

(30 ~ 90) mm × (400 ~ 605) mm Cr12Mo1V1 (D2) 冷作模具扁钢的组织 and 性能

刘振天¹ 迟宏宵² 马党参² 康爱军¹ 周健²

(1 抚顺特殊钢股份有限公司, 抚顺 113001; 2 钢铁研究总院特殊钢研究所, 北京 100081)

摘要 试验用 Cr12Mo1V1 (D2) 冷作模具扁钢 (w% : 1.50C, 0.35Si, 0.40Mn, 12.00Cr, 0.95Mo, 0.80V) 的生产流程为 30 t EAF-LF-VD-3 t 铸锭轧制-890 °C 退火工艺。研究了 D2 冷作模具钢的断面尺寸 (w/mm: 30 × 400, 70 × 360, 90 × 605) 对该钢组织、共晶碳化物的尺寸、分布以及不均匀度、冲击韧性的影响。结果表明, 随着扁钢截面尺寸的减小, 共晶碳化物的颗粒尺寸、形态以及分布均匀性得到改善, 扁钢的碳化物级别由 90 mm × 605 mm 扁钢的 4 ~ 6 级降至 30 mm × 400 mm 扁钢的 1 ~ 4 级, 冲击韧性提高; 钢的心部共晶碳化物分布最差 (4 ~ 6 级), 边部最好 (1 ~ 4 级), 心部的冲击韧性明显低于边部。

关键词 冷作模具钢 Cr12Mo1V1 (D2) 截面尺寸 共晶碳化物 均匀性 冲击韧性

Structure and Properties of (30 ~ 90) mm × (400 ~ 605) mm Cold-Working Die Flat Steel Cr12Mo1V1 (D2)

Liu Zhentian¹, Chi Hongxiao², Ma Dangshen², Kang Aijun¹ and Zhou Jian²

(1 Fushun Special Steel Co Ltd, Fushun 113001;

2 Institute for Special Steels, Central Iron and Steel Research Institute, Beijing 100081)

Abstract The production flowsheet of test cold-working die flat steel Cr12Mo1V1 (D2) (w% : 1.50C, 0.35Si, 0.40Mn, 12.00Cr, 0.95Mo, 0.80V) is 30 t EAF-LF-VD-3 t ingot casting-rolling-annealing at 890 °C process. The effect of cross-section size (w/mm: 30 × 400, 70 × 360 and 90 × 605) of cold-working die flat steel D2 on the size, distribution and uniformity of eutectic carbide, the structure and the impact toughness of steel has been studied. The results show that with decreasing the cross-section size, the size of particles, morphology and distribution uniformity of eutectic carbide in flat are improved, the rating of carbide in flat decreases from 4 ~ 6 rating of 90 mm × 605 mm flat to 1 ~ 4 rating of 30 mm × 400 mm flat, and the impact toughness of steel increases; the distribution of eutectic carbide at core of flat is worst (rating 4 ~ 6) and that at edge is best (rating 1 ~ 4), and the impact toughness of steel at core is obviously lower than that at edge.

Material Index Cold-Working Die Steel Cr12Mo1V1 (D2), Size of Cross-Section, Eutectic Carbide, Uniformity, Impact Toughness

Cr12Mo1V1 (D2) 钢由于具有很高的耐磨性, 目前仍是应用最广泛的冷作模具钢之一。为了获得较高的耐磨性, D2 钢含有很高的碳含量和铬含量, 属于莱氏体钢。此类莱氏体钢铸态时存在鱼骨状共晶碳化物, 这种状态随着钢锭凝固速度缓慢和锭型尺寸增大而加剧, 虽然在锻轧生产中鱼骨状共晶碳化物被破碎, 但在钢中还存在不均匀分布或纤维方向性, 导致模具的各向异性^[1]。随着模具形状的要求, 矩形截面的模具扁钢在模具钢市场受到广泛欢迎, 而 D2 扁钢大多由轧制成型。对于此类需要变形碎化共晶碳化物的模具钢来说, 变形方式、热加工工艺以及变形比等参数对碳化物细化效果和分布有

着非常重要的影响。以往对采用锻造工艺制造的 D2 圆钢研究较多, 本文研究截面尺寸对采用轧制工艺生产的 D2 扁钢微观组织和力学性能的影响, 以便对不同尺寸规格 D2 扁钢的共晶碳化物分布状态以及力学性能有所掌握。

1 材料的制备和试验方法

试验材料取自正常工业生产的 D2 模具扁钢, 其截面尺寸 (mm) 为: 30 × 400, 70 × 360, 90 × 605。试验钢的主要工艺流程为: 30 t EAF + LF + VD-浇注 3 t 锭-850 轧机开坯 (加热温度 1 150 ~ 1 190 °C -扁钢轧机轧制成材-退火 (890 °C 缓冷退火)。试验钢化学

