

國外資料

球墨鑄鐵內非金屬夾雜物（黑點） 形成條件研究及其防范措施的制定

內部資料 注意保存



第一機械工業部

機械制造與工藝科學研究院譯制

1959.12.北京

главное управление
научно-исследовательских и проектных организаций
при Госплане СССР

蘇聯國家計劃委員會科學研
究及設計機構管理總局

(цниитмаш)

中央機器製造與工藝科學研究院

по научно-исследовательской работе

科學研究工作報告

по научно-исследовательской работе № 12—104

第12—104號科學研究工作報告

“исследование условий образования неметаллических включений
(“черных пятен”) в чугунах с паровидным графитом и
разработка мер борьбы с ними”

“球墨鑄鐵內非金屬夾雜物（黑點）
形成條件的研究及其防范措施的制定”

МОСКВА—1959

莫斯科—1959

簡 介

該項工作的提出及进行基于下述情况：在制造高强度球墨鑄鉄鑄件時，发现形成大量非金属夹杂物，它們在鑄件断口处聚結而形成特殊的缺陷，通常称之謂“黑斑”。

由于缺乏經過充分驗證的防范黑点的措施，故在生产条件下常难于获得良好鑄件。

該項工作的目的，便是研究那些决定高强度鑄鉄件中非金属夹杂物形成条件的諸因素，并在这一基础上制定出防范黑点的措施。

通过对化学，光譜及X光照相分析方法的运用，以及对放射性同位素方法及气体分析方法的运用，使之有可能确定出高强度鑄鉄中的黑点是由各种非金属夹杂物聚結而成，其中包括了各种不同的鎂化合物（硫化物，氧化物，氮化物及其他），以及二氧化硅和氧化鋁。

在金屬和渣的交界处降低相間张力的基础上，制定了防范高强度鑄鉄件中产生黑点的措施。为此，要通过加入食盐或水玻璃的方法，于鑄型浇注前，在浇桶內的金屬表面上造特殊渣。

确定了对防范黑点所用方法的效果（鑄鉄在浇口杯中的保温，提高溫度等），并証明了取得良好鑄件的可能性。

在中央机器制造与工艺科学研究院鑄工車間和俄罗斯柴油机工厂的条件下，对所介紹的方法进行了生产性試驗。

本項工作是在中央机器制造与工艺科学研究院鑄工处高强度鑄鉄試驗室由初級科学研究员 A. B. 伊利切娃同志和工程师 H. Ю. 波波娃同志在技術科学副博士 B. C. 密里曼和 П. И. 杜拉索夫的科学领导下进行的。在解决个别原則性問題時，邀請了技術科学副博士茨宁同志参与工作。

参加工作的尚有 H. Б. 拉达耶娃，Ф. И. 格利舍夫，С. И. 伊万諾夫，A. З. 耶尔馬拉耶娃，及 A. H. 科利昌娃。

鑄工处处长

技術科学副博士

（密里曼 B. C.）

目 錄

引言.....	(1)
第一章、問題狀況，研究任务及方法。.....	(1)
§ 1. 球墨鑄鐵中的非金屬夹杂物。.....	(1)
§ 2. 研究任务与工作量。.....	(5)
§ 3. 研究方法。.....	(5)
第二章、决定黑点形成条件的工艺因素的研究。.....	(9)
§ 4. 鑄鐵的化学成分。.....	(9)
1) 碳。.....	(9)
2) 硅。.....	(14)
3) 硫。.....	(14)
4) 磷及錳。.....	(27)
§ 5. 变性处理加入物。.....	(27)
1) 鎂的加入量及鑄件中剩余鎂的含量。.....	(27)
2) 75% 硅鉄的数量。.....	(29)
§ 6. 变性处理及浇注時的溫度規範、鑄鉄在浇包及浇口杯中的保溫時間。.....	(33)
§ 7. 第二章結論。.....	(37)
第三章、高强度鑄鉄內非金屬夹杂物（黑点）成分的研究。.....	(38)
§ 8. 聚集黑点的鑄鉄区域的化学成分。.....	(38)
§ 9. 非金屬夹杂物的电解析出。.....	(42)
§ 10. X 光射綫組織分析。.....	(42)
§ 11. 气体分析。.....	(44)
§ 12. 渣的成分。.....	(45)
§ 13. 第三章結論。.....	(45)
第四章、防范黑点措施的制定。.....	(46)
§ 14. 硼砂。.....	(47)
§ 15. 鈉化合物基体的精炼熔剂。.....	(49)
1) 氯化物熔剂。.....	(49)
2) 氯化鈉。.....	(55)
3) 水玻璃。.....	(67)
4) 粗制碳酸鈉。.....	(74)
5) 各种熔剂的价格。.....	(74)
§ 16. 底注式浇包。.....	(75)
§ 17. 鉄水补浇。.....	(77)
§ 18. 第四章結論。.....	(80)
总結論.....	(81)
参考文献.....	(82)
附件.....	(84)

引 言

制定在机械性能上接近于鋼，因而可作为鑄鋼件以及鍛鋼件的有充分价值的代用品的高强度球墨鑄鐵制造工艺，是近年來在鑄造生产方面取得的最重要的成就之一。

目前，新結構材料鑄件的制造工艺，已为許多工厂所掌握（烏拉尔重型机器厂，塞茨朗水輪机厂，“俄罗斯柴油机”厂，“革命发动机”厂，弗拉基米尔斯克拖拉机厂，新克拉瑪托尔斯克机器制造厂等）。1954年制訂了高强度球墨鑄鐵鑄件的国家标准ГОСТ7293—54。

1954年苏联高强度鑄鐵鑄件年产量約为45,000吨，其中約有40,000吨是黑色冶金部所屬各厂出产的軋輥。

新鑄鐵的特殊鑄造性能（1）要求在制定鑄造工艺時采用特別的方法。它的工艺特点之一便是具有形成非金屬夹杂物的强烈傾向。

在鑄件断口处这些非金屬夹杂物往往呈黑色，暗灰色或灰色的宏观聚集体，而且一般分布于鑄件的上部及水平壁部（浇注時），有時候也分布于鑄件垂直壁部的不同高度上。由于这种黑色及暗灰“无光泽的”色和高强度鑄鐵鑄件断口处基体金屬的細結晶的亮灰色（“鑄鋼”）截然分明，故在文献中及工厂实践中，皆将这些夹杂物称謂“黑点”。

黑点削弱了鑄件的断面，从而剧烈地降低它的机械强度，特別是降低其塑性，同時在加工表面上形成小黑点或薄膜形态的小缺陷，損害了被加工表面的質量，这是为許多重要鑄件所不能容許的。对于承受水压試驗的鑄件而言，这些夹杂物的存在，可能成为产生“漏水”缺陷的原因。

目前对黑点形成的条件及其本質的研究是很不够的，这就使得在生产中如何防范这些缺陷感到很多困难。

高强度鑄鐵鑄件制造的实践确定：黑点数量取决于浇注溫度，溫度提高則黑点数量减少（2、3、4等）。也确定出，造成促使非金屬夹杂物上浮条件的措施（采用塞式大浇口杯浇注，采用底注式浇包及茶壶式浇包，鑄鐵在浇口杯中保溫等）能减少非金屬夹杂物的数量（2、4等）。

但是，在生产实践的許多場合下（例如，制造帶有寬的水平面等的形状复杂的重要鑄件時），这些措施并非总是有效，有時它还会导致产生废品。

缺少充分有效的防范黑点的措施，在某些情况下会成为阻碍高强度球墨鑄鐵运用的因素。

本項工作的目的便是研究那些决定高强度鑄鐵鑄件中非金屬夹杂物形成条件的工艺因素，并在这一基础上，制定防范黑点的有效措施。

第一章問題狀況，研究任務及方法

§1. 球墨鑄鐵中的非金屬夾雜物

关于对高强度球墨鑄鐵鑄件中的“黑点”形成条件及其实質問題，以及对“黑点”的防范措施問題所进行的工作，为数尚极其有限，且在許多方面还有矛盾。

K.H. 瓦森柯教授（3）認為，黑点是由集聚大量硫化物的偏析物，鎂及錳所構成。費尔斯脫夫（24）也有类似的說法。

表明在黑点分布处含有大量的硫的从鑄件上取下的鮑曼硫印，以及表明渣中含有鎂和硫的、对鑄件表面的金屬和渣的化学分析，这二者依瓦森柯的意見，皆証实黑点主要由鎂和錳的硫化物構成。他認有由于加入鎂之后，鑄鉄溫度低，故这些硫化物來不及由金屬跑入渣中。为了防止鑄件中产生这种缺陷，K.И.瓦森柯教授建議在 $1260-1280^{\circ}$ 時进行浇注，仔細地从浇包中的金屬表面上将渣清除，并使用茶壺式或底注式浇包。

