

关润浩 编著



钢铸件凝固控制 及冒口设计

冶金工业出版社

钢铸件凝固控制及冒口设计

关润浩 编著

冶金工业出版社



B

460514

**钢铸件凝固控制及
冒口设计**

关润浩 编著

*

冶金工业出版社出版

(北京北河沿大街嵩祝院北巷39号)

新华书店北京发行所发行

冶金工业出版社印刷厂印刷

*

850×1168 1/32 印张 10 1/4 字数 269千字

1987年11月第一版 1987年11月第一次印刷

印数00,001~3,800册

统一书号: 15062·4487 定价3.00元

前 言

众所周知, 钢铸件冒口重量约为铸件重量的50~100%, 也就是说, 铸钢车间所生产的钢液有 $\frac{1}{3} \sim \frac{1}{2}$ 消耗于冒口。冒口金属虽然可以回炉重熔, 但是回收这部分金属需要消耗大量的人力和能源, 清除冒口也要消耗大量氧气和电石, 这样, 增加了清理工作量。因此, 研究控制钢铸件的凝固过程, 提高冒口补缩效率, 减少冒口金属消耗, 使冒口便于清除, 是铸钢生产中节约能源, 降低成本, 提高质量, 增加产量的关键。

本书是笔者根据生产中的经验积累并收集国内外先进资料以及科学研究工作中所得的结论写成的, 它是一本论述钢铸件凝固过程控制和冒口设计的专著。书中阐述了钢铸件凝固过程中发生的变化; 为了获得优质钢铸件, 工艺上如何实现铸件凝固过程控制; 冒口设计全过程。并介绍了目前工厂计算铸件冒口尺寸的三种方法(模数法、热节圆法、体收缩法)以及国内外为提高铸件质量, 减少冒口金属消耗所采取的一系列措施等。

本书的特点是理论密切联系实际。书中运用实际例子或数据对原理进行说明, 并将铸件凝固过程控制及冒口设计计算中的一些经验整理为简单的数学公式、表格、图解等, 可以直接用于生产, 在一定程度上简化了工艺编制人员的繁琐计算。冒口设计部分列举了16道例题, 每道例题分别代表一定类型钢铸件, 可以在设计冒口时借鉴。

本书可供工厂从事钢铸件生产的工程技术人员、技师参考, 可作为编制铸钢工艺人员的工具书, 也可作为大专院校铸造专业教学参考书及技工培训教材。

由于笔者理论水平和实践经验所限, 书中难免有错误和不足之处, 诚恳地欢迎读者批评指正。

1984年11月

目 录

第一章 碳钢铸件的凝固过程	1
第一节 碳钢铸件的结晶	2
一、凝固区域	2
二、结晶断面金属结构	3
三、结晶特点对凝固区域的影响	4
四、冷却速度对凝固区域的影响	4
五、铸件的结晶方式	5
六、碳钢铸件的凝固方式与铸件质量关系	6
第二节 碳钢铸件的收缩	12
一、液态收缩	13
二、凝固期收缩	14
三、固态下收缩	14
四、碳钢的总收缩	17
第三节 碳钢铸件的缩孔	17
一、缩孔的形成过程	18
二、影响缩孔大小、形状的因素	19
三、影响集中缩孔、分散缩孔比例的因素	22
第四节 碳钢铸件缩孔位置的确定和消除缩孔的途径	24
一、缩孔位置的确定	24
二、消除缩孔的途径	37
第二章 钢铸件凝固过程的控制	40
第一节 钢铸件凝固方式	40
一、顺序凝固	40
二、同时凝固	42
第二节 控制钢铸件凝固过程的方法	45
一、利用钢液引入型腔的方法控制铸钢件凝固	46
二、利用浇注工艺控制铸钢件凝固	51