通讯作者: 迟宏宵, 博士, 高级工程师, 钢铁研究总院特殊钢研究所, 北京 100081

E-mail: chihongxiao@163.com

表 1 试验冷作模具钢 D2 的化学成分 / %
Table 1 Analysis of test cold-working die steel D2 / %

C	Si	Mn	Cr	Mo	V
1.50	0.35	0.40	12.00	0.95	0.80

成分如表 1 所示。

沿扁钢宽度方向心部,分别在边部、1/4处和心部截取适当大小的金相试样和冲击试样。金相试样经磨、抛后用 4% 的硝酸酒精溶液腐蚀,观察其退火组织。对纵向用 10% 的硝酸酒精溶液进行深腐蚀,观察其共晶碳化物的分布状态,并根据国家标准 GB14979 -1994《钢的共晶碳化物不均匀度评定法》中第四评级图对试验钢进行共晶碳化物不均匀度评级。冲击试样热处理后进行冲击韧性试验,其热处理工艺为:试样在箱式电阻炉中 820 ℃ 预热保温 25 min 后,在 1 020 ℃ 下保温 20 min,油淬至室温,再在 150 ℃ 下回火 2 h 一次。热处理均在箱式电阻炉中进行,并涂上抗氧化涂料加以保护。根据 GB/T229-2007《金属材料夏比摆锤冲击试验方法》中 (mm) 10 × 10 × 55 的 U 型缺口标准冲击试样进行冲击韧性试验,用 TIME TH300 型洛氏硬度计对冲击试样进行硬度测定,并采用 S-4300 冷场发射扫描电镜观察其断口形貌。

2 试验结果与分析

2.1 退火组织和共晶碳化物观察及分析

在金相显微镜下观察试验钢横向退火组织,如图 1 所示。D2 钢退火组织为球状珠光体上分布着共晶碳化物。D2 钢属于高 C、Cr 莱氏体钢,钢液在凝固过程中发生共晶反应,生成共晶莱氏体,共晶莱氏体碳化物在后续热加工中破碎,形成大颗粒的共晶碳化物。珠光体碳化物尺寸细小,弥散的分布在铁素体基体上。共晶碳化物颗粒尺寸较大,呈不规则形状分布。

从图 1 中可以看出,试验钢边部共晶碳化物的尺寸和分布明显好于 1/4 处和心部,边部共晶碳化物多呈单颗粒形式存在于钢中。随着逐渐向心部延伸,单个共晶碳化物颗粒尺寸逐渐增大,共晶碳化物形态更接近于铸态组织中未变形莱氏体形态,心部还保留少量未变形的莱氏体网。这是因为一方面钢坯进行轧制,越靠近边部变形量越大,莱氏体碳化物的破碎效果更加明显,碳化物分布的均匀性随变形量的增大而改善^[2]。另一方面,本身钢锭凝固的结晶组织中,钢锭心部的偏析就要高于边部,心部共晶碳化物的尺寸和莱氏体团的厚度都要大于边部。

从图 1 中还可以看出,随着扁钢截面尺寸的增大,试验钢中共晶碳化物尺寸变大,更多的碳化物聚集在一起形成网状共晶碳化物,破碎效果不明显。这是与钢的变形比有直接关系。钢中存在的尺寸较大、棱角尖锐的角状碳化物,增加了材料的脆性,是

