

# 纯净化制备对 DZ125L 合金组织和力学性能的影响

谭政, 佟健, 宁礼奎, 刘恩泽, 郑志

(中国科学院金属研究所, 辽宁 沈阳 110016)

**摘要:** 通过普通熔炼和纯净化工艺分别制备不同 O, N, S, P 等杂质元素含量的定向凝固镍基高温合金 DZ125L。采用金相显微镜、扫描电镜等方法对不同杂质元素含量合金的微观组织进行观察和分析, 并测定不同合金的拉伸、持久、蠕变、疲劳等性能。结果表明, 纯净化制备方法可以进一步降低 DZ125L 合金中 O、N、S、P 的含量, 使各杂质元素质量分数均由 0.0010% 左右降至 0.0005% 以下, 合金纯净度得到改善; 随着合金纯净度的提高, 合金中疏松和夹杂物的含量进一步降低; 纯净化工艺制备的 DZ125L 合金室温及 760、850 和 980 °C 下的抗拉强度和屈服强度得到一定改善, 合金经 760 °C/800 MPa、850 °C/560 MPa 及 980 °C/250 MPa 的持久寿命得到提升, 而 1040 °C/150 MPa 的持久寿命变化不大; 随着杂质元素含量的降低, DZ125L 合金 950 °C 不同应力下的蠕变变形速度减缓, 而 760 °C 高周拉压疲劳寿命得到较大提升。

**关键词:** 高温合金; 纯净化制备; 显微组织; 力学性能

**中图分类号:** TG146.1<sup>+</sup>5

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1002-185X(2019)08-2694-07

高温合金由于具有优良的性能而被广泛用于制造航空发动机的热端部件。随着对发动机推力和热效率日益增长的迫切需求, 高温合金材料的性能要求也不断提高。

合金纯净度的控制是提高高温合金材料性能的重要方法之一<sup>[1]</sup>。国内外众多研究结果表明, 较多的杂质元素含量 (O、N、S、P 等) 会对合金的性能产生不利作用, 继而影响高温合金结构部件服役过程中的稳定性与安全性。Huang 等<sup>[2]</sup>发现, 随着高温合金中 N 含量的升高, 碳化物形态及显微疏松含量发生变化, 合金的拉伸和持久寿命下降。朱耀宵等<sup>[3]</sup>的研究表明, 降低高温合金中 S、P 等杂质元素含量, 可大大减轻合金的偏析程度, 进而开发出一系列高性能的低偏析高温合金。袁超等<sup>[4]</sup>认为, 镍基铸造高温合金中过高的 N 含量降低合金的力学性能, 并导致合金质量明显下降。杨金侠<sup>[5]</sup>等研究了 P 对 DD6 单晶高温合金的影响, 发现随着 P 含量增加, 合金的持久性能和抗拉伸性能下降。随着高温合金制备技术的发展, 在先进的定向柱晶和单晶高温合金中, 对材料纯净度的要求也越来越严格<sup>[6]</sup>。

DZ125L 是一种采用低偏析技术研制的高强定向凝固镍基高温合金<sup>[7]</sup>。合金具有较高的力学性能和优异的

物理性能, 且不含贵重的 Hf 元素, 生产成本较低, 现已被广泛应用于制作某型航空发动机的涡轮叶片<sup>[8,9]</sup>。在叶片的批量生产过程中, 发现合金中过高的杂质元素会影响合金的铸造性能, 降低叶片产品的合格率。因此, 有必要采用纯净化制备技术对合金中杂质元素的含量进行更严格的控制。

然而, 目前对合金纯净度控制方面的研究多集中在对一些合金返回料净化处理以达到新料合金的含量水平上<sup>[10-13]</sup>, 而对于新料合金直接进行进一步纯净化制备的研究则较少。此外, 现有研究多关注于对合金个别力学性能的影响<sup>[14]</sup>, 缺乏关于进一步降低合金中杂质元素含量对合金组织和力学性能系统性影响的研究, 因而对合金中杂质元素进行更严格控制的合理性和必要性仍然存在疑问。本工作采用纯净化制备技术, 进一步降低 DZ125L 合金中杂质元素的含量, 并系统研究了其对合金组织及拉伸、持久、蠕变、疲劳等性能的影响, 以便为合金中杂质元素含量的控制原则提供一定指导依据。

## 1 实验

实验用 DZ125L 合金的名义成分为: Ni-10Co-9Cr-2Mo-7W-5Al-2.5Ti-3.5Ta (质量分数, %)。采用 VIM-

收稿日期: 2018-08-15

基金项目: 国家自然科学基金 (51501193)

