• 特种铸造 Special Casting •
DOI:10.16410/j.issn1000-8365.2019.02.016

熔模铸件脉纹缺陷分析

朱伟杰[1],潘玉洪[2]
(1. 无锡市雪浪合金钢铸造厂,江苏 无锡 214161;2. 无锡市凯斯特铸业有限公司,江苏 无锡 214161)

摘　要:脉纹是熔模铸件常见的缺陷之一。分析了正脉纹和反脉纹的缺陷特征及产生的主要原因。正脉纹的主要原因,一是型壳的内表面层有细的纤维网状或稍粗点的脉络状缝隙;二是金属液浇注速度过快或静压力头过高而产生的。反脉纹的主要原因是型壳内表面层有分层,浇注时在金属液的作用下,产生了细的纤维网状或稍粗点的脉络状的鼓胀,而产生了反脉纹。在此基础上,提出了相应的改进措施,并分析了"正脉纹"与"毛翅"以及"反脉纹"与"鼠尾"的联系和区别。

关键词:熔模铸件;脉纹缺陷;改进措施
中图分类号:TG245　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1000-8365(2019)02-0195-06

Analysis and Research on Vein Defect of Investment Casting

ZHU Weijie[1], PAN Yuhong[2]
(1. Wuxi Xuelang Alloy Steel Foundry, Wuxi 214161, China; 2. Wuxi Kaisite Casting Industry Co., Ltd., Wuxi 214161, China)

Abstract: Veins were one of the common defects of investment casting. The defects of positive and negative veins and their main causes were analyzed. The main reason for the positive veins is that the inner surface layer of the shell has a fine fiber network or a slightly coarser vein-like gap; The second is the metal liquid pouring speed is too fast or the static pressure head is too high. The main reason for the reverse vein pattern is that the surface layer inside the shell is stratified. Under the action of the metal liquid during pouring, a fine fiber network or slightly coarser vein-like swelling is generated, and the reverse vein pattern is generated. On this basis, the corresponding improvement measures are put forward, and the relationship and difference between "positive vein pattern" and "hairy wing" and "reverse vein pattern" and "rat tail" are analyzed.

Key words: investment casting; veining defect; improvement measures

1 概述

1.1 脉纹

熔模铸件局部表面出现细的纤维网状或稍粗点的脉络状条纹,这种缺陷称为脉纹。脉纹分为"正脉纹"和"反脉纹"两种。

1.1.1 正脉纹

当型壳的内表面层存在细小的网状或网络状的裂纹时,浇注后金属液在动、静压力的作用下,进入裂纹中形成了脉纹;此时的脉纹凸出于铸件的表面,称为"正脉纹"或"明脉纹",如图 1。

1.1.2 反脉纹

当型壳的内表面层存在细小的网状或网络状的鼓胀时,浇注后金属液在鼓胀的条纹上形成了脉纹;此时的脉纹凹陷于铸件的表面,称为"反脉纹"或"阴脉纹",如图 2。

1.2 产生的部位

脉纹常出现在型壳表面层产生裂隙或鼓胀的部位;常产生在铸件的大平面或大圆弧面上。

2 正脉纹

2.1 产生原因

2.1.1 型壳的常温强度低

常温强度也称湿强度,是指制好型壳后的强度。取决于型壳粘结剂的干燥(硅溶胶型壳)或型壳硬化(水玻璃型壳)的程度。常温强度低,导致型壳在制壳和脱蜡的过程中产生裂隙。

(1)原材料选用不合理　耐火粉料和撒砂材

收稿日期:2018-12-15
作者简介:朱伟杰(1971-),江苏无锡人,工程师.主要从事熔模铸造工艺方面的工作.电话:13600187316
通讯作者:潘玉洪(1942-),辽宁丹东人,总经理顾问.主要从事熔模铸造缺陷方面的工作.电话:13509655192