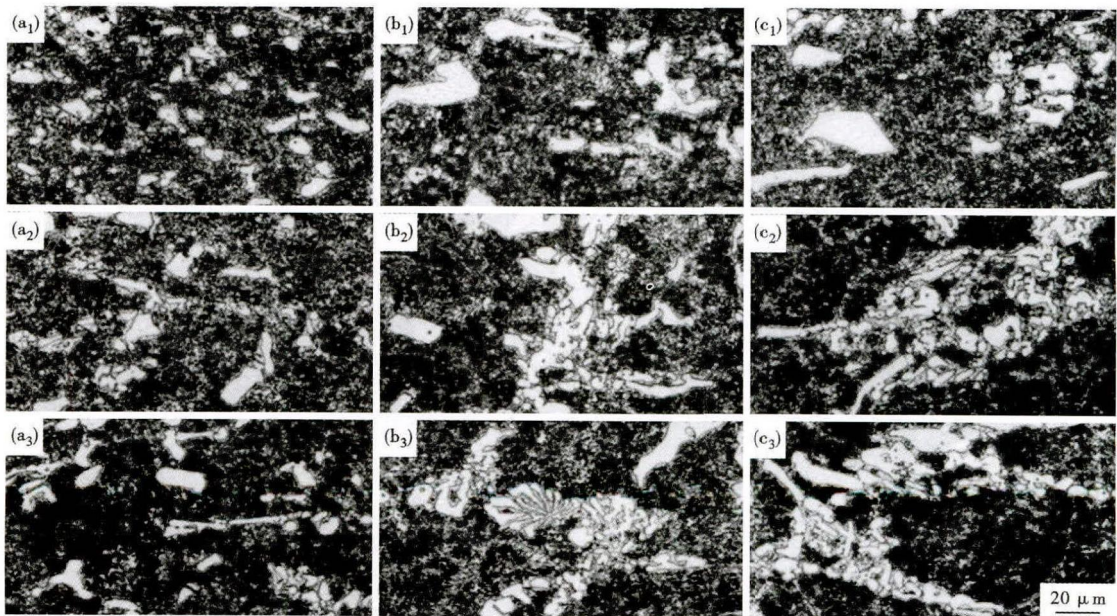


图 1 试验 D2 冷作模具钢扁材退火组织:30 mm × 400 mm- (a₁) 边部, (b₁) 1/4 处和 (c₁) 心部; 70 mm × 360 mm- (a₂) 边部, (b₂) 1/4 处和 (c₂) 心部; 90 mm × 605 mm- (a₃) 边部, (b₃) 1/4 处和 (c₃) 心部

Fig. 1 Annealing structure of flat of test cold-working die steel D2: 30 mm × 400 mm- (a₁) edge; (b₁) 1/4 thickness and (c₁) core; 70 mm × 360 mm- (a₂) edge; (b₂) 1/4 thickness and (c₂) core; 90 mm × 605 mm- (a₃) edge; (b₃) 1/4 thickness and (c₃) core

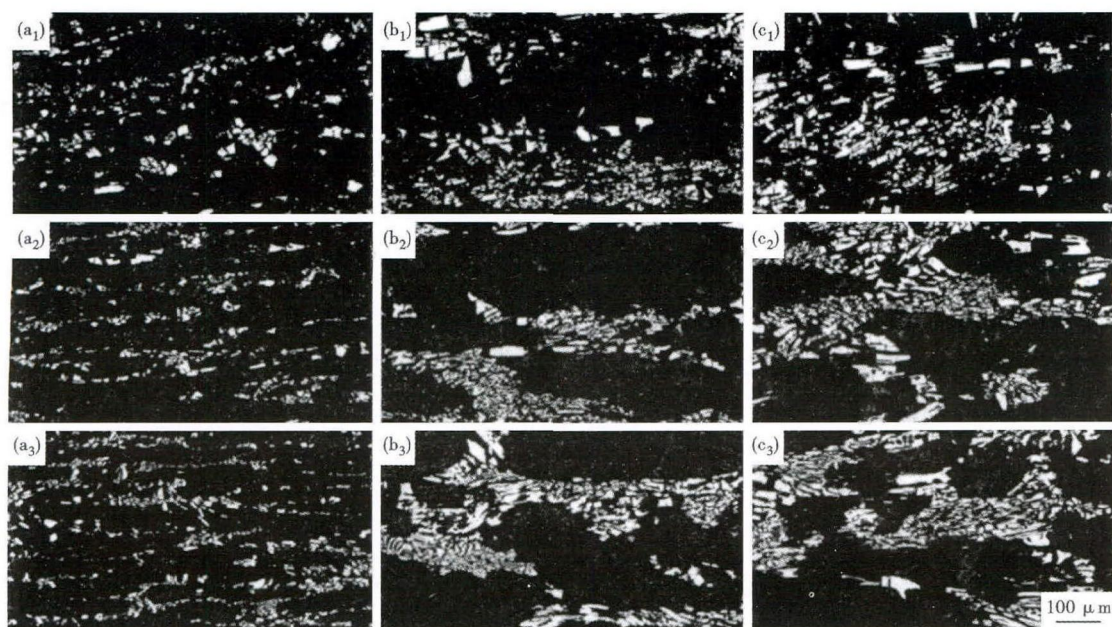


图 2 试验冷作模具钢 D2 扁材的共晶碳化物:30 mm × 400 mm- (a₁) 边部, (b₁) 1/4 处和 (c₁) 心部; 70 mm × 360 mm- (a₂) 边部, (b₂) 1/4 处和 (c₂) 心部; 92 mm × 605 mm- (a₃) 边部, (b₃) 1/4 处和 (c₃) 心部

