

熔模铸件热裂纹缺陷的分析与实践

深圳市盈迅精密机械有限责任公司 (广东 518055) 潘玉洪

热裂纹是熔模铸件常见的裂纹变形类缺陷之一。生产中铸件产生热裂纹的废品率高(有时高达15%~20%),不仅增加了产品成本,甚至影响了正常的生产周期和交货期,严重地影响了企业的经济效益。因此,如何预防、减少,甚至消除热裂纹缺陷,是熔模铸造工作者的重要课题之一。

一、概述

热裂纹常发生在铸件最后凝固且容易产生应力集中的部位,如热节、拐角或靠近内浇道等处。热裂纹分为内裂纹和外裂纹。内裂纹产生在铸件内部最后凝固的地方,有时与晶间缩孔、缩松较难区别。外裂纹(见图1)在铸件的表面可以看见,其始于铸件的表面,由大到小逐渐向内部延伸,严重时裂纹将贯穿铸件的整个断面。

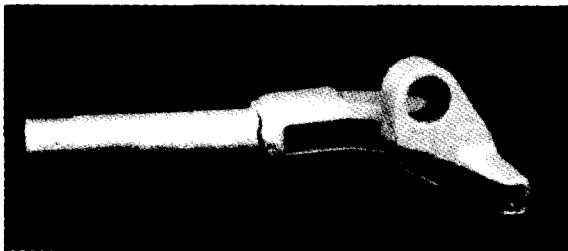


图1 铸件的外裂纹

宏观裂纹:由于热裂纹是在高温下形成的,因此裂纹的表面与空气接触并被氧化而呈暗褐色甚至黑色,同时热裂纹呈不规则弯曲状。

微观裂纹:沿晶界产生与发展,热裂纹的两侧有脱碳层现象,且裂纹附近的晶粒粗大,并伴有魏氏体组织,如图2所示。

二、热裂纹的产生原因

1. 热裂纹形成的温度范围

熔模铸件的热裂纹到底是在什么温度下发生的,

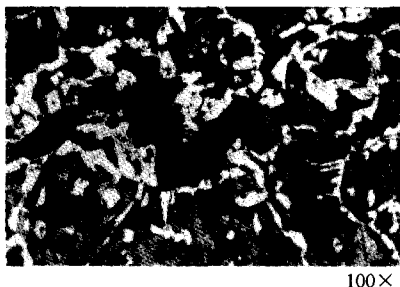


图2 热裂纹附近的内部组织

长期来说说法不一。到目前为止归纳起来仍有两种:其一,热裂纹是在凝固温度范围内但接近于固相线温度时形成的,此时合金处于固-液两相态;其二,热裂纹是在稍低于固相线温度时形成的,此时合金处于固态。

有人对碳钢铸件热裂纹形成的温度范围进行了研究。用X射线拍摄的办法,将铸件形成热裂纹的温度范围记录下来(见图3)。不管碳钢铸件含碳量多少,形成热裂纹的温度范围都在固相线附近。

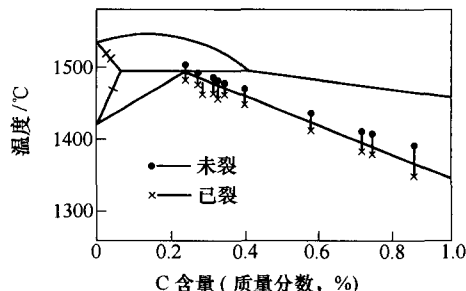


图3 热裂纹形成的温度范围

2. 产生原因

热裂纹是铸件在高温时,由于凝固时收缩受到阻碍而产生的,因此产生熔模铸件热裂纹的主要原因如下:

- (1) 铸件在高温时的强度和塑性较低。
- (2) 铸件的铸造应力大。

三、热裂纹的防止措施

1. 提高铸件在高温时的强度与塑性

(1) 合理选材 选材是一项极为复杂的技术和经济问题。所谓合理选材就是选用的材质应该同时满足铸件的使用性、工艺性和经济性。对于铸件而言,主要是铸造工艺性(热裂性、流动性和收缩性等)。如果该材质的铸造工艺性能不佳,热裂倾向性大,那么浇注出来的铸件产生热裂纹的废品率就高。

