

GH37冷拉棒开裂的原因分析

01-602处 刘今韬

摘 要

本文对冷拉状态GH37棒料剥切部附近产生横向开裂的问题,作了化学成分、力学性能、金相及电子探针分析。提出冷拉变形不均导致棒材表层与心部晶粒显著差异,而使棒材室温综合性能变坏。冷剥断时造成的微裂纹在热处理过程中得到扩展。最后对材料加工工艺及该批材料的使用提出了改进意见。

工厂按热轧棒材技术条件YB635-67,要求钢厂生产供应一批冷拉状态的GH37棒材,结果在投产下料热处理后发现剥切面头部附近有横向裂纹,个别炉号(如216-843)报废数量占下料根数的50%。216-854和抚钢生产的热轧状态的7D110439炉号未出现裂纹。

为了找出开裂原因,对上述三炉号来料作了如下试验分析。

一、试验

1. 裂纹宏观检查

裂纹发生在剥切头部,离剥切面20~100mm不等,钢厂出厂时剥切的头部附近也有裂纹,但离切面较远。裂纹均为横向开裂,其宏观外貌见图1。

2. 化学成分及有害杂质元素的测定

表1为三个炉号取样的化学成分,均符合技术标准要求,低熔点杂质含量不高,好坏炉号

差别不大。

表 1 化学成分(%)

炉号 元素	216-843	216-854	7D110439
C	0.049	0.049	0.057
Mn	0.01	0.01	0.15
Si	0.10	0.11	0.25
S	≤0.01	≤0.01	0.003
P	≤0.01	≤0.01	0.003
Cr	15.30	15.10	15.07
Cu	≤0.01	≤0.01	0.05
Mo	3.64	3.58	3.40
W	5.80	5.66	6.00
V	0.20	0.21	0.26
Ti	2.13	2.08	2.04
Al	2.07	1.98	2.08
B	0.007	—	—
Fe	0.49	0.52	0.45
Pb	<0.001	<0.001	>0.001
As	<0.0025	<0.0025	<0.0025
Sb	<0.001	<0.001	<0.001
Bi	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Sn	<0.001	<0.001	<0.001

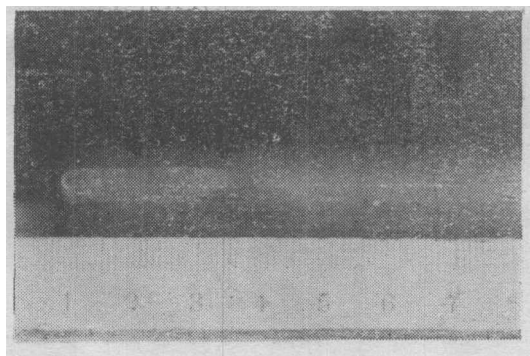


图1 裂纹外貌

3. 力学性能

分别制取室温拉伸、冲击、800℃瞬时拉伸和850℃持久试样，按正常热处理工艺处理，结果见表2、3、4。从表中可见，有裂纹炉号(216-843)的室温综合性能较差；冷拉状态比热轧状态的室温性能有明显降低；800℃瞬时拉伸，热轧比冷轧的延伸率低，其它无多大差异。

表2 室温机械性能

炉号	σ_b MPa	δ %	ψ %	a_k kJ/m ²	HB	备注
216-843	859.1	7.5	7.6	127.5	3.56	冷拉
	836.5	12.0	9.2	117.7	3.70	
	842.2	6.7	9.2	176.5	3.65	
				137.3		
216-854	896.3	9.5	11.7	137.3	3.75	冷拉
	900.2	10.3	9.8	137.3	3.65	
				127.5	3.77	
				147.1	3.75	
				117.7		
7D 110439	1076.8	14.5	21.6	136.3	3.60	热轧
				196.1	3.60	
	1077.8	15.3	21.6	196.1	3.70	
	1075.8	15.3	23.8	205.9	3.65	

表3 800℃瞬时拉伸

炉号	σ_b MPa	δ %	ψ %
216-843	749.2	8.0	9.8
	787.5	10.2	11.6
	771.8	9.8	9.9
216-854	771.8	11.0	14.9
	766.9	16.8	14.9
	778.6	11.3	12.3
7D110439	778.6	5.8	10.0
	794.3	5.3	12.3
	770.8	5.5	10.0

表4 持久性能

炉号	试验温度 °C	σ MPa	至断时间 h
216-843	850	196	>60
216-854	850	196	>60
7D110439	850	196	>60

