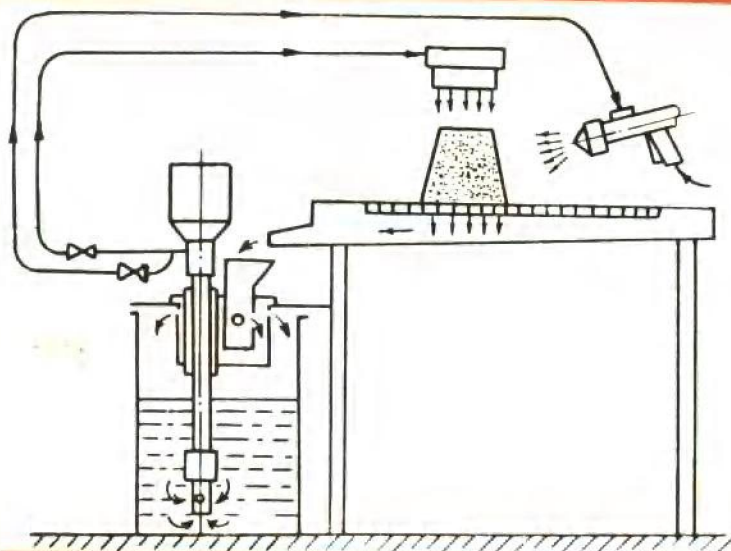


获得无粘砂铸件 的理论与实践

〔苏〕С.П.多拉申科 等著



机械工业出版社

获得无粘砂铸件 的理论与实践

【苏】С.П.多拉申科 等著

赵振太 译

叶孔容 校



机械工业出版社

本书阐述了形成铸件粘砂的基本规律,指出在不同的生产条件下,获得表面光洁的各种合金铸件的方法。分析研究了获得易剥离粘砂层的方法,防粘砂涂料和涂膏的性能和改进措施。阐述了涂料的制备和涂敷设备。同时,还阐述了防粘砂材料和涂料性能的检测方法。

此书适用于从事铸造生产的工程技术人员阅读,也可供高等院校铸造专业的师生参考。

ПОЛУЧЕНИЕ ОТЛИВОК
БЕЗ ПРИГАРА В ПЕСЧАНЫХ ФОРМАХ
С.П.Дорошенко В.Н.Дробязко К.И.Вашенко
МОСКВА «МАШИНОСТРОЕНИЕ» 1978

• • •
获得无粘砂铸件的理论与实践

[苏] С.П.多拉申科 等著

赵振太 译 叶孔容 校

• •
责任编辑:余茂祚

封面设计:赵振太

•
机械工业出版社出版(北京阜城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)

国营541总厂印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

•
开本 787×1092 1/32·印张 6 1/2·字数·134千字

1987年12月山西第一版·1987年12月山西第一次印刷

印数0,001~5,000 定价:1.60元

•
统一书号15033·6688H

译 者 序

目前,世界上许多国家80~97%的铸件,特别是铸钢和铸铁件,是在砂型中生产的。在砂型铸造中,要想获得尺寸精确、表面光洁和疵病少的铸钢和铸铁件,除了采用特种造型(芯)方法、模样与工装制作的光亮可鉴尺寸精确,或采用高耐火度的优质造型(芯)材料以外,根据生产条件的不同,采用不同类型的性能最佳的防粘砂涂料,即使是在高压造型时,也是很重要的工艺环节。同时,可使用性能较差的造型(芯)原材料而选用综合性能好的防粘砂涂料,同样也可以获得尺寸精确、表面光洁的铸钢、铸铁件。这一点,更具有重要的经济和技术意义,已引起国内外铸造界的普遍关注,并做了大量的研究工作,发表了许多优秀的文章。

