

镜面塑料模具钢 P80R 热轧扁材表面裂纹分析和工艺改进

吕学飞 焦其慧

(东北特钢集团大连特殊钢有限责任公司技术中心,大连 116105)

摘要 P80R 钢扁材(/% : 0.15C, 0.25Si, 1.70Mn, 0.012P, 0.002S, 3.01Ni, 0.34Mo, 1.07Cu, 1.10Al) 的生产流程为 110 t LD-LF-RH-4.2 t 铸锭-初轧开坯 150 mm × 615 mm 扁材-轧成 60 mm × 610 mm 扁材。经检验和分析得出,裂纹附近 Ni, Cu 严重富集,其 Ni 含量和 Cu 含量分别达 32.55% ~ 33.53% 和 7.97% ~ 8.86%, Cu 的富集导致表面晶界氧化,形成裂纹,应控制钢中 Cu 含量、加热温度和时间。通过将钢中 Cu 含量从 1.07% 降至 0.92%, Al 含量由 1.10% 降至 0.88%, Ni/Cu 由 2.7 增加至 3.3, 1 100 ~ 1 140 °C 加热保温时间由 30 ~ 50 min 降至 20 ~ 30 min, 钢坯进行剥皮处理等工艺措施,镜面塑料模具钢 P80R 扁材裂纹出现率由 70% 降至 ≤ 0.5%。

关键词 镜面塑料模具钢 P80R 60 mm × 610 mm 扁材 表面裂纹 Cu 富集 加热温度和时间 工艺改进

An Analysis on Surface Crack of Hot-Rolled Flat Products of Mirror Plastic Die Steel P80R and Process Improvement

Lü Xuefei and Jiao Qihui

(Technology Center, Dalian Special Steel Co Ltd, Dongbei Special Steel Group, Dalian 116105)

Abstract The production flowsheet of steel P80R flat products (/% : 0.15C, 0.25Si, 1.70Mn, 0.012P, 0.002S, 3.01Ni, 0.34Mo, 1.07Cu, 1.10Al) is 110 t LD-LF-RH-casting 4.2 t ingot-breakdown 150 mm × 615 mm slab-rolling to 60 mm × 610 mm flats. It is obtained by examination and analysis that the Ni and Cu is seriously enriched near the cracks, the Ni content and Cu content in area near cracks are respectively up to 32.55% ~ 33.53% and 7.97% ~ 8.86%, and the enrichment of Cu leads to surface grain boundary oxidation to form cracks, therefore the Cu content in steel, slab heating temperature and time should be controlled. By the process measures including decreasing Cu content in steel from 1.07% to 0.92%, Al content in steel decreasing from 1.10% to 0.88%, increasing Ni/Cu from 2.7 to 3.3, reducing heating time at 1 100 ~ 1 140 °C from 30 ~ 50 min to 20 ~ 30 min and slab peeling treating, the occurrence rate of surface cracks of mirror plastic die steel P80R flats decreases from 70% to ≤ 0.5%.

Material Index Mirror Plastic Die Steel P80R, 60 mm × 610 mm Flat, Surface Crack, Cu Enrichment, Heating Temperature and Time, Process Improvement

P80R 钢又称 PMS 钢,是一种 Ni-Cu-Al 系新型析出硬化型超镜面塑料模具钢。该钢热处理工艺简单、变形小、淬透性高,多用于汽车、家电等外观要求光亮的过硬壳体的塑料制品模具,其市场前景非常广阔。供货状态以预硬化状态交货,HRC 硬度值在 37 ~ 43,组织状态为粒状贝氏体和板条马氏体混合物^[1]。镜面塑料模具钢 P80R 预硬化机理与其它塑料模具钢有所不同,其主要采用较低的含碳量,并以 Ni-Cu-Al 三元合金为基础,添加 Mn、Mo 等合金元素,热轧后其 HRC 硬度值一般在 28 ~ 32,经 490 ~ 570 °C 时效处理,析出 Ni₃Al、ε-Cu 等弥散金属间化合物^[2]和碳化物,以获得所需的硬度。

1 试验材料和轧制参数

1.1 钢的标准化学成分及物理性质

镜面塑料模具钢 P80R 的标准化学成分及熔点见表 1,其临界温度见表 2。

1.2 钢材生产工艺

冶炼采用“110 t LD-LF-RH-模铸 4.2 t 锭-初轧开成 150 mm × 615 mm 中间坯型-二平二立可逆式轧机轧制 60 mm × 610 mm 扁钢”工艺生产 P80R 扁钢,在轧制成品时,钢坯加热温度 1 110 ~ 1 140 °C,保温时间 30 ~ 50 min,在炉总时间 130 ~ 150 min,开轧温度 1 110 °C 以上,终轧温度 950 °C。

表 1 镜面塑料模具钢 P80R 标准化学成分及熔点

Table 1 Standard chemical composition and melting point of mirror plastic die steel P80R