4. 金相及扫描电镜断口观察

有裂纹与无裂纹炉号试样的夹杂物正常。经甘油硝酸溶液电解腐蚀后评定晶粒度等级(见表5)。216-843炉号(有开裂)棒材表面有一层0.1mm厚的织晶粒，见图2；另外两炉无开裂试样无此现象，而且中心和表面晶粒粗细均匀，见图3。裂纹中间的氧化物开始部分为黑色，尾部为浅灰色，周围有再结晶织晶和二次氧化，其颜色和裂纹中间的氧化物相同。开始裂纹为穿晶，后来发展为穿晶和沿晶的混合(图2、4)。断口为混合断口，并能见到二次裂纹。

表5

炉号	晶粒度级
216-843	<-2级
216-854	-1~2级
7D110439	4~3级

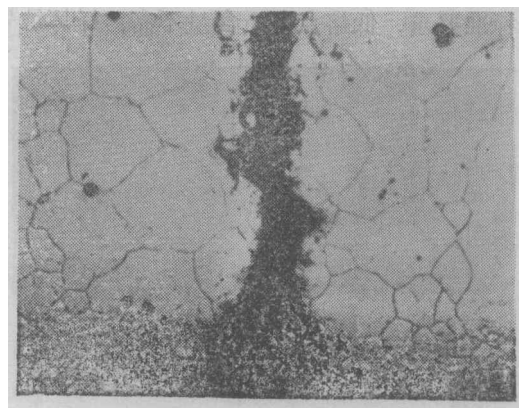


图2 50×

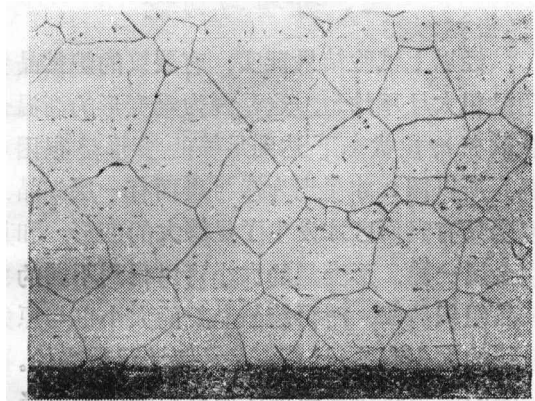


图 3 50×

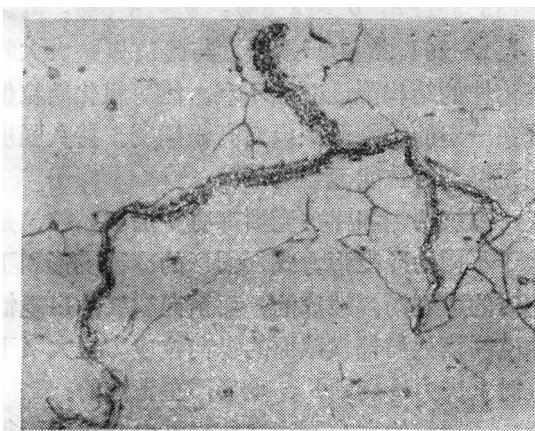


图 4 100×

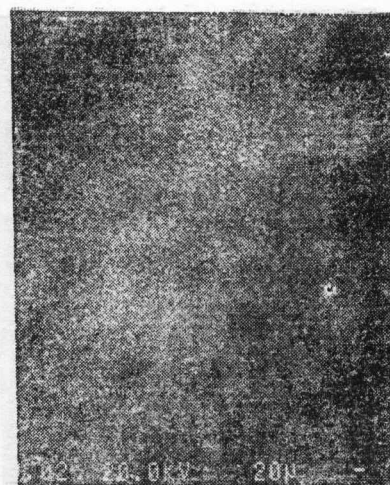
5. 电子探针微区分析

将有裂纹试样用 EPM-810Q 电子探针进行能谱与波谱分析。

(1) 能谱发现裂纹内的灰色氧化区富集 Al、Ti 元素，与基体有明显差异。

(2) 从波谱的 Al、Ti、O 面分布图 (图 5) 看出，裂纹内部与边缘聚集着大量的 Al、Ti、O 元素；裂纹边缘与基体之间的过渡区 Al、Ti 元素又有贫化现象。图 6 为棒材表面氧化层的 Al、Ti、O 的面分布图，结果与裂纹内氧化层的氧化情况完全相同。