本书较全面系统地阐述了铸件形成粘砂的基本规律,书中摘引了苏、美、德、意、日、法、捷、瑞典等国的30多个专利,73个图线、42个表格,以大量的素材指出了在不同生产条件下,获得表面光洁的各种合金铸件的方法,分析研究了获得易剥离粘砂层的机理,以及对防粘砂涂料和涂膏的性能改进措施。同时,对涂料的制备和涂敷设备以及防粘砂材料和涂料性能的检测方法也作了阐述。最后以获得无粘砂铸件的不同方法作了经济效益的对比。译者认为,译出此书奉献给全国的铸造界同行们,可能会对振兴我国的铸造业有所增益。

此书的出版由国营五四一九厂资助。全书译文经太原工业大学叶孔容副教授译校,在此一并感谢。由于译者水平有限,缺点和错误在所难免,诚望读者批评指正。

原 序

绝大多数铸件是用一次砂型制造的，特别对铸钢和铸铁件更是如此。

得到表面光洁的尺寸精确的铸件是铸造工作者的基本任务之一。为了完成该任务铸造工作者从两方面着手进行工作。一方面，尽量地扩大特种铸造，如采用压铸、金属型铸造、熔模铸造、壳型等。另一方面，为了提高砂型铸造的铸件精度和降低表面粗糙度，应进行大量工作。

在砂型铸造中，欲得到高精度的铸件，需要有高质量的模样和砂箱等工艺装备。遗憾的是，有时没引起足够的重视，特别是在单件和小批生产的车间里。为了得到高精度的铸件，也还需要采用型芯和砂型在芯盒内和模样上直接硬化的工艺方法。为此，使用常温硬化的和加热硬化的型砂和芯砂，也可使用陶瓷型等等。

同样，可以采用优质原材料，如原砂、粘土、膨润土、有机的和无机的粘结剂，改进铸型和型芯涂料，以及采用造型和制芯工序的机械化和自动化等方法来改善型砂质量。

但是，即使采用了现代化的造型方法，也不一定就能够得到表面光洁的无粘砂的铸件。

在一般情况下，粘砂就是铸型材料与金属、金属氧化物以及各种硅酸盐组成的粘砂层，与铸件表面牢固地连接在一起。

在研究粘砂的原因和防止方法中作出巨大贡献的科研人员有：苏联中央机械制造工艺研究所（辽恩、鲍尔苏克、瓦里索夫斯基等人）、乌克兰苏维埃社会主义共和国科学院铸造研究所（茨波里克、克洛契洛）、全苏铸造机械制造铸造工艺及铸造自动化科学研究所（特卡钦克等）、克拉马托尔斯基重型机械设计研究所（捷尼索夫、别洛布罗夫等）、切良宾工学院（瓦辛、切尔诺格罗夫）、奥德萨工学院（奥鲍连采夫）、列宁格勒工学院（古里亚耶夫）、西北工学院（鲍罗夫斯基）、莫斯科包曼高等工业学院（瓦西里耶夫）、莫斯科钢铁学院（库曼宁）、莫斯科公路学院（别尔格等），工厂和实验室的科研工作者有别尔佐夫斯基、普里马克、儒德罗，以及其他科研工作者。

尽管问题复杂，研究尚未臻完善，但是近年来有关粘砂形成机理的科学阐述和防止粘砂方法的研讨都取得了实质性的进展。如果过去解释铸件易剥离粘砂层的产生是由于生成玻璃体，那么，而会由于基辅工学院和切良宾工学院等的研究工作，确实证明了该假说不成立，而且指出，铸铁和铸钢件形成粘砂的主要原因是氧化铁。这些研究工作的结果，使研究者抛弃了形成粘砂“玻璃体”的假说，而现在则认为是所谓的粘砂氧化物理理论⁽¹⁵⁾。

