·科技简报·

重钢微钒钛处理16MnDR钢的生产及研究

肖英龙　余忠元　曾　兢

（重钢钢研所）

前言

重钢长期生产性能优良的16MnR钢板[1]，并于1983年获国家金奖，1987年再获金奖，从而成为免检产品。在此基础上，1987年按GB3531—83标准进行了16MnDR钢板的试制，1987～1989年共生产出8～32mm板5千多吨。检验结果，该钢板化学成分、工艺与力学性能、超声波探伤、表面质量和外形尺寸均达到或超过标准要求。经燕山石化机械厂、杭州制氧机厂、洛阳石化公司、锦西化机厂等厂家使用，均受到好评。该试制项目已于1988年底通过了国家科委攻关局和机械委石化通用局组织的鉴定。现将其生产工艺、技术特点及试验研究等情况简要介绍如下。

1　微钒钛16MnDR钢的生产工艺

1.1　冶炼和浇铸

微钒钛16MnDR钢用90t，50t平炉或13tLD炉按优质钢冶炼。出钢时在钢包内加入钒铁、钛铁，进行V，Ti微合金化（即微V，Ti处理），出完钢后在钢包内喷Ca-Si粉处理[1]或吹氩处理，以便脱硫，均匀成分和温度，促进夹杂上浮。然后采用绝热板、保护渣和发热剂三位一体工艺，将钢液模铸成1.2～3.3t 6种规格的扁锭，以便轧成不同厚度的钢板。

1.2　轧制和精整

清理后的16MnDR钢合格扁锭，用三段式连续加热炉加热，随后在ϕ750×2450四辊可逆式轧机上进行精轧，然后水冷，用十一辊矫直机矫直，空冷并进行精整。

1.3　探伤和正火

用JTS—5，CTS—21，CTS—22型超声波探伤仪对16MnDR钢板逐张进行探伤，然后用28m辊底式炉对钢板进行正火处理，检验后入库。

2　微钒钛处理16MnDR钢的生产技术特点

2.1　微V，Ti处理

根据微量V，Ti可在钢中形成细小碳化物、氮化物和碳氮化物的特点，通过往钢包中加入V，Ti合金，使钢中钒的含量在0.04%以内、钛的含量在0.02%以内，从而起到细化晶粒和提高16MnDR钢强度和韧性的作用。

2.2　成分控制

16MnDR钢主要元素含量控制在0.12～0.18%C，1.3～1.5%Mn，0.3～0.5%Si范围。根据板厚控制相应的碳当量（Ceq=C+Mn/4）：8～10mm厚的板，Ceq为0.46～0.52；12～20mm厚的板，Ceq为0.41～0.52。尽量降低钢中S，P含量，使成品〔S〕≤0.020%，〔P〕≤0.025%。控制Cr，Ni，Cu含量，使之明显低于标准规定。

2.3　轧制工艺特点

为了获得良好的16MnDR钢板表面质量，轧制过程中用高压水除鳞。用数模计

算机优化控制钢锭加热参数，控制加热速度（时间）为8～9 min/cm，加热(段)温度为1180～1280℃，均热（段）温度为1300～1350℃，钢锭出炉温度为1130～1180℃，钢锭上下表面温差小于30℃。为了获得细小的最终铁素体晶粒，适当的高强度和良好的低温韧性，严格控制轧制工艺，使精轧道次压下量不小于10%，终轧温度低于900℃，轧后适度水冷，终矫温度低于700℃。

3 微钒钛16MnDR钢试验研究

3.1 微V，Ti处理

资料介绍[2]，在HSLA钢中加入微量Ti，将生成TiN，Ti(C,N)质点，钉扎奥氏体晶界和位错，阻止奥氏体晶粒粗化，进而细化铁素体晶粒并提高韧性。微V的主要作用是析出强化[3]，为了掌握V对微钒钛处理16MnDR钢板力学性能的影响，在转炉冶炼的16MnDR钢中进行了只加Ti（≤0.02%）而不加V的试验，结果表明：对≤10mm厚的钢板，即使热轧状态，其－40℃（V形缺口）夏氏冲击功的合格率也达71.88%；而12～16mm厚板的合格率仅为28%，多数为强度偏低。

在此基础上，对成品钢中〔N〕和碳当量（C+1/4 Mn）较高、强度富余量较大的13tLD炉冶炼的16MnDR钢，进行了只加Ti的试验，结果表明，轧成8mm钢板经正火后，力学性能完全达到了GB3531—83标准要求。

因此认为，对12mm以上厚度的16MnDR钢板，V的析出强化作用是不可缺少的。而对10mm厚以下的钢板，则通过适当的成分（碳当量）、轧制参数及热处理参数控制，仅进行微Ti处理，可达到性能要求。