作者简介: 谭政, 男, 1993 年生, 硕士, 助理研究员, 中国科学院金属研究所, 辽宁 沈阳 110016, 电话: 024-83970735, E-mail: tanzheng606@163.com

F25 型 25 kg 真空感应熔炼设备分别采用普通熔炼方法 (OSM) 和净化制备方法 (PSM) 冶炼母合金。普通熔炼方法以低偏析原则进行合金冶炼; 而净化制备则在低偏析技术基础上, 主要通过对原材料进行预处理 (打磨、清洗、真空除气等), 进一步降低冶炼前原材料引入的杂质, 同时通过优化精炼工艺 (提高精炼温度、延长精炼时间)、选择新型氧化钙坩埚等方法冶炼合金。

将母合金打磨并切割成一定重量的块料, 采用大型双区加热 ZGG-002 型定向凝固炉制备定向凝固试棒。抽拉速度为 6 mm/min, 温度梯度约为 60 K/cm。制备完毕后, 从两合金试棒的浇道部位各自取屑一份, 依照 HB 5220.7-2008 等分析合金的化学成分, 其中 S 含量使用碳硫分析仪测定, P 含量采用化学萃取方法分析。另从两合金锭中各取  $\phi 4$  mm  $\times$  50 mm 棒一根, 采用 TCH-600 氧氮氢分析仪测定合金中 O 和 N 的含量。

在两合金定向试棒的相同位置处切取试样, 依次经砂纸打磨、抛光并腐蚀。使用金相显微镜 (OM) 和带有能谱分析仪 (EDS) 的场发射扫描电镜 (SEM) 对样品的组织结构进行观察。

2 种合金的定向凝固试棒均经 1220 °C/2 h/AC+1080 °C/4 h/AC+900 °C/16 h/AC 标准热处理后, 分别加工制备成相应的拉伸、持久、蠕变、疲劳试样。采用 AG-100KN 电子万能试验机进行室温及高温拉伸实验, 在 FC-20 型高温蠕变-持久试验机上测试持久和蠕变性能。每个实验条件至少测试 2 根试棒。轴向光滑高周疲劳实验则在 PLG-100C 型高频疲劳试验机中进行, 疲劳实验温度 760 °C, 采用拉压加载方式, 应力比  $R=-1$ , 试验频率  $f$  约 120 Hz。

## 2 结果与分析

### 2.1 杂质元素含量

2 种方法制备的母合金主要杂质元素含量的分析结果如表 1 所示。可以看出, 采用低偏析技术的 DZ125L 合金中 (合金 1), 其杂质元素的控制水平已经较高。而通过净化制备技术的 DZ125L 合金 (合金 2), 可以进一步降低 DZ125L 合金中 O、N、S、P 杂质元素的含量。其中, O 质量分数由 0.0008% 降至 0.0005%, 而 N 含量由 0.0011% 降至 0.0002%, 降幅最

为明显; S 的含量由 0.0008% 降至 0.0004%, P 含量则由 0.0010% 降至 0.0005%。各杂质元素的含量均从 0.0010% 左右降至 0.0005% 以下, 总和含量由 0.0037% 降低至 0.0016%, 合金的纯净度得到进一步的改善。

### 2.2 微观组织

#### 2.2.1 疏松和夹杂物

图 1 所示为 2 种不同冶炼方法制备的 DZ125L 合金铸态样品抛光后的金相组织观察结果。可以看出, 采用净化制备的合金, 其疏松和夹杂物的宏观分布情况明显优于普通熔炼方法制备的合金。

两合金铸态微观组织的 SEM 详细观察结果如图 2 所示。合金中主要相组成均为:  $\gamma$ 、 $\gamma'$ 、 $\gamma+\gamma'$  共晶和碳化物。此外, 在共晶前沿附近等处还观察到有显微疏松的存在, 且杂质含量较高的合金中疏松数量及尺寸明显高于低杂质含量的合金。

一般来说, 合金中疏松的形成主要是由于最后凝固阶段补缩受阻的液态金属的体积收缩。合金在熔炼过程中会向外界脱除 O、N、S、P 等杂质元素, 当熔炼完毕后, 合金液中残余的杂质元素会对随后浇铸过程中合金的凝固产生影响。合金液中的 O、N 等气体元素一方面在凝固降温过程中随着溶解度的下降而聚合形成大量气泡, 降低合金液的流动性; 另一方面容易与合金中的 Al、Ti 等活泼金属元素形成非金属氧化夹杂, 增加合金液体的粘度。这些因素均会导致合金

