

# 凝固速率及热处理参数对 K6414 材料磨削裂纹的影响

葛丙明<sup>1</sup>, 庞艳辉<sup>1</sup>, 刘孝福<sup>2</sup>, 李小飞<sup>1</sup>, 张创东<sup>1</sup>, 薛兵<sup>1</sup>, 来永军<sup>1</sup>, 秦虎<sup>1</sup>

(1. 江苏永瀚特种合金技术股份有限公司, 江苏无锡 214000;

2. 青岛科技大学材料科学与工程学院, 山东青岛 266042)

**摘要:** 研究了K6414材料机加工磨削过程中出现裂纹的原因及解决措施。裂纹源附近显微组织分析表明,  $M_{23}C_6$ 及MC等碳化物尺寸粗大且在晶界区域呈链状形态分布, 是导致出现磨削裂纹的主要原因。探索了凝固过程中的冷却速率以及热处理工艺对K6414合金材料机加工磨削过程中出现裂纹倾向的影响。试验结果表明凝固过程中冷却速率提高后的材料碳化物更为细小、不连续, 且晶粒也更加细小, 共晶相含量更低, 有效地降低了磨削裂纹产生的倾向; 固溶时间增长, 可使成分更加均匀化, 有效改善碳化物尺寸和形貌、降低共晶组织含量等, 同样使得磨削裂纹的产生倾向大幅降低。

**关键词:** K6414; 裂纹; 磨削; 凝固速率; 热处理

**中图分类号:** TG146.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-4977 (2026) 02-0130-08

**DOI:** 10.27014/j.cnki.zhuzao.2026.0019

## 作者简介:

葛丙明(1983-), 男, 博士, 主要研究方向为高温合金精密铸造工艺和制备。E-mail: bingming.ge@suvast.com

## 基金项目:

国家国防科工局大型飞机材料研制与应用研究项目(JPPT-KF2019-9)。

## 收稿日期:

2025-10-17 收到初稿,  
2025-11-07 收到修订稿。

## 引用格式:

葛丙明, 庞艳辉, 刘孝福, 等. 凝固速率及热处理参数对 K6414 材料磨削裂纹的影响 [J]. 铸造, 2026, 75(2): 130-127. GE Bingming, PANG Yanhui, LIU Xiaofu, et al. Effects of solidification rate and heat treatment regime on cracks by mechanical grinding of K6414 [J]. Foundry, 2026, 75(2): 130-127.

燃机涡轮叶片的高性能、高可靠性及长寿命对关键热端结构部件用耐高温材料提出了十分苛刻的需求<sup>[1]</sup>, 促进了先进材料及其加工技术需求的不断发展<sup>[2]</sup>。高温合金具有高温强度高、抗高温氧化和抗热腐蚀性能优良、蠕变与疲劳抗力优异且长期组织稳定性良好等特点<sup>[3]</sup>, 成为重型地面燃机重大核心装备等关键热端部件首选材料<sup>[4]</sup>。

高温合金的合金化程度极高, 微观组织复杂<sup>[5]</sup>, 成分和微观组织对性能影响显著<sup>[6-7]</sup>。高温合金铸态组织由初生  $\gamma$  相、沉淀析出  $\gamma'$ 、 $\gamma/\gamma'$  共晶和碳化物等相组成, 其中, 碳化物为高温合金组织的极其重要组成相之一<sup>[7-8]</sup>。传统观点认为, 碳化物在高温合金中有熔炼脱氧、减轻偏析、晶粒细化和晶界强化等重要作用。因而, C 元素作为晶界强化元素几乎被添加到所有的高温合金中, 即使是没有晶界的单晶合金, 少量的 C 元素也不可或缺<sup>[8]</sup>。

高温合金按其基体元素不同可分为镍基、钴基和铁基高温合金, 某型地面重型燃气轮机第一级静叶材料选用的是承温能力强、抗热腐蚀及疲劳性能优异的钴基高温合金 K6414, 是一种固溶强化型钴基等轴晶铸造高温合金, 合金中含量较高的 W、Mo 和 Ta 等难熔元素提供固溶强化, 大量弥散的 MC 和  $M_{23}C_6$  碳化物起到晶界强化的作用<sup>[8-9]</sup>。

该类高温合金铸件采用精密铸造工艺成形, 经历后续精加工后才能满足服役尺寸、外形要求。高温合金铸件在精加工过程中出现的磨削裂纹问题会严重影响零件的合格率<sup>[10]</sup>。目前国内针对磨削裂纹产生的原因尚未有系统的研究, 绝大多数通过优化磨削参数、调整滚轮材质、规格等方法进行改善。有少数研究机构针对材料物性与材料基体组织以及材料热处理工艺之间关联关系进行了研究, 但尚未能将该类研究成果应用于实际生产中问题的解决, 仍处于试验室阶段。同时, 对于导致裂纹的原因和机理, 未能辨明并加以控制。

