

493393



**低合金高强度钢工艺与应用
国际会议论文摘要汇编**

鞍钢钢铁研究所

低合金高强度钢工艺与应用 国际会议论文摘要汇编

鞍钢钢铁研究所 编译

鞍钢钢铁研究所

一九八四年三月

编译出版说明

“低合金高强度钢工艺与应用国际会议”，于1983年10月3~6日在美国费城举行。中国金属学会应美国金属学会（ASM）的邀请，委派一专家小组赴美出席了这次会议。

会上世界各国有关企业、科研单位、高等院校 200 多名专家、学者荟萃一堂，探讨和交流了当前发展钢铁生产的新技术和途径。在会上交流的90多篇论文中，较集中地介绍了推广低合金高强度钢，特别是微合金化钢的成分设计、冶炼、浇注、轧制和制造工艺，以及钢的显微组织与各项性能的关系等多方面的经验，它反映了当前钢铁工业发展的新趋势。因此，受到全世界（包括我国）冶金工作者和工程师们的广泛兴趣和关注。

出席会议的三名同志，为了及时地将会议内容介绍给国内同行，建议将带回的会议论文摘要全部编译成册，出版了这本《汇编》，以饷读者。如能尽早获得论文的全集，我们将再行组织力量，从速编译出版，以弥补“摘要”之不足。

参加本书翻译工作的有本所**炼钢室**：王德民 铁广达 刘谟川 李万象 吴惠仙；**钢材室**：张久信 杨思明 王明微 林之华 鲁 赤 王恩涛 唐明孝 李洪博 刘曙光 郝启玺 林茂丰 张炎庆 阎吉时 曾庆超 孙伟华 高宏适 万木运；**工艺室**：徐仰善 郭惠久 宋 岚 魏明远 徐贵仙 林 娜；**特钢室**：朱中海 韩富义 于占涛 刘积生 杨德明 刘洪霞；**金相室**：赵景晖 李凤亮 白宝珍 纪世普 葛 琼 柳永浩 高 农 庞兆夫 刘 玲 张晓刚 隋小红 刘广钧 薛可平；**金物室**：刘玉铭 刘凤歧 张书礼 李佩霞 张维汉 吉言成 柯国庆 原永良 刘仁才 李仁纯；**材检室**：崔光镇 武尚贤 姜克光；**焊接室**：许 文 王宝荣 高辉光；**科技科**：吴中萱 王天抚 赵娟英 刘广志 万太全等68名同志。

本书由曹荫之、吴中萱、许振民三同志负责全书的审订工作。

编校工作由许振民、程丽娜、张钦凤三同志负责；插图：张钦凤；照相：张宝华。

限于水平，时间较仓促，欢迎对编译工作中的缺点和错误，提出批评指正。

鞍钢钢铁研究所

一九八四年三月

目 录

微合金化低合金高强度钢的生产工艺诸问题(代序)	1
开幕词	9
低合金高强度钢的范围	10

第 一 组

合金设计的最新进展及形变热处理

导引报告

合金设计的最新进展及形变热处理	11
-----------------------	----

第一部分 形变热处理过程设计

Ti—V钢热轧再结晶时显微组织演变的预测	12
通过再结晶控制轧制和控制冷却获得V—Ti—N微合金化钢的晶粒细化	13
加速冷却对钒及钒—铌低合金高强度钢显微组织和机械性能的影响	16
低合金高强度厚板的控制轧制工艺设计和预测	19
低碳钢板的直接淬火	21

第二部分 形变热处理的合金设计

一组新型的低合金高强度含铜钢的特性和发展	24
多元微量合金元素对HSLA钢塑性变形应力和再结晶行为的影响	28
线材工业上应用的微合金化珠光体钢: 铬钒共析钢强化过程 及合金元素再分布机理	31
轧制状态下超低碳Fe—4Mn—1.0Si高强度低合金“MAR”钢 的研制和力学性能	33

第三部分 连续退火带材可成形性及疲劳性能

具有不同显微结构的连续退火冷轧微合金化钢	35
低合金高强度热轧薄板用含铌、钛钢的实验室和工业试验	38
冷成型对低合金高强度钢薄板应变控制疲劳性能的影响	41
非线性应变轨迹对深冲压特性钢和双相钢成型极限图的影响	44
高强钢冷轧钢板的冶金学	45
可成型的高强度热轧钢	46
钛微合金化热轧带钢——产品、性能及用途	49

第四部分 双 相 钢

多相组织的发展及其对低碳钢机械性能的影响.....	53
控制冷却制造热轧双相钢板.....	55
冷轧、微合金化双相钢板生产.....	56
Mn—V双相钢变形特性的研究.....	59

第 二 组

炼钢和铸造工艺

导引报告

高强度低合金钢生产中的冶金要求.....	61
----------------------	----

第一部分 性能影响

在低硫C—Mn—Nb钢中特有的夹杂物形态控制.....	63
热轧HSLA钢用不同方法脱硫的边缘成型性.....	66
钢包真空加热精炼获得的可焊性好和性能改善的高强度低合金钢.....	68