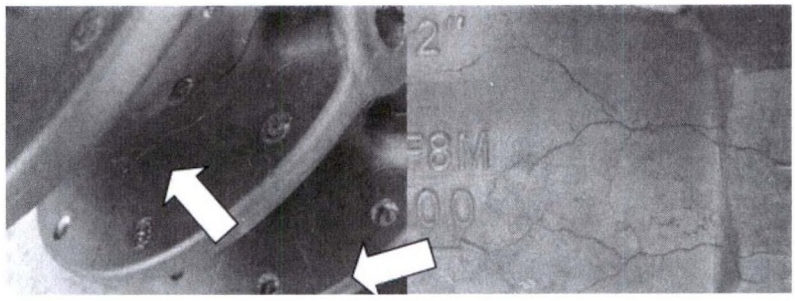


图 1 正脉纹
Fig.1 Positive vein pattern

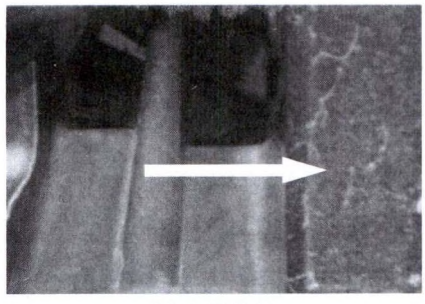


图 2 反脉纹
Fig.2 Reverse vein pattern

料的杂质含量较高,或含水量、粉尘量高于 3%;促使型壳内表面层产生裂隙。

(2)制壳工艺选用不当 ①制壳的前 3 层撒砂材料选用不当。 型壳一、二层的粉料和撒砂材料的粒度远远小于加固层的粉料和撒砂材料的粒度,型壳一、二层产生的收缩力远远大于加固层产生的收缩力,当一、二层的收缩力受到加固层收缩力的阻碍时,便在型壳的一、二层的薄弱处产生裂隙。尤其是一、二层撒砂粒度相同、较细,加固层型砂粒度较粗,型砂粒度突然变化,导致型壳内表面层裂隙增加。②制壳工艺不当或控制不当。硅溶胶型壳的常温强度与其干燥程度有密切关系。硅溶胶型壳干燥的过程,实际上就是水分蒸发的过程。如果没有控制好干燥的 4 个关键参数(环境温度、湿度、风力和干燥时间),随着水分的蒸发,型壳产生收缩,造成型壳各部分干燥不均匀或面层冷却过快,凝胶收缩产生的应力会导致型壳产生裂隙;水玻璃型壳的常温强度与耐火材料种类、水玻璃模数和密度、硬化剂工艺参数等有关。如果没有选择合适的耐火材料和水玻璃模数和密度, 更没有控制氯化铵硬化工艺的 3 个关键参数(硬化液的浓度、使用的温度和硬化时间),促使了裂隙的产生,或原有裂隙的加大。

(3)型壳脱蜡工艺或操作不当,产生或加大了裂隙 树脂基模料采用蒸汽釜—蒸汽脱蜡时,在短时间内,蒸汽压力没有达到 0.8 MPa,没有能够在最短的时间内抵消型壳内腔的模料受热膨胀的压力,使型壳最薄弱处产生裂隙。

大件型壳进入脱蜡釜时, 当浇口杯的模料还在熔化排蜡,而型壳内部的模料已经熔化膨胀;如果膨胀力大于型壳的承受强度时,就能使型壳产生裂隙。

蒸汽压力低、升温速度慢、脱蜡时间长,均导致型壳产生或加大裂隙。

蜡基模料大件型壳进入热水脱蜡槽时, 如果脱蜡槽的温度低、脱蜡的时间长,或脱蜡时排蜡不畅等原因,都导致浇口杯的模料还在熔化排蜡,而型壳内部的模料已经熔化膨胀, 如果膨胀力大于型壳的承受强度时,就能使型壳产生裂隙。