本课题针对 K6414 钴基高温合金一级静叶铸件磨削加工过程的开裂进行研究, 探究其原因和机理, 寻找避免裂纹的方法; 通过工艺摸索及对比, 对 K6414 钴基高温

合金铸造特性及机加工特性获得更深层次的认识与理解,为实际高温合金精密铸造及机加工工艺的提升提供更多数据支撑。

## 1 试验材料与方法

采用材料牌号为K6414的钴基高温合金,化学成分见表1。材料采用精密铸造工艺制备:应用可熔模型,通过逐层浸渍耐火浆料,撒砂和干燥后形成多层结构的陶瓷型壳,经焙烧后,将金属液注入铸型中形成铸件<sup>[11-13]</sup>。合金浇注前,会在型壳表面整体包裹保温棉,以保证型壳的温度和补缩梯度,防止铸件浇不足和疏松。试验采用真空感应炉熔铸,浇注温度 $1\ 500\ ^\circ\text{C} \pm 50\ ^\circ\text{C}$ 。

铸件浇注后应用三种不同的冷却工艺冷却至室

温,以对比不同冷却速率对铸件显微组织的影响,进而对比磨削加工性能的影响:①应用保温棉完整封闭式大包的原始冷却工艺,如图1(a)所示;②去除铸件本体区域保温棉的快冷工艺,即浇注完成后打开铸件本体的保温棉,让铸件及型壳快速暴露在大气之中,加快材料冷却速率,如图1(b)所示;③在快冷工艺的基础上,增加5~8 m/min速度的吹风,以加速冷却的强冷工艺,如图1(c)所示。

本试验中,铸件成形后,采用热等静压(HIP)工艺增加铸件致密性,参数为: $1\ 180\ ^\circ\text{C} \pm 10\ ^\circ\text{C}$ , 150 MPa, 保压2 h。HIP后选用两种不同的固溶热处理工艺完成固溶热处理,以对比不同固溶时间对于铸件显微组织,进而对磨削加工性能的影响。之后完成一次时效和二次时效,具体工艺如表2所示。

表1 K6414合金主要化学成分  
Tab. 1 Main chemical composition of K6414 alloy

										$w_B/\%$
C	W	Zr	Ta	Cr	Ni	Mo	B	Al	W+Mo	Co
0.47~0.65	5.4~6.4	0.06~0.35	3.0~4.0	22.0~25.0	9.0~11.0	0.7~1.3	0.005~0.015	0.05~0.2	$\leq 7.5$	余量



(a) 原始冷却工艺

(b) 快冷工艺

(c) 吹风强冷工艺

图1 铸件浇注后的三种冷却工艺  
Fig. 1 Three cooling processes after pouring

表2 HIP后的两种不同热处理工艺  
Tab. 2 Two different heat treatment processes after HIP

热处理步骤	原始热处理工艺		优化后热处理工艺	
	温度/ $^\circ\text{C}$	时间/min	温度/ $^\circ\text{C}$	时间/min
固溶	$1\ 160 \pm 10$	$180 \pm 10$	$1\ 160 \pm 10$	$240 \pm 10$
一次时效	$1\ 060 \pm 10$	$240 \pm 10$	$1\ 060 \pm 10$	$240 \pm 10$
二次时效	$850 \pm 10$	$960 \pm 10$	$850 \pm 10$	$960 \pm 10$

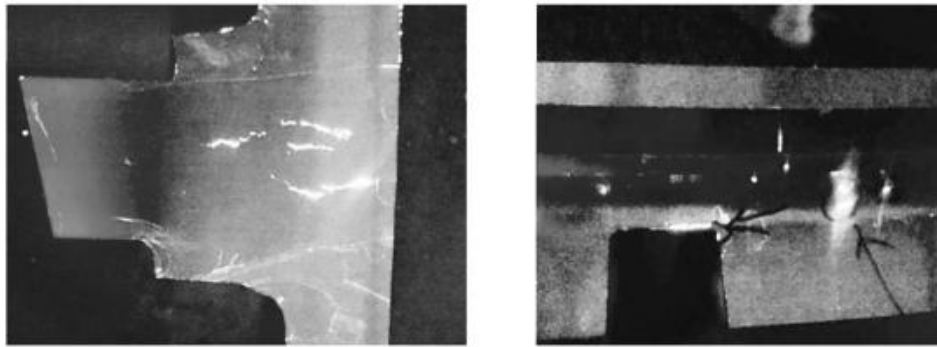
在材料磨削加工之前,采用射线照相和荧光渗透等检测方法对将进行精加工的铸件余量部位进行无损检测,以及剖切金相分析等,以确认铸件是否有异常缺陷或组织,保证铸件质量一致性。经以上检测符合后的铸件才能进行磨削加工。在铸件磨削加工后,进