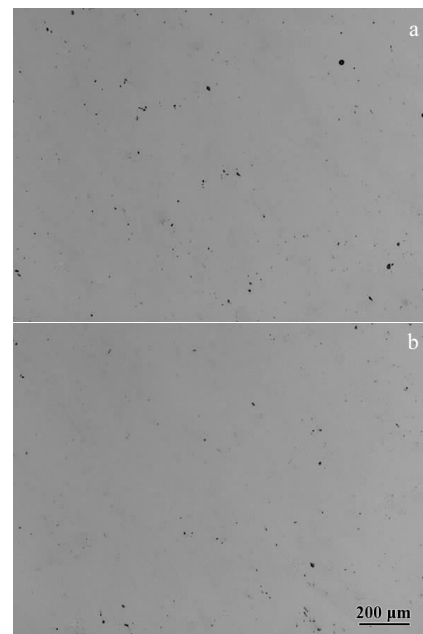


图 1 不同合金试样金相组织

Fig.1 Metallographic structures of different experimental alloys: (a) alloy 1 and (b) alloy 2

表 1 不同制备方法 DZ125L 合金中杂质元素含量

Table 1 Impurity element contents in DZ125L with different smelting methods ( $\omega/\%$ )

Alloy	Smelting method	O	N	S	P
1	OSM	0.0008	0.0011	0.0008	0.0010
2	PSM	0.0005	0.0002	0.0004	0.0005

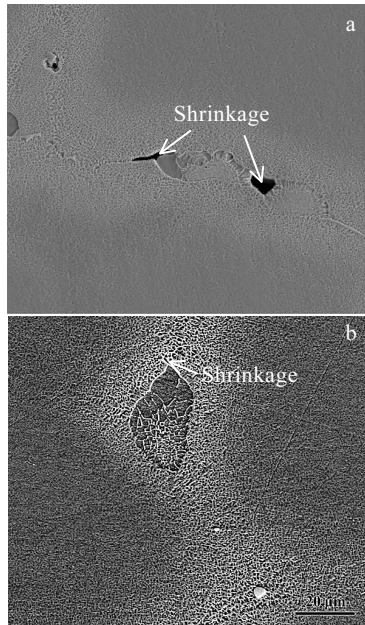


图 2 不同合金试样的 SEM 像

Fig.2 SEM images of different experimental alloys: (a) alloy 1 and (b) alloy 2

液补缩能力的降低，增加凝固过程补缩受阻区面积，容易造成疏松的形成。此外，杂质元素 S、P 等会在合金的凝固过程中强烈偏聚于枝晶间，降低合金的终凝温度，扩大液固相线间距，增加合金补缩受阻区的长度，也易导致合金中疏松含量的上升。采用纯净化冶炼方法可更有效地脱除 O、N、S、P 等杂质元素，

从而降低合金的疏松形成倾向。

普通熔炼方法制备的 DZ125L 合金微观组织中可观察到一定数量夹杂物的存在，而采用纯净化制备技术的合金中则几乎很难发现夹杂物。大量研究结果表明，高温合金中夹杂物的形成与合金中 O、N、S 等杂质元素的含量密切相关<sup>[14-16]</sup>。高温合金中的 Al、Ti、Cr 等活泼金属元素易于与 O、N、S 等杂质元素发生反应，生成氮化物、氧化物及硫化物等夹杂。当合金中杂质元素含量较高时，合金中相应夹杂物的数量就会增多。图 3 所示为采用普通熔炼方法制备的合金 1 中 2 种典型的夹杂物形貌及成分分析结果。图 3a 所示夹杂物有一定棱角，EDS 分析其化学成分主要为 N 和 Ti，以及一定量的 Cr、W 等（图 3c），为合金中杂质元素 N 所形成的氮化物；另一类夹杂物周围呈圆形形态（图 3b），化学成分较复杂，主要为 O、S、Al、Cr 等元素（图 3d），应是 O、S 等杂质元素形成的复杂氧化物。

合金中疏松和夹杂物的形成与杂质元素的含量有较大的关系，采用纯净化制备技术将合金中 O、N、S、P 等含量由 0.0010% 左右降至 0.0005% 以下，可以大幅减少合金中疏松和夹杂物的含量。