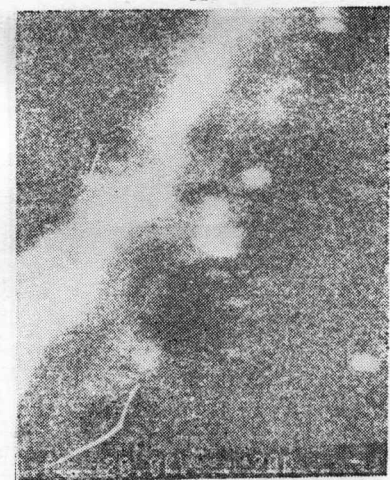
(3) 裂纹区未发现碳元素富集。晶界形态无明显差异。



O₂



Al



Ti

图 5 裂纹氧化物的元素分析

二、分析与讨论

经以上试验结果证实,有裂纹的炉批晶粒明显粗大且不均匀。这是因为难变形的高温合金欲在冷拉状态下达到足够的变形是很困难的。所以图2才呈现为棒材表面有一层细晶,说明只有表面区才发生了足够大的变形。和其它金属一样,形变量的大小可以得到不同的再结晶组织晶粒,而再结晶晶粒的大小也与原始晶粒的大小有关^[1,2],是从胚胎里带来的。再结晶的结果必将导致该区域材料强度的下降。文献〔3〕、〔4〕介绍,镍基高温合金的一般常温力学性能应保持在 $\sigma_b \geq 1038.5\text{MPa}$; $\sigma_{0.2} \geq 735.5\text{MPa}$; $\delta \geq 14.5\%$; $\psi \geq 15.0\%$; $a_k \geq 147.1 \sim 294.2\text{kJ/m}^2$ 水平,与此值相差太大将对构件的结构强度明显不利。然而粗化晶粒保持在一定的级别范围内对高温蠕变、持久强度和高温瞬时性能无显著坏处。

裂纹两侧和棒材表面都有一层细晶粒,是由于不同的冷变形方式(钢厂的冷拉变形和下料时的冷剁断)造成的;而横向裂纹的出现恰好说明该处局部横截面的纵向拉应力过大(下料时大应力冷剁断),变形严重造成的。

变形量的大小不均,使棒材中心和表面得到大小不均的晶粒,而且再结晶程度不同,因此使得室温力学性能显著降低,结果表面出现高强度、高应力的细晶层,而中心的强韧性较差。

接近裂纹尾部的裂纹内的氧化色较灰浅,和裂纹两侧的二次氧化色相似,证明在热处理前产生了微裂纹,热处理时得到了进一步扩展、氧化。

三、结 论

1.棒材冷拉变形不均引起表面和中心的晶粒差别显著,结果其力学性能表里不一,使得棒材的室温综合性能变坏;冷剁时的大冲击应力作用使其产生微裂纹,热处理得到进一步扩展。

(下转第10页)

