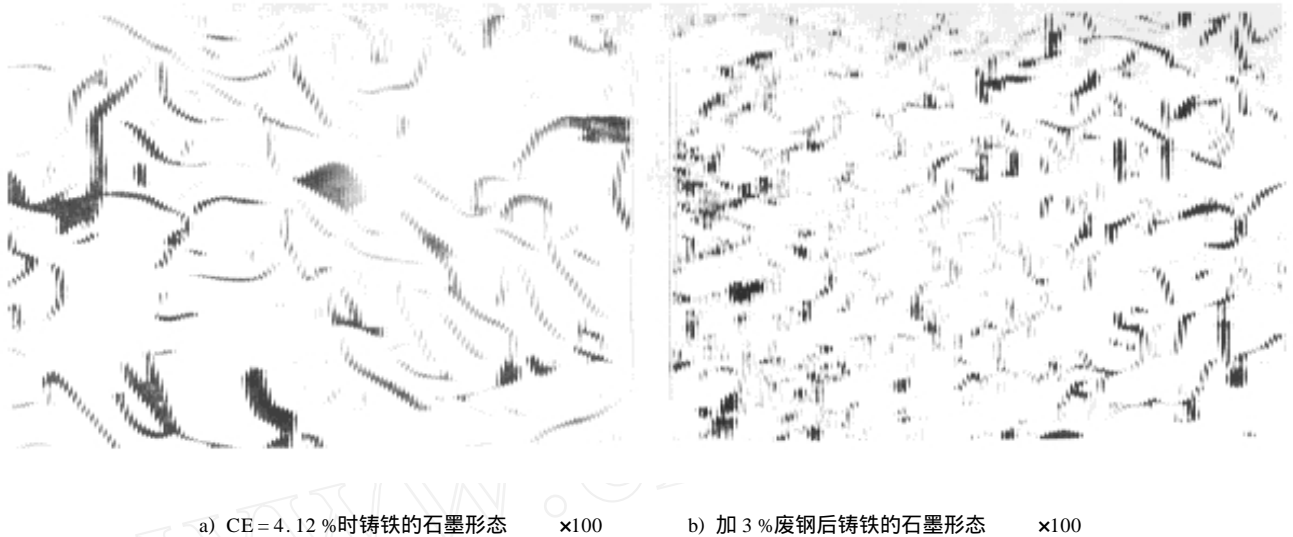


图 1 加 3 %废钢后石墨形态及尺寸变化

Fig. 1 The change of graphite morphology and sizes after 3 % steel scrap added

表 2 成分、组织和性能总表

Tab. 2 Compositions, Microstructures and mechanical properties of tested gray cast irons

编号	废钢加入量 %	孕育量 %	化学成分, %					石墨形态	石墨长度 μ	共晶团数 $\text{个}/\text{cm}^2$	珠光体量 %	枝晶数量	b MPa	HB	δ HB
			C	Si	Mn	S	P								
1 - 0	/	/	3.44	2.03	0.64	0.05	0.06	A + B	200	250	98	11	214	183	1.17
1 - 2	/	0.4		2.24				A + B	260	291	90		207	170	1.22
1 - 3	3	/	3.25	1.97	0.63	0.05	0.06	A + D	130	125	90	30	233	195	1.19
1 - 5	3	0.4		2.07				A	190	250	80		258	201	1.28
3 - 0	/	/	3.38	2.05	0.85	0.05	0.05	A + B	190	333	95		207	180	1.15
3 - 1	/	0.4						A	200	357	90		200	175	1.14
3 - 2	3	/	3.26	2.10	0.87	0.05	0.05	A + D	100	304	95		240	200	1.20
3 - 3	3	0.4						A	170	441	95		253	194	1.30

当铁液的碳当量较高时,加入废钢后初生奥氏体量增加显著。对照表 2 中 1 - 0 和 1 - 3 试样,加 3 % 废钢可使奥氏体数量由 11 % 增加至 30 %,表明在铁液中加入废钢能显著增加初生奥氏体的数量。加废钢前后初生奥氏体数量和形态的变化,见图 2。