### 2.2.2 热处理组织

两合金经标准热处理后，共晶组织基本消失，相组成均为  $\gamma$ 、 $\gamma'$  和碳化物。图 4 所示为不同制备方法合金热处理后的典型  $\gamma'$  相组织形貌。可以看出，经标准热处理后，两合金枝晶干处的  $\gamma'$  相形状均较为规则均匀，而枝晶间处的  $\gamma'$  相形貌呈不规则立方状。通过统

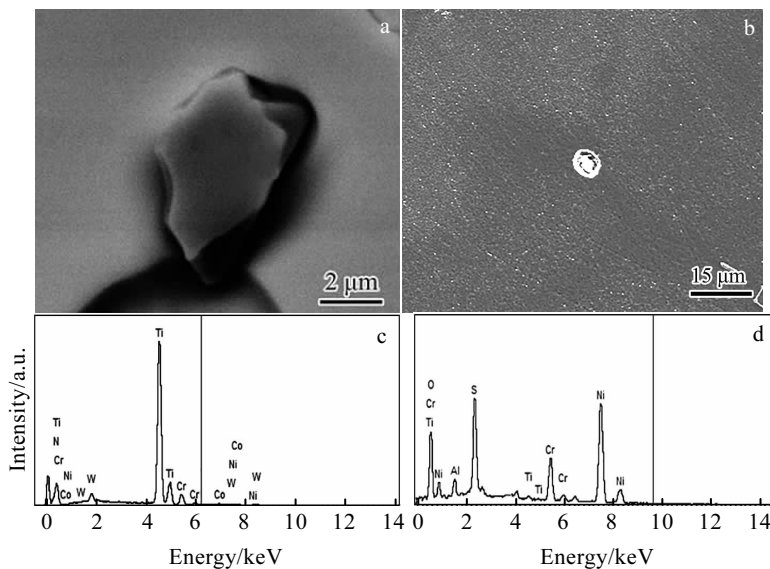


图 3 普通熔炼方法制备的 DZ125L 合金中典型夹杂物的形貌及相应的 EDS 分析

Fig.3 Morphologies (a, b) and EDS spectra (c, d) of the inclusions formed in alloy produced by OSM: (a, c) nitride and (b, d) oxide

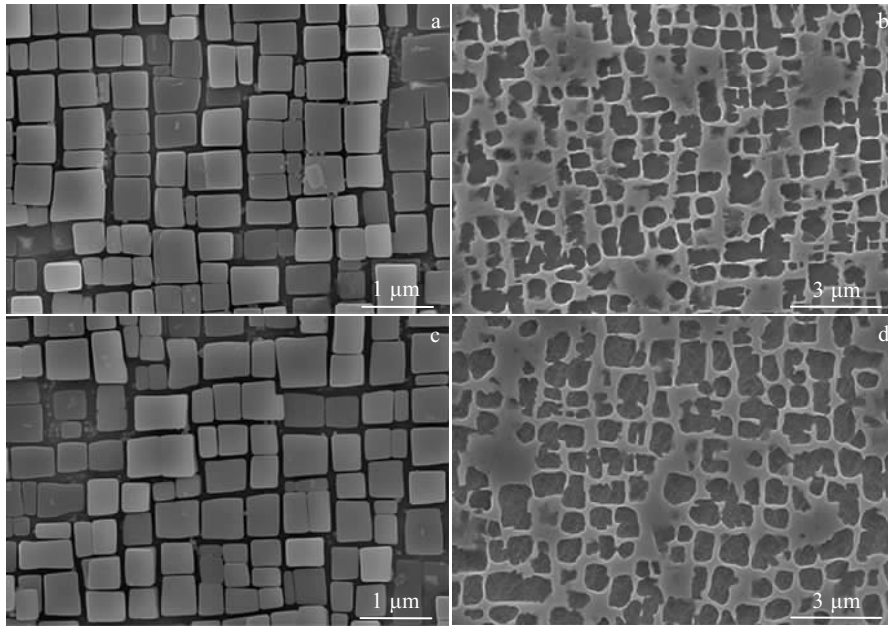
图 4 合金热处理态  $\gamma'$  相形貌

Fig.4 Morphologies of  $\gamma'$  in alloy 1 (a, b) and alloy 2 (c, d) after standard heat treatment: (a, c) in dendrite and (b, d) in interdendritic

计分析测得合金 1 枝晶干处  $\gamma'$  相的平均尺寸为  $0.38 \mu\text{m}$ , 枝晶间处为  $0.43 \mu\text{m}$ ; 而合金 2 枝晶干处  $\gamma'$  相的平均尺寸为  $0.39 \mu\text{m}$ , 枝晶间则为  $0.45 \mu\text{m}$ 。可见, 采用不同冶炼方法制备的合金经相同的热处理后, 其枝晶干及枝晶间处的  $\gamma'$  相尺寸及分布形态基本完全一致。即纯净化制备不影响 DZ125L 合金中主要强化相的状态。