根据И.А.沙普拉諾夫(4)的資料，認為黑点是硫化物及石墨的聚合体。沙普拉諾夫的這一結論是根据他对布滿黑点的鑄件进行的金相分析得出的。他認為从鑄件上取下的这些含硫量大的酸印恰恰証实他关于黑点实質的說法。沙普拉諾夫認為，防止黑点最有效的措施是使用茶壺式及底注式浇包。

B.Р.巴林斯基(5)認為，黑斑的形成是由于硫化鎂上浮所致，而硫化鎂上浮是由于鎂和鑄鉄中的硫相互作用的結果产生的。黑点聚結处之所以常常出現气孔，他解释为，这是因为型砂水分和空气的存在使得硫化鎂在分解時析出硫化氢。

为了証实自己的意見，巴林斯基引用了对鑄件上层金屬(有黑点)和下层金屬(純淨金屬)化学分析所得的数据，这些数据表明在鎂和硫的含量上存在显著差別(鎂，上层 $0.12-0.15\%$ ，下层 $0.02-0.05\%$)和(硫，上层为 $0.075-0.092\%$ ，下层 $0.017-0.022\%$)。此外，巴林斯基用样勺将加鎂处理过的上层金屬和渣的混合物从浇包中取出，进行化学分析并确定出，硫在其中的含量为 $0.25-0.39\%$ ，而同時在基本金屬中硫的含量只有 $0.11-0.28\%$ 。他認為这一情况完全証实他的預料。

在評價上述諸人的論据時，應該指出，存在黑点的金屬层中硫及鎂的聚集和加鎂处理后从鑄鉄中上浮的渣中硫的高含量均不能作为把硫化鎂当作黑点的充分根据，虽然它們在高强度鑄鉄中的高含量是無疑問的(3)。

瓦森柯(3)本人的数据表明，存在黑点的金屬层的硅含量比基本金屬中硅的含量高0.5至1倍。

不同于上述者諸人的見解的是，A.A.彼得利欽柯根据他进行的气体(氧、氢、氮)及溫度对高强度鑄鉄性能影响的研究，認為在形成黑点上起主要作用的是在往鉄水中加鎂時形成的碳化鎂(MgC_2 及 MgC_3)。

彼得利欽柯确定，当往加鎂处理的鉄水中吹入氢气時，黑点数量减少。

这一現象的原因，彼得利欽柯发现于氢对碳鎂化合物的破坏作用中。應該指出，使用氢作为防止黑点的可能性是值得怀疑的，一者这在技術上复杂，再者，由于氢降低剩余鎂的含量，故有产生片状石墨的危險。

B.И.拉科姆斯基(9)在进行高强度鑄鉄試样的分析時，发现其中有黑点，从而确定在这种試样中气体(氧、氢、氮)的含量和健全試样相比，等于它含量的2—6倍以上。

在該基础上拉科姆斯基得出了有根据的結論，即黑点在鎂鑄鉄中不仅是硫化物，而且也是鑄鉄脫气的产物。

在国外文献中，对微观非金屬夹杂物的研究，比对确定高强度鑄鉄中黑点本質的研究更为重視。

皮沃瓦爾斯基(7)指出，鑄鉄加鎂時形成的非金屬夹杂物，主要是氧化鎂和硫化鎂(MgO ， MgS)。这些化合物由于具有大量的生成热和很高的容化溫度，因此有着“上浮至鉄水表面的适

当能力，而当鑄鉄溫度低，鑄件壁薄時，便会导致黑点的形成”。

維特莫資尔（8）研究了表明各种鎂化合物及其形成反应的热力学及热物理学参数。根据他的意見，这些反应只有在将鎂加入熔化的鑄鉄中的条件下才有可能产生（ MgO ， MgS ， Mg_3P_2 ， Mg_3N_2 ， Mg_2S ， MgC_2 ， MgC_3 及其他）。他也研究了他自己的和来源于他处的金相研究的某些实验数据。根据这些数据，維特莫資尔（8）指明某些人观点的誤誤，他們把高强度鑄鉄中的非金属夹杂物的聚合物看作石墨（10）或渗碳体（11）析出的特殊形式。

維特莫資尔預料，在处理鉄水時，可能形成上述七种化合物。在高强度鑄鉄內的非金属夹杂物中，磷化物，硫化物及氮化物等鎂的化合物的存在，可認為是已經由維特莫資尔本人以及別的研究人員运用特殊的化学分析方法証明了的。

但是，維特莫資尔首先注重的是微觀夹杂物，而对于它在高强度鑄鉄中可能有的数量，以及它在形成黑点中所起的作用，却并未提出任何数据。

根据自己的研究，維特莫資尔得出結論：由于鎂和鉄水相互作用的結果，由于鎂的巨大的化学活性，因而高强度鑄鉄比普通灰口鑄鉄含有的夹杂物及悬浮質要多得多。

他認為这些夹杂物不仅在低溫浇注時有可能形成（此時它們集中于顆粒交界处），而且在高溫浇注時也可能形成。这些夹杂物的存在会降低机械性能特别是降低塑性（冲击韌性）。

烈杰尔（12）指出，在高强度鑄鉄內存在着硫化鎂。当鎂含量低時，硫化鎂呈浅蓝色，鑄鉄內鎂含量高時，硫化鎂呈黑褐色。

因此，关于高强度鑄鉄中黑点成分的文献資料是非常不足的，虽然其中含有硫化物也是无可置疑的事。我們所掌握的关于微觀非金属夹杂物的性質方面的数据及上列許多作者的正确見解，表明我們現在所研究的問題是頗为复杂的。只有在研究它的形成条件的基础上，才可能制定出防范黑斑的措施。

因此有必要就闡明高强度鑄鉄內黑点形成条件的問題及防范非金属夹杂物的問題加以探討（13）。

B.Г.季莫菲耶夫根据对多次熔炼的統計，制定了頻率曲綫，該曲綫表示，鑄件中黑点的最大数量和鑄鉄中鎂的剩余高含量相一致。在該項工作中，他列举了数据，由这些数据可以看到，在同一鑄件中，聚集黑点处的鑄鉄成分和鑄件的建全部分的成分显著不同，主要表现在C及Mg的含量高的方面。根据实验数据，他推測，若增加 FeSi （75%）的加入量，則鑄件中黑点数量上昇，因此他建議在含有多量Si的鑄鉄中加入Mg，以便减少 FeSi （75%）加入量。

但是这个建議未必能付諸实现，因为这和造成鑄件中游離渗碳体的危險性有联系。

在一篇国外論文（14）中，談到在高强度鑄鉄鑄件中发现“黑色孔隙”形态的缺陷，它的数量随着剩余鎂含量的增加而增加，这証实了季莫菲耶夫（13）上面引用的数据。

大量的工作表明正确的造渣規範的重要性及运用特殊的渣以精炼高强度鑄鉄的可能性。

B.K.伊凡諾夫及 T.Г.伊凡諾娃（15）指出，在加鎂之后必須仔細將渣除掉，以便获得优良鑄件，因为如果不做到這項要求，則将导致机械性能的降低，而在某些情况下甚至也会得到片状石墨。

維天佐恩及其他一些人（16）提出使用特殊熔剂以便清除高强度鑄鉄中的硫化及鎂化非金属夹杂物，該特殊熔剂由25%的石灰石，50%的螢石及25%的盐組成，該熔剂在使用前要加以熔合。熔剂以鎂重量的50%与鎂一同加入。