三、设置“补贴”实现铸钢件顺序凝固	54
四、利用激冷物控制铸钢件凝固	67
五、利用不同热物理性能的造型材料控制铸钢件凝固	81
第三章 冒口设计	83
第一节 冒口在铸钢件上的布置	84
一、最大限度地发挥冒口的补缩作用	84
二、冒口布置同其他方面的关系	91
第二节 冒口种类和形状	94
一、冒口的种类	94
二、冒口的形状	96
第三节 凝固时间的计算	99
一、平方根定律	99
二、用铸钢件模数计算凝固时间	101
第四节 补缩基本原理	103
一、钢铸件补缩通道的形成	104
二、铸钢件轴线缩松的形成	105
三、钢铸件冒口的有效补缩距离	108
四、冒口有效补缩距离在生产中的应用	113
第四章 计算冒口的方法	118
第一节 凝固模数法	118
一、基本概念	118
二、简单几何形状物体模数的确定	120
三、铸件相交节点部分模数的确定	127
四、计算铸件模数需要注意的几个问题	130
五、推导常用冒口模数计算公式	131
六、冒口的最大补缩能力	158
七、边冒口的冒口颈设计	163
八、冒口计算步骤	167
九、铸件计算模数实例	170
十、常用典型钢铸件用模数法确定冒口的公式	188
十一、凝固模数法计算冒口例题	199
第二节 热节圆法	230

一、冒口计算步骤	230
二、计算冒口尺寸时的参数选择	233
三、热节圆法计算冒口例题	238
第三节 体收缩法	251
一、冒口计算步骤	252
二、碳钢钢液的液态和凝固态的体收缩率	252
三、推导求冒口重量计算公式	252
四、冒口补缩效率 η_K 的意义	256
五、体收缩法计算冒口例题	256
第四节 评各种计算冒口的方法	264
第五节 冒口设计与铸件质量	266
第五章 特种冒口	270
第一节 增加冒口中补缩压力的途径	270
一、大气压力冒口	270
二、压缩空气冒口	273
三、发气压力冒口	275
第二节 延长冒口凝固时间的途径	280
一、明冒口延长凝固时间	280
二、发热套冒口	281
三、电弧加热冒口	289
四、电渣重熔冒口	289
五、加氧冒口	290
第三节 保温冒口	291
一、保温材料的组成	292
二、保温冒口配方	292
三、保温冒口的形状	295
四、保温冒口效能估计	295
五、保温冒口设计	298
第四节 复合保温冒口	303
一、铝型膨胀防缩孔剂的发热保温机理	305
二、铝型膨胀防缩孔剂的组成材料探讨	307
第五节 易割冒口	308

附 录

- (一) 常用平面图形面积与周长的计算公式 312
- (二) 常用立体图形体积与表面积、侧面积的计算公式.....315
- (三) 常用铸造材料比重表 319

第一章 碳钢铸件的凝固过程

为了防止铸件因收缩应力而导致开裂，在铸钢成分上应加以限制。铸钢含碳量一般在0.15~0.60%范围内，含碳量过高则塑性较差，容易产生冷裂，硫、磷最好在0.05%以下。我国1967年颁布的国家标准 GB979-67 中规定的碳素铸钢牌号、化学成分和机械性能见表1-1和表1-2所示。生产上常用的有ZG25、35、45。

表 1-1 碳素铸钢牌号、化学成分和机械性能

钢 的 牌 号	化学成分，%			正火或退火后钢的机械性能				
	碳	锰	硅	屈服点 σ_s , kgf/mm ²	抗拉强度 σ_b , kgf/mm ²	延伸率 δ_s , %	断面收 缩率 ψ , %	冲击韧 性 a_K , J/cm ²
ZG15	0.12~0.22	0.35~0.65	0.20~0.45	20	40	25	40	58.8
ZG25	>0.22~0.32	0.50~0.80	0.20~0.45	24	45	20	32	44.1
ZG35	>0.32~0.42	0.50~0.80	0.20~0.45	28	50	16	25	34.3
ZG45	>0.42~0.52	0.50~0.80	0.20~0.45	32	58	12	20	29.4
ZG55	>0.52~0.60	0.50~0.80	0.20~0.45	35	65	10	18	19.6

表 1-2 铸件级别与硫、磷含量

铸 件 级 别	硫	磷
	(不大于) %	
I	0.04	0.04
II	0.05	0.05
III	0.06	0.06

合金从液体转变为固体的状态变化，称为一次结晶或凝固。一次结晶和“凝固”这两个术语虽然指的是同一个状态变化过程。但是它们在含义上是有区别的。前者主要是从物理化学的观点出发，研究液体金属的生核、成长及结晶组织的形成规律；后

