

铸型涂料

肖柯则 编著

ZHU XING

TU LIAO

机械工业出版社

前 言

铸造技术在我国有着悠久的历史。伴随着这一技术的发展，远在四千年前的青铜器时代，我们的祖先即已注意到涂料的应用，并对涂料在铸造生产中的作用，给予了较高的评价。也正是由于涂料在提高铸件表面质量和减少铸件清理费用方面，有显著的经济效益，因而使它得到迅速发展。目前，铸型涂料在铸造生产中得到日益广泛的应用，品种和规格更是日新月异。为帮助读者全面系统地掌握铸型涂料的基本理论知识和生产工艺，更好地以这些理论知识指导生产和科研工作，编写了这本书。

全书共分九章，第一章着重介绍涂料的作用和基本要求。第二、三章除对涂料的粘度和细度做了必要的论述外，还在研究试验的基础上，详尽地叙述了表示细度的各种方法，以及不同原材料和不同工艺对涂料流变性能的影响，并对触变结构的形成提出看法。第四、五章较详细地介绍了涂料的制备、使用和涂料原材料的选择。第六章为涂料分类，结合生产中较有成效的经验，尽量多地列举了各种涂料的配方。一种合理的配方往往因制备方法不当，使涂料达不到规定的使用性能，因此在第七章中讨论了涂料的不同涂敷方法和要求涂料具有不同的物理性能。为保证涂料具有所需性能，使其达到一定的质量标准，还需要以各种不同方式对涂料和涂层进行测试，因而在第八章中列举了涂料的各种测试方法。最后，在第九章，结合涂料在铸件上易产生的缺陷，进行了

目 录

前言

第一章 绪论	1
一、涂料的作用和组成	2
二、对铸型涂料的要求 ^{〔8〕}	9
三、涂料的经济效益	11
第二章 涂料细度	14
一、研究涂料细度的意义	14
二、粒度的表示方法	16
三、粒度测量	21
四、测量实例与计算	28
第三章 涂料的粘度	34
一、粘度与表观粘度	34
二、涂料流体的类型	36
三、触变流型	38
四、粘度的测量	43
五、影响涂料触变性的因素	49
第四章 粉料与载液	55
一、粉料	55
二、载液	80
第五章 粘结剂、悬浮剂及其他	88
一、粘结剂	88
二、悬浮剂	101
三、其他	110

第六章 涂料的分类	116
一、金属型涂料	116
二、砂型涂料	122
三、其他造型方法涂料	131
第七章 涂料的制备、涂敷和干燥	137
一、涂料的制备	137
二、涂料的涂敷	149
三、涂料的干燥	160
第八章 涂料性能与测试	170
一、取样	171
二、颜色	171
三、比重	172
四、固体物含量	175
五、pH 值	176
六、悬浮性	176
七、渗透性	180
八、使用量	181
九、干燥性	182
十、干燥时间	183
十一、涂层厚度	184
十二、涂层透气性	187
十三、涂刷性	188
十四、流平性	190
十五、流淌性	191
十六、硬度	193
十七、耐冲击强度	194
十八、抗剪强度	195
十九、附着力	196
二十、涂层热抗弯强度	197

VI

二十一、热传导性 ^{〔13〕}	199
二十二、发气性	200
二十三、灼烧减量	201
二十四、吸湿性	202
二十五、高温抗裂性	203
二十六、高温稳定性	203
二十七、抗粘砂性	204
二十八、抗渗砂性	205
第九章 涂料缺陷分析	209
一、涂料在制备与贮存过程中出现的缺陷	209
二、涂料在使用过程中出现的缺陷	213
三、涂层缺陷	220
四、因涂料不当造成铸件缺陷	228

第一章 绪 论

在铸造生产中，铸型的作用是十分重要的，它使液态金属在其中凝固成为铸件，因此，铸型质量是决定铸件质量的重要因素。

铸型型腔直接同金属液接触的表面，称为工作表面。铸型的质量在很大程度上决定于工作表面的质量，因为在金属液浇注和凝固过程中，金属液与工作表面之间形成的界面上会发生一系列物理和化学作用。在不利的条件下，铸型和金属液在界面上的相互作用会导致铸件表面粗糙，甚至产生粘砂、砂眼、麻点等铸件缺陷。为了改善铸型工作表面的质量，可以在工作表面涂敷涂料，以保证获得表面质量优良的铸件。

