

DZ22 合金返回料的应用研究

北京航空材料研究所 陈荣章 王罗宝 陈新予

DZ22 合金的废料(浇冒口、废零件等)经过专门处理制成返回合金锭。研究表明,其化学成分、显微组织和力学性能与新料锭无明显差异,用它浇注薄壁空心叶片,冶金质量不降低。本研究认为,含 Hf 的 DZ22 合金返回料可用于生产叶片。

Study on Reverted Superalloy DZ22

Chen Rongzhang Wang Luobao Chen Xinyu

(Institute of Aeronautical Materials, Beijing)

DZ22 alloy scrap such as runner, riser and rejected parts has been specially melted to make reverted alloy ingots. This study shows that its chemistry including impurities and gas content, microstructure and mechanical properties are similar to those of virgin alloy ingots. The metallurgical quality of the thin wall hollow blades which were cast using the reverted alloy ingots have not degraded. It is considered that Hf-bearing DZ22 reverted alloy ingot may be used in blade production.

一、前言

DZ22 合金是一种高强度定向凝固高温合金,不仅具有较好的中、高温综合性能和优异的热疲劳性能,而且具有良好的铸造、焊接和磨削等工艺性能,已在我国先进的航空发动机上获得应用^[1]。随着合金和零件的生产,必然产生大量的合金废料(浇冒口、废零件、合金锭头尾等)。这些合金废料能否回收应用,是一个极大的经济问题,因而受到用户和生产厂家的关心。尤其是该合金的成分中含有 1.5% 的铪,铪是一种强活性元素,极易氧化生成氧化铪。已有研究指出^[2,4],含铪合金浇入熔模陶瓷壳型后,由于铪的趋肤效应,易与壳型发生反应,生成 HfO_2 ,给合金带来污染,这可能给回收料的应用带来麻烦。本文的目的就是通过试验弄清含 Hf 的 DZ22 合金的废料能否回收使用。

二、试验方法

将在合金生产和零件生产中产生的浇冒口、废叶片、锭料头等按照 Q/6SZ360《DZ22 合金熔炼工艺说明书》的有关规定,在 IS65V8 真空感应炉重熔浇注,制成合金锭(称为返回料锭),分析成分后待用。

按不同比例(30%、50%、70%和 100%)将返回料锭与新料锭混合,在 ISP2/Ⅲ 定向凝固炉内重熔、浇注和定向凝固,制成试样,按常规方法进行如下分析工作:

(1) 分析化学成分(包括杂质、气体含量);

(2) 测试力学性能:室温拉伸,持久(760℃、980℃、1040℃)、疲劳(高周疲劳、低周疲劳);

(3) 观察显微组织(包括夹杂物、碳化物、枝晶组织以及其他相组织)。

另外,在试验中按照某发动机高压涡轮叶片的生产工艺,用含 50% 返回料的合金浇注了五组(20 片)定向凝固空心无余量涡轮叶片,并按现行的叶片精铸件标准进行冶金质量和力学性能检验。

三、试验结果

1. 合金成分

对加入不同比例的返回料锭制成的试棒进行成分分析,同时将所用的返回料锭和新料锭进行分析,以资比较。表 1 列出了合金的 Hf 含量和杂质元素、气体含量的分析结果。

从表 1 分析结果可以看出,①返回料锭的 Hf 含量较低(但仍在合格范围),应注意重熔时适量补加;②氧的含量与新料相比无明显变化,但氮含量稍有增加(约增加 2~3ppm),总的说来,气体含量都在较低水平(<10ppm),说明熔炼质量较好。

2. 力学性能

(1) 室温拉伸性能

图 1 表明含不同比例返回料的试棒测试的室温拉伸性能无明显变化。

(2) 持久性能

图 2 示出加入不同比例返回料的 760℃、980℃和 1040℃的持久寿命和持久塑性,可以看出,其持久性能没有明显变化。

表 1 Hf 和杂质、气体含量分析结果

元 素	编 号 返回料用量	FO	F3	F5	F7	F10	8804	88-1
		0	30%	50%	70%	100%	新料锭	返回料锭
Hf		1.68	1.65	1.61	1.79	1.37	1.90	1.36
Zr		0.051	0.052	0.053	0.053	0.053	0.052	0.053
Fe		0.12	0.15	0.16	0.14	0.22	0.14	0.21
Si		0.083	0.077	0.086	0.078	0.087	0.085	0.080
Mn		<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.05	<0.1
P		<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
S		0.0015	0.0010	0.0015	0.0015	0.0010	0.0010	0.0010
Pb		<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Sb		<0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.0002
Bi		<0.00003	<0.00003	<0.00003	<0.00003	<0.00003	<0.00003	<0.00003
N		0.00019	0.00032	0.00034	0.00034	0.00036	0.00016	0.00058
O		0.00065	0.00073	0.00081	0.00096	0.00096	0.00095	0.00082

