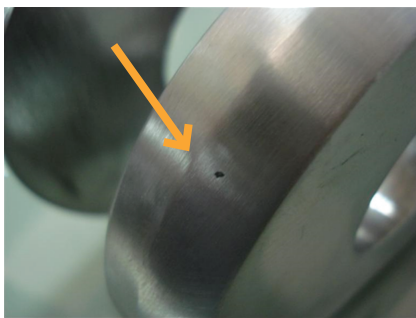


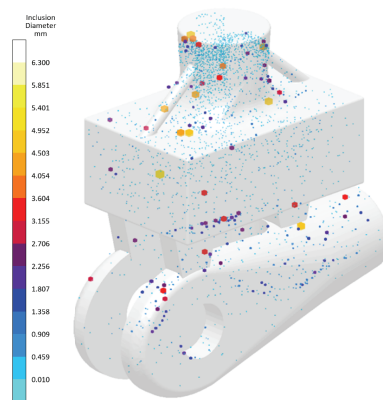
# 二次氧化夹渣

## 描述:

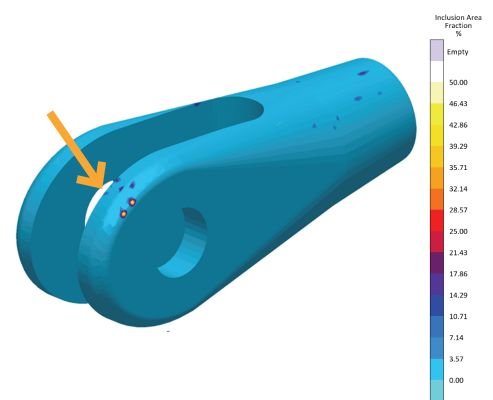
夹杂物在大多数情况下是嵌入金属基体的非金属相。它们是简单的氧化物、硫化物、氮化物或它们在铁合金中的复合物。夹杂物可以是外来的或自身生成的。外源性夹杂物是由外部来源引起的，如炉渣、耐火材料、铸型材料夹杂物。自身或二次氧化夹杂物是熔融金属处理中固有的，是金属液表面与空气之间有害的反应的结果。金属液与空气的二次氧化发生在浇注过程中金属液表面暴露在空气中的一些位置。夹杂物导致了应力集中，降低了零件的机械性能 (1)。



▲ 图1:成品铸件上的夹渣



▲ 图2: 夹渣物直径粒子追踪结果



▲ 图3: 夹杂物面积百分比 (%), 显示了铸件表面的二次氧化夹渣缺陷

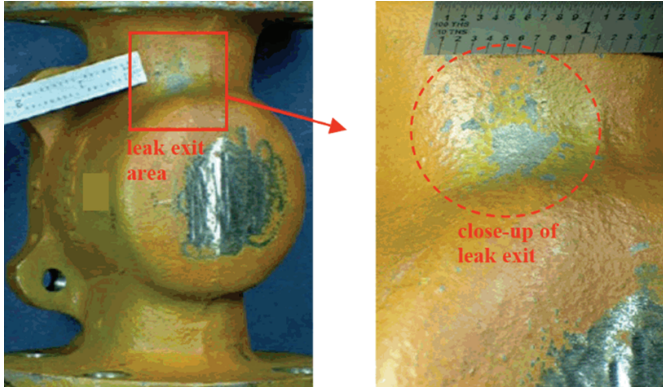
## 模拟解读:

在MAGMASOFT®中，模拟二次氧化夹杂物的整个过程使用了一个单独的二次氧化模型。图2中的夹杂物追踪显示了夹杂物的形成、生长、移动和聚集情况。在充型结束时，可以分析铸件中夹杂物的分布，直径越大的夹杂物在结果中显示出越高的缺陷趋势。为了量化表面质量，从表面的二次氧化夹杂物中计算出夹杂物面积分数（图3）。为了能够最大限度地减少二次氧化夹杂物的形成，有必要对充型速度进行评估，并确定在模具充填过程中的高速度、高湍流和高空气接触的区域。