行荧光渗透检测以探测机加工表面的完整性,并对探测到的不连续表面进行金相分析和能谱分析,以确认是否出现了磨削裂纹以及出现的原因。

## 2 试验结果及分析

### 2.1 磨削加工过程中出现的裂纹及初步原因分析

材料在浇注后采取原始冷却工艺进行冷却,直至室温,经HIP并应用原始热处理工艺热处理后,进行磨削加工。经荧光检测发现在2个位置出现了规律性的垂直于磨削方向的裂纹,如图2所示。裂纹最大长度为14 mm,最大深度为3.8 mm。对出现裂纹的区域进行了剖切及金相观察,如图3所示,观察发现裂纹处于晶



(a) 叶背侧裂纹荧光图像

(b) 进气侧裂纹荧光图像

图2 磨削加工后裂纹区域的照片

Fig. 2 Photographs of the cracked areas after grinding

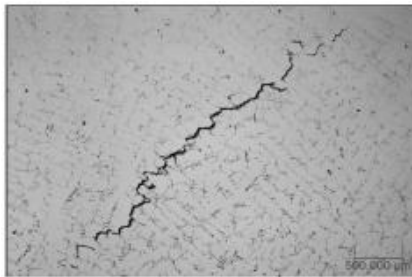


图3 裂纹区域的金相照片

Fig. 3 Metallographic photograph of the cracked area

界和枝晶界处，开裂区域附近的枝晶组织较均匀，无粗大组织及异常相出现，均为正常组织。

将材料沿裂纹走向切开，应用扫描电镜（SEM）对裂纹形貌进行了观察，如图4所示。一般认为，裂纹宽度较大区域为早期开裂的区域，更靠近裂纹源头。在断口上的裂纹源头附近随机选取了4个区域进行能谱分析，结果如表3所示。可见裂纹源头处C元素和Ta、Cr、W、Co元素含量明显高于合金原始成分。

应用扫描电镜（SEM）对裂纹源头附近区域的微观组织进行了形貌检测，观察发现，裂纹源区域附近聚集了较多白色颗粒相，如图5所示。选取了5个区域分别对裂纹附近的基体以及白色颗粒相进行了EDS能谱分析，结果如表4所示。通过对结果分析可发现，裂纹附近的晶界或枝晶界处有白色小块状或链状分布的

表3 断口区域的宏观能谱结果

Tab. 3 Macroscopic energy spectrum results of fracture area

选点标签	C	O	Ti	Cr	Co	Ni	Mo	Ta	W	$w_B / \%$
1	6.30	-	1.46	22.03	29.08	5.38	-	29.88	5.87	
2	12.83	3.91	1.10	25.26	17.56	2.94	1.87	27.71	6.80	
3	6.68	-	0.66	28.70	35.34	6.61	-	16.12	5.89	
4	12.33	2.32	1.38	22.47	17.14	2.75	1.76	32.64	7.21	

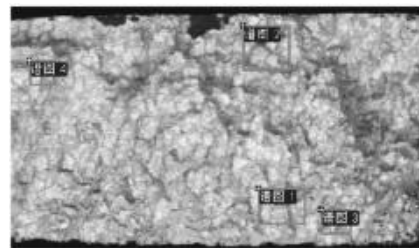


图4 断口形貌照片及宏观能谱选点

Fig. 4 Fracture morphology photos and macro energy spectrum selection points

相，该类白色相经成分分析富含Ta、Cr、W和Co等，推断为 $M_{23}C_6$ 及MC等碳化物<sup>[14-15]</sup>。这同样也是断口上的裂纹源头附近4个区域能谱分析结果C、Ta、Cr、W和Co元素含量明显高于合金原始成分的原因。

研究认为，粗大链状形态分布的 $M_{23}C_6$ 及MC等

表4 裂纹区域剖面的微观能谱结果

Tab. 4 The microscopic energy spectrum results of the crack region

选点标签	C	O	Ti	Cr	Co	Ni	Mo	Ta	W	总量	$w_B / \%$
1	7.70	1.65	-	50.31	27.59	4.17	1.90	-	6.67	100.00	
2	10.86	1.71	3.21	1.72	1.89	-	-	80.60	-	100.00	
3	3.71	1.90	5.89	9.66	23.12	4.41	-	51.31	-	100.00	
4	5.36	-	-	22.94	54.85	10.35	-	-	6.49	100.00	
5	2.89	-	-	24.52	55.63	10.42	-	-	6.54	100.00	