### 2.3 力学性能

采用不同冶炼方法制备的合金经标准热处理后, 其室温拉伸性能的对比如表 2 所示。经过纯净化制备降低杂质元素含量后, DZ125L 合金的室温屈服强度以及抗拉强度均有所提高。图 5 所示为合金室温拉伸试样断口形貌的观察结果。由图中可以看到, 两合金断口总体上呈晶界及枝晶间断裂的特征, 断口表面存在韧窝等微观韧性断裂特征。杂质含量较高的合金 1 断口表面存在相对较多的疏松孔洞, 且二次裂纹数量较合金 2 增多(图 5b 和图 5d)。杨金侠等<sup>[14]</sup>研究发现, IN792 合金中 O、N 含量越高, 越容易促进疏松的形成, 进而导致合金室温抗拉强度和屈服强度的下降。这主要是因为疏松的存在会降低合金的有效承载面积, 进而影响合金的拉伸强度。采用纯净化制备可以降低合金中的 O、N 含量, 减少疏松存在, 使得合金的拉伸性能得到改善。

图 6 所示为合金 760、850 和 980  $^{\circ}\text{C}$  不同温度下的高温拉伸实验结果。可以看出, 合金杂质元素含量

表 2 不同制备方法合金的室温拉伸性能

Table 2 Tensile properties at room temperature of different experimental alloys

Alloy	$\sigma_{0.2}/\text{MPa}$	$\sigma_b/\text{MPa}$	$\delta/\%$	$\psi/\%$
1	935	1185	10.5	11.5
2	978	1210	9.5	10.0

进一步降低后, 其高温屈服强度和抗拉强度也均有一定幅度的提升。

通过不同温度不同应力条件下的实验来研究纯净化制备对 DZ125L 合金持久寿命的影响。合金在不同条件下的持久寿命情况如图 7 所示。当合金中 O、N、S、P 等各杂质元素含量由 0.0010% 左右降至 0.0005% 以下时, 除 1040  $^{\circ}\text{C}/150 \text{ MPa}$  条件下的持久寿命变化不大外, 合金在其他条件下的持久寿命均得到了明显提高。760  $^{\circ}\text{C}/800 \text{ MPa}$  下的持久寿命由 157 h 提高至 203.3 h; 850  $^{\circ}\text{C}/560 \text{ MPa}$  下的持久寿命由 93.7 h 提高至 149 h; 而 980  $^{\circ}\text{C}/250 \text{ MPa}$  下的持久寿命则增至 105.3 h。这表明, 进一步降低 DZ125L 合金中杂质元素的含量, 对合金的持久寿命有明显的改善作用。

合金持久寿命的改善主要得益于夹杂物含量的降低。在高温合金的持久过程中, 基体中的非金属夹杂物往往较硬脆且存在棱角, 易使运动着的位错受阻, 形成位错塞积群, 当塞积到一定程度后将在其前端形成裂纹源, 随后伴随形变的进一步发展, 裂纹会逐渐快速扩散, 最后导致试样完全断裂。图 8 所示为经