## 造成二次氧化夹渣的根本原因:

- 由于充型/浇注过程中的湍流，金属液与空气的接触面较大
- 直浇道和横浇道或型腔中的高速度增加了紊流和暴露在空气中的程度
- 金属液从浇道和内浇道坠流型腔内
- 在过滤器之后有过高的流速
- 填充过程中有浇道和内浇道未充满
- 由于浇注系统的尺寸和位置不合适，导致涡流和高湍流使金属液与空气在充型过程中混合

# 微观缩孔

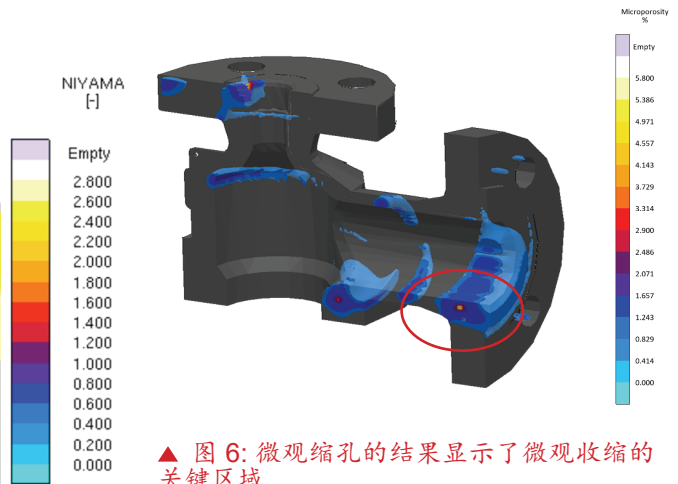
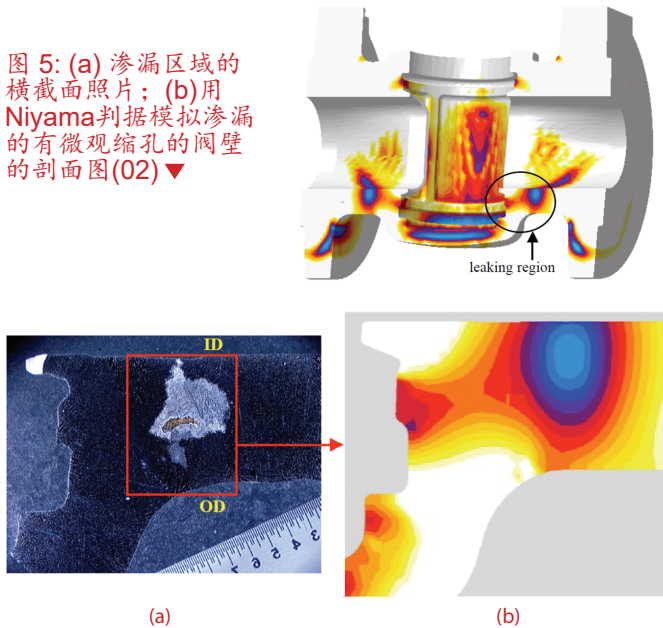


▲ 图4: 对泵体铸件进行调查, 以找到使用过程中发生渗漏的根本原因 (02)

## 描述:

微观缩孔或中心线缩孔是小的孔洞, 通常用液体渗透、超声波和X射线识别。它发生在与几何结构有关的有补缩要求的区域。来自冒口的剩余金属液不能充分地补缩这些位置。铸件内部的这些小孔洞降低了机械性能, 通常导致渗漏问题, 如图4和5所示。

图 5: (a) 渗漏区域的横截面照片; (b) 用 Niyama 判据模拟渗漏的有微观缩孔的阀壁的剖面图(02) ▼



▲ 图 6: 微观缩孔的结果显示了微观收缩的关键区域

## 模拟解读:

Niyama数值低是一个很好的非定向凝固的指标, 可以帮助识别有微观缩孔迹象的风险区域。这个临界值通常取决于合金, 但一般来说, 低于1的值是微观缩孔的关键区域(图5b)。图6显示了MAGMASOFT®中的“微观缩孔”结果, 它有助于可视化和定量比较微小的孔隙缺陷。