当然，对V的作用研究还较为肤浅，尚需进行定量工作。

3.2 钢包喷粉

采用与重钢二炼钢厂90t平炉配套的SL—100型喷粉设备，用Ar气作载体，向包中钢液喷入每吨钢1kg的Ca-Si粉。近三年共喷粉处理16MnDR钢19炉，重1700t。由于大幅度降低钢中S（一般脱S率为50%左右，最高达60%以上），促进夹杂上浮和球化，不但使钢的σ_b，σ_s，δ_5值有少量的提高，还显著改善了钢的低温冲击韧性；－40℃$_V A_k$在8～10mm钢板中平均提高2J；在12～20mm钢板中平均提高9J；在大于22mm钢板中平均提高16J。

如果将喷粉量增加至2～3kg/t钢并调整好其它操作参数，可使脱S率增至80%以上，成品钢中〔S〕≤0.008%，甚至达到0.005%，钢的综合性能进一步得到提高。目前喷粉量不能提高的原因在于，出钢未分渣，喷粉越多，钢液回P也越多。

3.3 成分探讨

用PC—XT微机，分别对254批8～10 mm，12～20mm厚16MnDR钢板的化学成分（%C，%Mn，%Si，%S，%P，%V，%Ti，%Al$_s$）和性能（σ_b，σ_s，δ_5，－40℃$_V A_k$）进行了多元回归处理，得到16个性能与成分的关系式表明，在现有工艺条件下，钢的σ_b，σ_s随%C，%Mn的上升而明显提高，但%C的上升明显降低钢的塑性。8～10mm厚板的%C，%Al$_s$，%V与其低温冲击韧性（－40℃$_V A_k$）明显负相关。这与2.1节所述对8mm厚板可不加V的结论一致。对12～20mm厚板，%C，%S，%Ti会降低钢板的－40℃$_V A_k$值，特别是%S的影响最大（与2.2节的喷粉结果一致），当〔S〕>0.02%时，其低温冲击韧性显著降低。

因此，实际生产中控制钢中元素含量，特别是根据板厚控制合适的碳当量，尽可能降低S，P含量，对稳定和改善

16MnDR钢的性能十分重要。

3.4　轧后热处理

正火可细化晶粒，改善钢板性能。但若保温时间过长，则会引起板表面晶粒粗大。为了获得细晶粒，在原热处理工艺基础上，进行了优化保温时间试验。加热温度为910～930℃，保温时间则按不同板厚在1.0～2.4min/mm范围调整，再分别取样测定横向－40℃夏氏（V形缺口）冲击功。8～10mm厚板的153批试验数据表明，保温时间为1.8～2.0min/mm时，冲击功较高（达19J）；为2.2min/mm时，冲击功较低（为17J）。对12～32mm厚板数据较少，最佳保温时间尚无结论。

4　今后任务

在质量方面，将现成的喷粉、喂丝等炉外精炼技术和中板控轧控冷技术结合起来，应用于16MnDR钢的冶炼和轧制，以便获得清洁度高、成分范围窄和显微组织更理想的16MnDR钢。

在V，Ti，Nb微合金钢新品种开发方面，吸收先进技术，在V,Ti,Nb微合金钢基础研究和已经批量生产16MnR，20g，16MnDR的基础上，进一步开发V，Ti，Nb工程用钢和低温高强度钢。

参　考　文　献

〔1〕肖英龙，钢包喷粉对16MnR，20g质量的影响，《特殊钢》，1987（2），29～31
〔2〕钱永兰等，微Ti在钢中存在形态及对钢组织性能的影响，鉴定资料，1988年10月
〔3〕Sage A.M.，微合金结构用钢，《国外钢铁钒钛》，1990（3），5～11

（上接第80页）

用，降低合金元素的加入量；采用连铸技术，提高低合金钢成材率。这些措施都是降低低合金钢成本的重要途径。

致谢

表中数据均由各企业提供。在此表示感谢。

参　考　文　献

〔1〕包尔纳茨基N.N.，《炼钢过程物理化学基础》，冶金工业出版社，1981年
〔2〕杨卓钧等，135t钢包TN喷粉试验总结（攀枝花钢铁研究院内部资料），1989年
〔3〕Gloria. M. Fawlring，《国外钢铁钒钛》，1989（1），55～60
〔4〕B. X. 汉思，《钢的脱氧除气与合金化》，中国工业出版社，1962年
〔5〕近代炼钢新技术编译组，《近代炼钢新技术》，上海科学技术文献出版社，1982年
〔6〕Villetter F. 等，《国外钢铁钒钛》，1989（1），82～91
〔7〕Eichinger E.T.，Grosz R.K.，《国外钢铁钒钛》，1989（1），76～81
〔8〕《Steel Times》Internaltional，1990，14（1），18～22
〔9〕《Steel Times》，1990，218（1），43
〔10〕Вобкова，О.С.，《国外钢铁》，1989（8），18～26
〔11〕钒、钛、铌微合金元素在钢中作用基础研究及应用，"七五"课题鉴定材料，1990年9月
〔12〕刘　定，攀钢高炉水渣钛直接合金化的研究（攀枝花钢铁研究院内部资料），1989年
〔13〕Meyer，L.，钛及其微合金元素的特性及其典型应用（讲学材料），1989年