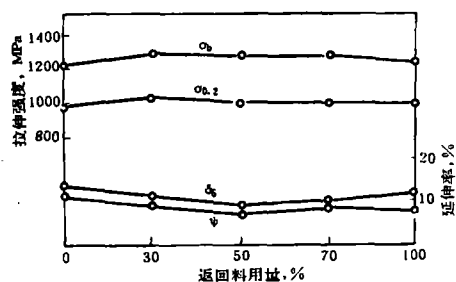


图 1 不同比例的返回料对室温拉伸性能的影响

(3) 疲劳性能

图 3 示出加入不同返回料的 760℃ 旋转弯曲疲劳 (HCF) 和轴向拉压疲劳 (LCF) 的试验结果。结果表明，无论是高周疲劳性能还是低周疲劳性能都没有明显变化。

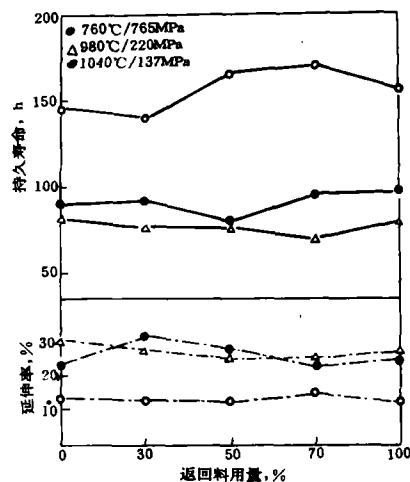


图 2 不同比例的返回料对持久性能的影响

3. 显微组织

对加入不同比例返回料的试样观察的结果如下：①未发现 HfO_2 、 TiN 或 TiCN 之类的夹杂物；②试样中的疏松孔洞都很少；③碳化物的形态、分布和尺寸基本上不变化（见图 4）；④合金的枝晶组织和其他的相组织无明显差异（见图 5）。