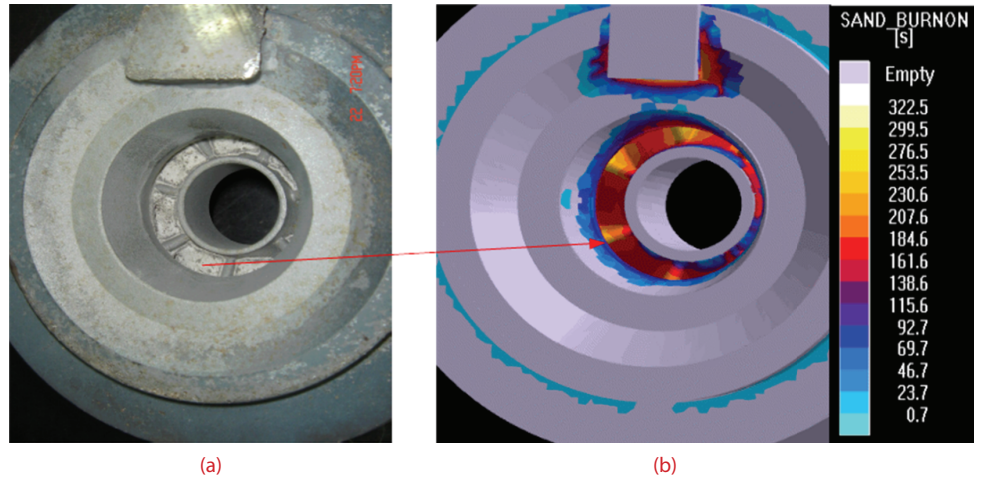
## 造成微观缩孔的根本原因:

- ▮ 凝固过程中温度梯度低、冷却速率高的几何结构导致的缺陷, 典型的例子就是平板结构
- ▮ 凝固区间宽的合金
- ▮ 凝固方向性差, 枝晶臂与液态金属液隔离无法补缩, 随后液体的体积收缩导致了微观缩孔。解决方案通常是通过改变补缩设计、冷铁位置和加工余量来提高定向凝固

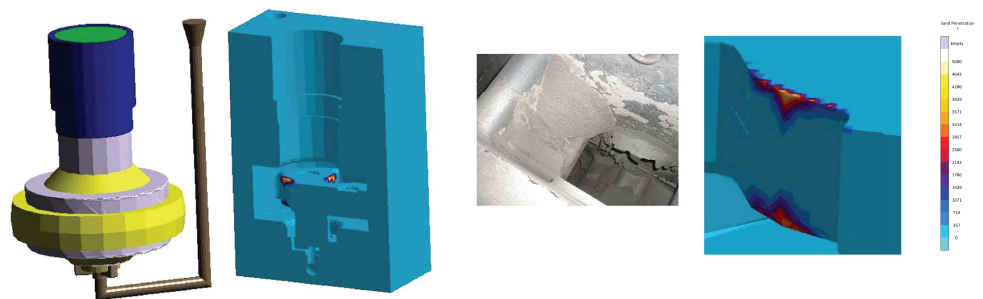
# 化学粘砂 和机械粘砂

## 描述:

化学粘砂和物理粘砂表现为粘结在铸造表面的硬皮(图7a), 主要是由砂型或型芯局部过热引起的。这种过热会导致液态金属侵蚀砂型表面并渗透到砂型(O3)内。化学粘砂是一种可以通过强力喷丸来清除的缺陷, 但机械粘砂是一种更致密的缺陷, 其本质是液态金属对砂型或砂芯的渗透(图8), 在铸件的过热区域上形成一层表皮, 很难从铸件表面上消除。