热水脱蜡导致型壳内表面产生裂隙的可能性远远高于蒸汽釜—蒸汽脱蜡。

2.1.2 型壳的高温强度低

高温强度是指型壳焙烧和浇注时的强度。一般情况下,型壳的常温强度低,其高温强度也低。

硅溶胶型壳的高温强度取决于粘结剂中的硅凝胶在高温下形成的硅氧链, 以及高温下粘结剂与耐火材料的反应产物。高温强度低,型壳在焙烧和浇注过程中易产生裂隙。

水玻璃型壳的高温强度不仅与水玻璃模数和密度、硬化剂种类、耐火材料种类、制壳工艺有关,更与焙烧与浇注工艺以及两者的配合等因素有关。

(1)型壳焙烧 型壳焙烧是为了去除水分、残留物和杂质,以及烧结,使型壳的尺寸稳定,具有良好的透气性。

焙烧工艺不当, 如焙烧温度过高或焙烧操作不当,型壳装入焙烧炉中后升温过快等,使型壳在焙烧过程中产生了不均匀的收缩应力; 当型壳高温强度低,内表面层承受不住收缩应力的薄弱之处,产生了裂隙,或使原有的裂隙加大。如图 3 和图 4。

(2)浇注 型壳内表面存在裂隙是铸件产生正脉纹的必要条件,浇注金属液的动、静压力是产生正脉纹的主要因素, 当型壳的高温强度低时更容易产生正脉纹。分析如下:

动能 / 动压力

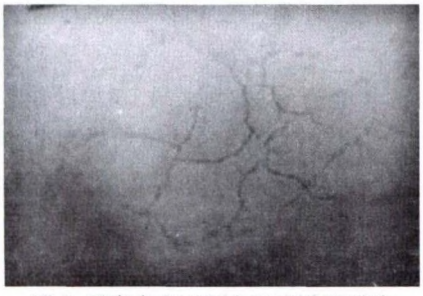


图 3 型壳内表面层大平面上的裂隙
Fig.3 A crack in a large plane of the surface layer of a shell

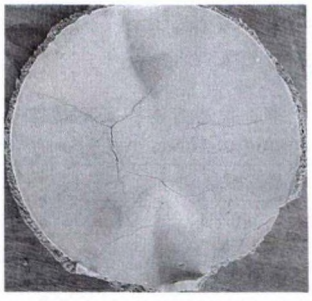


图 4 型壳内表面层圆弧面上的裂隙
Fig.4 A crack in the circular surface of a shell

动能，即物体由于运动而具有的能量，用 E_k 表示。表达式：

$$E_k=\frac{1}{2}mv^2$$

式中，E_k 为动能；m 为质量；v 为速度。

由上述公式可知，随着浇注速度的加快，动能 / 动压力呈现平方增加。

压力头 / 静压力

金属液要浸入型壳内表面层的裂隙中，金属液的压力必须大于型壳砂粒裂隙形成的临界渗透压力；即压力头越高，静压力越大，越容易渗入型壳内表面层的裂隙中形成脉纹。

2.2 防止措施

2.2.1 提高型壳的常温强度

(1)硅溶胶型壳　硅溶胶型壳的常温强度取决于型壳粘结剂的干燥程度。型壳干燥最重要的参数是环境温度、湿度、风速和干燥时间 4 个参数，见表 1。

表 1 型壳干燥参数
Tab.1 Shell drying parameters

层次	环境温度 /℃	湿度(%)	风速 /(m/s)	干燥时间 /h
面层	22～25	60～70	0~1.0	4～6
过渡层			6～8	>8
背层及以后		40～60		>12

环境湿度对型壳干燥质量有很大的影响。随着环境湿度的上升，型壳的干燥速度降低，干燥的时间加长。当环境湿度超过 80%时，干燥时间大大加长。该因素在生产中必须严格控制。面层环境湿度以 60%～70%，背层以 40%～60%为宜。

环境温度对型壳干燥质量有较大的影响。提高环境温度可以加快水分的蒸发，缩短型壳干燥时间。提高型壳环境温度会影响型壳的热膨胀和稳定性，影响型壳的尺寸精度，甚至造成型壳变形和产生裂纹。型壳干燥温度以 22～25 ℃为宜。

风速对硅溶胶型壳的干燥质量有明显的影响。随着风速的增加，型壳干燥的时间缩短。面层干燥时不宜吹风或吹很小的风，干燥时间不宜过短；过渡层和背层的风速可以提高到 6～8 m/s；应是旋转风。