在奉献给读者的这本书中，作者试图系统总结近年来在铸铁和铸钢件防粘砂方面的经验，介绍粘砂形成的机理，以及防止粘砂途径方面的科研成果，其中也包括作者本人的科研成果。

目 录

译者序

原 序

第一章	铸型形成粘砂的机理.....	1
1、	粘砂的分类.....	1
2、	机械粘砂形成的基本规律.....	2
3、	金属、型砂的成分和型内气氛对形成化学 粘砂的影响.....	7
4、	粘砂层与铸件的粘连和易剥离的粘砂.....	16
5、	与粘砂有关的铸件表面缺陷.....	34
第二章	预防铸件粘砂的途径.....	37
1、	获得无粘砂铸件的基本先决条件.....	37
2、	获得湿型铸造表面光洁铸件的途径.....	42
3、	湿型铸铁件减少粘砂的方法.....	45
4、	减少湿型铸钢件粘砂采用氧化性的附加物.....	48
5、	干型铸件粘砂的预防.....	49
第三章	制备防粘砂涂料的原材料.....	53
1、	耐火填料.....	53
2、	溶剂.....	59
3、	悬浮稳定剂.....	61
4、	粘结剂.....	67
第四章	防粘砂涂料的性能.....	76

第五章	防粘砂涂料的性能和铸件表面质量的检验	84
1、	制备防粘砂涂料用的原材料性能的检验	84
2、	涂料工艺性能的检测	90
3、	干态或固态下涂料性能的测定	95
4、	涂料高温下性能的测定	98
5、	铸件表面质量的检验	105
第六章	水基防粘砂涂料	112
1、	含有机粘结剂的涂料	112
2、	无机粘结剂涂料	130
3、	防粘砂涂膏和抹料	141
4、	水基自硬涂料	143
5、	降低水基涂料和涂膏的吸湿性	147
第七章	自干涂料	149
1、	有机粘结剂涂料	149
2、	有机硅粘结剂涂料	158
3、	不含溶剂的防粘砂涂料	165
第八章	制备防粘砂涂料和涂膏的设备以及涂敷装置	170
1、	防粘砂涂料和涂膏的制备	170
2、	防粘砂涂料和涂膏的涂敷	173
第九章	用高耐火度和化学惰性的造型材料制备铸型和型芯	184
第十章	各种预防粘砂方法的经济效益	192
1、	高质量防粘砂涂料运用的经济效益	193
2、	采用高耐火度面砂的效益	195
参考文献		

第一章 铸件形成粘砂的机理

1、粘砂的分类

粘砂可以分成机械粘砂、化学粘砂和热粘砂。

机械粘砂 液态金属渗入到铸型和型芯表面的孔隙中形成机械粘砂。液态金属包覆部分砂粒，凝固以后便形成金属陶瓷型的粘砂层，它与铸件牢固结合，其抗拉强度能达到 18 kgf/cm^2 (15)。

机械粘砂使铸件表面的清理和机械加工变得困难。

化学粘砂 化学粘砂是铁的氧化物与铸型材料和浇注气氛相互之间物理化学作用的结果。在铸件表面上形成粘砂层，由于这些相互作用，造型材料的颗粒在粘砂层中，既能够同铁的氧化物粘结，也能够与易熔的硅酸铁等粘结。这种造型材料的粘结不仅能够形成液态的，而且也能形成部分的烧结。

化学粘砂又分为难剥离的和易剥离的，后者是易从铸件上剥离的烧结层。

热粘砂 热粘砂的形成是由于造型材料的熔化（由于其中存在着易熔的夹杂）和铸件表面熔焊在一起。这种粘砂可以通过氧化铁的薄膜或渗入金属同铸件粘合在一起。

在大多数情况下，由于造型材料的熔化温度比浇注的金属（铁合金）高，那么，热粘砂自身不会形成，而是化学粘砂的继续。

关于粘砂的概念，随着铸造生产科学的发展而改变，最初的热粘砂假说，现在已经无人再坚持了，后来出现了机械粘砂和化学粘砂的假说。在50年代，由于发展了水玻璃砂造型制芯工艺，出现了《易剥离粘砂》的概念。