者是从热力学的观点出发,研究铸件与铸型的传热过程,铸件断面上凝固区域的大小,凝固方式与铸件质量的关系,以及铸件的凝固时间等。

液体金属浇入铸型后,从液体状态转变成固体状态的成型过程称铸件的凝固过程。铸件在凝固过程中发生很复杂的变化。如溶解在液体金属内的气体冷却时析出,金属在液态时,在凝固期和在固态时发生收缩等。凝固过程若控制不好,会使铸件产生缩孔、缩松、热裂、析出性气孔、偏析等缺陷。因此,认识铸件凝固过程的客观规律,掌握对凝固过程的控制途径,对于防止产生铸造缺陷、改善铸件组织、提高铸件的性能有着十分重要的意义。

第一节 碳钢铸件的结晶

一、凝固区域

铸件在凝固过程中,除纯金属和共晶成分合金外,断面上一存在三个区域,即固相区、凝固区和液相区。铸件的质量与凝固区域有密切关系。

碳钢结晶过程有一定结晶间隔。图1-1所示为碳钢在铸型型腔中冷却凝固的某一时刻的情况。在温度分布曲线上相当于含碳 e 的液相线温度的点为 A ,反映在铸件上是一个平行于型壁的 AA 平面。相当于固相线温度的点为 B ,反映在铸件上也是一个等温平面,即 BB 平面。所有 AA 平面上各点的温度均达到液相线温度,所有 BB 平面上各点的温度均达到固相线温度。在两个 AA 平面之间金属温度高于液相线温度或达到液相线温度,处于液体状态。 AA 平面和 BB 平面之间的金属各点温度均处于液相线温度和固相线温度之间,在这个范围内固相和液相并存。铸件上液、固相并存的区域称为“凝固区域”。凝固区域由铸件表面向中心逐渐移动,到铸件全部凝固时,它也就消失了。

凝固区域愈大,即图1-1中液相线 A 点和固相线 B 点距离愈大,就愈易形成等轴晶,补缩就愈不容易。这种情况下,铸件容

易形成缩松。相反，这个区域愈小，愈易形成柱状晶，此时铸件容易补缩，质地致密。常用碳钢凝固温度范围见表 1-3。低碳钢属于窄凝固范围合金。

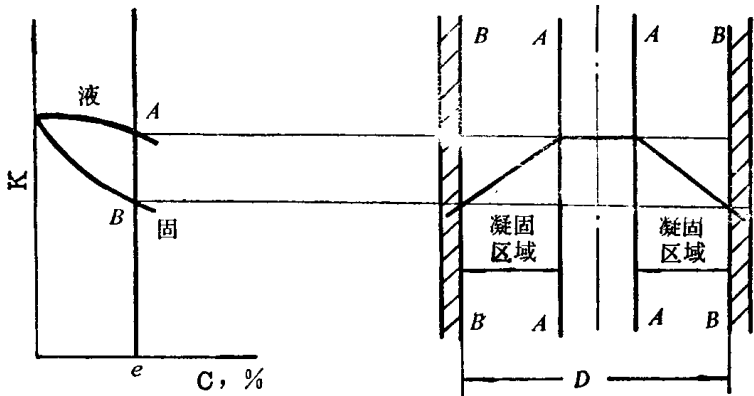


图 1-1 碳钢的凝固区域

表 1-3 常用碳钢凝固温度范围

钢的化学成分 %	凝固温度范围 K
碳 0.08	295
碳 0.18	312
碳 0.25~0.30	321
碳 0.55~0.60	343
碳 1.0	423

二、结晶断面金属结构

碳钢是具有一定结晶间隔的合金，结晶过程存在着固相区、固相和液相同时并存区域、液态区。放大的结晶断面如图 1-2 所示。铸件表面冷却能力大，生成等轴晶粒层，其次生成柱状结晶层。这区域称为固相区。再往里称固液区，在这一区中，枝晶开始搭接，形成骨架。最初，枝晶之间的液体仍与中心未开始结晶的液体相通，可以流动，可以进行补缩。但随着枝晶的生长，枝晶之间的未凝固液体被隔离开来，形成一个个小的封闭的金属

池，与外界液体隔绝。这种封闭的金属液体凝固时得不到外界液体的补缩，在枝晶之间就会形成缩松。在这一区中固体金属量超过液体金属量，所以称为固液区。其后是液固区，在这一区中，刚刚开始从液态金属中形成结晶核心，核心以树枝形状长大，但彼此之间尚未搭接。在此区域中液体金属数量超过固体金属数量，所以称为液固区。最里是液态区，这区域全部是液体金属。