干燥时间对型壳干燥质量有一定的影响。面层干燥时间应保持在 4～6 h，过渡层>8 h，背层>12 h。

(2)水玻璃型壳　水玻璃型壳的常温强度与耐火材料种类、水玻璃模数和密度、硬化剂工艺参数等有关。

选用铝硅系粉、砂材料的型壳，其常温强度就高于硅石系的粉、砂材料的型壳。

选用模数和密度合理的水玻璃，如模数 3.0～3.4，密度(1.25～1.28 g/cm³)配置面层涂料、(1.30～1.33 g/cm³)配置背层涂料，型壳的强度就高。

涂料的粘度应与撒砂粒度合理的搭配，才能提高型壳的致密性和常温强度。

氯化铝硬化的型壳其常温强度高于氯化铵和氯化镁硬化的型壳。

氯化铵硬化工艺参数 3 要素(硬化剂浓度、硬化剂温度和硬化时间)合理，以保证型壳硬化完全，提高型壳的常温强度。硬化剂浓度以 22%～25%、硬化剂温度以 20～25 ℃为宜，时间见表 2。

表2 硬化时间参数/min
Tab.2 Hardening time parameters

面层、过渡层			背层及以后		
空干	硬化	晾干	空干	硬化	晾干
15～40	6～8	15～40	0～15	3～10	0～30

水玻璃型壳需要“浸涂料—撒砂—空干—硬化—晾干”5 道工序。硬化前的空干对于面层尤其重要，面层硬化前的自然空干时间由模组的大小、复杂程度、粘结剂中的 Na_2O 含量、涂料的粘度，以及制壳场地的室温、湿度和空气的流通等因素有关；一般选用 15～40 min。时间过长，涂层外表面与第二层涂料润湿和结合不好，产生分层、裂纹等缺陷。自然空干主要适用于面层，生产中以型壳“不湿不白”确定空干时间；“白”就是太干，“湿”就是没有空干好。

(3)改进脱蜡工艺　模料的热膨胀系数大于型壳的热膨胀系数，脱蜡时易造成型壳产生裂隙，甚至裂纹。脱蜡的关键：脱蜡前，型壳需要存放 12～

24 h;脱蜡过程要“高温、快速”。常用的脱蜡方法和工艺参数如表3。

表3 脱蜡方法和工艺参数

Tab.3 Dewaxing methods and process parameters

脱蜡方法	蒸汽脱蜡	热水脱蜡
工艺参数	最大压力 0.75 MPa;脱蜡温度 170 ℃;达到压力 0.56 MPa 的时间 ≤14 s,温度达到 160 ℃,脱蜡时间≤10 min。	脱蜡液中加入 3%～5%的 NH_4Cl 或 1%的盐酸,脱蜡液温度 95～98 ℃,避免沸腾;脱蜡时间 15～20 min,不超过 30 min;脱蜡前模组存放时间≥24 h

蒸汽脱蜡操作:

①脱蜡釜的压力为 1.0 MPa,最低≥0.7 MPa;每天排污一次,化验水质二次;每年除垢一次。

②装载循环动作愈快愈好,若延迟时间会造成型壳先期受热。因蜡料比型壳热膨胀大,易造成型壳产生裂隙、裂纹,甚至开裂。

③适时清理蒸汽管道,防止阻塞。输蜡管道要随时检查,确保管道在 70～85 ℃之间畅通。每天用完后需用蒸汽清洗输蜡管。

热水脱蜡操作:

①脱蜡液温度不得低于 90 ℃;型壳脱蜡后,型腔可能残留模料及粘附的皂化物,用热水(加入 0.5%的盐酸或适量的草酸)冲洗,并倒置存放。

②每班必须测量脱蜡液温度 3～4 次,并做好原始记录。每周化验 3 次脱蜡液的 NH_4Cl 含量。

③型壳脱蜡后会有较多的盐分和脏物进入脱蜡液中,所以要定期更换脱蜡液,并清理槽底的砂粒和脏物。

2.2.2 提高型壳的高温强度

提高型壳的常温强度就能有效地提高型壳的高温强度。另外,可以采用其它的工艺方法,如:

(1)吹气处理　为了使型壳的强度更高、更致密,可采用吹气处理工艺。即在每层撒砂后,用压缩空气吹去粘附不牢的、多余的型砂。

吹气处理非常适用于去除小孔、沟槽、内角,以及文字等部门堆积的厚砂层或浮砂。

据统计资料表明:吹气处理的型壳常温强度和高温强度均是正常制壳的一倍以上,效果非常显著。

(2)使用快干硅溶胶　快干硅溶胶型壳具有优异的综合性能,即较高的常温强度、较高的高温强度、较低的残留强度。由于快干硅溶胶型壳具有较高的常温强度,能有效地防止面层型壳产生裂隙甚至开裂。

(3)添加聚合物　添加聚合物或纤维增强硅溶胶配置涂料有助于防止涂料层开裂,并能适应较快的干燥速度,环境湿度可以降到 35%,风速也可以更大些。

(4)复合型壳　采用水玻璃与硅溶胶的复合型壳,型壳面层和过渡层的粘结剂采用硅溶胶,背层粘结剂采用水玻璃,可以提高型壳的表面质量和型壳强度。

2.2.3 改进型壳的焙烧工艺

型壳焙烧是熔模铸造的重要工序之一。其目的是烧去型壳中残留的模料、水分和挥发物,使型壳具有低的发气量和良好的透气性和强度。

焙烧工艺参数:硅溶胶型壳的焙烧温度 950～1 100 ℃,焙烧时间一般为 30 min,与装炉量有关;水玻璃型壳的焙烧温度 850～950 ℃,焙烧时间一般为 0.5～2.0 h,与装炉量有关。

同时,要注意型壳在炉中的摆放,避免型壳堆压产生变形。

2.2.4 改进浇注工艺

浇注工艺参数主要有浇注温度、浇注速度和型壳温度 3 个。

浇注温度过低,铸件易产生浇不足、冷隔等缺陷;浇注温度过高,铸件易产生缩孔、缩松等缺陷;对于不锈钢,一般采用 1 570～1 580 ℃。

浇注速度过快,铸件易卷入气体和夹杂物。大的铸件易采用底注式浇注系统,浇注速度采用“先快后慢”;对于小的铸件采用“先慢后快”的方法。一般浇注大件,用<10 s,小件用 4～8 s。尽量减少因浇注速度过快对型壳内表面形成裂隙的影响。