▲ 图7: (A)铸件中部有明显粘砂缺陷; (B) 铸件中心的化学粘砂模拟结果



▲ 图8: 预测和观察到的机械粘砂缺陷的比较

## 模拟结果解读:

化学粘砂和机械粘砂的模拟结果能直接显示缺陷的分布区域。图7显示了化学粘砂的结果, 表明铸件内部中心缺陷的可能性很高, 图8显示了现实缺陷和模拟的机械粘砂结果之间的对比。

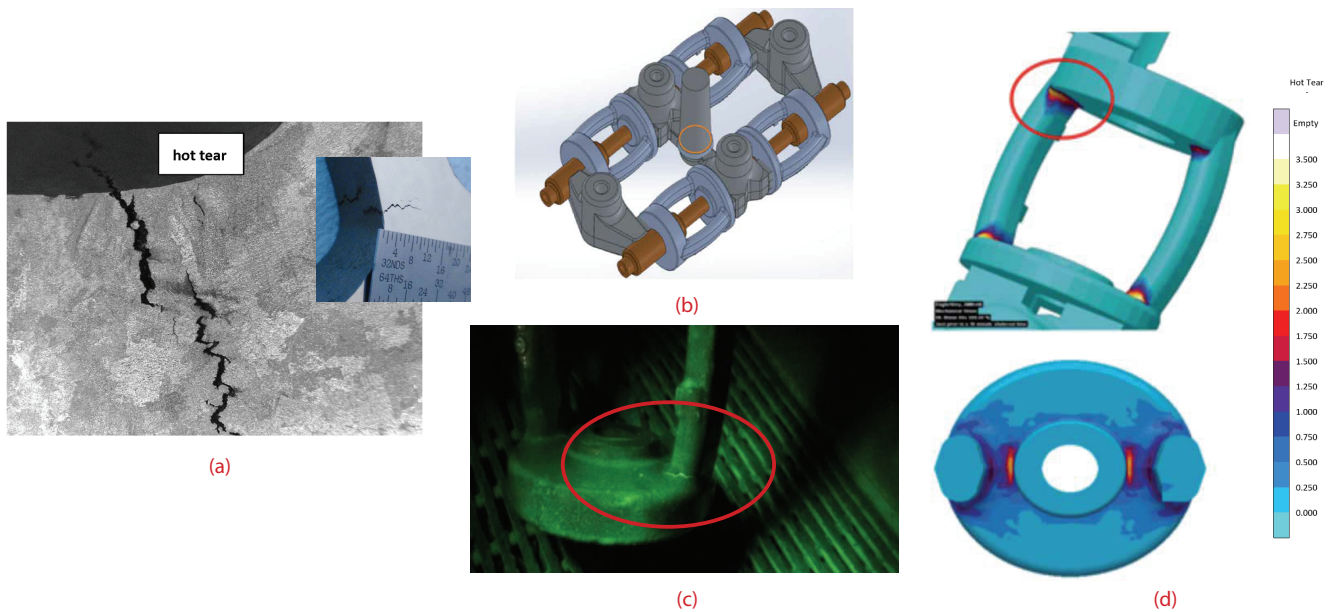
## 可能导致的根本原因:

- ▮ 浇注温度过高
- ▮ 金属静压高(浇注压头过大)
- ▮ 铸型/砂芯材料的耐火度不足
- ▮ 砂子的紧实度不够或混合不均
- ▮ 铸件与浇注系统的相对位置
- ▮ 砂型性能, 如型砂材料烧结点低、砂粒过粗、导热性差等
- ▮ 不良的粘结剂、氧化物等

# 热裂

## 描述:

如图9(a)所示，热裂是典型的Z字形断口(树枝状/晶间断口)。热裂产生后沿着晶界扩展，通常表面被严重氧化。热裂发生在凝固后期，此时固态含量接近100%。铸件冷却后收缩产生热应力。热应力本身并不是热裂发展的原因，因为材料没有完全凝固，其原因是临界区周围凝固区域的应力以及铸型和型芯的约束。已凝固区域的应力“拉”了即将凝固区域，产生应变以及热裂风险。