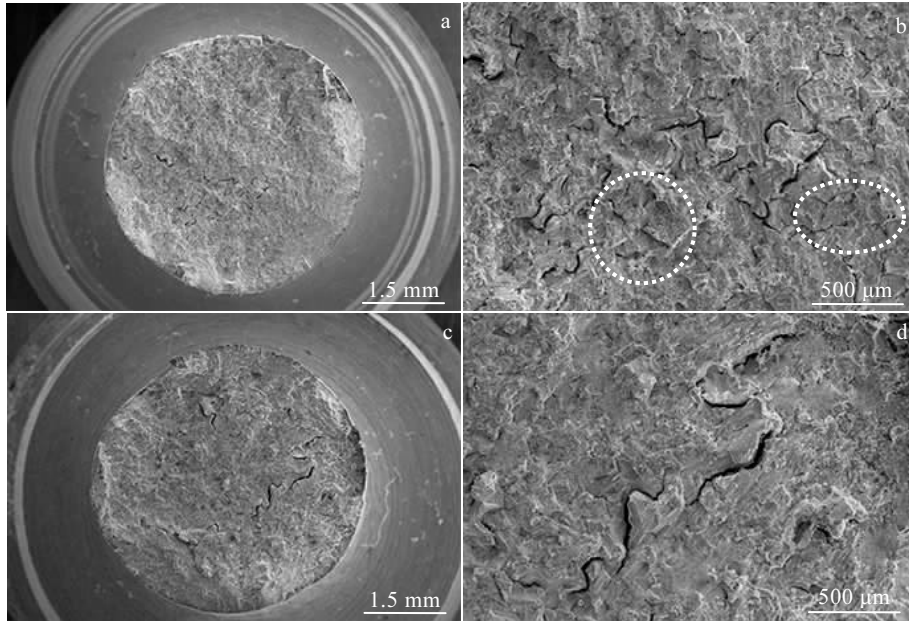


图 5 合金室温拉伸断口形貌

Fig.5 Morphologies of tensile fracture of alloy 1 (a, b) and alloy 2 (c, d) at room temperature

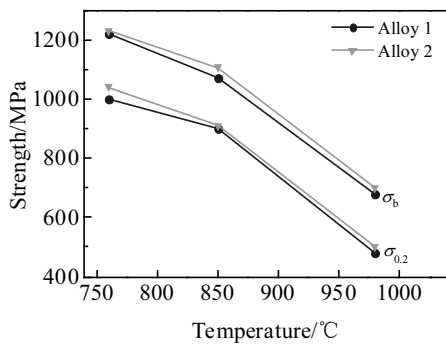


图 6 不同制备方法合金的高温拉伸性能

Fig.6 Tensile properties at high temperatures of different experimental alloys

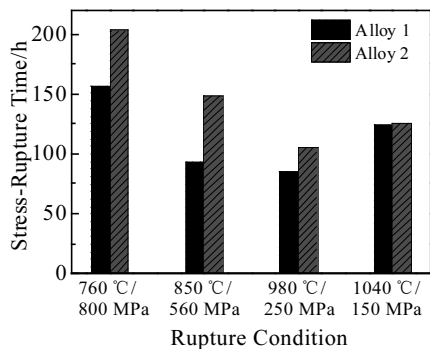


图 7 不同制备方法合金在不同条件下的持久寿命

Fig.7 Stress rupture life of experimental alloys under different conditions

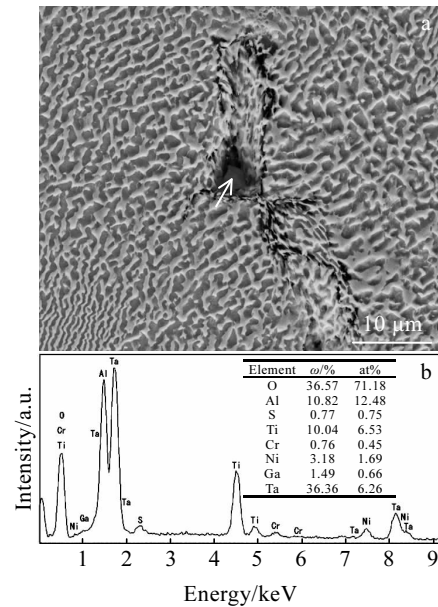


图 8 合金 1 在 980 °C/250 MPa 持久试样中的夹杂物形貌及 EDS 分析

Fig.8 Morphology (a) and EDS spectrum (b) of inclusions in specimen at 980 °C/250 MPa of alloy 1

980 °C/250 MPa 持久实验后合金 1 试样持久断口附近处的显微组织。可以看到，在持久实验过程中，夹杂物所在处诱发了微裂纹的萌生，不利于合金的持久寿命。而合金 2 持久试样中则未观察到类似的现象。通

过纯净化冶炼降低合金中夹杂物的含量, 可以一定程度上提高合金的持久性能。

表3所示为2种方法的DZ125L合金950℃不同应力条件下产生不同程度塑性应变时的蠕变寿命对比结果。可以看出, 在950℃/230MPa应力条件下, 合金1产生0.1%、0.2%和0.5%的塑性变形时蠕变寿命分别为15、26和61h, 而合金2则分别延长至22、44和135h, 蠕变寿命较合金1有大幅提高。同样, 在其他相同应力条件下, 合金2达到同样蠕变变形时的寿命大都较合金1延长。这表明, 对DZ125L合金进行进一步的纯净化可以提高合金蠕变性能, 减缓合金的蠕变变形速度。