型壳温度(热壳浇注)易高不易低,一般型壳浇注温度 700～900 ℃。

浇注时应注意金属液的温度与型壳温度的合理匹配,确保型壳的高温强度,避免裂隙的产生。

2.2.5 改进浇注系统和铸件结构的设计

在保证铸件质量的前提下,尽可能降低压力头高度,避免压力头对产生正脉纹的影响。尽量避免大的平面或圆弧面,必要时可以采取工艺筋等措施。

2.3 正脉纹与毛翅的联系与区别

2.3.1 毛翅的特征

铸件的表面上有多余、不规则的条状金属毛翅。如图 5。

2.3.2 两者的联系

铸件正脉纹的缺陷程度进一步增加,就会产生毛翅;防止产生正脉纹的措施,同样适用于毛翅。

2.3.3 两者的区别

缺陷程度:正脉纹的缺陷程度较轻,毛翅缺陷的程度较严重。

图 5 毛翅
Fig.5 Hairy wing defects

正脉纹：型壳内表面裂隙细小，内含空气。浇注时裂隙中的空气很难从型壳排出，在金属液的高温作用下，气体受热膨胀、压力升高，使脉纹的顶端呈现圆弧状。

毛翅：型壳内表面有裂纹，浇注时空气通过裂纹从型壳排出，毛翅的顶部呈现尖角形状。

3 反脉纹

3.1 产生原因

3.1.1 型壳面层砂与背层涂料间分层，如图 6。

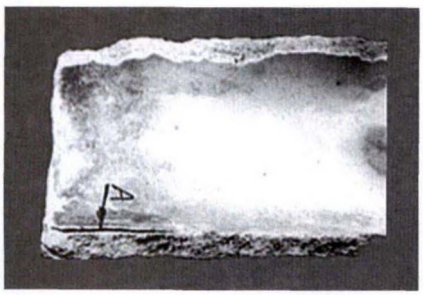


图 6 型壳分层
Fig.6 Shell layer

(1)面层耐火材料的热膨胀系数大，而背层耐火材料的热膨胀系数小时，型壳的面层与背层结合不牢、分层。

(2)面层撒砂后与浸涂过渡层或背层涂料的间隔时间太长，或制壳场地温度过高。

(3)面层撒砂后，表面有较多的浮砂；或型砂中粉尘过多或砂粒受潮含水分过多。

(4)采用水玻璃涂料，型壳面层残留过多的硬化液；采用硅溶胶涂料，面层过分干燥。

(5)面层砂过细，造成背层过平，或背层涂料的粘度过大，不利于上下两层牢固结合。

当面层砂与背层涂料间产生分层，型壳抗高温变形能力低时，浇注过程中在金属液的作用下，型壳分层的部位更容易产生细小的网状或网络状的鼓胀，如图 7。浇注后，在型壳的相应部位产生了反脉纹。

3.1.2 铸件结构不合理

铸件结构设计的不合理，有大平面，或大的圆弧面，或热节过大，或内浇口设计不当造成铸件局部过热，产生较大收缩应力。

3.1.3 焙烧、浇注工艺不当，或执行工艺不妥，产生较大的应力。

焙烧温度过高或冷却过快；浇注时型壳温度低，或金属液的浇注温度与型壳的温度配合不合适，或浇注速度过快，或压力头过高等原因均有可能造成型壳鼓胀。

3.2 防止措施

3.2.1 提高制壳质量，消除分层

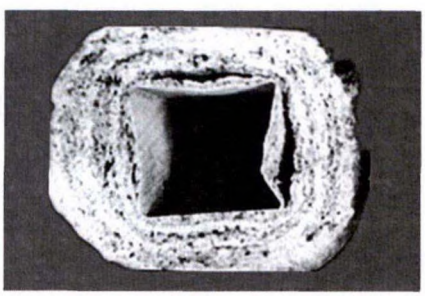
选择热膨胀系数相近的面层和背层耐火材料；面层莫来砂、粉在使用前，必须经过时效处理，使粘结剂正常发挥粘结作用；严格控制撒砂后、硬化前的空干时间，以及操作间的温度；撒砂后及时清除浮砂，并控制撒砂材料中的粉尘和含水量，要≤0.3%；采用氯化铵硬化的水玻璃型壳要避免残留硬化剂；控制硅溶胶型壳的面层干燥，确保质量；选用合理的配砂，以利于型壳各层之间的结合等。