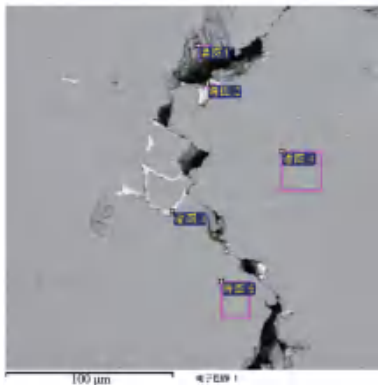


图5 断裂区域微观组织电镜照片及微观能谱选点  
Fig. 5 SEM images of the fracture area microstructure and the points selected for microcosmic energy spectrum

碳化物较细小分散分布的碳化物更易成为裂纹起始源头<sup>[16-17]</sup>。这些晶界或枝晶界处呈链状形态分布的粗大碳化物是导致晶界和枝晶界的微观力学强度弱化<sup>[17]</sup>，使得裂纹沿该类链状物萌生并扩展的主要原因。

由上可知，裂纹的产生原因是粗大碳化物在晶界或枝晶界面处呈链状析出，导致了界面结合力的弱化<sup>[18-19]</sup>。其裂纹源的萌生机理为粗大且呈链状分布的晶界或枝晶界处的碳化物导致基体局部晶界、枝晶界处呈现硬、脆特性，受到磨削导致的高温以及高速磨削应力后，硬、脆区域开裂并沿垂直于受力方向的界面扩展，形成的垂直于磨削方向的宏观裂纹表征现象。

## 2.2 凝固速率对磨削裂纹的影响

为了研究凝固速率对磨削裂纹的影响，采用加速冷却工艺浇注了4件铸件，吹风强冷工艺浇注了2件铸件，并与原冷却工艺的铸件进行了晶粒、显微组织和磨削裂纹等的对比分析。

不同冷却工艺得到的晶粒度检测结果如表5所示，加速冷却工艺铸件晶粒更加细小，相比原冷却工艺其晶粒度大小相差约一级左右。这主要是因为高的冷却速率有效增加了高温合金熔体内的过冷度，增加了形

表5 不同冷却工艺得到的晶粒度（按HB20057-2011）  
Tab. 5 Grain size obtained by different cooling processes  
(According to HB20057-2011)

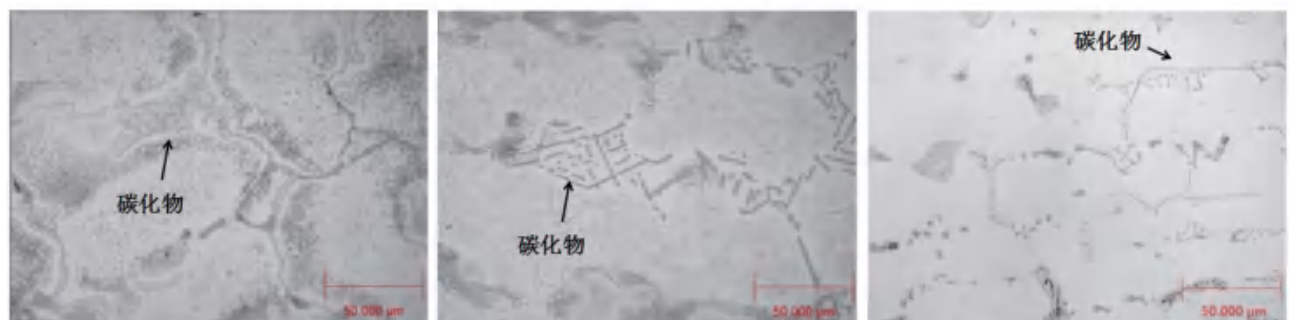
冷却方式	进、排气边/mm	其他区域/mm	缘板区域/mm	冒口区域/mm
原始冷却工艺	1~1.5	3	5	9~11
加速冷却工艺	1	2~3	3~5	8~11
吹风强冷工艺	1	2-3	2-5	8-11

核数量，同时压缩了晶粒的长大时间<sup>[13]</sup>。吹风强冷工艺的晶粒度大小与加速冷却工艺的晶粒度大小相当。细小的晶粒不仅能减轻材料偏析，还能提高铸件的力学性能<sup>[15]</sup>。

不同冷却工艺得到材料的金相检测结果如图6所示。原始冷却工艺的枝晶间碳化物较为粗大且沿着枝晶界面呈连续状分布，这样的形貌会大幅降低枝晶界面的结合强度，导致裂纹更容易萌生并沿晶扩展<sup>[15, 18]</sup>。加速冷却工艺的碳化物呈短棒状分布的倾向较原始冷却工艺更大，这样的形态缓解了沿晶裂纹的萌生和扩展倾向。吹风强冷工艺的碳化物与加速冷却工艺的形貌相近，尺寸略小。研究表明，碳化物在冷却速率较快凝固环境下形成时，易形成条状或点状MC型碳化物，且尺寸较小；但在冷却速率较慢凝固环境下形成时，易形成骨架状MC型碳化物，尺寸相对较大<sup>[14]</sup>。这也是本试验中不同冷却条件下凝固时，形成的碳化物尺寸和形貌有差异的原因。