第二部分 热金属处理和铸造

生产高质量HSLA钢的冶炼和连铸.....	71
用AOD精炼高强度低合金钢.....	74
用于高强度低合金钢的连铸技术.....	76
关于炼钢和凝固工艺过程的未来发展趋势.....	78

第 三 组

冷、热轧薄板材

导引报告

高强度薄钢板的应用、问题和潜力.....	79
疲劳寿命及点焊薄钢板断裂方法之计算.....	79
汽车转向联接器用低合金高强度钢.....	82
高强度合金钢门槛值附近的疲劳特性.....	83
汽车结构用低合金高强度钢.....	86
衡量汽车车架用高强钢的准则.....	86
汽车零件采用高强钢所遇到的成型问题.....	87
超高强度薄钢板在汽车上的应用.....	89
同一级 HSLA 钢的化学成分对疲劳性能的影响.....	90
高强度低合金钢的辊弯成型.....	93
冷热轧微合金化钢薄板在 Opel 汽车上的使用经验及用途.....	94
较高强度薄钢板和其工艺技术在日本汽车公司的应用.....	95

低合金高强度钢中的限制屈服变化.....	97
----------------------	----

第 四 组

板 材

导引报告

微合金化钢板的最新发展.....	98
热轧厚钢板的韧性.....	103
Ti—V—N 钢的工艺特征及性能.....	108
冷成型用高强度钛钢——预测热轧钛钢机械性能的有效方法.....	110
多功能加速冷却装置 (MACS) 在低合金高强度钢板生产上的应用.....	114
ASTM A710 A组和A736 合金钢板机械性能和沉淀硬化效应.....	117
最新开发的80kg/mm ² 级淬火、回火高强度厚钢板.....	120
海洋船舶结构用高强度低合金钢.....	125
高强度低合金钢板的可焊性	
C—Mn—V钢焊缝热影响区的组织和韧性.....	127
低合金高强度钢激光焊件的机械性能和物理冶金.....	130
船用钢大线能量焊接热影响区韧性的改善.....	132
热加工变化对沉淀硬化高强度低合金钢机械性能和显微组织的影响.....	135

第 五 组

管 线

导引报告

管线钢设计和影响因素.....	138
-----------------	-----

第一部分 外界用管材

最佳碳锰含量的低碳、超韧性针状铁素体管线钢的研制.....	139
石油管线钢板控制轧制后的加速冷却及工艺条件对其显微组织 和机械性能的影响.....	143
控制轧制及加速冷却处理的含 Mo 输油管线钢的显微组织和性能.....	146
满足 X—70 管线钢性能要求的最佳化学成分和工艺的确定.....	149
大口径铌、钼、钒结构管线用钢的研究.....	152
大口径钢管形变热处理显微组织和机械性能之间的关系.....	154
管线用钢氢致断裂的机制.....	156
抗硫化氢断裂的高强度低合金钢性能的改善.....	158
冶金因素对含硫气体用高强度电焊管线用钢的氢致断裂的影响.....	162
极地含硫环境用低裂纹敏感指数高级管线用钢的研制.....	165
接触硫用 C—90 级套管的发展.....	169

第二部分 管道的建造及焊接的进展

用于极地设施的 X 级管线钢的感应弯管	170
北方地区的管线	170
微量合金元素对 C—Mn—Mo 管线钢热影响区缺口韧性的影响	174
微合金化管线钢中埋弧焊金属的韧性——焊后热处理的影响	176
不同铌含量管线用钢的物理冶金、性能和可焊性	179
X—80 钢和高屈服强度钢的新焊接技术	181
现代管线钢中螺旋焊缝的冲击韧性	182
焊接和退火对电阻焊管线用钢的性能、微观组织和耐蚀性的影响	184

第 六 组

棒材、锻件、钢轨及铸件

导引报告

通过微合金化改善棒材和锻件的性能	186
高强度低合金钢在线材及棒材中的应用	189
机械及建筑用热轧低碳钢筋的性能	191
高强度钢在钢梁和带材上的应用	193
Cr—V 钢轨钢的微合金化和析出强化	196
中碳热轧微合金化棒材生产的发展	198
汽车支承用沉淀强化弹簧钢	200
新研制的低温用钢筋	203
关于阿根廷低合金高强度钢筋的生产和应用的考察	204
以钒和氮微合金化的钢筋钢和管钢	205
厚度对锻造低碳合金钢形变热处理性能的影响	207
高强中碳微合金钢的机械性能和可加工性能	209
机械结构用微合金化棒材	211
铌微合金化锻造曲轴在汽车工业中的应用开发	215
强韧、高强钢铸件的原理、性能和应用	217
对离心铸钢弥散相的热力学、冶金学和机械学见解	220

微合金化低合金高强度钢的生产工艺诸问题

——参加第二届国际低合金高强度钢会议后记

(代 序)