西德的鑄造人員 (13) 在加鎂之后造出石灰渣，以便更好地从金屬中除掉硫化物。

在研究黑点形成条件時，应特別注重鎂及液体鑄鉄的相互作用。

当加入占液体金屬重量0.5%的純鎂時，鑄鉄中尙剩下 0.04—0.10 % 的鎂，也就是說等于原來的1/5到 1/10。金屬所未能吸取的那部分鎂，不仅可能以鎂蒸汽状态从金屬中逸出，而且也可能以氧化物，硫化物及其他化合物从金屬中跑掉。在制造高强度球墨鑄鉄時，鑄鉄內硫，碳，硅及气体 (O_2 , N_2 , H_2) /3.4.6.9.13等/含量的显著变化便能証实这一点。毫無疑問，作为化学活性很大的元素鎂，是要和鑄鉄成分內的元素形成化合物的。

在研究根据斯拉溫斯基 (18) 的数据所編制的表 1 時，可以作出結論，即当鉄水溫度在1200—1350°之間時，在鑄鉄中可能形成下列鎂化合物 MgO , MgS , Mg_3N , Mg_2Si , Mg_3P 。

看來，这些化合物在某种程度上对高强度鑄鉄鑄件中黑点的形成起着自己的作用。

关于高强度鑄鉄中黑点实質的研究数据的矛盾性及不足性，以及在許多情况下所介紹的防范措施（高溫浇注，采用底注式及茶壺式浇包，金屬在浇口杯中保溫等）的效果不高的情况，使得有必要进行專門工作，來研究决定黑点形成条件的工艺因素。

仅仅在一种工作範圍內，要最終地解决黑点实質問題，是难以設想的。但是很明显，只有对黑点形成的条件进行詳尽的研究，特别是通过造特殊渣，促使渣从液体金屬中上浮及促使去渣，來实验研究从高强度鑄鉄中除掉非金屬夹杂物的可能性，只有在这个基础上，制定有效的防范黑点的措施，才是可以想象的。

表 1

序号	化 合 物	結晶格子	化合物的熔 化溫度 C	形成反应	成 热	化合物的特征
1	氧 化 鎂 (MgO)	面心立方 晶格	2800°	$2Mg + O_2 = 2MgO$	+145,76 大卡/克分子	化合物非常稳定，在 1900°時 MgO 在真 空中離解并揮发金屬鎂
2	硫 化 鎂 (MgS)	面心立方 晶格	2000°	$Mg + S = MgS$	Mg 及菱形硫 形成的 MgS 結 晶体生成热 + 84,4 大卡/克 分子	化合物非常稳定在赤 热溫度時，氢、磷、硅 及一氧化碳皆不还原
3	磷 化 鎂 (Mg_3P_2)	空間立方 晶格	2000,	$3Mg + 2Fe_3P = Mg_3P_2 + 6Fe$	95大卡/克分子	在具有 H_2 或 CO 的条 件下 Mg_3P 形成反应 强烈
4	氮 化 鎂 (Mg_3N_2)	空間立方 晶格	在1500— 2200°時離解	$CMg + 3N_2 = Mg_3N$	115,2大卡/克 分子(58.0×)	在干燥空气中化合物 稳定，在加热至600° 時开始 Mg_3N_2 的形成 反应
5	硅 化 鎂 (Mg_2C_3)	面心立方 晶格	1070°	—	19	通常化合物形成于鋁 硅合金中
6	碳 化 鎂 Mg_2C_3 及 $Mg_{12}C_3$	四角形晶 格	900。時離解	—		在800—1200°範圍內 加热時，不能形成碳 化物。在低溫時存在 化合物 MgC_2 它在570 —610°時分解并形成 Mg_2C_3 及 C 。高于这些 溫度時 Mg_2 及 C_3 分 解并形成 Mg 及 C

§2. 研究任务与工作量

依据上述情况本项工作的任务便是研究黑点形成的条件及制定防止在铸件中发生这种缺陷的方法。

工作的实验部分划分为三个阶段。

工作的第一阶段是确定工艺因素对铸件中形成“黑点”的影响。

这些因素包括：原来铸铁的化学成分，加入浇包中的 FeSi 及 Mg 的数量，剩余镁的含量，变性处理温度及浇注温度，金属在浇包及浇口杯中的保温时间等。

第二阶段规定：研究存在黑点的地方，研究非金属夹杂物的析出问题，用化学分析，气体分析及X光方法研究它们的成分。此外对铸铁变性处理及所得到的渣也进行了研究。

在已进行的上述两阶段工作的基础上，第三阶段的工作便是制定防黑点的措施及进行生产性试验。

在进行工作的过程中，中央机器制造与工艺科学研究院电熔炼试验室曾使用高频感应电炉进行了150次试验熔炼。对制定出的方法的生产性试验是在科洛姆纳古比雪夫机车制造厂，列宁格勒“俄罗斯柴油机”厂及中央机器制造与工艺科学研究院的铸工车间内进行的。

§3. 研究方法

为制得高强度铸铁的金属熔炼是在中央机器制造与工艺科学研究院电熔炼试验室的高频电炉中进行的。

冲天炉熔炼是在中央机器制造与工艺科学研究院的铸工车间的冲天炉中进行的，两个冲天炉的生产能力各为0.7及1.5吨/小时。

高强度铸铁系遵照中央机器制造与工艺科学研究院制定的规程/2/进行制造的。

铸铁的加镁处理是在容量为100，300及1000公斤的浇包中进行的，被处理的金属重量相应地为40—50公斤，150公斤及500—600公斤。在各次熔炼中镁的加入量皆占液体金属重量的0.5—0.6%。属于例外情况的是为查明 Mg 及 FeSi 对铸件中黑点数量影响所进行的熔炼。各次熔炼炉料的组成是：从冲天炉中重炼出的特殊铸铁，废钢，硅铁（75%）及碎电极。为了避免炉料成分可能影响到研究各种因素（例如硫的含量）的熔炼结果，使用了同一炉次炼出的重炼原料。