袁超等<sup>[12]</sup>研究表明, 当K640S合金中N含量增加时, 合金的蠕变寿命表现出下降的趋势。其主要原因是随着N含量的增加, 合金显微疏松增多, 而显微疏松是合金高温损伤裂纹的形核源, 从而加快了蠕变速率。合金中疏松的存在, 破坏了基体的连续性。在高温和应力的作用下, 其周围往往优先形成裂纹并扩展, 从而加快合金的蠕变变形, 降低蠕变性能。纯净化制备的DZ125L合金中疏松含量更低, 有利于合金的蠕变性能。

两合金760℃不同应力条件拉压疲劳性能的对比如表4所示。结果表明, 纯净化制备可以明显提高DZ125L合金的疲劳寿命。杂质含量更低的合金2在相同应力条件下疲劳失效时所经受的循环次数较合金1更多。特别是较高应力条件下, 经纯净化制备合金的疲劳寿命甚至可以得到数倍的提高。

刘新灵等<sup>[17]</sup>研究镍基高温合金疲劳损伤机制时发现, 疲劳裂纹可从合金缺陷处萌生, 而定向凝固高温合金和单晶高温合金中的此类缺陷主要为疏松。骆合力等<sup>[18]</sup>对真空连铸K418合金进行了研究, 发现采用真空连铸工艺大量降低K418合金中夹杂物的含量, 合金的疲劳寿命可以得到成倍提高。这表明, 存在

表3 2种合金950℃蠕变寿命对比

Table 3 Comparison of creep life of different experimental alloys at 950℃

Stress/MPa	$\varepsilon_p/\%$	Life/h	
		Alloy 1	Alloy 2
230	0.1	15	22
	0.2	26	44
	0.5	61	135
200	0.1	-	27
	0.2	64	94
	0.5	-	214
170	0.1	99	98
	0.2	130	189
	0.5	290	650

表4 2种合金760℃疲劳性能比较

Table 4 Comparison of fatigue life of different experimental alloys at 760℃

$\sigma_{max}/\text{MPa}$	300	320	400	450	600
$N_f(\text{alloy 1})/\text{cycle}$	$>1.0 \times 10^7$	$1.06 \times 10^6$	$3.98 \times 10^5$	$8.17 \times 10^4$	$3.21 \times 10^3$
$N_f(\text{alloy 2})/\text{cycle}$	$>1.0 \times 10^7$	$2.60 \times 10^6$	$4.61 \times 10^5$	$2.08 \times 10^5$	$1.12 \times 10^4$

于高温合金中的夹杂物和显微疏松等, 由于与周围基体的形态及物理特性差别较大, 在疲劳过程中往往易成为裂纹的形核地, 不利于合金的疲劳性能。而采用纯净化制备方法冶炼DZ125L合金, 可以进一步降低合金中疏松和夹杂含量, 使合金760℃疲劳寿命得到提升。

高温合金中存在的显微疏松和夹杂物等缺陷, 虽然在合金组织中占比较少, 但疏松会使合金的有效承载面积减少, 而夹杂物硬度高、脆性大, 均会对合金的力学性能产生明显影响。特别是在合金的持久、蠕变及疲劳过程中, 疏松或夹杂处往往成为应力集中区域, 容易诱发裂纹, 严重损害合金的性能。合金中O、N、S、P等杂质元素的含量对疏松与夹杂的形成有密切关系, 通过纯净化制备技术, 能够进一步降低合金中疏松与夹杂缺陷的含量, 可使DZ125L合金的力学性能得到明显提升, 更好地发挥合金力学性能优良的特点, 提高涡轮叶片等部件的使役性能。因此, 进一步控制合金中杂质元素的含量是十分必要的。

### 3 结论

- 1) 采用纯净化制备方法可以进一步降低DZ125L合金中O、N、S、P的含量, 提高合金的纯净度。
- 2) 随着合金纯净度的提高, 合金中疏松和夹杂物的含量进一步降低。
- 3) 进一步提高合金的纯净度, 合金室温及高温的抗拉强度和屈服强度略有改善, 而持久、蠕变及疲劳性能均可得到大幅提升。对DZ125L合金中杂质元素含量进行更严格的控制有着十分重要的意义。

#### 参考文献 References

- [1] Gui Zhonglou(桂忠楼), Wu Changxin(吴昌新), Sun Chuanqi(孙传棋) *et al. Journal of Materials Engineering(材料工程)*[J], 2002(3): 20
- [2] Huang Xuebing, Zhang Yun, Hu Zhuangqi. *Metallurgical and Materials Transactions A*[J], 1999, 30(7): 1755
- [3] Zhu Yaoyao(朱耀霄). *Transactions of Metal Heat Treatment(金属热处理学报)*[J], 1997, 18(3): 16
- [4] Yuan Chao(袁超), Guo Jianting(郭建亭), Li Gusong(李谷松) *et al. The Chinese Journal of Nonferrous Metals(中国有色金属)*