下面将要说明，在大多数情况下，观察到的将是综合性的粘砂，即机械——化学粘砂，为了阐明粘砂的本质，从方法论的观点出发将粘砂进行分类研究为好。

2、机械粘砂形成的基本规律

液态金属渗入到铸型或型芯的表面，在温度不低于合金停止流动的温度时，才能形成机械粘砂。随着流动性的提高（增加过热温度可以提高流动性）和铸型加热厚度的增长（浇注温度决定于铸件的厚度和铸型的导热性），则液态金属渗入的深度增大，结果铸件的粘砂层厚度增大。实验与计算^(3,4)都表明，金属加热铸型的速度远低于它的渗透速度。因此，前者决定了金属对铸型孔隙的渗透深度。

如果金属渗入铸型的深度超过砂粒的半径，就会形成粘砂。铸型被加热到金属熔点温度的砂层厚度，对于铸铁和铸钢小件一般在1~3 mm，对于大型铸件是20~30 mm。而型芯被加热的深度要大得多⁽⁷⁾。

提高浇注温度和增加铸件的重量，粘砂层厚度进一步增加，这是由于液态金属同铸型的接触时间延长了。在其他相同条件下，随着凝固区间的增加，加剧机械粘砂。

在铸型和型芯的热节部位上粘砂多，因为这些部位型砂有较厚的烧结层。随着铸件热节厚度（或直径）的增大，和铸件交叉壁转角的减小，即由L形变为T、X、Y形热节

时，粘砂厚度 δ （根据20ГCЛ铸钢件）增加（图1）〔25〕。

在文献〔52〕中说明，金属液渗入铸型孔隙（由导热性和渗透性决定）直到金属液传给铸型的热量超过铸型散走的热量为止。这时金属液停止渗入铸型的温度，叫做临界温度。

根据文献〔96〕雷日可夫（Рыжиков）的意见，即使与铸型接触的铸件表面处于半凝固状态，液态金属仍可挤压通过金属凝固壳的孔隙渗入到铸型表面的砂层中。

由于与金属相接触，铸型和型芯表面被加热的温度，主要取决于铸型材料的冷却性能，即取决于它的蓄热系数。所以，采用具有较高的蓄热能力的材料，会减少液态金属的接触时间和它对铸型表面相应的渗透。由此，许多作者认为，象铬铁矿、铬镁矿、锆石等材料，能够改善铸件表面光洁度，因为它们都具有较高的蓄热能力。在铸型材料中添加铁砂或其它物质，以提高铸型的蓄热性能和缩短铸件的凝固时间，具有相同的效果。

然而，仅用蓄热性能不能解释例如铬铁矿在砂型中可以得到表面光洁的铸件的原因。根据库曼宁（Куманин）的资料，具有6%水玻璃的石英砂型砂的蓄热系数为 $28\sim 30 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{c}^\circ \cdot \text{h}^{0.5}$ ，而铬镁砂或铬铁矿砂型砂的蓄热系数是 $40\sim 50 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{c}^\circ \cdot \text{h}^{0.5}$ 。应该认为，在此起主要作用的