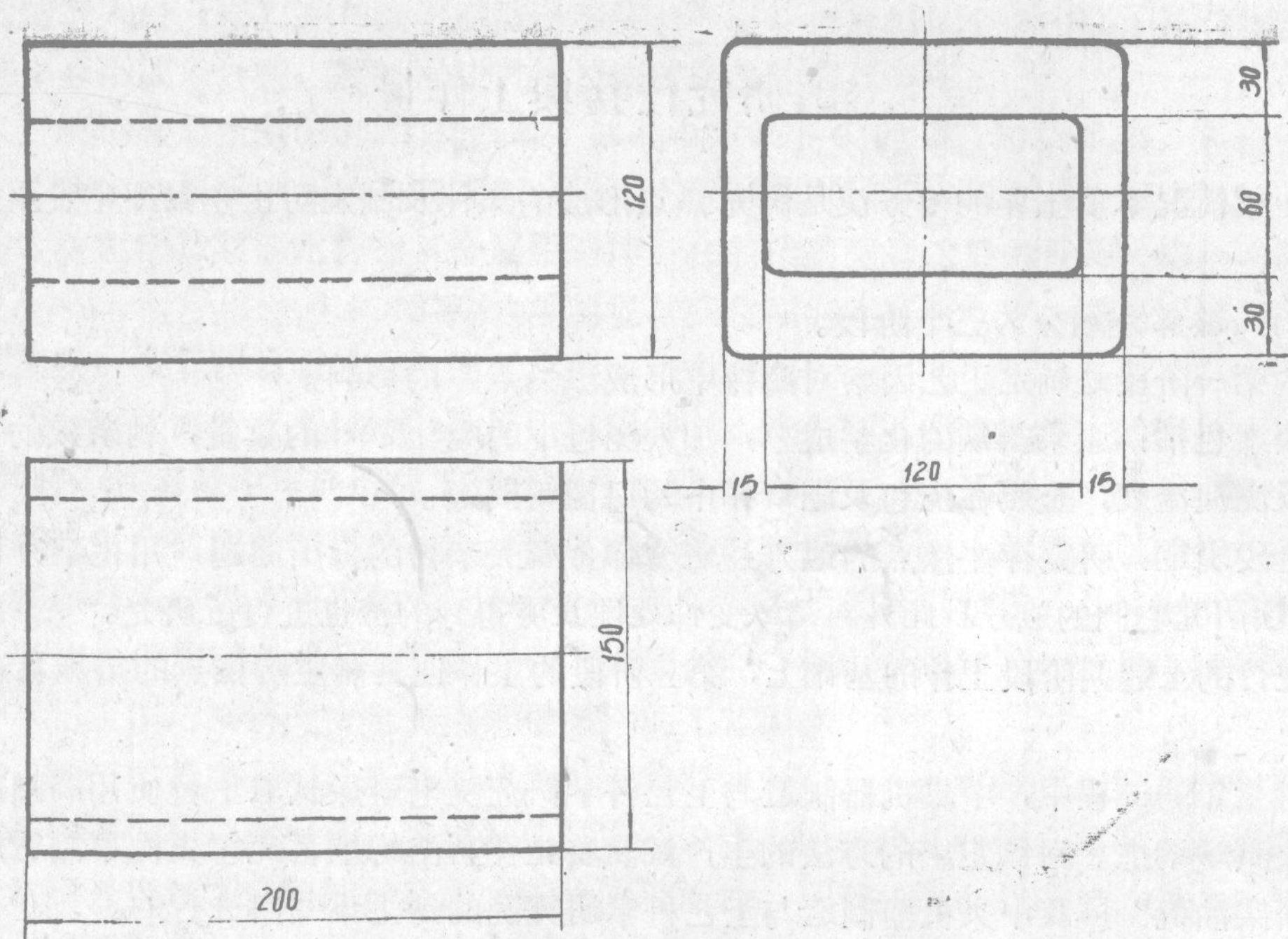


图1. 箱, (工艺试样)