化学成分/%										熔点/°C
C	Si	Mn	P	S	Ni	Mo	Cu	Al		
0.10 ~ 0.20	≤ 0.45	1.40 ~ 2.00	≤ 0.030	≤ 0.015	2.90 ~ 3.40	0.20 ~ 0.50	0.80 ~ 1.20	0.70 ~ 1.30		1 495

表 2 P80R 钢的临界温度/℃

Table 2 Critical temperature of steel P80R /℃

Ac ₁	Ac ₃	Ar ₁	Ar ₃	Ms
675	821	382	517	270

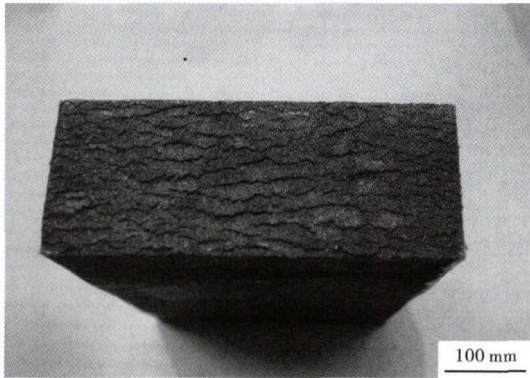


图 1 镜面塑料模具钢 P80R 150 mm × 615 mm 扁材成品表面龟裂形貌

Fig. 1 Morphology of surface alligator-hide crack of mirror plastic die steel P80R 150 mm × 615 mm finished flat product

扁钢轧制采用 5 道次出成品,轧制成品后,70% 的扁钢出现表面裂纹,主要在轧制 3 道次后表面开裂,而且有表面龟裂现象发生。如图 1 所示。

2 裂纹检验

从图 2 的皮下金相组织看出,表面的晶界部分氧化严重,深度达到 0.5 mm。扁钢的加热温度在 1 140 ℃,轧制中为了解决表面裂纹问题,曾试制加热温度范围为 1 000 ~ 1 140 ℃,采用无除鳞,1~3 次除鳞等工艺,表面裂纹均发生,而且发生在第 3 道次以后。该炉化学成分见表 3, Cu、Al 均在 1.0% 以上,偏上限。对裂纹的试样进行了电镜扫描(SEM)观察和能谱分析。

图 3 为 SEM 分析裂纹附近的晶界形态和元素分布,可以看出表面的 Cu、Ni 富集严重,特别是 Cu 的富集,易导致表面的晶界氧化。

3 讨论

经过能谱成分分析, Cu、Ni 在表面的富集特别严重。含 Cu 的合金钢,表面氧化层结构为外层氧化物,主要为氧化铁,易于脱落,第 2 层为富铜层(由于外氧化层的形成,使 Cu 元素向金属基体中扩散富集而成,其 Cu 含量可达 30% 以上), Cu 含量越高越易于产生富集,第 3 层为大颗粒包裹

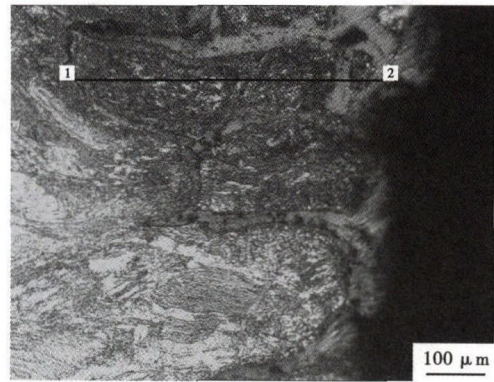


图 2 镜面塑料模具钢 P80R 150 mm × 615 mm 扁材皮下晶界氧化形貌

Fig. 2 Morphology of subsurface grain boundary oxidation of mirror plastic die steel P80R 150 mm × 615 mm flat

表 3 试验有表面裂纹的 P80R 钢分析成分/%

Table 3 Analysis of tested steel P80R with surface crack/%

C	Si	Mn	P	S	Ni	Mo	Cu	Al
0.15	0.25	1.70	0.012	0.002	3.01	0.34	1.07	1.10

的氧化物。

含 Cu 合金钢在 1 100 ~ 1 250 ℃ 加热,根据选择性氧化原理, Si, Mn, Fe 等元素首先被选择氧化, Cu 元素在高温下与氧的亲合力较弱,不形成氧化物,当其在奥氏体中的扩散速率小于氧化速率时,便在氧化层下的基体开始富集,形成富 Cu 层。

在 1 100 ℃ 以上,富 Cu 层会出现部分液相。富集一定量 Cu 的奥氏体具有抗氧化性,氧向内扩散困难。但是液态富 Cu 层能沿奥氏体晶界侵入,氧在液态铜中的溶解度很高^[3],使晶界优先逐步氧化,生成各种氧化物。沿晶界侵入的氧,达到 Cu 尚未富集的基体,便与铁等反应,生成大致与试样边缘平行的氧化层。从试样观察看,氧化物首先沿晶界形成,然后长大,连成新的大块氧化物,致使氧化层