当前世界上工业发达国家的人均钢材消费量约为500—700公斤/年，而发展中国家——包括我国只有15—40公斤/年。很多国家急于扩大钢铁生产能力以缩小差距。但是由于建设钢厂所需投资大、周期长、收效慢（一座年产600万吨的联合企业约需投资60亿美元，十年建成），形势逼着一些国家千方百计净化钢质、加入微量合金元素、实行控制轧制和控制冷却，以提高钢的强韧性和各项加工、使用性能，达到增加钢厂产值与提高社会效益双重目的。例如：国际市场上一般普碳钢的单价约为300美元，加入微量合金元素的成本为5—10美元，这种低合金高强度钢的售价可增至312—315美元，而用户可节约钢材消费量30%，这是由于强度提高、设备自重减轻了三分之一之故。

实践证明，第三世界国家能从推广低合金高强度钢得到很多实惠：

一、不需添置太多的附加设施，即可利用现有设备增产优质钢材；

二、因地制宜利用本国富有资源和工艺条件，并毋需用高价购买外国的工艺专利技术和诀窍；

三、生产厂和使用厂都获利，促进整个国家技术水平和工业素质的提高，既可减少钢材进口，还可提高本国钢材的出口竞争能力；

四、建立本国独有的钢种系列，资源、技术完全立足于国内。

长期以来，我国的低合金高强度钢事业

从无到有，由小到大，走自己的道路，积累了一定的经验，诸如：

一、为了减轻非金属夹杂特别是硫化物的偏析，以消除钢材的各向异性，必需实行炉外精炼（喷吹稀土、硅钙、石灰和氩以及真空处理），并在铸锭过程中添加稀土、锆、铌等元素以控制夹杂物的形状；

二、根据钒、铌、钛等元素的碳、氮化合物的不同强化机理（主要是析出强化和晶粒细化强化）及其特征，探索不同的工艺路线，如：

1. 钛必须在脱氧后加入；由于钛和硫易于结合，且氮化钛质点导致钢材变脆，冶炼含钛钢时尽量降低钢中含氮量，但对含硫量则允许高些；由于钛钢强度对冷却速度十分敏感，在轧制含钛钢时要尽量控制完成温度和冷却速度，使之均匀一致；

2. 氮化钒质点不但起强化作用，而且能抑制时效，用钒或钒氮处理的高强度焊接螺纹钢和型、板材可以广泛用于防震建筑；含钒或含钒氮钢中板的轧制工艺可以与碳钢一致；

3. 含铌钢的强化主要靠碳化铌质点；在含氮量高时，这种钢的时效倾向要强得多；在需要低温韧性的场合，含铌中板的控轧是可取的，而含铌薄板需要在轧后快速冷到600℃，然后卷取，以保证最佳的析出（沉淀）强化效应。

根据国家科委下达的联合攻关计划，冶金部要在“六五”期间逐步掌握转炉冶炼低

合金钢的冶炼、浇注技术；“七五”期间要完成低合金钢种的系列化工作，后道工序要配套成龙；到本世纪末，低合金钢比要增加一倍以上，大幅度提高钢材使用部门的金属利用率和整个社会的经济效益。

我们就是带着以上这些理论和实践问题去参加第二届国际低合金高强度钢会议的，在历时四天的会议中，我们向各国专家、学者学习了不少经验，从中得到不少启发，并将带回的九十余篇论文摘要全部编译成册。但由于受水平、专业所局限，只能提出有关工艺与使用性能方面的综合报导，请国内专家、学者批评指正。

近20年来低合金钢的发展经历了前所未有的革命。这种革命涉及新钢种（例如塑料诱导相变[TRIP]钢）的发展较少，而涉及应用已有知识改善工艺技术以及把研究成果和冶金基本原理与现有钢种紧密结合的较多。发生这种革命的主要领域是低合金高强度钢（在国际上简称HSLA钢，下同）；这类钢对工业的重要性可以从最近几年来大量的国际会议和数以百计的文献报导得到证明，有人称之为无声的革命，并非侈谈。

大部分低合金高强度钢有两个共同目标，即：使用节能的轧钢工艺——不需附加热处理尽可能经济地改善钢材的强度、韧性、成形性、焊接、耐腐蚀、耐磨等综合性能；采用微合金化及合适的炼钢添加剂以节约日益稀缺的（或战略上重要的）合金元素。目前低合金高强度钢已从单一的Nb、V或Ti微合金化的C—Mn钢转变为含一个以上微合金化元素，针状铁素体或低碳贝氏体、冷轧退火钢、双相钢和调质钢。这些材料之所以能够推广应用，与“喷吹”和“炉外精炼”（或称钢包冶金）等冶炼工艺、以及控制轧制（简称控轧、下同）、控制冷却（简称控冷、下同）等轧制工艺取得了显著进展有关。