Fig. 2 Eutectic carbide in flat of test cold-working die steel D2: 30 mm × 400 mm- (a₁) edge; (b₁) 1/4 thickness and (c₁) core; 70 mm × 360 mm- (a₂) edge; (b₂) 1/4 thickness and (c₂) core; 92 mm × 605 mm- (a₃) edge; (b₃) 1/4 thickness and (c₃) core

引起模具发生崩角和脆断的重要原因, 应该尽量避免^[3]。

D2 钢共晶碳化物的分布情况如图 2 所示, 在试验钢的边部、1/4 处和心部截取试样, 将其纵向经磨、抛后, 用 10% 的硝酸酒精溶液进行深腐蚀, 观察试验钢的共晶碳化物, 按国家标准 GB14979-1994 《钢的共晶碳化物不均匀度评定法》中第四评级图对试验钢进行共晶碳化物不均匀度评级, 其结果如表 2 所示。

从图 2 中看出, 由于 D2 钢中含有较高的 C 及合金元素, 在凝固后会形成大量的共晶碳化物, 这些共晶碳化物经过热加工变形后, 常常呈条带状沿变形方向延展, 当变形不充分时还将呈网状分布。从图 2 中可以看出, D2 钢边部的碳化物尺寸及均匀性都好于 1/4 处和心部。随着截面尺寸的增大, D2 钢中共晶碳化物尺寸变大且更多的碳化物聚集在一起呈网状分布, 并且 1/4 处和心部的有些共晶碳化物还保持长条状, 基本没有得到破碎, 大块共晶碳化物长度甚至超过 100 μm, 而边部的共晶碳化物尺寸较小且分布均匀。

从图 2 中还可以看出, 随着试验钢截面尺寸的增大, 试验钢中会出现网状共晶碳化物, 且试验钢截面尺寸越大, 共晶碳化物网变形程度越小, 网更封闭, 同时网上碳化物堆积越厚。

表 2 试验冷作模具钢 D2 扁材的碳化物级别 / 级
Table 2 Rating of carbide at edge, 1/4 thickness and core of flat of test cold-working die steel D2 / rating

截面尺寸 / (mm × mm)	边部	1/4 处	心部
30 × 400	1	3	4
70 × 360	3	5	5
90 × 605	4	6	6

如表 2 所示, 当截面尺寸由 30 mm × 400 mm 增大到 90 mm × 605 mm 时, 其边部共晶碳化物不均匀度由 1 级增加到 4 级, 心部的共晶碳化物不均匀度由 4 级增大到 6 级, 碳化物分布的均匀性显著变差, 这是因为随着截面尺寸增大, 试验钢变形比减小, 造成碳化物偏析加重, 共晶碳化物分布也越不均匀^[4]。试验钢截面尺寸越小, 变形比越大, 共晶碳化物破碎效果越好, 其尺寸越小且碳化物不均匀度越小, 尤其是钢的边部由于变形量较大, 经热轧后共晶碳化物破碎的较好, 且破碎后单颗粒共晶碳化物的尺寸较小, 同时沿条带分布的共晶碳化物没有在条带上堆积, 条带与条带之间的分布也较均匀。同时, 心部共晶碳化物的分布状态也能够得到改善, 经热轧后铸态组织中的网状分布变为条带分布, 条带上共晶碳化物的厚度也比大截面尺寸的试验钢薄。

碳化物的均匀性表现了钢中合金碳化物的分布情况, 碳化物分布越均匀, 钢材综合性能越高, 各向性能差异越小, 钢材质量越好^[5-6]。因此, 截面尺寸

对 D2 钢中共晶碳化物尺寸及其分布有非常重要的影响。

2.2 冲击试验结果及分析

在试验钢的边部、1/4处和心部切取冲击试验,经1 020 ℃ 淬火、150 ℃ 回火后,进行 U 型缺口室温冲击试验,其冲击试验结果如图 3 所示。结果表明,试验钢心部的冲击韧性明显低于边部和1/4处,这是因为心部的变形量不足,共晶碳化物均匀性最差,颗粒尺寸较大。热轧过程中,边部和1/4处的变形量相对较大,共晶碳化物的莱氏体网能够得到破碎,网状和粗大的块状碳化物在加工应力的作用下破碎为小颗粒状或小尺寸的块状碳化物并较为弥散的分布在基体中^[7],对改善冲击韧性有一定的作用。截面尺

寸似乎对心部冲击韧性影响不大,这可能是因为对于心部的莱氏体网的破碎并不明显,所以冲击韧性都保持在一个较低的水平。对于1/4处和边部总体来说随着截面尺寸的减小,冲击韧性有所提高。