这些都有利于提高型壳的高温强度和抗热变形能力。

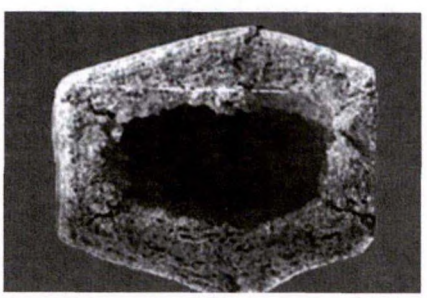
3.2.2 改进铸件设计

设计铸件时尽量避免大平面、大的圆弧面，或大的热节等，必要时增加工艺筋等措施。

3.3 反脉纹与鼠尾的联系与区别



(a)面层干燥



(b)型芯鼓胀

图 7 型壳鼓胀
Fig.7 Shell bulge

3.3.1 鼠尾的特征

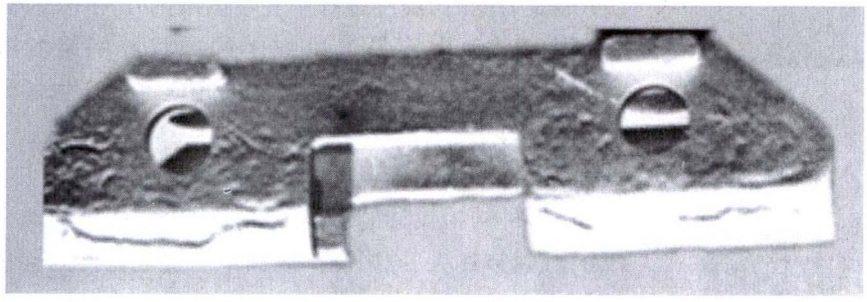
铸件的表面有不规则的、边缘圆滑的条状浅沟。如图 8。

2.3.2 两者的联系

铸件反脉纹的缺陷程度进一步加剧，就会产生鼠尾；防止产生反脉纹的措施，同样适用于鼠尾。

2.3.3 两者的区别

缺陷程度：反脉纹的缺陷程度较轻，鼠尾缺陷的程度较严重。



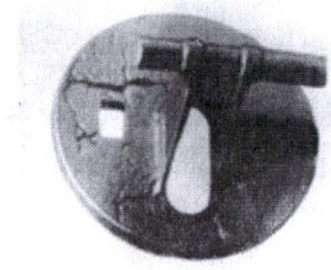


图 8 鼠尾
Fig.8 Rat tail defects

4 结论

(1)根据脉纹的特征，分为正脉纹和反脉纹两种。

(2)型壳内表面存在细的纤维网状或稍粗点的脉络状裂隙是铸件产生正脉纹的必要条件，浇注时，金属液的动、静压力是产生正脉纹的主要因素。

(3)消除型壳产生裂隙是防止铸件产生正脉纹最有效的措施。降低浇注速度和降低压力头高度，只是减少或减轻正脉纹的措施。

(4)型壳表面层分层、进而产生细的纤维网状或稍粗点的脉络状鼓胀，是铸件产生反脉纹的关键条件。消除铸件鼓胀，是解决铸件产生反脉纹的有效措施。

(5)正脉纹与毛刺、反脉纹与鼠尾，两者既有联系，又有区别。

2019年《铸造技术》杂志征订启事

《铸造技术》杂志，月刊，1979年创刊，中国铸造协会会刊，中文核心期刊，国内外公开发行，国内邮发代号：52-64，国外发行号：M855，中国标准刊号：ISSN1000-8365/CN61-1134/TG。

报道范围：报道国内外铸造领域的先进科技成果、应用技术、生产管理经验及信息和铸造设备，覆盖铸铁、铸钢和有色合金等铸造领域，包括砂型铸造以及熔模铸造、金属型铸造、消失模铸造和压铸等特种铸造技术。

主要栏目：试验研究、工艺技术、生产技术、特种铸造、装备技术、实用成型技术、材料改性、材料开发、材料保护及表面工程、材料失效分析、应力控制与理化测试技术、今日铸造等。

发行对象：国内外铸造企业，科研院所，高等学校，铸造原辅材料厂商，设备、仪器厂商，铸件采购商等。

广告范围：刊登铸造原辅材料、铸造设备、熔炼设备、热处理设备、环保设备、检测仪器以及铸件生产、科研成果转让、企业形象宣传等相关广告。

订阅方式及价格：

请从当地邮局订阅，也可以直接从铸造技术杂志社订阅。全年12期，每期定价18元，平寄全年216元（含邮费），挂号全年252元，快递全年336元。中国香港、澳门：每期定价36HKD，全年432HKD。

海外：每期定价18美元，全年216美元。

银行汇款：

户　名：陕西铸造技术杂志社有限责任公司
账　号：3700 0235 0920 0091 309
开户行：中国工商银行西安市互助路支行

邮购地址：西安市金花南路5号西安理工大学608信箱（710048）
联系人：李巧凤　　电话/传真：029-83222071
网址：www.zhuzaojishu.net　　E-mail：zzjsyz@vip.163.com

微信扫一扫 信息快知道