2.2 加废钢对灰铸铁强度和孕育效果的影响

由表 2 可见,加废钢后灰铁的强度和孕育效果均

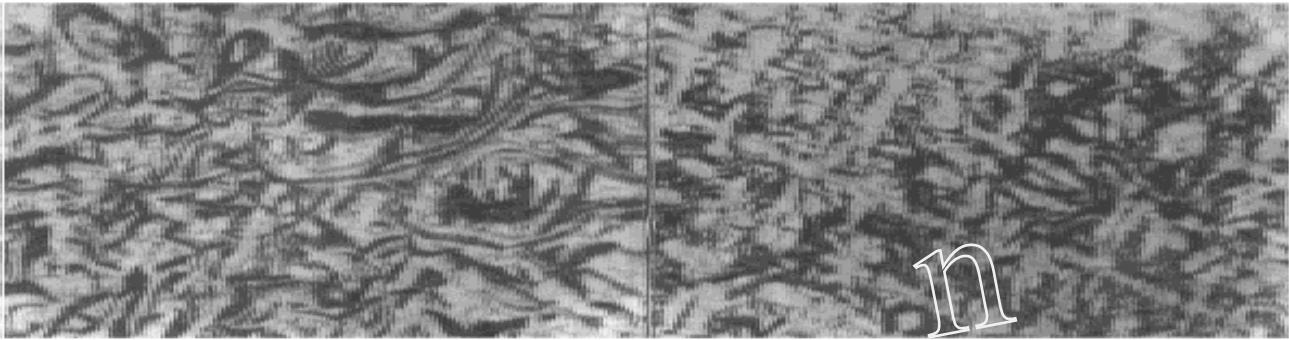
有提高,对比加废钢的 1 - 3、3 - 2 试样和原铁水 1 - 3、3 - 0 试样可知,加入 3 % 的废钢,灰铁的抗拉强度可增加 19 - 33 MPa。加废钢对灰铁孕育效果也有显著影响。对于铁液碳当量较高、石墨为 A 型的 1 - 0 和 3 - 0 试样,当用 SiFe75 孕育后,强度反而下降,但在原铁液中加入 3 % 废钢后再孕育,铸铁强度不仅不下降反而升高,强度可达 258 MPa 和 253 MPa,见表

2 中 1 - 5 和 3 - 3 试样 ,比单纯用 SiFe75 孕育的强度分别提高 51 MPa 和 53 MPa。这表明在高碳当量时铁液中加废钢可显著的提高灰铁的孕育效果。

铁液中加废钢后灰铸铁性能及孕育效果的提高 ,是由于铸铁组织的改变。因为 D 型石墨常伴生有较多的初生奥氏体且对基体的割裂作用小 ,因而 D 型石墨铸铁往往有较高的强度^[1,2] ,在高碳当量中 D 型石墨是更理想的石墨组织^[1]。铁液中加废钢后一方面组织中的 D 型石墨和初生奥氏体数量显著增加 ,从而使灰铸铁有较高的强度。另一方面 D 型石墨是

在较大的过冷度下形成的 ,加废钢后 D 型石墨量的增加使铁液具有良好的孕育条件 ,促使孕育后灰铸铁的强度进一步提高。从对金相组织的分析来看 ,加废钢后对铸铁的石墨形态、尺寸及初生奥氏体数量有较大影响 ,而石墨和初生奥氏体均是在一次结晶时析出的 ,因此在铁液中加废钢主要是对铸铁的一次结晶过程产生影响 ,使铸铁的凝固结晶发生了变化。

在铁液中形成固相晶核均要经过形核和长大的过程 ,晶核的形成需要一定的温度和浓度起伏 ,因此微区内的液相结构对晶核的形成至关重要。如微区



a) CE = 4.12 %时铸铁的初生奥氏体组织 ×40 b) 加 3 %废钢后铸铁的初生奥氏体组织 ×40

图 2 加 3 %废钢前后初生奥氏体数量和枝晶的变化

Fig. 2 Dendritic morphology and quantity after 3 % steel scraps added

的含碳量从 3.5 %降到 1.0 % ,这个微区就不需要冷却到含碳量在 3.5 %的液相线温度 1 240 ℃ ,只要冷却到含碳量 1 %时的液相线温度 1 460 ℃ 即可出现奥氏体枝晶^[3]。由于废钢的含碳量较低 ,在铁液中加入废钢后 ,废钢溶解会形成大量的低碳微区 ,受扩散条件所限 ,碳浓度达到整个液相内平衡需要有一定的时间 ,因而在液相中存在着碳含量从 0.2 % ~ 100 % 的碳浓度起伏 ,使铁液中局部贫碳 ;同时冷的废钢加入到铁液中 ,因两者温度相差悬殊而发生强烈的热交换 ,使熔化的“废钢”颗粒周围的金属液温度下降 ,造成较大的温度起伏。金属液中大量低碳微区的存在以及较大的温度起伏 ,使铁液凝固时在较高的温度下就析出奥氏体枝晶。表 3 为编号 1 试样在冷却曲线上特征点的温度变化。由于奥氏体的析出区间增大 ,初生奥氏体量增多。而低碳微区的形成 ,又阻碍了石墨的析出 ,使石墨的形核和长大受到抑制。因此石墨的析出依赖于温度的进一步下降和奥氏体枝晶的生长。在温度较低时 ,液相中的石墨达到了形核条件 ,而此时的过冷度较大 ,初生奥氏体枝晶发达 ,D 型石墨析出 ,在冷却曲线上表现为最低共晶转变温度 T_{eu}