▲ 图9: (a)典型的热裂断口形态; (b)铸件CAD模型的原始情况; (c)磁粉探伤确定的热裂缺陷问题; (d)模拟中的热裂判据, 显示分布区域

## 模拟结果解读:

热裂结果 (图9d) 显示了圆台附近区域出现热裂问题的风险。结合热裂判据, 分析临界区的液态分数、机械应变率和周围区域的应力。

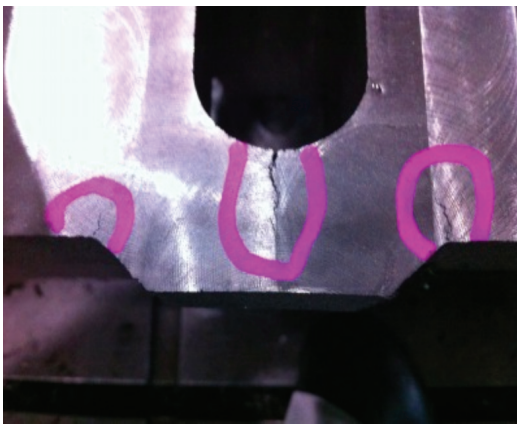
## 造成热裂的根本原因:

- 因工艺而收缩受阻
- 截面厚度差异大
- 铸造设计中的圆角半径
- 厚度的突变
- 分支过多、连接过多的部分
- 铸型或砂芯的退让性较差, 阻碍铸件收缩
- 凝固区间较大, 如低碳钢

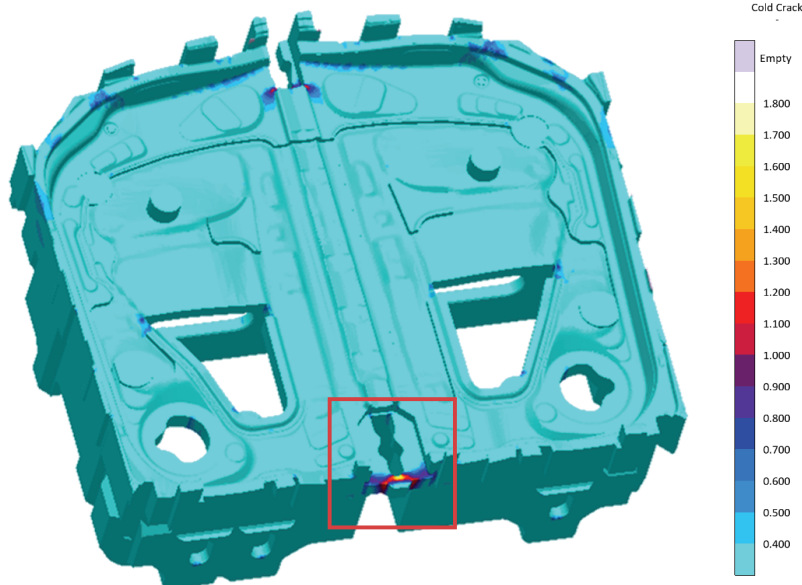
# 冷裂

## 描述:

裂纹是在相对较低的温度（低于凝固温度）下形成的间断结构，如图10a的例子所示。当零件在冷却阶段积累的应力超过材料在一定温度下的极限抗拉强度时，就会出现冷裂。裂纹可能是跨晶粒的，也可能是晶粒间的，这取决于晶粒及其边界的相对强度和裂纹形成时的温度（04）。



(a)



(b)

## 模拟解读:

图10 (b) 显示了冷裂标准的结果。该标准显示了在零件冷却阶段的某个时间/温度下发生的冷裂的趋势。高于1的区域意味着冯米塞斯应力超过材料的初始抗拉强度。值 $<0.8$ 不是关键区域， $0.8 < \text{值} < 1$ 需要给予关注（灰色区域），值 $>1$ 是关键区域，在生产中有出现裂纹的倾向。需要注意的是，材料在高温下的抗拉强度低于室温下的抗拉强度。