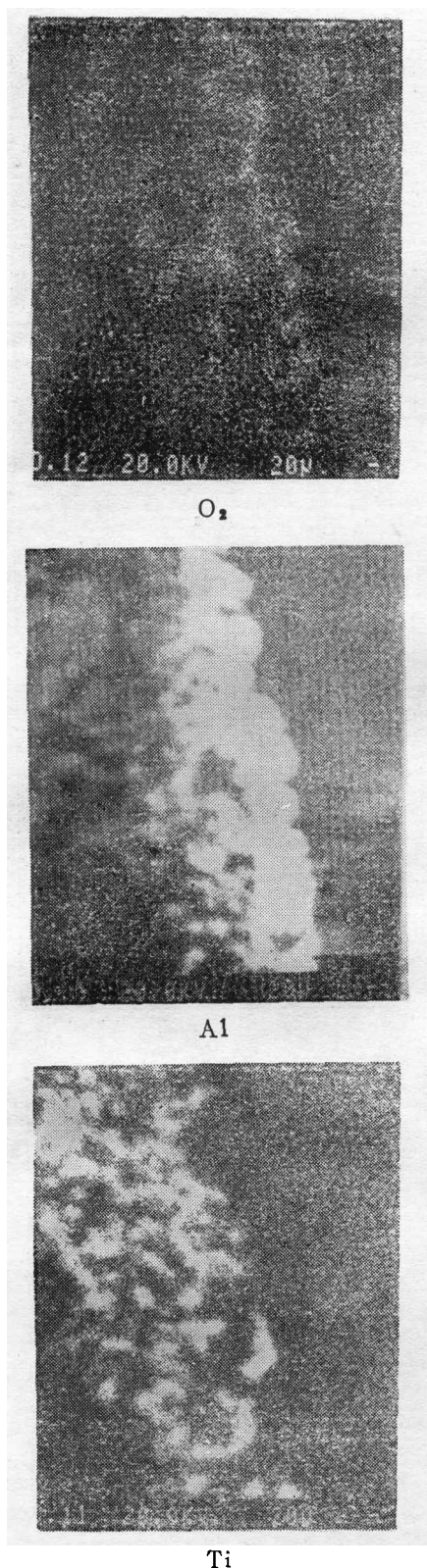


图6 棒材表面氧化层元素分析

闭熔炼室与加热器室阀门, 熔炼室破真空, 更换软质坩埚并装料, 熔炼室抽真空准备下一炉熔化。罗·罗公司的这种技术已大规模投入生产并证明是有效的, 经过严格的质量检验与控制, 达到的合格率为80%。

英国Consarc公司为使使用软质坩埚而设计制造的定向炉如图7所示。它的特点是软质坩埚底部不开洞, 由倾动坩埚浇入壳型, 熔化坩埚和壳型加热装置都在同一熔化室内, 也就是说不像罗·罗技术那样每熔炼一炉, 熔炼室需破真空一次, 而是借助于横向加料器来完成更换坩埚的动作, 这种设备与一般用的定向设备很相近, 只是熔炼坩埚可以在两个90°方向都能倾动, 并且多一横向装料机构。此种使用软质坩埚的定向炉已投入生产。

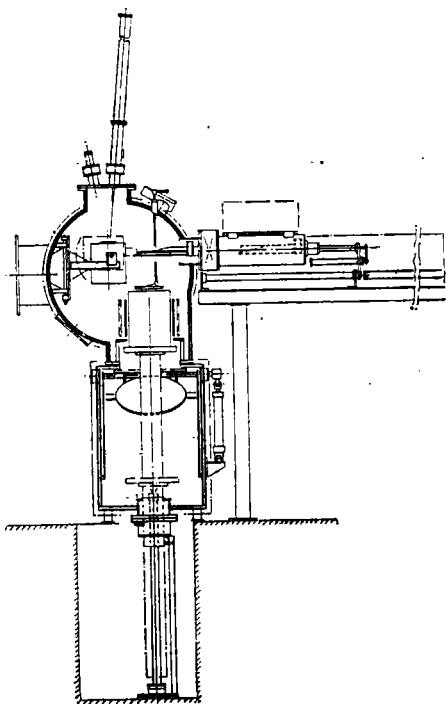


图7 Consarc公司为使使用软质坩埚设计制造的定向炉

总之, 就定向凝固技术而言, 有许多技术例如高梯度的定向炉、单晶叶片和两半分液相瞬间焊接定向单晶叶片正在开发研究。本文评

述的电子计算机和金属净化技术已经投入生产应用, 转化为生产力。

参 考 文 献

- [1] Кишкин, С.Т. и др., Конструкционные жаропрочные материалы для новой техники, М. НАУКА, 1978, 319.
- [2] Apelian, D., Suttan, W. H., Superalloys, 1984, Proc. 5th Int. Symp. on Superalloys, 1984, 421~432.
- [3] 南方动力机械公司, 西北工业大学, 泡沫陶瓷过滤器研制及应用试验总结, 1986年3月。

(*)

(*)

(*)

(上接第54页)

2. 工厂违反YB635-67标准规定, 改热轧状态供应为冷拉状态供货, 容易引起微裂纹, 随后的冷切断下料和热处理使裂纹扩大。供应状态由冷拉改回热轧状态, 这对减少在工艺过程中由于开裂引起的报废是有益的。

3. 216-843 炉的持久性能和高温拉伸性能已符合现行标准, 虽然室温力学性能较差, 但考虑到该材料主要用于高温(800℃)环境, 只要在加工、制造零件过程中将表面层0.5mm的细晶加工掉, 不再出现类似开裂现象, 是可以满足使用标准YB635-67要求的。建议工厂将现存的材料加工成结构简单、应力集中因素影响小的一般销、铆钉紧固件。

参 考 文 献

- [1] 宋维锡主编, 金属学, 冶金工业出版社, 1985年5月。
- [2] 顾德骥, 周家培, 尤云龙等译, 耐热合金, 上海科学出版社, 1962年4月。
- [3] W. 贝脱立治著, 梁学群译, 尼莫尼克镍铬耐热合金, 中国工业出版社, 1964年11月。
- [4] 郝应其, 薛永春编译, 航空材料手册, 耐热钢及合金, 1965年8月。