图 3 镜面塑料模具钢 P80R 150 mm × 615 mm 扁材表面裂纹附近组织和元素分析, SEM

Fig. 3 Structure and elements analysis near surface crack, mirror plastic die steel P80R 150 mm × 615 mm flat, SEM

区域	Al	Fe	Ni	Cu
1	0.67	56.94	33.53	8.86
2	1.41	58.10	32.55	7.95

表 4 优化前后的工艺参数, Ni, Cu, Al 含量和裂纹出现率

Table 4 Heating parameters, Ni, Cu and Al content in steel, and surface crack occurrence rate before and after optimization

工艺	元素 /%			Ni/ Cu	钢坯		裂纹出现率/ %
	Ni	Cu	Al		加热温度/℃	加热保温时间/min	
优化前	3.01	1.07	1.10	2.7	1 100 ~ 1 140	30 ~ 50	70
优化后	3.03	0.92	0.88	3.3	1 100 ~ 1 140	20 ~ 30	≤0.5

的厚度逐渐增加,随着加热温度和时间增加,钢表面的铁氧化速率增加,铜元素的扩散速率增加^[4],使晶界的氧化颗粒迅速增加,在1 150 ~ 1 200 °C时,形成的氧化物开始呈液态,冷却后形成包裹状或共晶状。当沿晶界进入基体的氧增加时,不仅沿晶界扩散形成氧化物,而且从氧化层沿整个基体向内扩散,形成许多细小的颗粒氧化物。

富铜层的形成,使基体与表面之间的结合变的松脆,使晶界强度降低,且在高温下他们呈液态或粥状,破坏了金属间的结合,在高温下首先形成裂纹,发生开裂。因此富铜层是导致含铜钢热脆的根本原因。应该控制 Cu 的含量、加热温度和时间,控制表面氧化程度。

4 改进工艺措施和效果

(1)成分控制。Cu 控制在0.8% ~ 1.0%, Al 控制在 0.7% ~ 0.9%,同时保证 Ni/Cu > 3,因为 Ni 的熔点高,这样可使钢表面的铜富集层变为熔点超过 1 200 °C 的铜镍富集层^[5]。

(2)加工工艺控制要点。钢坯进行剥皮处理,消除表面氧化层,加热温度控制在1 100 ~ 1 140 °C,同时加热保温时间控制在 20 ~ 30 min,在炉总加热时间控制在 120 ~ 130 min。

根据分析得出的结论,进行工艺优化试验生产,优化前后结果对比见表 4 所示。由表 4 可知,通过控制 Cu 含量 0.8% ~ 1.0%, Al 含量 0.17% ~

0.9%, Ni/Cu > 3, 1 100 ~ 1 140 °C 加热时间 20 ~ 30 min,钢坯剥皮等工艺措施,使 P80R 扁钢裂纹出现率由原 70% 降至 ≤0.5%。

5 结论

(1)铸锭在加热过程表面氧化使 Cu 和 Ni 的富集是形成裂纹的主要原因。

(2)通过适当降低钢中 Cu 含量、减少加热时间和表面剥皮可基本消除镜面塑料模具钢 P80R 的表面裂纹。

参考文献

[1] 原凌云. 热处理工艺对 10Ni3MnCuAl 钢组织性能的影响[J]. 上海金属, 2011, 33(6): 21-22.
 [2] 李明, 戎咏华. 沉淀硬化模具钢的研制及其发展[J]. 热处理, 2000(1): 7-8.
 [3] 李长荣, 杨小平, 文 辉, 等. 铜元素在钢表面氧化过程中富集规律的研究[J]. 材料热处理技术, 2010(4): 9-11.
 [4] 杨才福, 苏 航, 李 丽, 等. 加热工艺对含铜钢表面氧化的影响[J]. 钢铁研究学报, 2007, 19(10): 50-52.
 [5] 张洪奎, 续 维, 黄俊春, 等. 析出硬化塑料模具钢 NAK80 的研制[J]. 钢铁, 2002, 37: 496-497.

吕学飞(1980-),男,硕士(2006年兰州大学),工程师,2003年兰州大学(本科)毕业,模具钢的设计与开发。
 E-mail: 15842677592@163.com

收稿日期: 2017-02-19

欢迎订阅 2018 年《特殊钢》杂志

全国各地邮局均可订阅(可破订)

邮发代号: 38-183 定价: 16.00 元/期 96.00 元/年 邮编: 435001

地址: 湖北省黄石市黄石大道316号、新冶钢-大冶特殊钢股份有限公司《特殊钢》杂志社

电话: 0714-6297386 6297313 0714-6297888-8010