以下从八个方面介绍近年来低合金高强度钢的生产工艺与应用概况并简介今后发展趋势。

一、在低合金高强度钢生产中应用喷吹技术和炉外精炼（钢包冶金）

六十年代中叶，由于输油气管线、海上钻探或采油平台、高压容器等工业的迅速发展，许多高寒地区或酸性油气田要求使用高质量的厚壁钢管，这些钢管不仅需要足够的强度和韧性，而且需要有良好的现场可焊性和抗氢致裂纹能力。为了取得这些性能，钢的含碳量、含硫量要尽量降低（最佳含碳量为0.01—0.05%），而且需要控制非金属夹杂物的形状；因此，在生产高质量的低合金高强度钢时应广泛采用喷吹和钢包冶金（炉外精炼）工艺。

日本川崎钢铁公司千叶钢厂生产酸洗油（气）田管线钢的工艺流程如图1所示。脱硫第一阶段是在铁水鱼雷罐车喷入每吨8公斤CaCO₃基熔剂，铁水含硫量可从350ppm降到20ppm左右。脱硫后的铁水在顶吹氧气转炉中底吹氩气使钢中含硫量降低到20ppm以下。接着从钢包顶部喷吹CaO—CaF₂基熔剂进一步脱硫，使钢中最终含硫量达到8ppm以下。脱磷方法是在顶吹氧气转炉中从炉顶吹入每吨25公斤CaO基混合物加上底吹氩气，使钢水含磷量从0.11%降到0.015%，然后钢渣分开再注入顶吹氧气转炉，分别从顶、底部吹氧、吹氩，使钢水中含碳量和磷量分别降到0.07%和30ppm左右。最后，为了降低钢中含气量，使用RH脱气装置将氢氧含量分别降到1ppm以下和15ppm左右。

西德蒂森钢铁公司按铁水预处理、转炉冶炼和钢包精炼三个阶段生产高质量的低合金高强度钢。铁水预处理系将碳化钙与脱

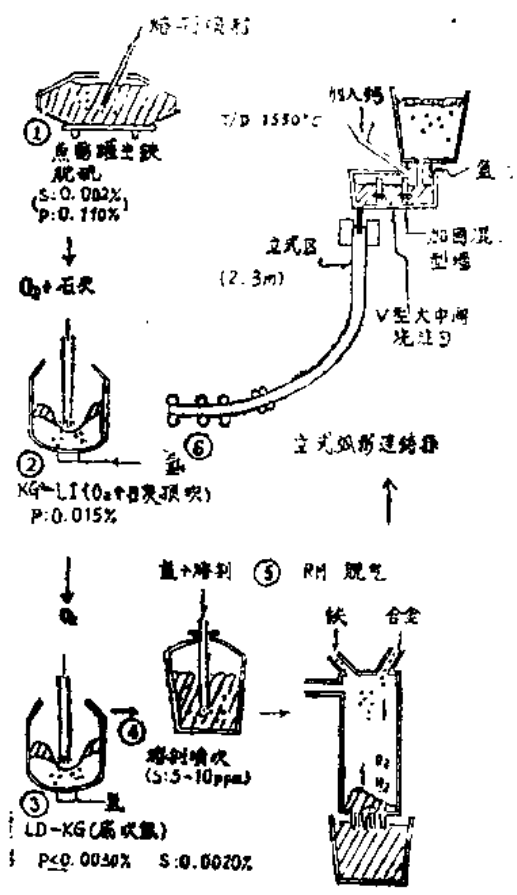


图 1 优质高强度低合金钢生产过程

气剂的混合物喷入鱼雷罐车，把含硫量从 0.50% 左右降到 0.015—0.018% (如果特殊需要的话，可用碳化钙或镁粉进行二次脱硫使含硫量降到 0.003% 以下)。用顶吹氧气转炉中顶吹氧、底吹氮的方法降低钢中碳、磷含量。这种方法的优点是在冶炼某些低碳钢时，可以省去脱气处理。

此外，法国的克勒索——卢瓦尔钢铁公司和美国的联合碳化物公司林德分部分别用钢包真空加热工艺和 AOD 法生产低合金高强度钢。前者冶炼的 C—Mn—Ni—V 钢中的硫、磷含量分别为 0.0009—0.007% 与 0.005%，后者生产的高质量钢中杂质与气体含量分别为：硫小于 0.005%，磷+硫小于 0.007%，氧小于 30 ppm，氮小于 2 ppm。

在严酷的服役条件下，除应降低钢中含硫量以外，还需对硫化物的形态进行控制。常用的控制硫化物形态的元素为钙、钛和稀土金属。美国内陆钢铁公司研究所开发了在铁水中喷吹 70% CaO + 30% Mg 的脱硫技