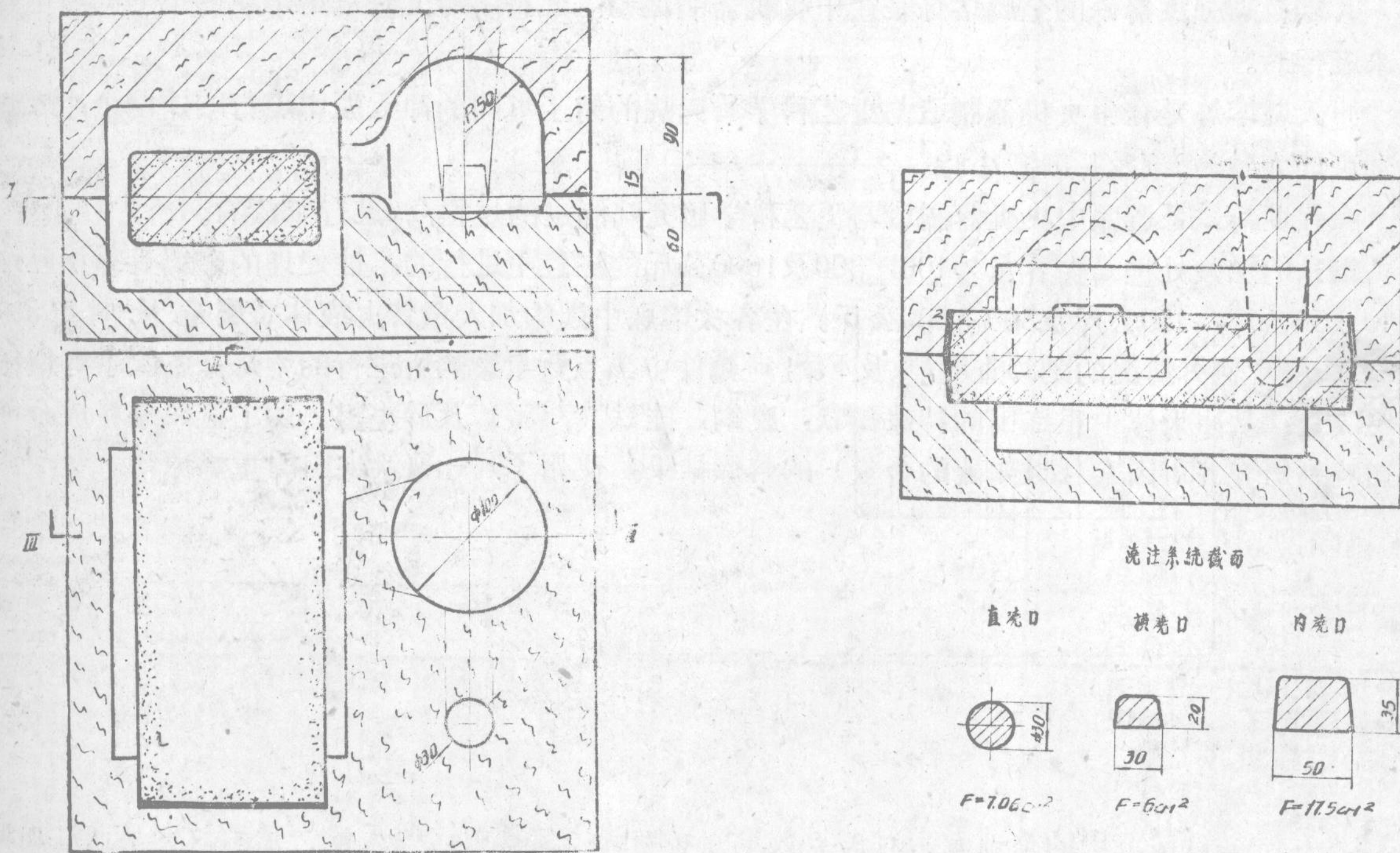


图2. 箱形工艺试样浇注示意图

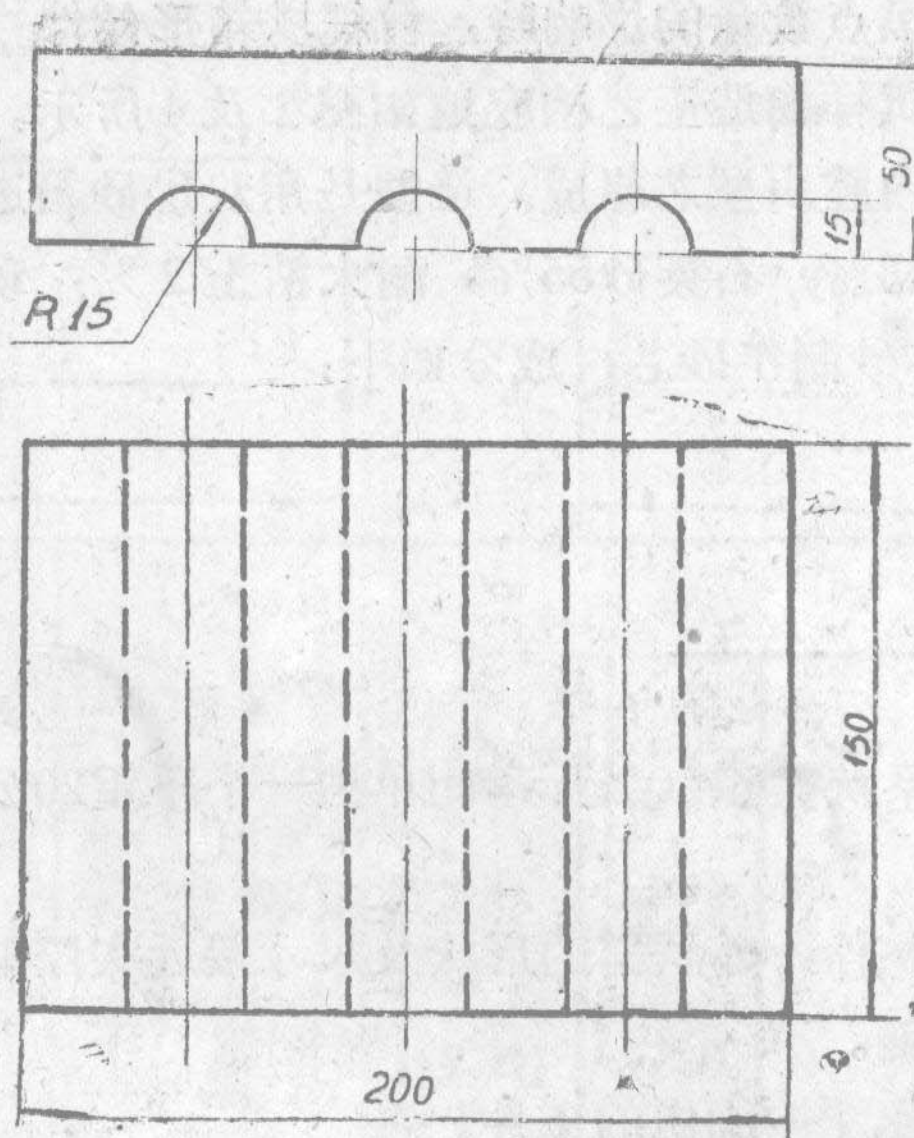
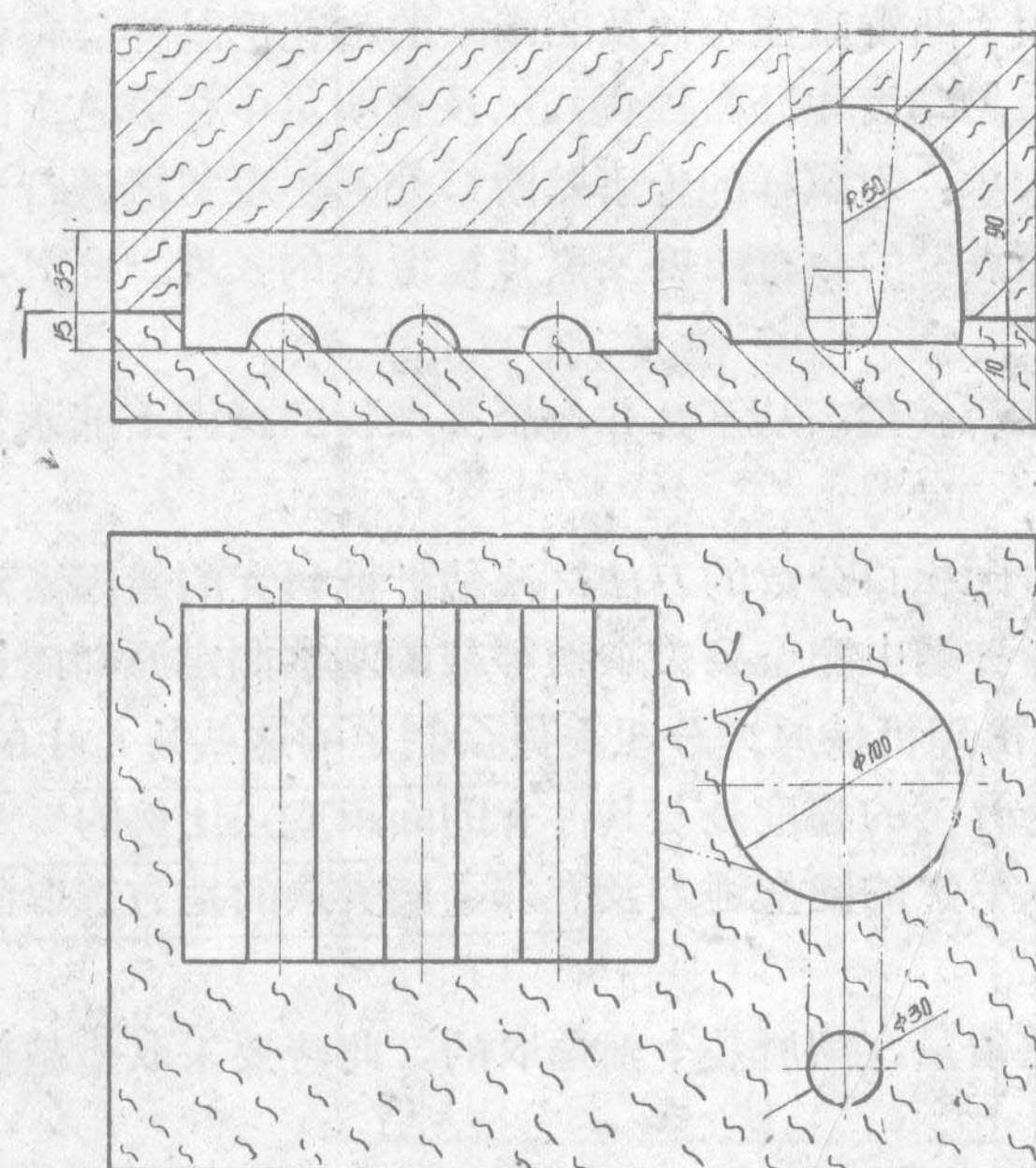


图3. 板 (工艺试样)



浇注系统截面

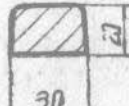
直浇口

横浇口

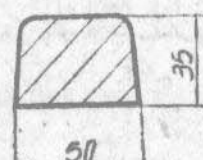
内浇口



$$F = 7.06 \text{ cm}^2$$



$$F = 6 \text{ cm}^2$$



$$F = 175 \text{ cm}^2$$

图4. 箱形工艺试样浇注示图

在研究鑄鉄成分中的个别元素对黑点数量的影响时，鑄鉄中这些元素含量的改变是通过加下列爐料进行的：碎电极， FeSi ，硫化亚鉄。

使用鎢—鉬热电偶测量被試驗鑄件中的溫度。

当研究各种因素对鑄件中黑点数量的影响時，曾經以箱形鑄件（图1）及有時以板状鑄件（图3）作为試样加以研究。試样鑄造工艺相应地如图2及4所示。

試样是在湿型中鑄造的；內腔由型芯組成。造型是用双层砂箱进行的。在制造鑄型時，使用了車間型砂，成分如下：旧砂43%，石英砂55%，耐火粘土2%，碳酸鈉5%（超过100%）。

采用M.φ.—17黏結剂的芯砂制作砂芯，成分如下：

石英砂97—98%。

耐火粘土2—3%。

亚硫酸盐酒精废液2.5%。

粘結剂Mφ—17 2.5%。

箱形鑄件連同冒口及澆口系統共重40公斤，而单独一个淨重20公斤。工艺試样形状及尺寸的选择系依下列原則确定：

1. 力求試驗条件接近生产条件，而試样的形状及尺寸接近实际鑄件。
2. 消除发生偏析过程的可能。
3. 保証将“黑点”阻留在水平平面内的条件。
4. 減輕試样的加工。

試样的澆注是通过塞头进行并使金屬在35—40公斤容量的澆口杯中保温。試样冷却后要打断，以便得到上壁及下壁部分断面。

为了研究制得鑄鉄的机械性能，曾使用了凸瓣直徑为15及30毫米的梅花形試样。梅花形試样澆注入湿型中。为了查明金屬組織的密度及均匀度和分布性質，以及查明集中在砂芯下面及試样上部水平壁处的非金属夹杂物（黑点）的大小，对試样的上下壁断面处的宏观組織进行了研究。

使用特殊的样板測量了鑄件截面上“黑点”的分布深度及黑点层所占的长度。此外，在各种情况下皆从試样断面处截取硫印。

为了使用光谱方法研究显微組織及确定含鎂量，从不含非金属夹杂物的試样下部水平壁处截取了磨片。

通过确定含有非金属夹杂物的試样所占面积百分数的方法，來估計被研究的諸因素对非金属夹杂物形成的影响。这种估計方法是根据各种鋼中非金属夹杂物等級的基本制定原則而选定的。