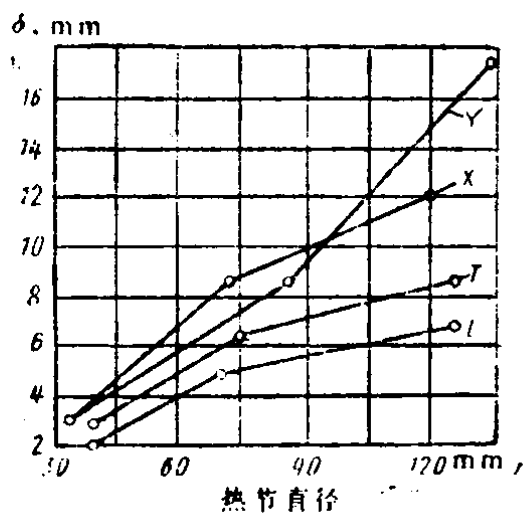


图1 金属渗透深度与L、X、T、Y形热节的关系

是氧化铁及其化合物使型砂烧结（型壁孔隙减小）。

湿型铸造时粘砂的减少，同样可用湿型的激冷能力提高来解释。

在非合金和合金结构钢涡轮机铸件采用悬浮浇注加入显微制冷剂（铁粉和铁合金）时，可以明显地看到粘砂、夹砂和包砂的急骤减少⁽¹¹⁰⁾。显微致冷剂合理的加入量应能使铸钢的浇注温度降低到液相线。

在这种情况下，铸件的表面缺陷急骤地减少（铸造缺陷的清铲工作量减少 $\frac{1}{3} \sim \frac{1}{4}$ 倍），其原因是降低了铸钢浇注温度（每加入1%显微致冷剂，降低温度 $13 \sim 16^{\circ}\text{C}$ ），降低了流动性和对铸型孔隙的渗透能力，同样也减少了型芯和铸型被加热的深度。

金属对铸型的渗透深度取决于型壁的孔隙尺寸，而孔隙的尺寸是由铸型材料的颗粒组成、型砂紧实度以及在金属浇注和冷却时铸型表面发生的物理化学反应所决定的。

起初，金属渗入到较大的孔隙中，然后渗入到较小的孔隙中，随着砂子分散度和铸型紧实度的提高，型壁孔隙尺寸和机械粘砂减少。

关于砂子的颗粒对形成机械粘砂的影响，已经出版了大量的文献。在很多文献中，为了得到表面光洁的铸件试图选择最理想的型砂颗粒组成。为了减少粘砂，大多数研究工作者推荐往大粒砂中添加细砂，或采用粒度分散的原砂。同时，另一些研究工作者认为，粒度分散的砂子会增加粘砂。

关于在金属液和铸型接触的界面上发生的物理化学相互作用，它既能减少又能增加型壁孔隙尺寸，并相应地减小或增加铸件的机械粘砂。

许多文献指出，由于砂粒的烧结，致使孔隙尺寸增大，金属液对铸型和型芯表面的渗透加剧。由于型砂中有易熔夹杂物的存在，由于有氧化铁的渗透，特别是当粘土加入量大时，发生烧结。许多学者认为，型砂含水量增加，也能促使铸型表面形成孔隙。

型砂的紧实度同样影响金属液对铸型的渗透。古里亚耶夫（Гуляев）和鲍罗夫斯基（Боровский）的研究表明，减小金属对铸型的渗透最有效的办法是把型砂的压实比压提高到 10kgf/cm^2 ，但进一步增大比压金属渗透深度不会明显地减少。

既然不氧化的金属不浸润铸型表面（金属润湿铸型的浸润角大于 90° ），那么，毫无疑问，只有在有足够的压头下金属液才能对铸型渗透，即在一定的临界压头下才能对铸型渗透。该压头的数值必须大于型砂孔隙中毛细管反压力和气压力的总和。

在很多文件中都指出，金属压头超过临界值时，则粘砂增加，而且在实践中亦如此。

毛细管反压力按下式确定：

$$P_{\text{毛细}} = 2\sigma\cos\theta/r \quad (1)$$

式中 σ ——液态金属与气相界面的表面张力，

θ ——金属对铸型的浸润角，

r ——毛细孔半径。

所以，为了提高 $P_{\text{毛细}}$ ，应当增大 σ 和 θ ，减小 r 。由于金属液对铸型不浸润，则 $P_{\text{毛细}}$ 取负号。

表面张力和浸润角的数值主要取决于气体介质、温度、金属和型砂的化学成分。如前所述，采用细粒原砂来降低毛

细孔半径。

可以采用增加铸型发气性和减小其透气性的方法来提高铸型毛细孔中气体的压力。考虑到铸件中形成气孔缺陷的危险性，所以提高铸型中气体压力是不合理的。

通常希望在铸型中建立起有向性气体流动。为此，仅需提高铸型表面的紧实度（涂防粘砂涂料），而在远离金属与铸型接触表面的背砂层中，则采取降低紧实度或扎通气孔来提高透气性。在一定的压头下铸件表面才会有纯粹的机械粘砂，而该压头的数值取决于铸型的毛细孔尺寸。