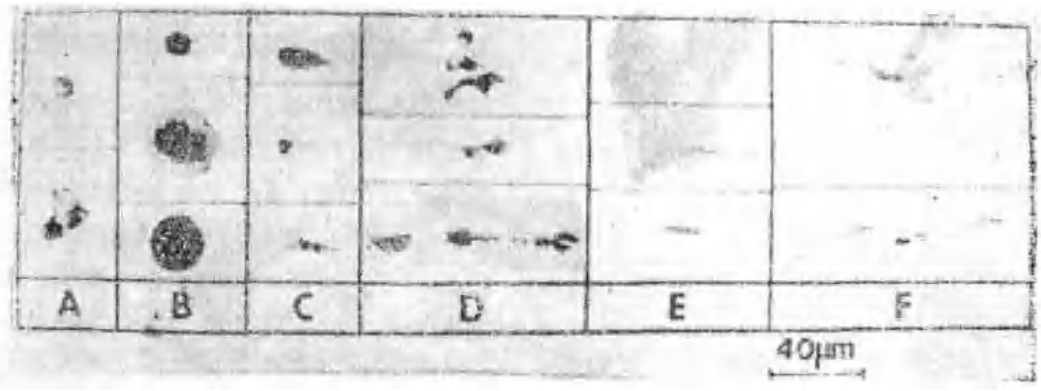


图 2 用钙处理的钢中夹杂物分类

类别	说明
A	复相，经过 Ca 变态的硫化物和钨酸盐相复合在一起，不变形。
B	复相，心部钨酸盐，周边硫化物，二种 Ca 变态，不变形。
C	复相，暗色 Ca 钨酸盐相，未经 Ca 变态的变形的 MnS。
D	氧化铝，聚集成串氧化物，可含有一些 Ca。
E	Sims III MnS 长条形单独存在。
F	Sims I 类 MnS 长条形 (单个和成簇出现)。

术、在钢包中用92%CaO+8%Mg或30%Ca+60%Si以及用稀土金属脱硫的试验。试验结果表明：用稀土金属处理的钢中非金属夹杂物含量较高而且偶尔出现夹杂物富集，导致产品性能波动。为了评价用钙处理钢水的效果，美国卢肯斯钢铁公司的A. D. Wilson将非金属夹杂物分成六类（见图2），并认为最重要的夹杂物参量是拉长了的夹杂物密度和测试面积中最长夹杂物群的尺寸。用钛控制硫化夹杂物形态时，控制效果与钢中的锰、硫、钛含量有密切关系：含锰量低（约0.3%左右）时，含钛量稍高于TiN的化学计量就可控制硫化物的形状；含锰量高时，则需要较高的含钛量。

二、广泛地从锭（模）铸过渡到连铸

钢的浇注和凝固条件对最终产品的质量有着直接的影响。目前低合金高强度钢的浇注已广泛地从锭（模）铸过渡到连铸。日本住友金属工业株式会社报导：该公司连铸比将于1983年底达到90%，如果单独统计UOE法生产的输油（气）管道用中板坯料则其连铸比已超过90%。为了生产内部基本均匀、表面无缺陷的低合金高强度钢板，冶金工作者已经采取了以下措施。

1. 在钢包和中间包之间采用各种形式的氩气屏蔽系统（见图3），以防止钢水在浇注过程中二次氧化；

2. 发展与钢的质量相适应的浇注熔剂（合成渣）；

3. 避免在1300℃左右喷水冷却，间歇喷水（周期喷水）时温差不应超过150℃；

4. 研究了高温下钢的变形行为和矫直时的温度条件（例如，含铌钢应避免在700℃—950℃的最低延性区矫直），以及从结晶器末端到矫直辊之间连铸坯外壳的温度变化与它对析出过程和外壳显微组织的影响。

住友公司采用了空气与水的“软”喷水

工艺及上下移动式电磁搅拌器等设备后，显著改善了板坯表面质量和板坯中心偏析。

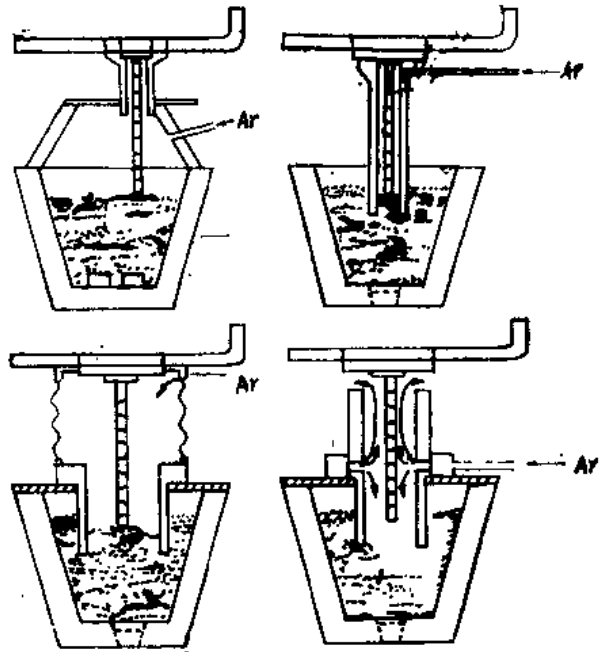


图3 在双流浇注的中间包里用挡渣墙，吹氩和合成渣降低钢坯中的显微夹杂

三、采用控制轧制和控制冷却工艺

钢材控轧的历史较久，五十年代后期西欧实际上已用控制轧制代替正火。虽然控轧在日本应用得不算早，但由于1969—1970年间大量生产高寒地区阿拉斯加输油气管线用高质量钢管。他们在开发控制轧制控制冷却新技术方面做了很多工作。目前为了提高钢材的强韧性配合水平或者减少钢中合金元素含量，常在控轧时或控轧后在Ar₃温度上加速冷却。日本钢管株式会社的“在线加速冷却”（OLAC，见图4）方法生产的超韧针状铁素体X-65级酸性油（气）田用钢管颇负盛名，该公司认为在线快速冷却速度以每秒钟5—15℃为最佳参数。意大利中央冶金试验工厂对级别小于