涂料通常是由粉料、粘结剂、悬浮剂和载液组成的。粉料是涂料的基础，它借悬浮剂在载液内悬浮，并被均匀地涂敷于铸型或砂芯的工作表面上。载液挥发后，粘结剂使粉料干结成致密涂层，保护了工作表面。

直接用粉料擦涂在铸型或砂芯的工作表面，也能形成涂层，这种粉料称为扑粉。扑粉填塞了砂粒间的孔隙，防止金属液渗入孔隙，提高了铸件的表面质量，并且使铸型工作表面与铸件易于分离，使铸件便于清理。但扑粉的涂层厚度比涂料薄得多，对铸型的保护作用不如涂料有效。因此，在铸造生产中广泛应用涂料，并且随着铸型种类和铸件金属品种的发展其用途日益增加。

一、涂料的作用和组成

1. 涂料的作用

(1) 提高铸件表面质量

涂料的主要作用是降低铸件的表面粗糙度。涂料组成物的粒度和涂挂性能均直接影响涂层表面的粗糙度。砂型铸造铸件表面粗糙度一般为 11~12 级，铸件表面波峰和波谷(奇点)算术平均偏差为 25~50 微米，涂层作用良好时铸件表面粗糙度一般为 8~9 级，相应全部奇点的算术平均偏差为 3.2~6.3 微米〔1〕。

涂料中的固体组成物颗粒应微细，以使常温时的涂层表面光滑。此外，涂层应具有较高的化学稳定性，以防止与熔融物(金属与渣等)发生任何化学变化。涂层虽由细颗粒耐火粉料组成，但颗粒间仍存在着孔隙。这些孔隙可看成是毛细管，液体可借助毛细作用渗入孔隙内部，此时渗入到这一毛细系统去的最高或临界压力 P (图 1-1)。

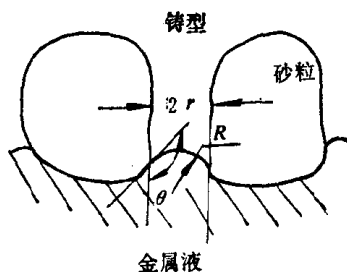


图1-1 金属液渗入孔隙的示意图

$$P = \frac{2\sigma}{R}$$

式中 σ ——金属液-气体界面上的表面张力，

R ——毛细管内液面的曲率半径。

一般金属液对型壁不湿润，故湿润角 $\theta > 90^\circ$ 临界压力以毛细管反压力 P' 的形式表现：

$$P' = \frac{2 \sigma \cos \theta}{r}$$

式中 r ——毛细管半径, $r = R \cos \theta$ 。

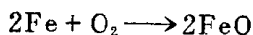
涂料中耐火粉料愈细, 排列致密, 孔径愈小, 金属液愈不易渗入。金属的表面张力愈高, 也使铸件表面粗糙度降低。当金属液对型壁湿润能力增加或金属液的静压力较高时, 铸件表面粗糙度增加。

总之, 在涂层高温化学稳定性较好的前提下, 涂料组成物颗粒愈细, 涂层愈光滑, 铸件表面质量就愈好〔2〕。

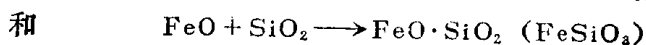
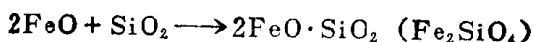
(2) 减少铸件粘砂缺陷

当金属液浇注温度较高, 涂层覆盖下的铸件壁较厚时, 涂层与金属或其氧化物相互不发生化学作用的可能性是比较小的。这是高温下化学稳定性不好的表现, 其结果造成铸件表面缺陷, 如粘砂、麻点等。这种由于浇注金属本身性质决定的粘砂缺陷, 可通过涂层原材料和其附加物在浇注过程中在型腔中造成有利气氛, 以使粘砂层易从铸件表面剥离, 达到铸件表面无粘砂、容易清理的目的。

铸钢常用石英粉涂料, 钢液在浇注温度或更低的温度下, 表面不断产生各种铁的氧化物, 其中以氧化亚铁较多, 其化学反应为:



同时, 以氧化亚铁为主的各种氧化铁还与石英起下列化学反应:



上述二式右方生成物虽然均为铁橄榄石, 但在正硅酸铁 (Fe_2SiO_4) 中, FeO 含量较高, 说明氧化亚铁的形成速度

高于铁橄榄石的生成速度。在铁橄榄石熔层与金属表面间将逐渐积累起一层氧化铁层，铸件冷却后凝固的铁橄榄石层会自动地从金属表面剥落，得到光滑的铸件表面。所以在涂料中配入氧化剂如配入适量的氧化铁等，或在型腔内建立起氧化气氛，均可促使形成易剥离的粘砂层。

生成氧化亚铁的化学反应可在铸件凝固后的一段时间内持续进行，而生成铁橄榄石的反应则只在氧化亚铁为液态时 ($>1377^{\circ}\text{C}$) 方能进行。由于 $\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$ 熔点更低 (1205°C)，生成物容易渗入到铸型内部，所以厚壁铸钢件粘砂层较厚，但氧化亚铁量很大很容易从铸件本体剥离，粘砂层结构如图 1-2 所示。为保证剥离， FeO 层厚度不应低于 100 微米 [8]。

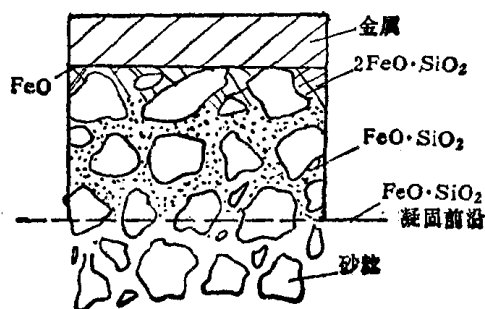
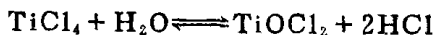


图1-2 粘砂层结构示意图

不同铸型材料引起的粘砂现象及

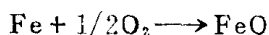
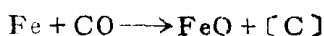
利用涂料造成粘砂层易于剥离的机理是不同的。例如水泥型使用的一种涂料是用来脱水的 TiCl_4 在甲醇中溶解并兑适量的水配制而成，浇注金属后在型腔内由于下列化学变化发生盐酸气体：



浇注温度愈高（铸钢），生成的盐酸蒸汽愈多，说明反应易于向右方进行。此时，粘砂层剥离现象更为显著，即涂料防止铸钢件粘砂的效果更为明显。这种防止粘砂的机理是：上述化学变化所生成的盐酸蒸汽吸收型芯砂中的碱金属和碱土金

属离子，使氧化铁与石英形成铁橄榄石的反应不易进行。因为纯净的石英与氧化铁很难反应，而氧化铁的生成受盐酸蒸汽的影响不大，铸件表面氧化铁的积累比较快，所以粘砂层易于从铸件表面剥离。

涂层中粘结剂较多，如高温分解产物（CO，O₂…）与金属作用产生下列反应，有利于铸件表面氧化铁的积累及防止粘砂现象的发生：



我国不少工厂使用机油与石墨对半混合，加汽油稀释喷涂湿型，浇注铁液后获得的电机机壳表面比较光洁。这种涂料造成粘砂层易于剥离的机理是：在铸件表面与粘砂层之间形成使后者易于剥离的隔离层。隔离层的主要成分是石墨与油类不完全燃烧所产生的光亮碳。对铸铁件而言，这是有效地改善铸件表面质量的方法〔4〕之一。

（3）加固砂型、减少浇注时的冲砂现象

水玻璃砂型溃散性不好。为改善其溃散性，应严格限制水玻璃用量，并使砂型室温强度不要太高。这种砂型在浇注钢液时，由于表面强度低易发生冲蚀现象，使铸件出现砂眼缺陷。为改善这种状况，可在铸型表面喷加固涂料。

加固涂料是一种强化效果好、且可自硬的树脂液，其配比如下〔5〕：

对位二恶烷（溶剂）	300 毫升
多聚甲醛	12 克
间苯二酚	22 克
浓盐酸（固化剂）	2.5 毫升

在酸的作用下，多聚甲醛析出甲醛与溶解在溶剂中的酸

类在室温下缩合，从而加固铸型表面。湿型上喷涂的糖浆水液，其用途亦属同一性质。

加固性涂料大多不含耐火粉料，在型（芯）表面不形成涂层。它渗入型（芯）表层，加强砂粒间粘结力，提高型（芯）表面强度和整体强度。所有可以自硬的、快干的粘结剂都可使用。