4. 叶片检验结果

按现行的某发动机高压涡轮叶片精铸件检验标准逐项检查用含 50% 返回料的合金锭浇注出的定向空心余量涡轮叶片 5 组共 20 片，检验结果如下：

①叶片的化学成分和力学性能合格；

②按规定解剖检查叶片内部显微疏松合格；

③在所浇的 20 片叶片中，因露芯报废 9 片，荧光检查因砂眼报废 1 片，因壁厚不合格报废 4 片，因此，毛坯合格率为 33%，与新料浇注叶片的合格率相当。

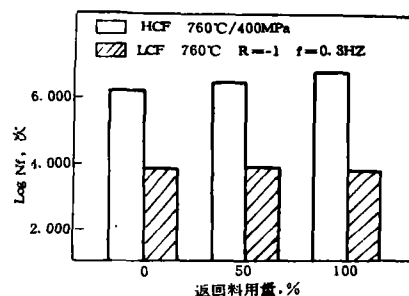


图 3 加入不同比例返回料对疲劳性能的影响

上述结果表明，加入 50% 返回料浇注涡轮叶片，叶片的冶金质量以及合金的铸造性能和力学性能没有明显降低。

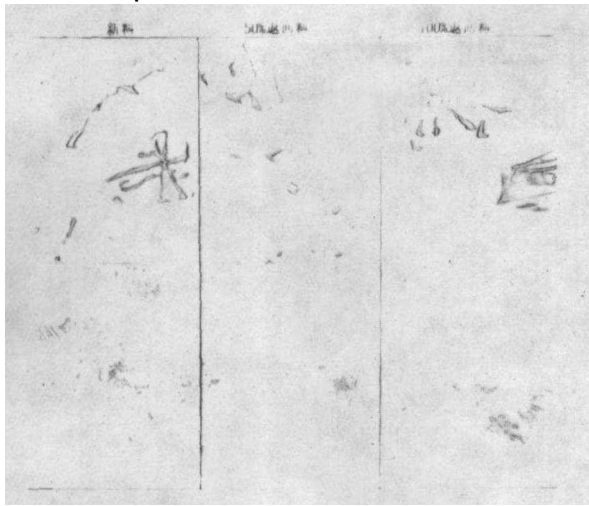


图4 新料和加入返回料的试样的碳化物状态

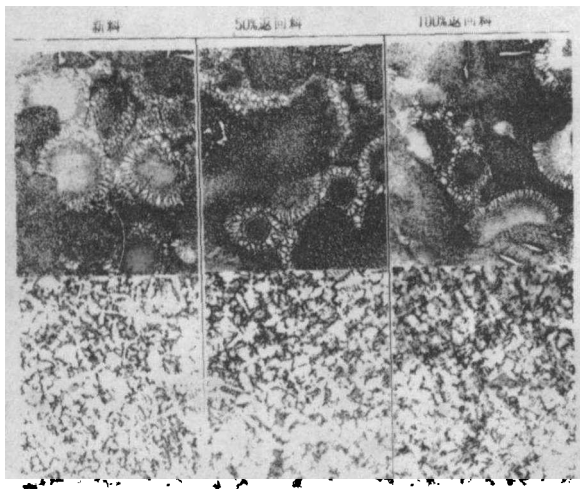


图5 新料和加入返回料的试样的显微组织

四、讨论

从上述试验结果可知, DZ22 合金的返回料与新料相比, 无论从试棒还是零件来看, 性能都没有明显下降。这就为 DZ22 合金返回料的应用提供了依据。国外的实践已经表明^[3], 经过专门处理的含 Hf 的高温合金的返回料是可以使用的。70 年代以来, 含 Hf 的高温合金不断增多, 除了已大量应用的 PWA1422、MAR-M002、MAR-M247、Rene125、Rene150、Rene80H、MC6Φ 外, 近年来又出现含 Hf 的单晶高温合金如 PWA1484、CMSX-4 等。随着高性能航空发动机产量的增加, 这些合金的用量都很大, 因此, 产生的浇冒口、废零件等废料的量是极为可观的。国外在应用这些废料时, 与其他高温合金一样, 首先是将它们回收冶炼厂, 按专门的工艺重熔精炼制成返回料锭, 分析成分和性能符合标准后, 与新料锭一起混合使用。所用返回料锭的比例由供需双方商定 (据了解, 法国透默公司浇注阿赫耶发动机 1 级涡轮叶片用的含 1% Hf 的 NW12KCATHf 合金, 返回料用量为

50%)。多年的实践证明, 含 Hf 合金返回料的应用没有特殊的困难。本文的试验结果再次说明这一点。

铪是一种强活性元素, 极易与壳型表面反应, 生成 HfO_2 ^[2]。尽管在本研究中没有从显微组织中或其他场合直接观察到 HfO_2 (可能是粒子太小或数量太少), 但是, 从返回料成分中 Hf 量的降低可以说明, 正是由于浇注零件时合金液与壳型内表面和型芯发生反应, 生成 HfO_2 而导致 Hf 的损失。文献[4]发现, 用含 Hf 合金浇注定向凝固铸件, 其上部的 Hf 含量远比下部低, 这是由于铸件上部在液态停留时间长, 与壳型的反应更激烈而持久, 因而损失的 Hf 更多。铸件表面生成的 HfO_2 , 必然在废料回炉时带进返回料锭中。 HfO_2 对合金性能的影响尚待进一步研究。

为了去除合金液中的 HfO_2 及其他氧化物夹杂, 国内外普遍采用陶瓷泡沫过滤网过滤净化技术。美国特殊金属公司的试验表明^[5], 对含 Hf 的 PWA1422 合金, 采用合适的陶瓷过滤网及浇注速度, 过滤效率可达 90% 左右。另一项研究表明^[6], 无论采用氧化铝 (NCL) 过滤网, 还是采用氧化锆 (PSZ) 过滤网, 对于去除 HfO_2 都很有效。例如, 其 EB 试验表明, 未经过滤的 MAR-M200+Hf 合金锭的浮渣中, HfO_2 约占 33~36wt%, Al_2O_3 占 6.1~9.4wt%。经过过滤后, HfO_2 约占 13~24wt%, 而 Al_2O_3 约占 8~27wt%。该试验说明采用过滤技术可以大幅度减少合金中的 HfO_2 。

本文仅仅是对合金一次返回的试验结果。然而, 合金经过多次重复使用后, 因壳型及型芯的反应, 而使合金的污染程度加甚, 因此还应研究返回次数对合金的影响, 这一问题将是本研究下一步要进行工作加以解决的。

五、结论

DZ22 合金的废料 (浇冒口、废零件等) 按专门的工艺重熔精炼制成返回合金锭, 其化学成分 (除铪、铌外)、力学性能和显微组织无明显变化, 用 50% 返回料锭与新料锭混合浇注定向空心叶片, 其冶金质量和力学性能没有降低。根据上述结果并结合国外含 Hf 高温合金返回料的处理与应用情况, 可以确定, 经过专门处理的 DZ22 合金的返回料可以应用, 回炉料的处理没有特殊困难。

参考文献

1. 陈荣章、王罗宝、王玉屏, 航空材料学报, 1991, No. 1, P1
2. 郑运荣, 航空材料学报, 1988, No. 2, P1
3. 陈荣章, 军用新材料资料, 1989, No. 3, P10
4. G. R. Brager, et al., VSP3908733, 1975
5. Apelian and W. M. Sutton, Superalloys, 1984, Proc. 5th Int. Sump. on Superalloys, ASM, 1984, P423
6. W. H. Sutton, Electron Beam Melting and Refining State of the Art, 1985, Ed. by R. Bakish, P137