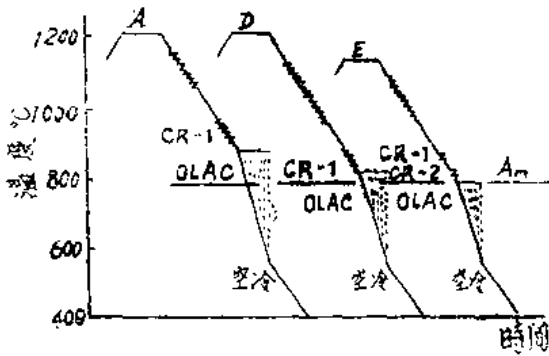


图4 用“在线加速冷却”装置生产YS36公斤级钢板的示意图

X-70、厚度为18毫米的管线钢C—Mn—Nb、C—Mn—Cr—Nb—V和C—Mn—Nb—Ti进行了控轧后加速冷却试验，他们认为：冷却速度在5—20℃/秒范围内时，对力学性能的影响不大，但从每秒5℃变为10℃时影响显著；影响加速冷却的主要参数有二：一是开始冷却的温度，只有在 A_{r3} 以上冷却时效果才显著；二是冷却中断温度，因为在600℃—500℃范围内（相对较窄）变化会产生十分不同的显微组织。美国克莱马克斯铜公司对X—70级的钢（0.08% C—1.55% Mn—0.25% Si—0.04% Nb—0.25% Mo—0.015% Ti）和X—80级的钢（0.08% C—1.65% Mn—0.25% Si—0.055% Nb—0.08% V—0.015% Ti）在 A_{r3} 附近停轧后进行控冷试验，结果是：控制冷却是提高含Mo—Nb钢或含Mo—Nb—V钢的强韧性水平的最有效方法。控轧和控冷的实质是调整奥氏体原始组织使其转变为铁素体时铁素体晶粒尽可能细化，以求得到最高的强度和最佳的韧性和延性，而要产生细的铁素体晶粒，需要细的奥氏体晶粒或未经再结晶的“薄饼形”晶粒，因为这两者能够提供最大的、可供铁素体成核的奥氏体晶界面积。

此外，控冷工艺已广泛应用于双相组织

的薄钢板）生产、或用来缩短控轧过程中从粗轧机架到精轧机架之间的传捆时间。

四、采用再结晶轧制 (或称再结晶控轧)

控轧的推广运用碰到两个难题：一是在粗轧与精轧之间，为了使钢材温度下降必须有一次停留时间(传捆时间)，导致作业率降低、生产成本高；二是轧机能力(机架强度和轧辊刚度亦复如此)较低的工厂难以应用这种工艺。而控冷设施(如水幕、层流冷却系统等)在许多旧工厂车间都属空白。因而易被传统钢厂采用的轧制工艺是“再结晶轧制”。再结晶控制轧制的方法是在900℃—1000℃时停轧，让奥氏体进行静态再结晶使其晶粒细化，为了避免停轧温度到 A_{r3} 之间晶粒长大，常用微合金元素(铌、钒、钛)的碳、氮化合物质点来抑制，其中最合适的质点是TiN。匹茨堡大学的A. J. DeArdo和郑场曾等根据细化铁素体晶粒的三个必要条件：极细的再加热奥氏体晶粒，在再结晶温度以上反复变形并再结晶，以及快速冷却到合适的温度随后空冷到室温，提出了“再结晶控轧—控冷工艺”。为了达到再加热时晶粒长大温度高、轧制时再结晶温度低、以及变形后晶粒粗化速率低的目的，他们设计了一种微合金化高强度钢新钢种(含钒0.13%，钛0.017%，氮0.012%)，以便广泛运用“再结晶控制轧制—控制冷却工艺”，这种工艺避免了传统控轧要在再结晶温度以下进行变形以及生产效率低成本高的缺点。

五、采用连续退火

和“连铸”、“连轧”一样，连续退火工艺近年来也有发展。由于连续退火设备的投资较高，美国目前只有两条连续退火生产作业线。加拿大德法斯柯钢厂和美国科罗拉

多矿业学院合作研究了冷轧后在临界区 (790℃) 退火生产的双相钢薄钢板。美国伯利恒钢铁公司霍默研究所认为连续退火工艺可以用来改变铁素体基体中第二相的性质, 并通过显微组织的变化和合金化生产出不同强度水平的薄钢板。