（4）加强金属与铸型间的相互作用，造成铸件表面合金化与晶粒细化

将金属粉末混入涂料中，在铸型（芯）工作面形成涂层。浇入金属后，将通过下述四条途径，使铸件表面晶粒细化，改善了铸件的冶金质量：

① 涂层中的金属粉末与浇入金属属于同一种类，粉末可作为晶核生长成晶粒。铝粉涂料用在铸铝砂型上，晶粒细化效果较好，单位面积上晶粒数较不上涂料时增加4至9倍。

② 涂料中的金属粉末晶格常数与浇注金属非常接近，也可作为晶核生成晶粒。 γ -铁粉涂料用在铸铜砂型上，晶粒细化效果不显著，单位面积上晶粒数只增加1.2倍。

③ 涂料中的金属粉末化学性质活泼，它可以分解浇注金属表面氧化皮，析出的金属微粒成为有效的非自发核心，晶粒细化效果极为显著。镁或钛粉涂料用在铸铝砂型上，可使铝铸件表面晶粒数目增加50倍。

④ 涂料中盐类或金属粉末在金属液的浇注温度下有蒸发现象。剧烈蒸发使得铸件凝固层枝晶脱落，并在对流过程中碎化，而形成细小晶粒。例如浇白口铁的砂型上刷锌粉涂料，其奥氏体和铁素体晶粒组织均得到细化〔6〕。

涂料中金属粉末熔点略低于浇注金属的浇注温度时，一

且与金属液接触，涂料中的金属或合金即呈熔融状态，并向浇注金属中扩散。由于浇注金属凝固已经开始，扩散路程较短，仅铸件表面得到由涂层中扩散来的金属元素或合金，使铸件表面合金化。这种改善铸件表面质量的方法在黑色金属铸件上应用得较多。

铸铁件局部厚大，如螺栓孔搭子，常因凝固时石墨化充分，型壁发生移动而产生缩松缺陷。可在铸件厚大处的型腔表面上刷含铈涂料，阻碍石墨化，以防止产生缩松。

铈也具有类似作用，它们能改变铁水的临界冷却率和增加其结晶速度。涂料中含铈粉多（50~75%）可在铸件局部造成厚达3~4毫米的白口组织，使铸件硬度高、耐磨。

锡、锑在这方面的作用较弱。为减少铸铁件局部的铁素体，含锡粉70%的涂料层刷在相应的型腔部位，使铁素体减少，珠光体增加。锡锑联合加入，可节省锡粉用量。

涂料中如含有熔点较浇注金属熔点更高的、难熔的金属元素或合金时，这些元素或合金不能在铸件表层造成合金化，而只能以镶嵌的方式存在于铸件表面。这就要求涂层对金属液有较大亲和力，同时较多孔隙容许金属液渗透其间。涂层本身成为铸件表层，常用来使铸件局部具有特殊性能（抗磨、耐蚀、耐热等）。这是直接利用涂料强化铸件的另一条有效途径〔7〕。

（5）改善金属型、扩大其使用范围

在金属型上，涂料的作用是极其重要的。

① 由于这种铸型刚性较大，控制涂料层厚度，可使铸件在凝固的过程中，获得一定程度的容让，以减少铸件内应力的发生和开裂现象。

② 涂料为金属型提供绝热保护层，一般可提高金属型

反复使用的次数。而对铸铁来说，控制涂料的热物理性能，可防止白口缺陷的产生，铸件的机械性能较砂型或不加涂料的金属型铸出的高。

③ 变更涂料的材料和涂层厚度，并配合金属型导热性好的特点，可以在铸件内建立起有利于冒口补缩的凝固顺序。在金属型内浇铝铸件，邻近冒口部位型腔可使用涂层较厚的蛭石为粉料的涂料，而远离冒口的型腔部分则可采用涂层较薄的石墨粉为粉料的涂料。一般涂层能缓和金属型的导热作用，但在不同情况下，其导热的缓和程度不同，因而可以用涂料来控制金属型中的铸件凝固过程。