依据雷日科夫的计算^[98]，当铸型的毛细孔半径为0.1mm，钢的表面张力为1500dyn/cm和铸型材料的浸润角为180°时，金属液渗入型壁内需要有86cm的金属压头。为此，如果金属液渗入铸型的深度超过砂粒半径，便会形成粘砂。在低的铸件上（此处的金属压头很小），就不一定会有机械粘砂。然而，现实的情况是氧化了的金属液甚至在较小的压头时，就能渗入铸型毛细孔。因为氧化了的金属液能很好地浸润铸型材料，并随之尚未氧化的金属液亦渗入。

许多研究者认为，铸件表面上的粘砂层是被渗入的金属液粘连，铸件冷却以后已被粘住的砂粒不能落砂。并且铸件的表面不是由渗透金属的凸缘组成的粗糙表面，而是粘砂层。这个粘砂层经常被渗入的氧化金属液所粘连，如果这些渗入的金属液有足够的时间充分氧化，那么粘砂层同铸件的粘连是不牢固的。

据根古里亚耶夫和鲍罗夫斯基的资料，粘砂的形成分两个阶段：初始金属液渗入孔隙中（机械粘砂），然后渗入的金属液被氧化，形成化学粘砂^[30]。

按照这种解释，只有当金属的压头足够大和砂型（芯）表面的孔隙较大时，才能形成粘砂。在缺乏足够大的压头和压头很小时，没有氧化的金属液渗入铸型表面几乎是不可能的。此外，单用金属液的渗透尚不足以说明粘砂的发生。同样，当铸型的表面不存在孔隙，当造型材料性质不存在差异时，也无法阐明粘砂层与铸件粘接的实质。

如此，在大多数情况下，被观察到的是综合性的粘砂，亦即化学—机械粘砂。正如库曼宁正确指出的那样，形成了复杂的粘砂层。即与铸件接触的界面上的机械粘砂转变为化学粘砂，而在粘砂层的外表面，即与没起变化的型砂交接的界面上可能是热粘砂。

在国外的文献中常常把《金属渗透》和《粘砂》等量齐观，亦即赋予机械粘砂的含意。

关于机械粘砂形成的机理还有另外的解释。例如，认为金属的收缩，和型砂的膨胀所产生的压力，促使粘砂的加崩。因此，型芯做成空心的（铸件收缩阻力下降，排气得到改善），甚至可以使热节部位的粘砂层厚度急骤减少〔20、25〕。

据根文献〔9、41〕，不仅是金属液，而且也可以是铁碳络合物渗入铸型表面，结果产生铸件粘砂。

3、金属、型砂的成分和型内气氛对形成化学粘砂的影响

正如已经指出的那样，在形成化学粘砂中起主要作用的是金属表面的氧化和氧化铁与铸型材料的相互作用。因此，几乎所有的研究者都指出，在粘砂层中存在着大量铁的氧化物。

据根阿尔哈洛夫 (Архаров) 的资料^[4]所示, 在高温下, 铁的氧化进行的非常迅速, 在 1 min 内可以形成 0.001 mm 厚的氧化膜。

浇在铸型中的熔融金属都含有一定数量的氧, 以溶解状态或氧化铁的形式存在, 在浇注时与铸型接触的金属液又进一步被氧化。

金属的氧化促进氧化铁在铸型材料和铸件的金属中溶解, 而氧化物薄膜增加金属对铸型的浸润性, 结果湿润角迅速减小。对于非合金钢和不锈钢, 在空气中 3 min 后, 湿润角减小到零^[7]。此时, 金属氧化的媒介可以是氧、水蒸汽、二氧化碳等, 这些介质在铸型中总是存在的。铸件表面的氧化程度主要取决于型内气氛的组成, 型内氧化特性的变化与型砂的水分和组成有关。