对不同冷却工艺制备材料的微观组织形貌应用扫描电镜观察的结果如图7所示。原始冷却工艺的枝晶间碳化物呈相对粗大的长条和骨架状分布，而加速冷却和吹风强冷工艺的枝晶间碳化物呈相对分散细小的短棒状和骨架状分布，这与以上金相组织检测得出的结论一致。

不同冷却工艺得到的裂纹高发区域的共晶相比例检测结果如图8所示。加速冷却工艺的共晶相（涂红区域）比例（3.92%）比原冷却工艺的（4.57%）减少



(a) 原始冷却工艺

(b) 加速冷却工艺

(c) 吹风强冷工艺

图6 不同冷却工艺得到的金相照片

Fig. 6 Metallographic photographs obtained by different cooling processes

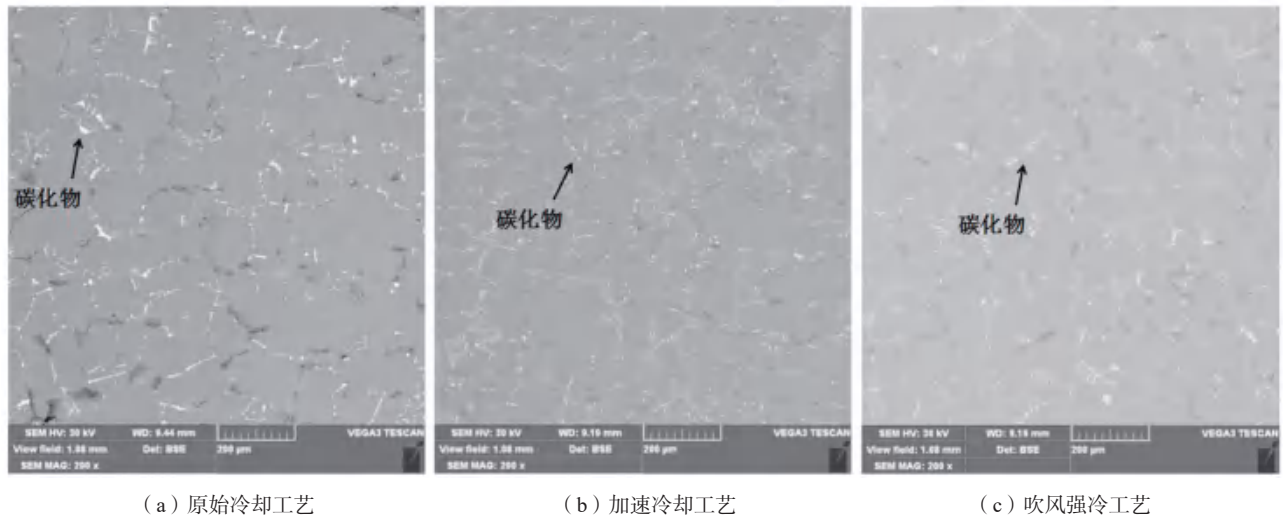


图7 不同冷却工艺得到的扫描电镜照片

Fig. 7 SEM images obtained by different cooling processes

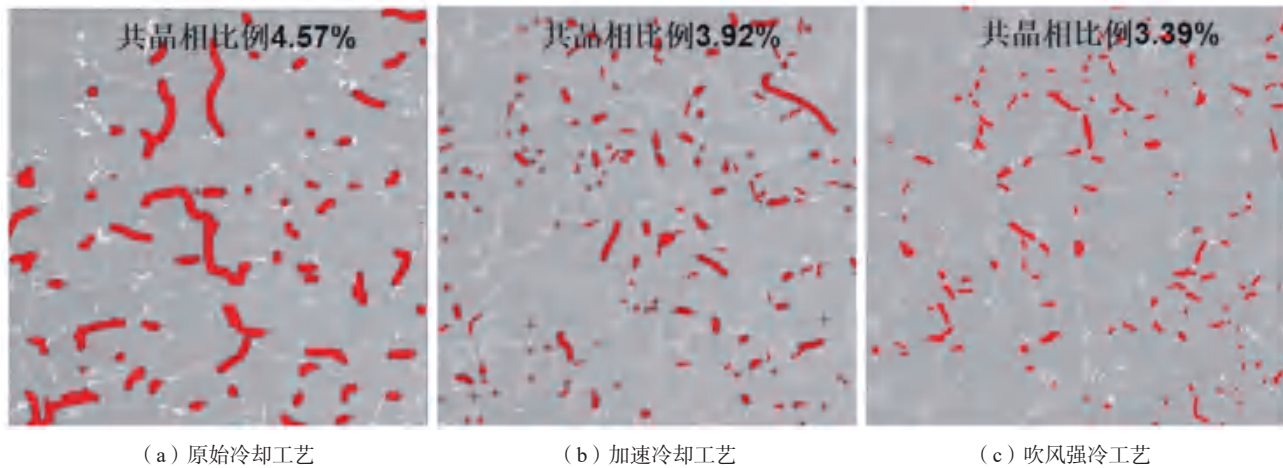


图8 不同冷却工艺得到的共晶相比例

Fig. 8 Eutectic phase contents obtained by different cooling processes

了16.58%，吹风强冷工艺的共晶相（涂红区域）比例（3.39%）与加速冷却工艺相当。共晶组织在高温合金中是典型的弱化枝晶间结合强度、降低力学性能的因素<sup>[8]</sup>，较少的共晶组织能够减少裂纹源起和扩展的倾向。

对上述6件加速冷却和吹风强冷工艺的铸件按原始热等静压和热处理工艺完成热过程后，进行了磨削加工，经荧光和射线检测显示，全部未出现裂纹。

可见，加速冷却工艺和吹风强冷工艺可使得晶粒和碳化物等都更加细小，从而有效避免了磨削裂纹的出现。