- 属学报[J], 2011, 21(4): 733
- [5] Yang Jinxia(杨金侠), Li Jinguo(李金国), Jin Tao(金涛) *et al. Rare Metal Materials and Engineering*(稀有金属材料与工程)[J], 2016, 45(5): 1253
- [6] Guo Jianting(郭建亭). *Materials Science and Engineering for Superalloys*(高温合金材料学)[M]. Beijing: Science Press, 2008: 192
- [7] Zhu Y X, Radavich J F, Zheng Z *et al. Superalloys 2000*[C]. Warrendale: The Minerals, Metals and Materials Society, 2000: 329
- [8] Guan Xiurong(管秀荣), Liu Enze(刘恩泽), Zheng Zhi(郑志) *et al. Transactions of Materials and Heat Treatment*(材料热处理学报)[J], 2009, 30(6): 108
- [9] Yang Feixue, Liu Enze, Zhi Zheng *et al. Materials and Design* [J], 2014, 61: 41
- [10] Dong Jiasheng(董加胜), Qu Wensheng(曲文生), Wang Dayong(王大勇) *et al. Rare Metal Materials and Engineering* (稀有金属材料与工程)[J], 2010, 39(8): 1480
- [11] Yang Jinxia(杨金侠), Xu Futao(徐福涛), Zhou Donglin(周动林) *et al. Acta Metallurgica Sinica*(金属学报)[J], 2017, 53(6): 703
- [12] Yuan Chao(袁超), Guo Jianting(郭建亭), Wang Yong(王勇) *et al. Acta Metallurgica Sinica*(金属学报)[J], 2000, 36(9): 961
- [13] Zhang Huaxia(张华霞), Wu Changxin(吴昌新), Gui Zhonglou(桂忠楼). *Journal of Materials Engineering*(材料工程)[J], 2009(8): 68
- [14] Yang Jinxia(杨金侠), Zheng Qi(郑启), Ji Manqing(纪曼青) *et al. Rare Metal Materials and Engineering*(稀有金属材料与工程)[J], 2012, 41(4): 692
- [15] Tang Zhongjie(唐中杰), Guo Tieming(郭铁明), Kou Shengzhong(寇生中) *et al. The Chinese Journal of Nonferrous Metals*(中国有色金属学报)[J], 2015, 25(9): 2403
- [16] Zheng Liang(郑亮), Xiao Chengbo(肖程波), Zhang Guoqing(张国庆) *et al. Journal of Materials Engineering*(材料工程)[J], 2012(3): 1
- [17] Liu Xinling(刘新灵), Tao Chunhu(陶春虎), Liu Delin(刘德林). *Rare Metal Materials and Engineering*(稀有金属材料与工程)[J], 2015, 44(12): 3178
- [18] Luo Heli(骆合力), Feng Di(冯涤), Li Shangping(李尚平) *et al. Journal of Iron and Steel*(钢铁研究学报)[J], 2016, 28(4): 33

## Effect of Purified Smelting Method on Microstructure and Mechanical Properties of DZ125L Superalloy

Tan Zheng, Tong Jian, Ning Likui, Liu Enze, Zheng Zhi

(Institute of Metal Research, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, China)

**Abstract:** DZ125L superalloy with different contents of impurity elements such as O, N, S and P were obtained through ordinary smelting method and purified smelting method. The microstructures of experimental alloy were investigated by optical microscopy and scanning electron microscopy, and the mechanical properties of alloy were also measured. Results show that the contents of O, N, S and P for DZ125L alloy can be reduced from 0.0010% to 0.0005% by purified smelting method, and the contents of shrinkage and inclusions decrease with the increase of the purity of DZ125L. The yield strength and tensile strength of the alloy prepared by purified smelting method at room temperature, 760, 850 and 980 °C are slightly improved, while the stress rupture properties at 760 °C/800 MPa, 850 °C/560 MPa and 980 °C/250 MPa are improved dramatically. The creep properties at 950 °C and fatigue properties at 760 °C can also be enhanced by purified smelting method.

**Key words:** superalloy; purified smelting method; microstructure; mechanical properties

Corresponding author: Tan Zheng, Master, Research Assistant, Institute of Metal Research, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, P. R. China, Tel: 0086-24-83970735, E-mail: tanzheng606@163.com