由镍铬高合金钢浇注的铸件粘砂较少, 因为这些钢与碳钢相比, 氧化倾向小, 而且生成的铬的氧化物不与铸型材料起化学反应。相反, 由高锰钢 (奥氏体) 浇注的铸件粘砂相当严重, 因为铁锰氧化物的化学活性大^[96]。

由铁—氧系状态图可以看出, 铁能形成三种氧化物: 氧化亚铁 (FeO)、四氧化三铁 (Fe_3O_4) 和三氧化二铁 (Fe_2O_3)^[4]。

氧化亚铁 (FeO) 具有立方晶格, 理论的含氧量为 22.28%, 不过这种氧化亚铁仅为介稳定的相, 在 FeO 热稳定相中含氧量较大。例如, 在 570°C 时, 在 FeO 中含氧量为 23.57%, 随着温度的提高, 氧化亚铁存在的相区扩大。既然氧化亚铁相的成分位于 FeO 和 Fe_3O_4 之间, 那么, 该相可视为 $\text{FeO}-\text{Fe}_3\text{O}_4$ 固液体。对于氧化铁, 已知的同素

异构体的有 $\text{Fe}_2\text{O}_3-\alpha$ 和 $\text{Fe}_2\text{O}_3-\gamma$ ；前者是稳定的并且具有斜方六面体的结晶晶格，后者是介稳定的，可以用磁铁矿低温氧化得到。 $\text{Fe}_2\text{O}_3-\gamma$ 和 Fe_3O_4 具有磁铁的性质，结晶形成立方晶格。在 $\text{Fe}_2\text{O}_3-\gamma$ 和 Fe_3O_4 之间存在着连续的中间固溶体系列。 Fe_2O_3 微溶于 Fe_3O_4 中，而磁铁矿 Fe_3O_4 不溶于 Fe_2O_3 。

熔化温度： FeO 为 $1370\sim 1380^\circ\text{C}$ ，而 Fe_3O_4 为 1597°C ， Fe_2O_3 大于 1600°C 。确定 Fe_2O_3 的熔点比较困难，因为 Fe_2O_3 在高温时分解变化大，熔化分解后的成分介于 Fe_2O_3 和 Fe_3O_4 之间，而且更接近后者。

随着温度的提高，各种氧化铁的热稳定性改变。图2表明， $\text{Fe}-\text{O}$ 系化学反应等压位 ΔZ° 的变化与温度的关系(114)。

已知，反应生成的化合物等压位 ΔZ° 的负值越大，在给定的条件下它就越稳定。化学反应 Z (图2)的 ΔZ° 的最大负值可达到843K，它证明 Fe_3O_4 在低温时最稳定。在高于843K时， FeO 是最稳定的氧化物，图2上线段1的位置最低就说明了这一点。

由于铁的氧化，在铸型表面上形成了一层氧化膜，靠近金属的连接层(最厚的)由 FeO 组成，中间的是 Fe_3O_4 ，最外层由 Fe_2O_3 组成^[4]，展现出 $\text{Fe}-\text{O}$ 状态图的另一种模式(图3)。 Fe_2O_3 层常常是很薄的，X光衍射有时也发现不了。氧化亚铁层分为两个部分：一部分附在氧化铁皮的表面上，另一部分留在金属上(图3的AA直线)，在铸件冷却时， FeO 转变成 Fe_3O_4 和 Fe_2O_3 。用X光衍射时，在铸件的表面和粘砂层中可以观察到。