(2) 保证熔炼质量 在铸钢合金成分中,最有危害的化学成分是硫。当 $w_s > 0.03\%$, 以 0.05% 的临界铝含量脱氧,硫化物以链状共晶形式分布时,塑性很低,易引起热裂纹。在熔炼时,可以加入适量的强脱硫剂稀土元素,以减少合金中的含硫量。只要稀土元素的加入工艺合理,其脱硫效果为 $40\% \sim 50\%$, 并且稀土元素能细化晶粒,改变夹杂物的形态与分布,从而减轻了热裂纹的程度(指裂纹的大小与深浅),降低了热裂纹的数量。

另外,分布于铸钢晶界的低熔点夹杂物将降低它的强度和塑性,并且随着夹杂物的增多,强度和塑性下降,促使形成热裂纹。在熔炼时,应选用干净、清洁的炉料,采用合理的熔炼工艺,加强操作,才能保证熔炼质量。

2. 提高型壳的退让性,减少铸造应力

(1) 铸件的结构 其与形成热裂纹的关系很大。结构不合理,如壁厚差较大、热节多而大、壁厚薄的转角处圆角太小或呈尖角引起应力集中等,均会造成热裂纹的产生。

铸件的壁厚不匀,导致铸件的冷却速度不一致。薄壁处先凝固,并且有一定的强度,其对厚壁处的凝固收缩起到阻碍作用(使厚壁处收缩时受到拉应力),当阻力超过此时厚壁处合金的抗拉强度时,就产生热裂纹。

铸件壁厚薄的转角处圆角太小或呈尖角,引起应力集中,促使热裂纹的产生;圆角太大,又出现新的热节。因此,应通过试验选择适当的铸造圆角。

(2) 浇注系统 浇冒口的设置可能造成铸件收缩时的热阻碍和机械阻碍。铸件在靠近内浇道的部位,冷却较慢,凝固的较晚,因此铸件在此薄弱的部位容易引起热裂纹。如果将内浇道分散,使金属

液从多处进入型腔,就能分散热应力,减少铸件收缩时的热阻碍和机械阻碍,防止或减少热裂纹的产生。

为了使熔模铸件顺序凝固,以利于补缩,而把内浇道设置在铸件厚大处,这会使铸件上的热量分布极不均匀,产生较大的温度梯度,铸件收缩很不一致,易造成热裂纹。这就需要改变内浇道的位置,使铸件由顺序凝固变为同时凝固。铸件各处的温度均匀,凝固较一致,可以减少或防止铸件形成热裂纹。这样做虽然减少了热裂纹,却可能使铸件产生缩孔和缩松。

(3) 浇注工艺 浇注温度和浇注速度对铸件产生热裂纹的影响比较复杂。一般来说,对于薄壁件宜采用较高的浇注温度和较快的浇注速度,这可以使铸件温度很快趋向均匀,防止局部过热,同时可以使铸件凝固较慢,减少铸件的收缩应力,从而减少或防止热裂纹的产生。对于厚壁件宜采用较低的浇注温度和较慢的浇注速度。如果厚壁件也采用高的浇注温度和快的浇注速度,则金属液的收缩大,晶粒粗化,更易使铸件产生热裂纹,严重时将使铸件同时形成热裂纹和缩孔(如果两个缺陷出现在同一个部位,即为缩裂)。

(4) 型壳的退让性 铸件在凝固过程中收缩受到型壳的阻碍时产生了收缩应力,其大小直接影响到铸件是否产生热裂纹。因此,提高型壳的退让性非常重要。型壳的退让性好,则铸件收缩时的阻力小,形成热裂纹的可能性就小。

有的企业在型壳第三层以上的各层中加入适量的木屑等或在保证型壳高温强度(以浇注时不跑火为限)的情况下,减少型壳的层数,提高型壳退让性,以减少热裂纹。

这里需要特别指出的是,产生热裂纹不仅与型壳退让性有关,更重要的是与其退让性产生的时刻有关。例如:目前国内的熔模铸造多采用石英砂(粉)作为耐火材料,在自然界中出现的石英大多是低温型的,且主要是以 β -石英存在。用石英制成的型壳,在加热至 573°C 时由 β -石英转变为 α -石英。这时随着多晶转化体积骤然膨胀,线膨胀值达 1.4% ,对型壳的热稳定性影响最大。至于 573°C 以上的多晶转化,由于进行得很缓慢,需要较长的时间,程度也较轻微,故对型壳的热稳定性影响不大。

要使石英型壳具有较好的退让性,就必须使型壳在浇注时的温度高于 573℃;反之,金属液注入型腔使型壳温度迅速上升,体积急剧膨胀,铸件凝固收缩时产生很大的应力,易形成热裂纹。