目前，在钢或铸铁的金属型铸造中，涂料的作用更为重要，对涂料耐火粉料的选择、配制和涂敷工艺都提出严格要求。随着金属型铸造使用范围的不断扩大，涂料相应地得到改进，两者相互适应和促进，使黑色金属的金属型铸造用涂料也得到发展。

总之涂料的主要作用是在铸型与浇注金属之间建立起隔离层(也称为涂层)，在大多数情况下要求涂层在高温下既不与金属也不与铸型产生任何化学作用。例如图 1-3 所示的铝矾土涂层，这种涂料刷在呋喃树脂砂芯上，铸件开箱后震动落砂，砂芯溃散，涂层仍附在铸件表面上，但当铸件冷却到一定温度时，涂层即能一片片地脱落。在不同情况下，可以使涂层与浇注金属或铸型作用：前者目的是使铸件表面或局部具有特殊的性能，而后者目的是使铸型具有抗金属渗透

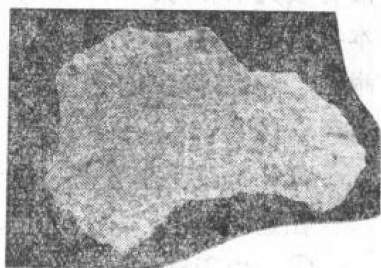


图1-3 铝矾土涂层

能力或使粘砂层烧结后具有从铸件表面自行剥离的能力。由于金属与铸型的界面反应过程非常复杂，金属和铸型材料中所含各种杂质又不易控制，涂层的热化学性质也缺乏具体数据可供定量说明，所以目前主要是用试验的方法来确定不同用途下涂料的组成、配方和涂敷工艺。

2. 涂料的组成

常用涂料均由下述五种基本组分所构成：

- 1) 粉料 形成涂层的主体部分，一般为细粉状耐火材料。
- 2) 粘结剂 使粉料附着铸型。
- 3) 载体 溶解粘结剂，并携带粉料渗入砂粒间的孔隙中，或在铸型表面形成涂层。
- 4) 悬浮剂或增稠剂 分散粉料，使涂料为稠体。
- 5) 助剂 使涂料或涂层性能改善的添加剂。涂料中助剂有表面活性剂、消泡剂、防腐剂、抗氧化剂、流变促进剂、芳香剂等。涂层中助剂有氧化剂、助熔剂、能析出光亮碳的有机物、高退让性物质等。

二、对铸型涂料的要求〔8〕

一种优良的铸型涂料，应该具备良好的使用性能（工艺性能）和涂层性能（浇注性能），现分述如下：

① 涂料在使用时，应无臭、无毒、无腐蚀性、无放射性。涂料中某些溶剂例如四氯化碳具有挥发性，有毒。空气中含这种溶剂的挥发物含量不能超过百万分之二十五（25 PPM）。

② 贮存稳定性和悬浮性好。涂料应不易离浆（涂料胶体破败），不结块，不易腐败霉变。

③ 涂料粘度应符合涂敷工艺的要求。不同的涂敷方法（喷、刷、刮、浸）要求的粘度不同，涂料的粘度应在规定范围以内。涂料在使用过程中，其粘度可随着涂敷时外力的大小而变更。要求涂料在垂直型（芯）壁上涂挂时不发生流淌，而在形成湿涂层以后涂料又能自行消去毛刷在涂刷过程中形成的刷痕。

④ 涂料应有较高的渗透能力。粉料细，涂料渗透能力强。涂层不易开裂。同时砂粒孔隙为涂料填充，金属与铸型间的相互作用机会减少，粘砂层容易从铸件表面剥落。

⑤ 涂层有较高强度。强度包括对型壁的附着强度以及粉料间的结合强度。前者表现为涂料对型壁的湿润能力。后者表现为涂层对侵入外力的抵抗即硬度。涂层强度高，砂芯贮存和运输途中碰伤少，同时下芯后，吹净型腔表层粉料不会被压缩空气刮走。