A. A. 巴依科夫冶金研究院所屬鋼生产物理机械原理分組委员会制定的这些規章中的第一項，便指出：“必須从这种預定出发，即夹杂物有害的程度是与其占有的面积成正比例的”（18）。

用作化学分析的切屑，係从試样下部水平壁的健全地方及有非金属夹杂的地方选取的。在每次熔炼中皆从原来鑄鉄上选取了切屑。

选取切屑总是使用鑽头进行。为了确定碳量，切屑是个別选取的，此時要采取措施保証石墨的存在；切屑試量不大（約2克）。

根据技術科学副博士可馬洛夫斯基制定的方法，用光谱法确定了鑄鉄中剩余鎂的含量。

具有黑点的金屬层內的鎂含量，是用化学方法选择确定的。为了确定黑点的成分，曾用电解法将非金属夹杂物析出，以便查明它們的成分及組織。

为了研究加鎂处理后鑄鉄表面上形成的薄膜的組織，曾采用了X光測定法。

第Ⅱ章、決定非金屬夾雜物 (黑點) 形成條件的工藝因素的研究

§4. 鑄鐵的化學成分

鑄鐵在加鎂處理過程中，其化學成分的改變，使我們有根據推測：化學成分對鑄鐵內非金屬夾雜物形成的條件有很大影響。

1) 碳

沙普洛譜夫(4)推測，在高強度鑄鐵鑄件內形成的黑點成分中，包括石墨析出物。因此，應該認為在原來鑄鐵內碳的含量與鑄件內黑點數量之間可能存在一定的關係。

為了查明這種關係，曾特別地進行了一批熔煉(122, 123, 125, 144)。進行熔煉時，為了在獲得的金屬成分中，在各種元素(碳除外)方面以及在變性處理和澆注條件方面(加鎂溫度，變性劑的數量及準備等)盡量減少偏差，採取了各種措施。每次熔煉出的鑄鐵的化學成分均確定了三次：加鎂前，加鎂後及加入硅鐵後。每次熔煉出的箱形工藝試樣(圖1)均以兩種方案澆注而成：a)加鎂後，б)加硅鐵後。

被研究的各爐次的鑄鐵化學成分界於下列範圍內： $C-2.0-3.65\%$ ； $Si-2.51-2.98\%$ ； $Mn-0.41-0.67\%$ ；

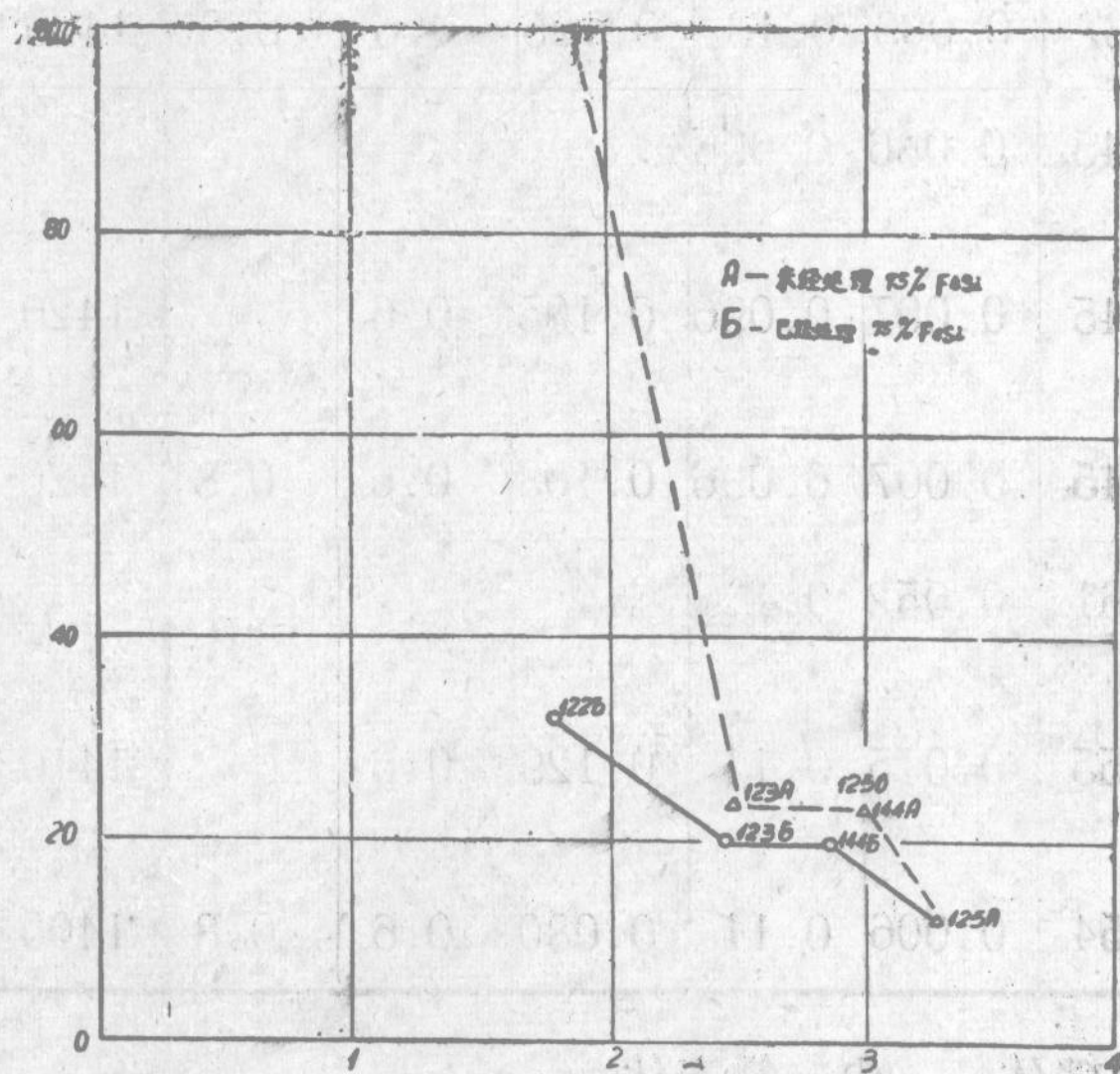


圖5. 鑄鐵內含碳量對鑄件內黑點形成的影響

C 的含量对鑄件中“黑点”形成的影响

表 2

爐 号	加工方案	化 学 成 分						添加物数量		变性处 理時的 金屬溫 度	鑄型浇 注時的 金屬溫 度	組 織	鑄 件 上 部			鑄 件 下 部			沾黑点 的鑄件 面积和	鑄件总 面 积	沾有黑 点的鑄 件面积 %
		C	Si	Mn	S	P	Mg	Mg%	75% FeSi				黑点滲 入的平 均深度	层寬	黑点 占面积	黑点滲 入的平 均深度	层寬	黑点占 面 积			
122	原來鑄鉄	2.0	2.41	0.51	0.070	0.13						球 状 石 墨 Π+5%Π									
A	无75%FeSi 添加物	1.84	2.38	0.41	0.037	0.13	0.135	0.6		1415°	1330°	球 状 石 墨 Π+0.1%Φ +1.5%Π	30	150	4500	30	150	450	9000	9000	100%
B	有75%FeSi 添加物	1.80	2.57	0.41	0.059	0.13	0.128	0.6	0.8	1425°	1320°		未 浇 注			11	130	1430	1430	4500	31.8%
123	原來鑄鉄	2.57	2.98	0.67	0.067	0.13						稀少的球状 石墨夹杂物 φ30—40 不定形石墨 Π+1.5%Π 球状石墨φ20. 少見φ40Π3—4% φ+0.1%Π									
A	无75%FeSi 添加物	2.52	2.83	0.67	0.002	0.13	0.089	0.6		1400°	1360°		13	150	1950	7	105	735	2685	9000	29.8%
B	有75%FeSi 添加物	2.48	3.25	1.67	0.003	0.13	0.126	0.6	0.8	1420°	1330°		未 浇 注			9	100	900	900	4500	20%
125	原來鑄鉄	3.65	2.70	0.45	0.086	0.096						不定形石墨 Π+8%Φ+2%Π 球状石墨 Φ20—30 Π+30—40%Φ									
A	无75%FeSi 添加物	3.30	2.51	0.45	0.007	0.096	0.105	0.6		1420°	1340°		4	130	520	6	106	636	1156	9000	12.6%
B	有75%FeSi 添加物	2.88	2.80	0.45	0.007	0.096	0.103	0.6	0.8	1420°	1350°		10	150	1500	7	100	800	2300	9600	25.5%
144	原來鑄鉄	3.68	2.68	0.61	0.052	0.1						球状石墨Φ40—50 Π+10%Φ 球状石墨Φ10—15 伪片状石墨 Π+3%Φ									
A	无75%FeSi 添加物	3.04	2.76	0.55	0.015	0.11	0.129	0.6		1410°	1330°		9	123	1110	9	100	900	2010	9000	23.3%
B	有75%FeSi 添加物	2.88	3.10	0.54	0.006	0.11	0.080	0.6	0.8	1400°	1310°		10	142	420	5	70	350	1770	9000	19.6