### 2.3 热处理工艺对磨削裂纹的影响

为了研究HIP后不同热处理工艺对磨削裂纹的影响，应用相同精密铸造工艺和热等静压工艺制造了7件铸件，对1件铸件进行了原始的热处理工艺，对另6件

铸件进行优化后的热处理工艺。其磨削裂纹的荧光渗透检测结果如表6所示。由表可见，优化热处理工艺后的6件均未出现裂纹，原始热处理工艺中的1件铸件在叶背侧出现的裂纹为磨削裂纹，如图9所示。

应用光学显微镜检测得到应用原始热处理工艺、优化后热处理工艺分别制备的材料金相组织图片如图10所示。由图可见，采用优化后热处理工艺制备材料的枝晶组织的清晰度较原始热处理工艺的有所降低，枝晶形貌较为模糊。其共晶相（涂红区域）含量也有所降低，由4.06%降低至3.43%，减少了15.5%，如

表6 不同热处理工艺磨削裂纹的情况  
Tab. 6 Grinding cracks of different heat treatment systems

热处理工艺	铸件加工数量	出现裂纹的比例
原始热处理工艺	1	1/1
优化后热处理工艺	6	0/6

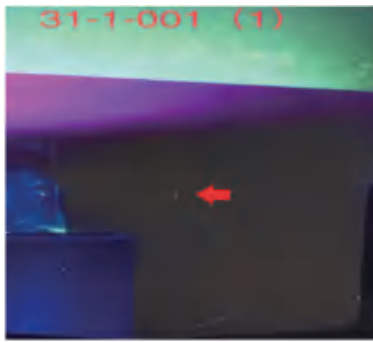
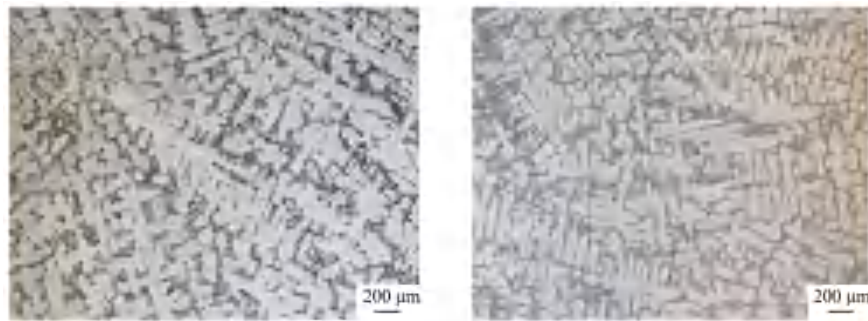


图9 两次时效热处理叶背侧裂纹区域出现的微小裂纹  
Fig. 9 Minor crack appeared in the crack area at convex side of the casting treated by twice-aging heat treatments

图11所示。该现象主要由于更长时间的固溶热处理过程中，原子迁移引起了元素的扩散，使得材料组织更为均匀化，导致枝晶间的与枝晶干之间的偏析程度有所减轻<sup>[20]</sup>。