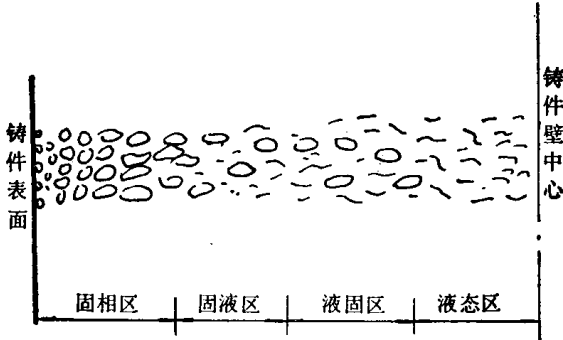


图 1-2 结晶断面金属结构图

三、结晶特点对凝固区域的影响

碳钢随含碳量增加结晶间隔变宽，凝固区域也相应变宽。由于结晶间隔大，凝固区域宽，树枝晶枝杈发展，枝晶之间被封闭的液体金属多，难以补缩，容易形成缩松；由于结晶间隔大，凝固区域宽，在固相数量较少，固相之间尚存有较多液体时枝晶之间就已经搭接，开始线收缩，从而使热裂倾向增加；由于结晶间隔大，凝固区域宽，因而在较宽的范围内形成晶核，这些晶核在生长时彼此互相阻碍；由于凝固区域宽，热传导的方向性不太明显，单向生长的机会少因而容易形成等轴晶。

四、冷却速度对凝固区域的影响

钢液浇入铸型后的冷却速度主要和铸型材料的冷却能力有关。由于冷却能力不同，金属内温度分布的状况也不同。铸型冷却能力强时，型腔中金属中心部分和边缘部分温差大，温度分布曲线也比较陡(斜度比较大)，冷却能力小时，金属中心部分和边缘部

分温差小，曲线也比较平直，见图1-3所示。在相同条件下（同样的铸件，浇注温度相同）浇注，铸型冷却能力不同时，型腔中金属的凝固区域宽窄不一样，冷却速度大，凝固区域窄。

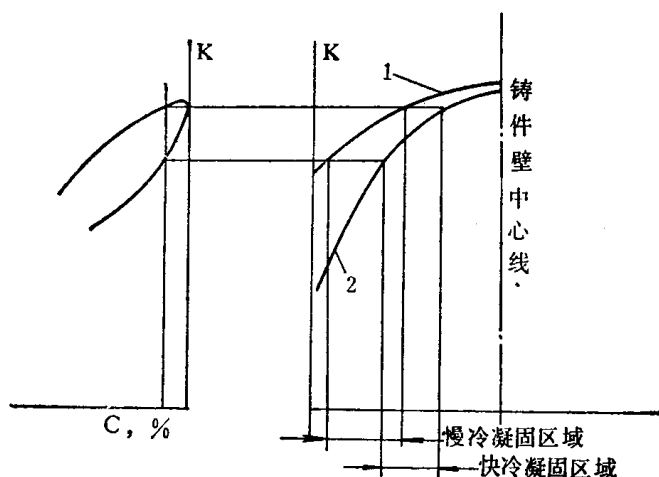


图 1-3 冷却速度对凝固区域的影响

1—慢冷温度分布曲线；2—快冷温度分布曲线

五、铸件的结晶方式

碳钢铸件以什么方式进行结晶？最终得到什么组织？这一方面决定于含碳量（与状态图有关），另一方面和冷却速度有密切关系。结晶条件不同，结晶方式就不同。当在很大的范围内同时形成结晶核心并且生长时，便形成体积结晶；当冷却速度不太快，过冷度也不大，在结晶潜热放出后随着热量的外传，结晶逐层向内进行时，便形成顺序结晶。

碳钢铸件的断面上一般都存在着表层的细等轴晶带、中心的粗等轴晶带和二者之间的柱状晶带等三个晶带。形成这三个晶带的原因如下：钢液注到型腔中与型腔接触时，表层钢液温度因铸型激冷作用能立即降到熔点之下，出现很大的过冷度。由于冷却速度很快，所以结晶时放出的结晶潜热能很快地传到铸型中，不影响结晶过程的进行。此时在较大的范围内形成大量的结晶核心，同时生长，不受热流方向的影响，以体积结晶方式进行结晶，得到很