四、生产实例

锁紧圈(见图4)是某产品上的一个熔模铸件。材质 ZG310-570,采用石英砂(粉)为耐火材料,以水玻璃为粘结剂的高强度型壳,每组 12 件。原浇注时型壳温度为 180~200℃,结果因热裂纹而报废的铸件很多,据两个月的不完全统计,废品率平均为 56.6%,最高一炉的废品率为 94.7%。

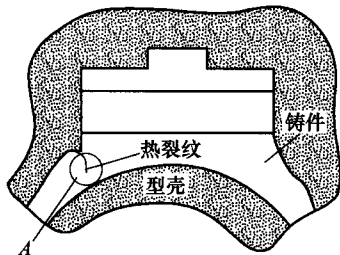


图4 锁紧圈热裂纹示意

从图4可以看出,锁紧圈在凝固过程中A处是热节,此处凝固较晚、速度较慢,铸件收缩受到型壳的阻碍,产生了热应力和收缩应力。在浇注时型壳的温度较低,恰在铸件凝固收缩时,型壳受热急剧膨胀,使应力再次增加,再加上A处有尖角产生应力集中,故此处非常容易产生热裂纹,使铸件废品率很高。

1. 试验过程与结果

在 500kg 无芯工频感应炉(酸性炉衬)中进行熔炼。炉料选用 45 钢料边和 ZG310-570 返回料(按照工艺要求)。当炉温升至 1580~1600℃时,用铝终脱氧,控制钢液的浇注温度为 1540~1560℃。

型壳经(860~880)℃×2h 焙烧,出炉后在不同的时间(因无法检测浇注时的型壳温度,而采用时间 3min、5min、8min、12min)开始浇注锁紧圈。

目视检验结果:3min 开始浇注 228 件,5min 开始浇注 104 件,8min 开始浇注 110 件,均没有热裂纹。12min 开始浇注 91 件,有 9 件产生热裂纹,废品率为 9.89%。

按照锁紧圈的实际使用状态进行热处理,锁紧圈在(880~900)℃×1h 正火;(840~860)℃×

20min 淬火;500℃×1h 回火后使用。把试验浇注合格的锁紧圈按同样的热处理工艺进行处理,结果:3min 开始浇注 228 件,5min 开始浇注 104 件,热处理后无热裂纹;8min 开始浇注 110 件,热处理后发现 2 件产生热裂纹;12min 开始浇注剩余的 82 件,热处理后发现 27 件产生热裂纹,废品率为 32.93%。

由此可见,随着开始浇注时间的延长,铸件的热裂纹增加。即原来小的、轻微的热裂纹在热处理过程中进一步扩大。

2. 实施检测

按锁紧圈的实际使用情况,进行模拟破坏性试验,主要针对 5min 和 8min 开始浇注的锁紧圈。

(1) 用测扭矩扳手测试锁紧圈承受的力矩,其结果表明:5min 和 8min 开始浇注的锁紧圈的硬度为 25~35HRC,平均承受力矩为 60N·m(产品要求承受力矩为 18N·m)。

(2) 用 100kN 液压机测试锁紧圈承受的压力(必须采取有效措施注意人身安全),其结果表明:5min 开始浇注锁紧圈的平均承受压力 64 580N,高于 8min 开始浇注锁紧圈的平均承受压力 58 780N。

(3) 矿山试验。将剩余的 302 件锁紧圈分别送到不同煤矿中的三个试验点,经现场使用半年,没有一个损坏。

(4) 热壳浇注工艺。钢液浇注温度 1540~1560℃,型壳于 860~880℃出炉后≤6min 或 8min 开始浇注(室温低于 20℃时,取 6min,其余取 8min)。

锁紧圈采用热壳浇注后,据 9 个月的生产统计,共交检锁紧圈 24 343 件,因热裂纹报废 879 件,废品率为 3.61%。另进行一次使用砂轮磨削检验,共磨检锁紧圈 4307 件,产生热裂纹 104 件,废品率为 2.41%。

五、结语

综上所述,通过热壳浇注,改进铸件结构,改变浇注系统,减少型壳层数,以及添加稀土等措施,使铸件热裂纹废品率大幅下降。

总之,只要采取提高铸件在高温时的强度与塑性,提高型壳的退让性,以及减少应力的措施,就可有效减少或消除铸件的热裂纹。MW

(20120215)