## 造成冷裂的根本原因:

- 铸件在高温下的损坏由于粗暴的操作或开箱落砂时温度过高
- 铸件中的应力超过了材料的抗拉强度，这是由铸件的几何形状、铸型或型芯对其移动的限制造成的
- 由不适当的热处理引起的铸件的应力

▲ 图10: (a) 铸件上的冷裂; (b) 冷裂的判据模拟结果: 显示了缺陷的关键区域

# 缩松孔隙率

## 描述:

缩松或缩孔是在从液态到固相转变过程中由于体积收缩而导致的孔隙，当液态金属不再可用于补充凝固金属的体积收缩时，就会产生缩松或缩孔缺陷，如图11(a)所示。该缺陷与合金成分、补缩路径、冒口和浇道的布置密切相关。



▲ 图11: (a)实际的缩松; (b)凝固结束时的液相分数, 显示孤立的液态区域; (c)缩松结果显示缺陷倾向较高的区域, 并与实际情况吻合。

## 模拟结果的解读:

液相分数(图11b)和温度结果显示了凝固方向和热节被隔断的时间。孔隙率(图11c)显示了缩松的位置、体积和严重程度。

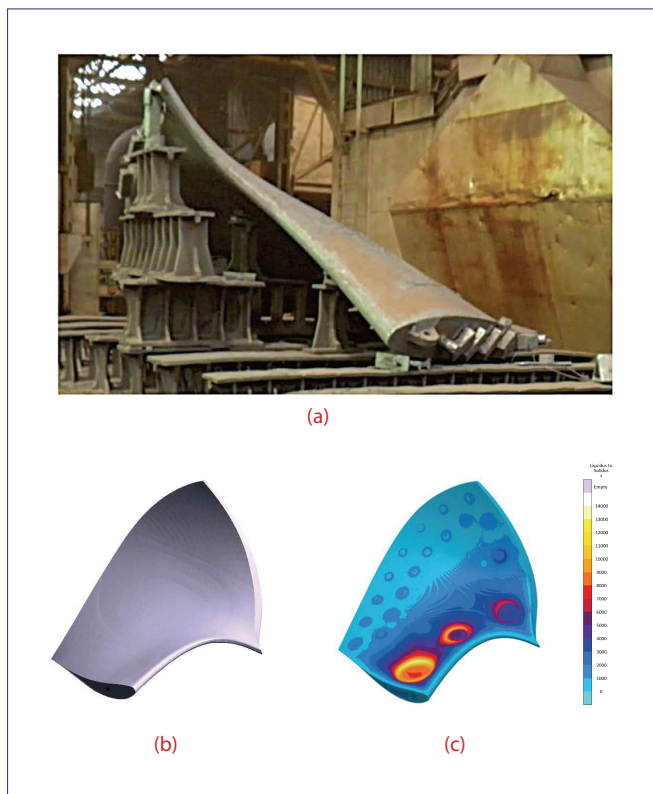
## 可能造成的根本原因:

- ▮ 铸件中孤立的热节区域
- ▮ 浇注温度过高
- ▮ 对冒口缺乏定向凝固
- ▮ 铸件中没有补缩路径
- ▮ 冒口颈热模数较小
- ▮ 冒口体积不足或冒口套不合适, 导致冒口下有缩松
- ▮ 冒口之间的补缩距离过长
- ▮ 宏观偏析改变最后凝固区域的补缩条件