六、取消棒材 (或铸件) 的热处理

许多汽车部件如万向接手、换向轴常需要热处理到所需的性能。最新的技术动向是发展无热处理的生产工艺。日本钢管株式会社在棒材轧机上试验控轧用钨微合金化和用钒、钛微合金化的中碳锰钢, 其化学成分分别为: 0.33% C—0.30% Si—1.10% Mn—0.020% Al (酸溶)—0.0055% N 和 0.45% C—0.30% Si—0.70% Mn—0.020% Al (酸溶)—0.0080% N; 前一种钢在控轧状态下抗拉强度为 632MPa, 后一种钢在热轧状态下抗拉强度为 713MPa。芬兰的奥瓦可钢铁公司认为用热轧状态的中碳微合金化钢代替调质状态的普通碳素钢部件是可取的 (容易做到), 但如要代替抗拉强度大于 900MPa 的调质合金钢必需解决切削性能和韧性问题。他们的试验结果是: 经过钙处理的并用钒、钨或钛微合金化的钢 (0.45% C—0.50% Si—1.0% Mn—0.50% Cr—0.10% V) 可以满足节能的要求。

除了取消调质热处理以外, 美国卢肯斯钢铁公司用热轧状态下的经过钨或钨—钒微合金化了的 C—Mn 钢成功地代替了正火状态的碳素钢材。

七、多元微合金化钢

加入微合金元素的作用之一是通过它们的碳、氮化合物阻止钢坯再加热时晶粒长大, 使轧制前的初始晶粒度尽量细小。各种微合金元素的碳、氮化合物在奥氏体中的稳定性和溶解度不相同 (见图 5)。氮化物比碳化

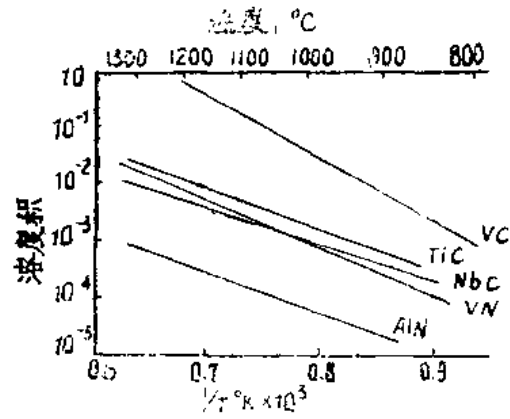


图 5 微合金元素的碳、氮化合物的溶解度的比较

物稳定, 钒、钨、钛的氮化物按其顺序稳定性增高、溶解度降低。因此, 在老一代的微合金化低合金高强度钢中常常只含单一的微合金元素, 而现在都倾向于多元微合金化。

在多元微合金化钢的研究中, 人们最近把注意力转向于钛的潜在用途。澳大利亚钢铁公司的 J. G. Williams 研究了钨 (模) 铸与连铸的含钛钢的强化效率 (见图 6)、钛与不同的微合金化元素结合时对钢的力学性能的影响、钢中最佳含钛量以及推导了可以预测含钛钢力学性能的公式等。人们从大量研究结果中得知: 加入微量钛的优点是提高焊接时的线能量 (输热量)、限制熔合线的晶粒长大和粗晶区的宽度、控制热轧带钢的室温应变时效、改变低锰 (小于 0.3%) 钢的硫化物形态、以及在含氮量低的钢中为加入硼 (提高钢的淬透性) 而创造条件等。但是, 含钛钢也有缺点, 例如: 在低碳 (小于 0.10%) 薄板中, 热轧状态屈服强度大于 35 公斤/毫米平方时, 同板卷的屈服强度差通常超过 10 公斤/平方毫米 (用钨或钒强化的钢只有 7 公斤/平方毫米); 当热轧状态屈服强度大于 56 公斤/平方毫米时, 同板卷的屈服强度差更大 (此时含钨或钒的钢强度变

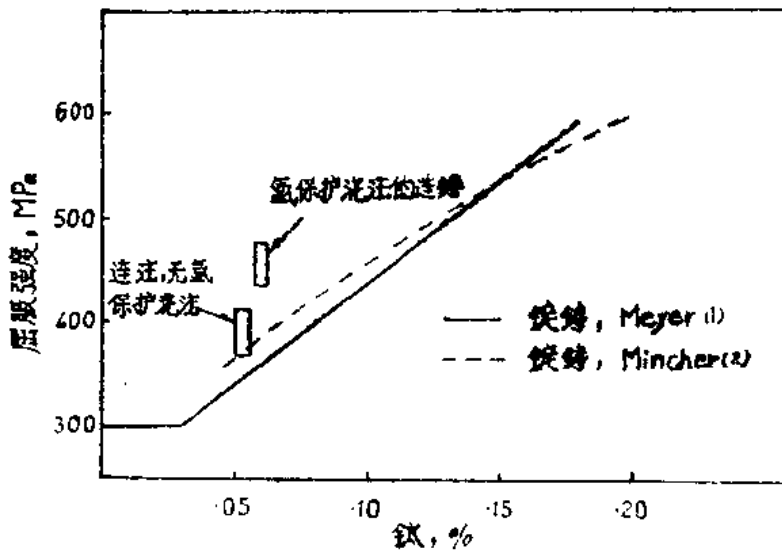


图 6 连铸和铸锭含钛钢的强化效率比较图

化范围是-0到+10.5公斤/平方毫米)。经验证明：钢中应加入的钛量很小，一般为0.01—0.015%，含钛量过多时，将形成大的氮化钛质点，致使钢材变脆；因此，要尽量采用钢包精炼工艺控制较低的含钛量。