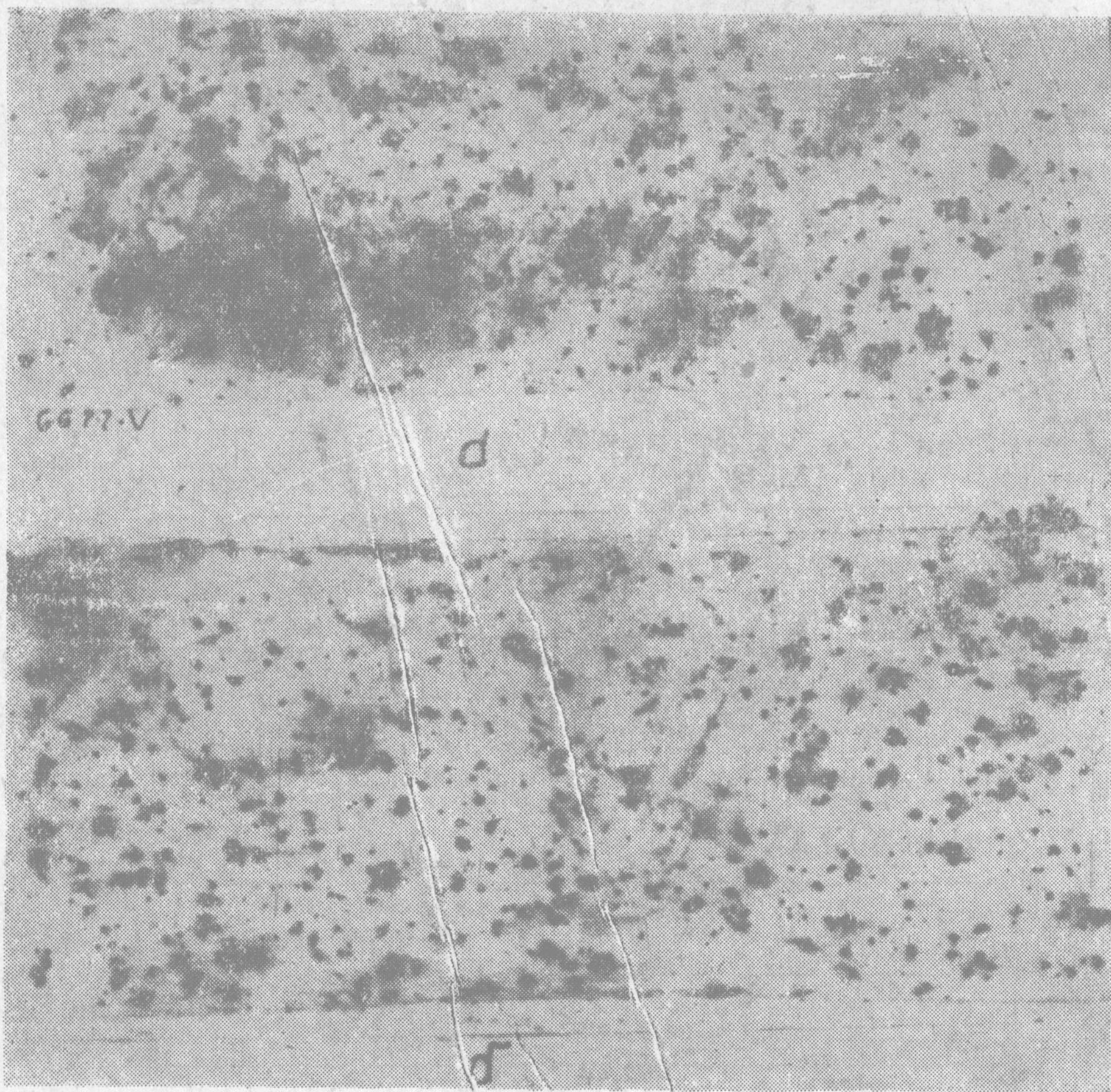


图6. 含碳量为1.34%的鑄件硫印 (熔炼号122A)