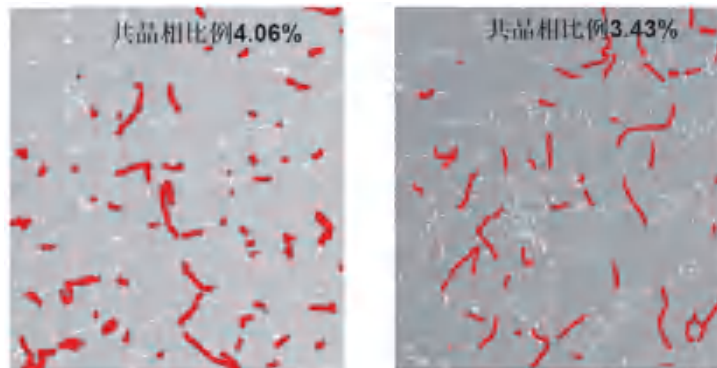
应用扫描电镜检测得到的应用原始热处理工艺、优化后热处理工艺分别制备材料组织的照片如图12所示。可见采用优化后热处理工艺制备的材料组织中，较短棒状或点状的碳化物的比例有增多趋势。该情况也与热处理过程中材料合金成分的均匀化及碳化物的回溶、二次析出有关。在合金熔体凝固过程中，C元素以MC的形式与Hf、Ti、Nb、Ta等元素形成碳化物并析



(a) 原始热处理工艺 (b) 优化后热处理工艺

图10 不同热处理工艺的金相照片

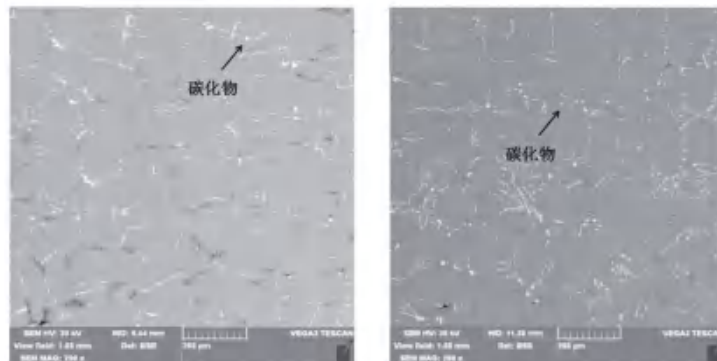
Fig. 10 Metallographic photos depending on different heat treatment regimes



(a) 原始热处理工艺 (b) 优化后热处理工艺

图11 不同热处理工艺的共晶相比例

Fig. 11 Eutectic phase contents depending on different heat treatment regimes



(a) 原始热处理工艺 (b) 优化后热处理工艺

图12 不同热处理工艺的扫描电镜照片

Fig. 12 SEM photos depending on different heat treatment regimes

出, 其多呈较大尺寸的骨架状或长杆状, 但在固溶和长期时效期间, MC将分解为更为稳定的 $M_{23}C_6$ 或 $M_6C$ 等二次碳化物, 其多为点状或短杆状, 相对初生MC碳化物尺寸更小<sup>[14-15]</sup>。更长时间的固溶促进了分解反应更为充分<sup>[14]</sup>。

由此可见, 与原始热处理工艺相比, 优化后的热处理工艺可有效预防磨削裂纹, 这可能是由于优化后工艺中的固溶热处理时间更长, 促使材料成分更加均匀化<sup>[21]</sup>, 以及促进了部分碳化物的分解, 二次析出成为更加细小的点状、杆状, 或回溶使得片状、骨架状碳化物减薄和不连续, 降低了粗大、连续碳化物组织对于晶界和枝晶界面结合力的降低<sup>[14-15]</sup>。