细的等轴晶组织。在表面层中,同时形成较多的核心,发展成为细等轴晶组织。很细的等轴晶组织和细等轴晶组织称为细等轴晶带。结晶由铸件表面向中心进行,当钢液的冷却速度变慢后,过冷度不大,传热的方向性变得明显,结晶逐层向内进行(即顺序结晶),这时如果形成核数量不多,而生长速度比较快,冷却速度和生长速度相适应时,容易以树枝晶的主轴单方向(逆热流方向)向内发展。最后形成柱状晶带。由此再往铸件中心进行结晶,冷却速度极慢,铸件中心温度分布非常均匀,结晶时放出的结晶潜热外传很慢,在很宽的范围内形成核,但因过冷度小,形成核数量少,传热方向性不强,以体积结晶方式进行,最后发展成为粗大的等轴晶带。

低碳钢(指 $C < 0.25\%$)结晶间隔小,随着含碳量增加,结晶间隔变宽。在相同冷却条件下,低碳钢和中碳钢铸件断面上三种晶带分布比例不同,低碳钢柱状晶带宽,中心的粗等轴晶带很窄。而中碳钢柱状晶带较窄,中心的粗等轴晶带较宽。

含碳量一定的碳钢铸件随着冷却速度的增加,其凝固区域变窄,常常促使柱状晶带发展。例如,一些砂型浇注的铸件改为用金属型浇注时,断面上容易形成柱状晶就是这个道理。柱状晶的结晶方向性强,结晶逐层进行,有利于钢液补缩和使结晶致密。它的缺点是晶间性能较差。在粗大等轴晶的结晶过程中,随着枝晶的生长,枝晶之间的未凝固液体被隔离开来,形成一个个与外界液体隔绝的封闭的小金属池。这种封闭的钢液凝固时得不到外界液体的补缩。在枝晶之间就会形成缩松。理想的是整个铸件断面上全部都是细等轴晶,但这在生产上是很难做到的。

六、碳钢铸件的凝固方式与铸件质量关系

铸件的致密性和健全性与凝固方式密切相关,认识它们之间的内部规律,对于获得健全铸件有着十分重要的意义。

1. 低碳钢

低碳钢属于窄结晶温度范围的合金,其结晶温度范围很窄。在凝固过程中,铸件断面上的凝固区域很窄,以与纯金属相似的

逐层凝固方式进行凝固。在凝固区域中，靠近凝固前沿的液体温度低，首先在前沿上凝固。已凝固的晶体中的溶质原子含量比平均含量低。“多余”的溶质原子被排斥在周围的液体中，使这部分液体的凝固点降低，晶体生长暂时停止。当液体的温度稍有降低，靠近固体的液体金属就又在前沿上结晶，凝固继续进行。随着凝固前沿向铸件中心推进，其宏观组织同样具有柱状晶的特点。凝固到末期，如果铸件断面上的温度梯度很小，则在中心部分也会出现等轴晶。图1-4表示了低碳钢凝固过程示意图。

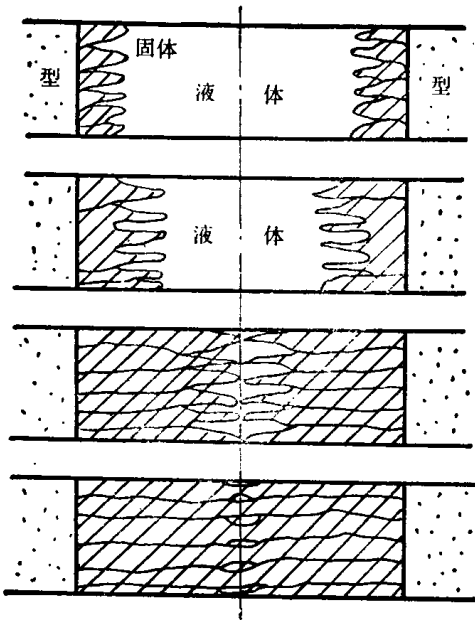


图 1-4 低碳钢凝固过程示意图

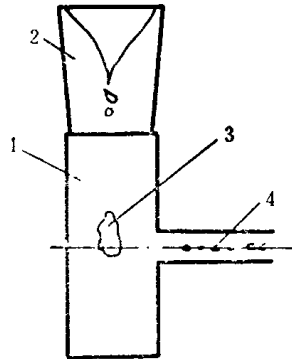


图 1-5 低碳钢缩孔形成示意图

1—铸件；2—冒口；3—热节处空洞；
4—中心线缩孔

由于低碳钢在一般的铸造条件下是以逐层凝固方式凝固的，因而其凝固前沿直接与液体金属接触。当液体凝固成为固体而发生体积收缩时，可以不断地得到液体的补充，所以产生分散性缩松的倾向性小，而是在铸件最后凝固的部位留下集中的缩孔。如