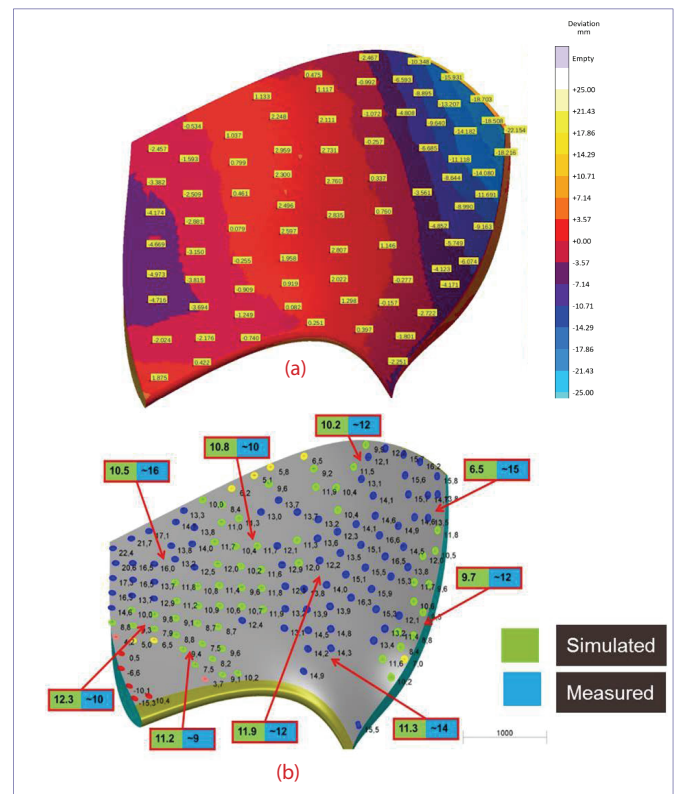
# 变形

## 描述:

正如在描述其他缺陷时已经解释过的那样，在铸件凝固和冷却过程中，由于几何形状的复杂性带来的温度梯度以及型芯和铸型的约束，会产生应力。在某些情况下，高应力水平会导致永久变形，影响最终零件的尺寸。图12c显示了水轮机涡轮叶片凝固过程中较高的温度梯度，图13a, b显示了由于应力和永久变形而导致与参考几何形状的尺寸偏差。



▲ 图12: (a) 水轮机的叶片铸件; (b) 叶片的几何形状; (c) 铸件模拟结果: 从液态到固态 (b) (06)



▲ 图13: (a) 模拟变形与目标几何形状之间的偏差: 初始计算; (b) 实际零件与目标几何形状之间的偏差。绿色方框内的数字是模拟结果, 蓝色方框内的数字是实际测量结果 (06)

## 模拟解读:

X、Y、Z方向的位移结果显示了零件从其原始尺寸的移动; 它是热收缩和变形的综合结果。运用变形放大系数, 就更容易看到弯曲的情况。为了评估最终尺寸的偏差, 有必要将变形的零件与参考几何进行比较, 如图13(a)所示, 或者使用不同的方法测量诸如平面度和圆度, 如最佳拟合法、3点法或6点法。

## 导致变形的根本原因:

- 截面壁厚的巨大差异造成高的温差和应力
- 冒口和冷铁的位置
- 铸件的设计; 产品形状很长
- 提前开箱, 开箱落砂时, 铸件温度过高
- 铸型和型芯的刚度过大, 造成阻碍和不均匀的收缩

## References

1. 2008 ASM Handbook Castings. Vol.15, Ohio: ASM International
2. Carlson, K.D., and Beckermann, C. Use of the Niyama Criterion to Predict Shrinkage- Related Leaks in High-Nickel Steel and Nickel-Based Alloy Castings, in Proceedings of the 62nd SFSA Technical and Operating Conference, Paper No. 5.6, Steel Founders' Society of America, Chicago, IL, 2008.
3. Brooks, B.E., and Beckermann, C. Prediction of Burn-on and Mold Penetration in Steel Casting Using Simulation, in Proceedings of the 60th SFSA Technical and Operating Conference, Paper No. 5.3, Steel Founders' Society of America, Chicago, IL, 2006.
4. Campbell, J. ed. (2003). The new metallurgy of cast metals, castings. 2nd ed. London: Butterworth Heinemann
5. Thorborg, J., Zimmermann, J. and Thomser C., Stresses in sand casting – Analysis and optimized solutions for improved casting designs and product quality. GIESSEREI Spezial- Feb. 2018

迈格码（苏州）软件科技有限公司

苏州工业园区苏惠路98号国检大厦1515室  
电话：0512 6272 5820 | 邮箱：info@magmasoft.cn

www.magmasoft.cn