的下降 ,见表 3。

表 3 加废钢后冷却曲线上特征点的温度变化

Tab. 3 Liquidus and minimum temperature of eutectic transformation after added steel scraps

碳当量 , %	原铁水		加 3 %废钢	
	T_l ,	T_{eu} ,	T_l ,	T_{eu} ,
4.12	1180	1148	1206	1136

T_l ——液相线温度

T_{eu} ——共晶转变时温度回升的最低温度

综上所述 ,加入废钢后形成大量的低碳微区和较大的温度起伏 ,使铸铁的一次结晶过程发生变化 ,初生奥氏体量增多 ,D 型石墨增加。采用废钢和孕育剂联合处理 ,能达到既控制初生奥氏体又控制共晶阶段的晶核的成核和长大的双重作用 ,这在理论上和生产应用上均有重要意义。

3 生产试验

在第一拖拉机工程机械公司第二铸铁厂进行生产试验。铸件为中等壁厚飞轮 ,其主要壁厚为 35 mm ,重量为 50 kg ,要求牌号为 HT250。

铁水由冲天炉—有芯电炉双联提供,炉前所用的冲熔废钢为 A3 钢板边角料。处理方式:将废钢加入浇包中,用包内余热对钢板进行烘烤,随后用工频炉铁水冲熔,出铁温度为 1 489 ,大包盛满铁水后上线浇注。浇注飞轮时均采用随流孕育。加废钢与原铁水浇注的飞轮性能比较,见表 4。

表 4 飞轮铸件性能比较

Tab. 4 Comparison of tensile proerties of flywheel body for different treatment techniques

处理	成 分 (%)					$D=30$ 试棒		本体性能		
	C	Si	Mn	Cr	Cu	$\frac{b}{MPa}$		$\frac{b}{MPa}$		心部 HB
						MPa	HB	表面 HB	HB	
原 铁 水	3.31	2.16	0.85	0.13	0.09	224	212	200	189	150
加 2 % 废 钢	3.27	2.10	0.85	0.13	0.09	240	226	218	198	165

注: $D=30$ mm 试棒未用硅铁孕育

由表 4 可以看出,加废钢后 $\phi 30$ 试棒和铸件本体性能均有所提高,铸件硬度增加,抗拉强度提高,本体石墨较原铁水细小。尤其是厚大的飞轮本体的抗拉强度增加了 18 MPa,提高幅度近 10 %,说明加废钢对灰铁性能的提高确有效果。对 1994、1995 两年生产的同型号飞轮进行统计分析,共统计硬度 204 个,化学成分 74 个数据,统计结果表明,在平均碳当量 $CE=3.86$ %时,飞轮铸件的表面硬度为 $HB=201$,这表明在较高的碳当量下,加废钢后生产的飞轮仍有较

高的表面硬度。

在铁液上加废钢生产厚壁飞轮是应用灰铁加废钢技术的一个成功例子。1986 年生产飞轮时,因铁水成分较高,飞轮表面硬度仅 HB148,加工后表面出现细小“针孔”,无法达到技术要求。采用加废钢后铸件石墨得到了细化,消除了石墨“针孔”,铸件的硬度及强度均得到保证,加工后铸件表面光洁。因此从 1986 年起,在飞轮的生产中均采用加废钢处理并取消了在包内加铬、铜的工艺,至今共生产飞轮 6 万余件,约 20 余个品种 2 500 余吨,抽查飞轮本体硬度 HB 均达到 180 以上,在机加工和使用过程中均未出现质量问题,取得了明显的经济效益。

4 结 论

(1) 在铁液上加废钢可明显提高灰铸铁基体中 D 型石墨的数量和初生奥氏体数量。加废钢能促进初生奥氏体的形核及长大。

(2) 生产试验表明在铁液中,加废钢可增加灰铁的强度和孕育效果,对生产厚大铸件尤为有利。在高碳当量下加废钢对孕育的提高尤为显著。

参考文献

1 范志康,王贻青. 铸造技术,1988(6),44~46
2 徐忠华. 铸造技术,1986(1),25~28
3 何 缘. 铸造技术,1988(9),5~9