a. 鑄件上部 б. 鑄件下部

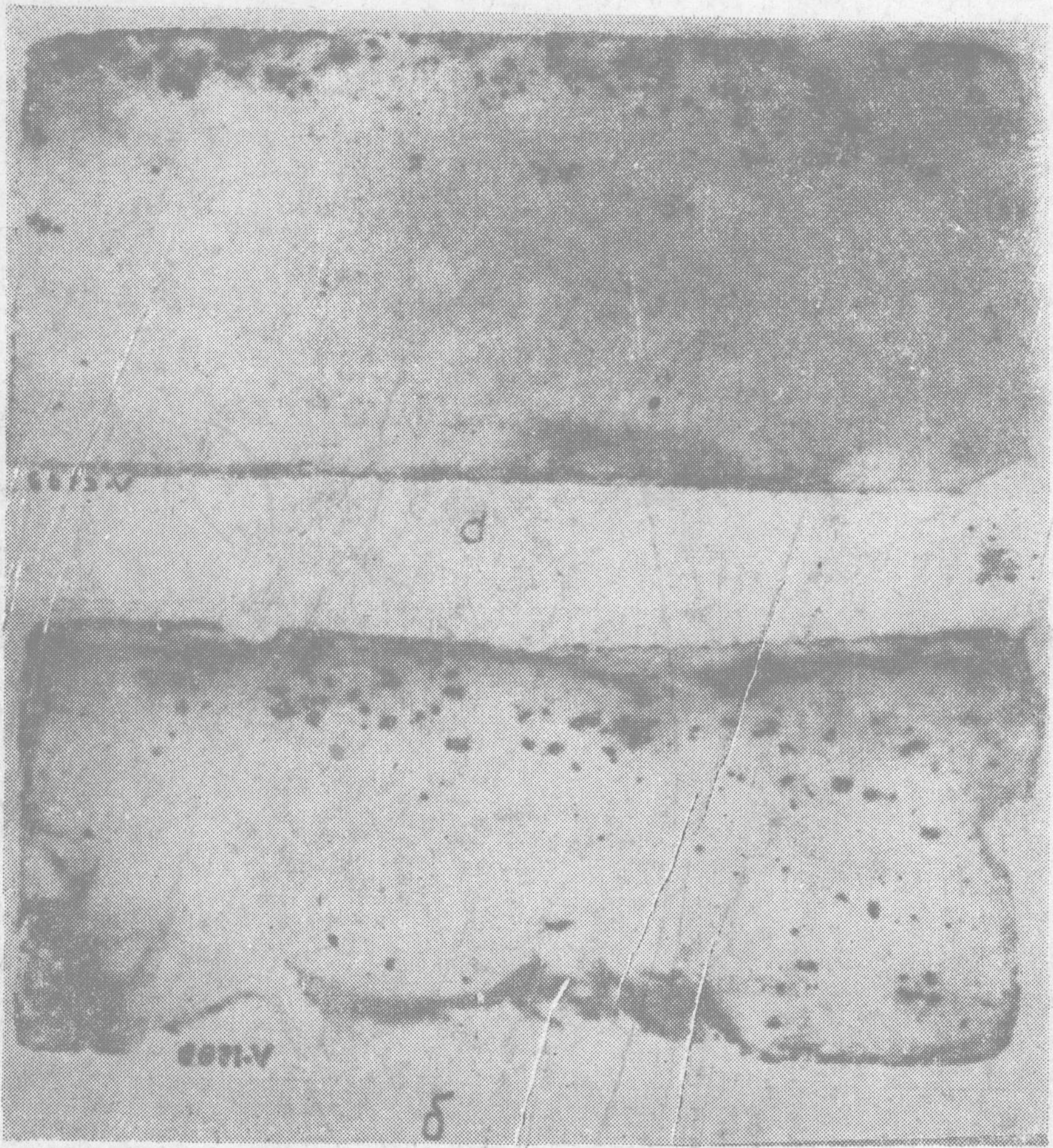


图7. 含碳量为3.30%的鑄件硫印/熔炼号125A/
a) 上部 b) 下部

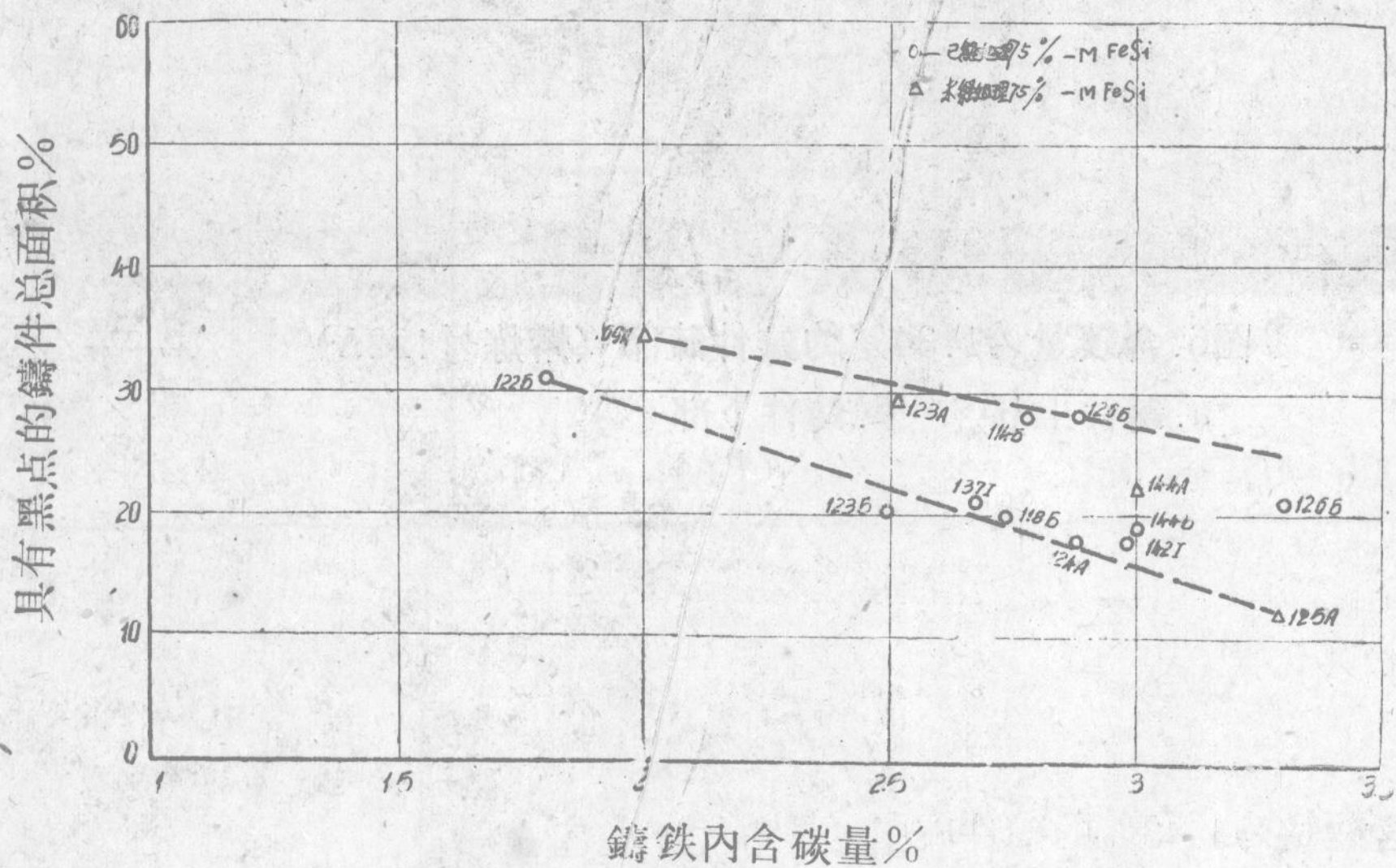


图8. 鑄鐵內含碳量对鑄件內黑点数量的影响

鑄鐵內含碳量對鑄件內“黑點”形成的影響

表 3

爐 號	處理方案	化 學 成 分						添加物數量		變性處理時的 金屬溫度	鑄型澆 注時的 金屬溫度	組 織	鑄 件 上 部			鑄 件 下 部			鑄件上 有黑點 的總面 積 毫米 ²	鑄件總 面 積 毫米 ²	鑄件黑 點面積 %	備 考
		C	Si	Mn	S	P	Mg	Mg%	75% FeSi				黑點滲 入平均 深度	滲層 寬度 毫米	黑點 占 面積	黑點滲 入平均 深度	滲層 寬度 毫米	黑點 占 面積				
122—B	有Mg及FeSi 添加物	1.80	2.57	0.41	0.005	0.12	0.128	0.6	0.8	1415	1320	0.1 ϕ +1.5 Π 球狀石墨	未注入 流動金屬			11	130	1430	1430	4500	31.8	
169—A	有Mg添加物	2.03	2.52	0.52	0.005	0.12	0.106	0.6	—	1410	1310	球狀石墨 ϕ 30—50 不規則球狀石墨夾 雜物 Π +0.4鐵素體 邊緣	14	120	1680	澆注板			1680	4500	35	
123—A	有75% FeSi 添加物	2.52	2.83	0.67	0.002	0.13	0.089	0.6	0.8	1400	1360	球狀石墨，有不定 形石墨 Π +1.5 Π	13	150	1950	7	105	735	2685	9000	29.8	
137—I	有Mg及 FeSi 添加物	2.68	2.60	0.47	0.008	0.19	0.102	0.6	0.8	1420	1280	球狀石墨 ϕ 50 Π +10%鐵素體 +0.8% Π	8	125	1200	7	110	770	1970	9000	21.9	
118—B	有Mg及FeSi 添加物	2.72	2.92	0.72	0.014	0.13	0.076	0.6	0.8	1425	1300	球狀石墨 Π +40 ϕ	5	150	750	7	150	1050	1800	9000	20	
114—B	有Mg及FeSi 添加物	2.78	2.71	0.59	0.007	0.17	0.099	0.6	0.8	1400	1300	球狀石墨 ϕ 40—30 珠光體 + ϕ (鐵素 體)	10	150	1500	7	150	1050	2550	9000	28.3	
125—B	有Mg及FeSi 添加物	2.88	2.80	0.45	0.007	0.096	0.103	0.6	0.8	1420	1330	球狀石墨 ϕ 30 Π + 30—40%鐵素體	10	150	1500	8	100	800	2900	9000	25.5	
124—A	有Mg及 FeSi 添加物	2.88	2.58	0.51	0.005	0.17	0.089	0.6	0.8	1400	1310	球狀石墨 ϕ 40珠光 體+3—5%鐵素體	7	150	910	7	115	805	1715	9000	19.0	
142—I	有Mg及 FeSi 添加物	2.96	2.77	0.43	0.005	0.10	0.142	0.6	0.8	1370	1200	球狀石墨 ϕ 30—40 Π +70% ϕ +0.5% Π	6	120	720	9	105	945	1665	9000	18.5	
144—A	无75% FeSi 添加物	3.04	2.76	0.56	0.015	0.11	0.109	0.6	—	140	1330	球狀石墨 ϕ 10—15 Π +10% ϕ	3	123	1107	9	100	900	2007	9000	22.3	
144—B	有Mg及 FeSi 添加物	2.88	3.80	0.54	0.006	0.11	0.080	0.6	0.8	140	1310	成形不佳的石墨 ϕ 10—15 Π +1% ϕ	10	142	1420	5	70	350	1170	9000	19.6	
125—B	无75% FeSi 添加物	3.30	2.51	0.45	0.007	0.096	0.105	0.6	—	120	1340	不規則形石墨 Π +8% ϕ +2% Π	4	130	520	6	106	636	1156	9000	12.6	
126—A	有Mg及 FeSi 添加物	3.31	2.71	0.74	0.002	0.14	0.124	0.6	0.8	130	1220	球狀石墨 ϕ 20 7—8%鐵素體	4	150	600	5	115	575	1175	9000	21	