### 3 结论

(1) 碳化物尺寸、形貌、分布和共晶组织百分含量等微观组织特征会影响材料出现磨削裂纹的倾向性。

(2) 采用加速冷却和吹风强冷工艺制备的材料晶粒更加细小、共晶相含量更低、且碳化物形状呈短棒状分布倾向更大, 能够降低材料出现磨削裂纹的倾向。

(3) 热等静压工序后的固溶时间增长, 可减小碳化物尺寸、降低共晶组织百分含量等, 能够降低精加工磨削裂纹的倾向。

#### 参考文献:

- [1] 胡壮麒, 刘丽荣, 金涛, 等. 镍基单晶高温合金的发展 [J]. 航空发动机, 2005, 31 (3): 1-7.
- [2] 陈荣章. 单晶高温合金发展现状 [J]. 材料工程, 1995 (8): 3-12.
- [3] 郭建亭. 几种微量元素在高温合金中的作用与机理 [J]. 中国有色金属学报, 2011, 21 (3): 465-475.
- [4] GELL M, DUHL D N, CUPA D K. Advanced superalloy airfoils [J]. Journal of Metals, 1987, 39 (7): 11-15.
- [5] YIN F S, SUN X F, GUAN H R, et al. Effect of thermal history on the liquid structure of a cast nickel-base superalloy M963 [J]. Journal of Alloys and Compounds, 2004, 364: 225-228.
- [6] WANG Changshuai, ZHANG Jun, LIU Lin, et al. Microstructure evolution of directionally solidified DZ125 superalloy with melt superheating treatment [J]. Journal of Alloys and Compounds, 2010, 508: 440-445.
- [7] 陈荣章, 王罗宝, 余力, 等. DZ125定向凝固涡轮叶片合金研究 [J]. 材料工程, 1997 (9): 9-12.
- [8] 郭建庭. 高温合金材料学 (上册) [M]. 北京: 科学出版社, 2008.
- [9] 裴忠冶, 李俊涛, 赵明汉, 等. 熔体过热处理对K465合金晶粒和碳化物的影响 [J]. 钢铁研究学报, 2008, 20 (2): 49-52.
- [10] 兰霞, 林建军, 操金, 等. 高温合金精铸件机加工工艺技术研究 [J]. 现代制造技术与装备, 2022, 58 (1): 160-162.
- [11] 张立同, 曹腊梅, 刘国利, 等. 近净形熔模精密铸造理论与实践 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2007.
- [12] 孙长波, 唐宁, 史凤岭, 等. 机件真空熔模铸造的数值模拟 [J]. 铸造, 2010, 59 (2): 169-173.
- [13] 闵志先, 沈军, 冯周荣, 等. 定向凝固镍基高温合金DZ125平界面生长的微观组织演化 [J]. 金属学报, 2010, 46 (12): 1543-1548.
- [14] 孙文. 铸造镍基高温合金中初生MC碳化物热稳定性研究 [D]. 沈阳: 中国科学院金属研究所, 2015.
- [15] 秦学智. 铸造高温合金K452和K446在长期时效期间的组织和性能演变 [D]. 沈阳: 中国科学院金属研究所, 2008.
- [16] DECKER R F, FREEMAN J W. The mechanism of beneficial effects of boron and zirconium on creep-rupture properties of a complex heat-resistant alloy [D]. ANN.arbor.mich: Engineering Research Institute the University of Michigan, 1957.
- [17] LIU L, SOMMER F, FU H Z, et al. Effect of solidification conditions on MC carbides in a nickel-base superalloy IN738 LC [J]. Scripta Metall Mater, 1994, 30: 587-591.
- [18] CHEN J, LEE J H, JO C Y, et al. MC carbide formation in direction solidified MAR-M247LC superalloy [J]. Mater. Sci. Eng. A, 1998, 247: 113-125.
- [19] 付珊珊, 凌晨, 李尚平. 显微组织对铸造高温合金K4028力学性能的影响 [J]. 铸造, 2025, 74 (4): 442-447.
- [20] 黄科杰, 孙悦, 张麦仓, 等. 不同冷却速率对GH4151高温合金定向凝固组织及元素偏析的影响 [J]. 材料热处理学报, 2024, 45 (4): 87-94.
- [21] 赵新宝, 岳亮, 夏万顺, 等. 固溶处理对一种第四代镍基高温合金微观组织和偏析的影响 [J]. 电子显微学报, 2020, 39 (5): 462-469.

---

## Effects of Solidification Rate and Heat Treatment Regime on Cracks by Mechanical Grinding of K6414

GE Bing-ming<sup>1</sup>, PANG Yan-hui<sup>1</sup>, LIU Xiao-fu<sup>2</sup>, LI Xiao-fei<sup>1</sup>, ZHANG Chuang-dong<sup>1</sup>, XUE Bing<sup>1</sup>, LAI Yong-jun<sup>1</sup>, QIN Hu<sup>1</sup>

(1. SUVAST Special Alloy Technology Co., Ltd., Wuxi 214000, Jiangsu, China; 2. College of Materials Science and Engineering, Qingdao University of Science and Technology, Qingdao 266042, Shandong, China)

### Abstract:

The reasons and countermeasures for cracks occurring during grinding process of K6414 alloy castings have been investigated. Analysis of the structure near crack initiation area indicates that the coarse  $M_{23}C_6$  and MC carbides distributed in chains at grain boundaries induce the origin of grinding crack. Researches were done on the influences of different cooling rates during solidification processes and heat treatment regime on the origins of grinding cracks. The test results demonstrated that, after increasing cooling rates, the carbides of the material were finer and discontinuous, the grains were smaller, and the eutectic phase content was lower, and the tendency to generate grinding cracks was reduced effectively; longer solution time could make the composition more even, improve the sizes and morphologies of the carbides, decrease the content of eutectic phase, and so on, similarly, reducing the tendency of generating grinding cracks sharply.

### Key words:

K6414; crack; grinding; solidification rate; heat treatment

---