⑥ 涂层固化后，无吸潮倾向，无潮解变形和强度降低的现象。

⑦ 涂层粉料含量高或固体物料对载液的比值高。一般水基涂料由湿涂层变为干涂层时其收缩率为 50~80%。收缩率如较小，涂层致密度高，不易开裂，抗金属渗透力强。

⑧ 有较高的蓄热特性。涂层蓄热特性通常是以其热容量（千卡/米³·°C）与导热系数（千卡/米·小时·°C）的乘积来表示的。粉料比重大，热容量大，或粘结剂受热分解吸收大量热能，均使金属表面迅速冷却而凝固。

⑨ 热稳定性好。热稳定性即涂层因温度急剧变化而不开裂的能力。涂层急热，表层为压应力，内层为拉应力，涂层与铸型表面的附着力不强，涂层自里向外产生裂纹。涂层导热好、强度高、则热稳定性也好。此外涂层粉料的热膨胀

系数大（石英粉），会降低热稳定性。

⑩ 可造成良好的浇注气氛。涂层遇热使型腔内成为氧化-还原性气氛或酸-碱性气氛，不释出有害气体（例如 H_2 、 N_2 等可使铸件产生皮下气孔， SO_2 及 Cl_2 等引起腐蚀）。所有气氛控制均应与涂敷工艺相配合，方能获得优质铸件。

⑪ 价格便宜。在满足技术要求的前提下，涂料成本愈低愈好。采用碳素涂料时，能用焦炭粉就不必采用石墨粉作为涂料的粉料，后者比前者价格要贵。

三、涂料的经济效益

使用涂料虽是费工、费料，但有其一定的经济效益。上涂料最起码的效益是能减少铸件的清理费用，降低铸件表面粗糙度。

概略地计算：铸件清理成本约占铸件生产成本的 30%。上涂料后，可使这数字下降到 20% 以下。涂料材料成本占铸件生产成本的 1%，涂料加工和涂敷约占铸型与砂芯成本的 10% 或铸件生产成本的 4%，故涂料占铸件生产成本的 5%，是低于清理所节约下来的 10% 的数字的〔9〕。

以某厂 6105 气缸体为例，采用涂料后，该零件的粘砂和夹砂缺陷减少了，清理费用大为减少，产品使用性能提高（机油污染少、冷却水流动快）。使用涂料前每个缸体清砂工时为 24 工时。自使用涂料后，仅需 4~6 工时，提高效率 4~6 倍。原 2 个缸体需抛丸 15 分钟，现在只需 10 分钟就能完成。每个缸体可节电 4 度，按一年生产 1400 台发动机计算，可节约清砂工 6500 个工作日，节电 5000 度，折合人民币 15000 元。

涂料原材料费用，每个缸体包括砂芯在内只需涂料 2.5 公斤，折合价格为 0.8 元。材料费用几乎与节约下来的电费

相等，是很小的。由此可见上涂料的经济效益十分明显〔10〕。

要求铸件表面光洁，除了产品性能的需要和设计者的要求外，还为了销售上的方便。铸件表面达不到用户所提供的样品光洁度时，整批铸件不能出厂。这时涂料的经济效益就更明显了。

根据涂层厚度的不同，涂料消耗指标也不同。如涂料按升计算，每升涂料可涂刷面积为 67 m^2 厚度为0.25毫米的涂层。

涂料成本还因涂料组成改变而有很大的不同，如用水代酒精作为涂料载液，用价廉耐火粉料代替昂贵的锆英粉料，成本还能降低。

另外，每吨铸件的涂料成本与铸件表面积与体积之比有很大关系。不同铸件这个比值的变化很大（比值在4~24的范围内变化），这使涂料需用量也起变化，因而每吨铸件涂料成本相差有时高达5~6倍以上。

涂料成本不仅要考虑材料费用、操作工时和设备折旧费等项目，还要考虑干燥所需费用，如采用自然干燥，厚0.25毫米涂层，在通风良好的环境下，20分钟即可干燥。如采用红外线等表面干燥方法，时间可缩短至5分钟，而能量消耗增加，每平方米涂层的涂料成本增加一元以上〔11〕。

总之涂料的经济效益是肯定的，但上涂料会给零件或工艺流程的管理上带来一定复杂性。这种情况应该充分估计并加以考虑，方能使这一工序落实，在提高铸件质量上充分发挥其作用。

参 考 文 献

- 〔1〕 ISO/R468，推荐标准。