图1-5所示。缩孔形成的特点如下:缩孔一般出现在铸件的“热节”处;在板状或棒状的部分会出现中心线缩孔(若缩孔很小应称缩松);冒口缩得很深。由于对集中缩孔缺陷工艺上容易采取措施消除(如设置冒口),因此通常认为低碳钢补缩性能较好。

低碳钢铸件在凝固过程中,由于收缩受阻而产生晶间裂纹时,也容易得到金属液的充填,使裂纹愈合,所以铸件的热裂倾向性小。在充型过程中发生凝固时,它也具有较好的充型能力。

综上所述,低碳钢在一般铸造条件下是以逐层方式凝固的,产生分散性缩松的倾向性小,在最后凝固的部位留下的集中缩孔,可通过冒口消除;热裂倾向性小;流动性好。因此容易获得质地致密的铸件。它适宜生产耐压、形状复杂的铸件及薄壁铸件。

2. 高碳钢

高碳钢属宽结晶温度范围的合金,其结晶温度范围较宽。倾向于以糊状凝固方式凝固。这种凝固方式所呈现的铸件宏观组织与逐层凝固方式有着明显的差异。

在凝固区域中在靠近固相前沿的地方首先形成一批小晶体,这些先形成的晶体中合金元素比平均含量低得多,“多余”的合金元素被推到周围的液体中,使这部分液体的凝固点降低,晶体成长暂时停止。因为凝固区域宽,此时在富溶质层的后边又立即形成一批小晶体,这第二批小晶体又被富溶质液层包围,而停止生长。继而又形成第三批、第四批小晶体,如此继续下去,小晶体很快布满整个凝固区域。这个过程进行得很快,甚至可以看作在整个凝固区域里各处同时形成小晶体。但是,由于凝固区域宽,液态金属的过冷度很小,晶体的总数并不多,因此,这些小晶体容易发展成为树枝发达的粗大的等轴晶,并且很快就连成一片,如图1-6所示。这个过程可以与水泥的硬化相比拟,这种材料开始时是液体,然后成为糊状,最后变硬。

这种糊状凝固方式(或称体积凝固方式)占优势的高碳钢,其表现出的缩孔特征与低碳钢是不同的。如图1-7所示。在凝固

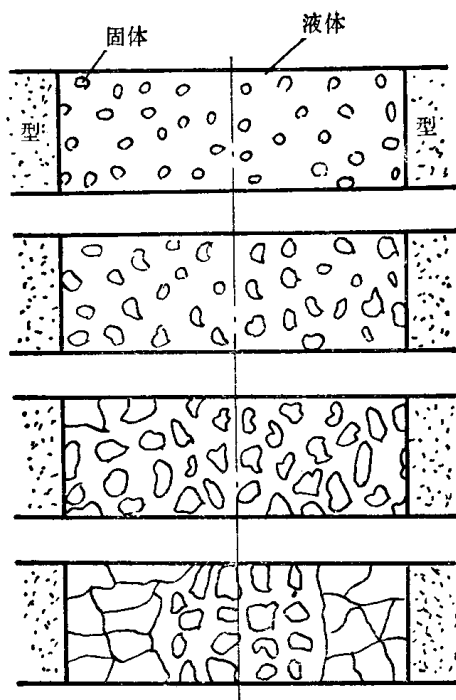


图 1-6 高碳钢凝固过程示意图

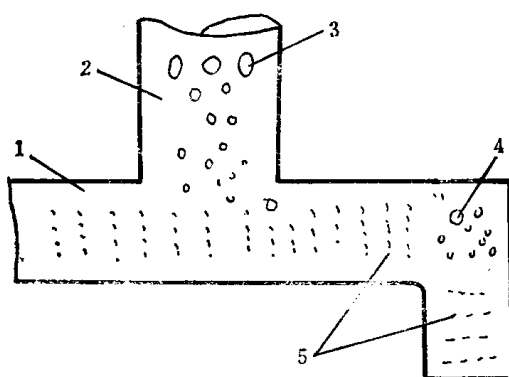


图 1-7 高碳钢缩孔形成示意图

1—铸件；2—冒口；3—冒口中和近冒口处粗大的分散缩松；4—热节处粗大的分散性疏松；5—往往呈层状排列的细小分散性缩松