试验钢冲击试验断口形貌和碳化物能谱分析如图 4 所示,由图 4 断口形貌可以看出,试样断裂形式为准解理断裂,断口由较小的韧窝和解理面构成,韧窝较浅。钢中则能看到大量大块的不规则的共晶碳化物分布在基体中。形状不规则的大颗粒共晶碳化物,尤其是呈尖角形状的共晶碳化物是影响模具钢韧性的主要因素,碳化物颗粒愈粗大,分布均匀性愈差致使材料的韧性降低,直接影响模具的使用寿命,容易在模具使用过程中产生崩裂,使模具早期失效^[8]。这些共晶碳化物主要是M₇C₃型共晶碳化物。

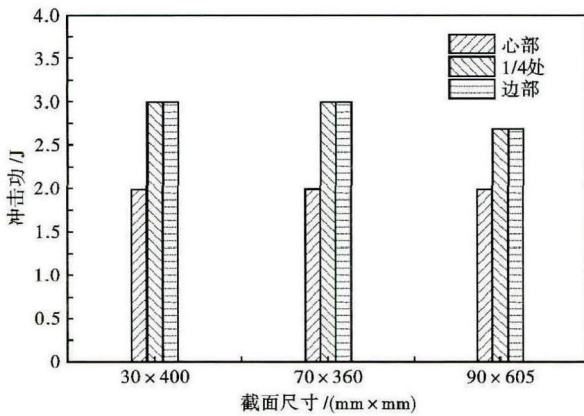


图 3 试验冷作模具钢 D2 扁材断面尺寸对热处理钢冲击韧性的影响

Fig. 3 Effect of cross section size of test cold-working die steel D2 flat on impact energy of heat-treated steel

3 结论

(1) D2 钢退火组织均为球状珠光体上分布着共晶碳化物,随着扁钢截面尺寸的减小,即变形比的增大,钢的莱氏体网逐渐得到改善,共晶碳化物不均匀度减小,共晶碳化物颗粒尺寸变小。

(2) D2 钢边部的碳化物尺寸及分布均匀性好于1/4处和心部。

(3) 适当增大变形量,减小 D2 钢的截面尺寸,可显著减小试验钢碳化物尺寸并改善其碳化物分布的不均匀性,同时试验钢的冲击韧性也有所提高。

参考文献

- [1] 徐进,姜先奋,陈再枝,等. 模具钢[M]. 北京:冶金工业出版社,1998:184.
- [2] 李志宏,王衍平,任学平. D2 模具钢轧材碳化物均匀性的检测与分析[J]. 物理测试,2005,23(4):36-40.
- [3] 张先鸣. Cr12 型冷作模具钢及热处理工艺[J]. 模具制造,2011,11(6):82-85.
- [4] 尹熙武. 莱氏体钢的塑性及变形[J]. 特钢技术,1995,1(2):63-78.
- [5] 上海材料研究所. 工具钢金相图谱[M]. 北京:机械工业出版社,1979.
- [6] 谢珍勇. D2 型模具扁钢国内外料的解剖分析[J]. 特钢技术,1997,3(1):62-68.
- [7] 张彩东,蒋斌,杨琴. M2 高速钢工具钢中共晶碳化物及其演化[J]. 材料热处理学报,2009,30(3):109-110.
- [8] 罗伯特 G A, 卡里 R A. 工具钢[M]. 徐进,姜先余,译. 北京:冶金工业出版社,1987:236.

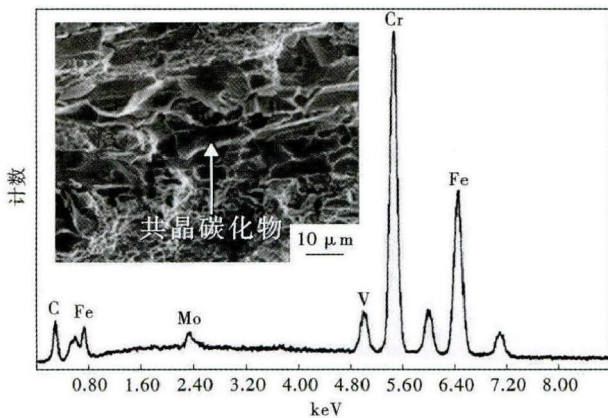


图 4 试验冷作模具钢 D2 扁材冲击断口形貌,SEM 及碳化物能谱分析

Fig. 4 Morphology of impact fracture of test cold-working die steel D2 flat and energy spectrum analysis of carbide, SEM

刘振天(1971-),男,高级工程师,1993 年东北大学(本科)毕业,冶炼工艺研究。

收稿日期:2014-11-12