基于以上的研究，正在试验的多元微合金化钢有Ti—Nb—N系（例如：1.20%Mn—0.028%Ti—0.04~0.12%Nb—0.008%N，或0.01%Ti—0.05%Nb—0.01%N），Ti—V—N系（例如：0.017%Ti—0.13%V—0.01%Nb）和Nb—V系等。这些多元微合金化钢有的用于吊车及工程（运土）机械上的钢板，有的用于钢铸件，有的用作制造输油（气）管线的钢板，由于多元微合金化，对许多钢中的析出相需要进行更精确的测定。过去认为给定含量的微合金化元素的碳、氮化物完全互相溶解这个论点必须提出疑问，而对于“氮化物首先析出，而当氮耗尽时碳化物析出”的论点，也已有严格的热力

学数据怀疑其可靠性。过去使用“平衡”的溶解度数据来推测析出物的析出顺序的模型，也由于其未考虑动力学效应值得进一步推敲。所以目前文献中出现的各执一见的现象是不足为怪的，关键在于数据还不足，例如：对控轧钢（0.05~0.07%C—1.7~1.9%Mn—0.19~0.33%Mo）的试验结果分析认为：加入0.05%Ti—0.05%Nb之后使焊接热影响区的初性下降，而对热轧0.06—0.08%C—0.75~0.86%Mn的深冲带钢中加入0.05%Ti+0.025%Nb之后能使钢的成型性能、焊接性能和耐疲劳性能提高，二者结果回异，就是互相矛盾的例子。因此，如果假定将来几代的低合金高强度钢将采用更复杂的微合金化方式时，抓紧研究多元微合金化钢的基本物理冶金问题就是非常必要、非常及时的任务。

八、今后发展的趋势

大多数分析家预测：在工业发达国家

里，低合金高强度钢的生产经过几十年迅速发展后，近几年仍将继续上升；在生产工艺上，近期趋势是广泛使用炉外精炼（钢包冶金）、连铸、计算机控制工艺过程等以提高冶金效率和简化工艺过程并特别注意降低单一工序的成本，提高质量。例如：应用最新知识改造较老设备，使其能实现喷吹、脱气、控轧、控冷，以生产高质量产品；研究、设计出可以满足不同规格、品种的连铸

机以改变目前不能同时满足厚板和薄板质量要求的状况等。

近期趋势（例如九十年代）可能发展崭新的冶金工艺，例如：直接还原、连续炼钢、网状连铸（即直接铸薄板或中厚板）、直接轧制、连铸热处理等。

冶金部参加国际会议人员

吴宝榕 谢仕炬 曹荫之

开 幕 词

组织委员会全体成员向低合金高强度钢技术和应用国际会议的全体参加者表示热烈欢迎。

在四天技术报告会期内，要逐一介绍所选出的大约100篇论文，这对组织委员会来说是件难事。全世界冶金工作者和工程师们对这次会议所表示的广泛兴趣，证明了低合金高强度钢作为工程材料的一种新品级得到了广泛的认可。低合金高强度钢的发展、技术和应用可以恰当的评价成不仅是一种新的材料而且从根本上说是一种更新换代的材料。

在低合金高强度钢过去十年期间所举行的许多会议中，1975年10月于华盛顿召开的微合金化钢会议（Microalloying 75），常常被认为是一个真正的里程碑。在“MA75汇编”一书的附录中，曾表达过这样一种观点：“考虑到微合金化钢的整个潜力，在本书中提出的现代技术状态可能恰好是冰山的顶点。”

在过去八年中的发展似乎证实了这个预见。这些新发展中的一些项目将在这次会议期间提出来。下面叙述选出的一些例子：

钢包冶金与微合金化钢技术相结合的应用；

钢板和条钢的控制（加速）冷却；

防止产生混晶的方法；

生产成卷中板的技术；

再结晶控制轧制；

高强度双相连续退火薄板；

氮化钛和氮化钒的应用；

高强度钢碳含量的减少，例如超低碳贝氏体（ULCB）钢；

微合金化条钢和长钢材；

弥散强化锻钢。

这些例子表明了微合金化钢在设计、生产和加工制造中的多面性。这些成品钢材可以用最有效的方法加工制造来满足既定用途的特殊需要。

我们相信通过你们的积极参与，这次会议将成为促进钢铁工业产生的活力的又一里程碑。通过低合金钢使用者在其各种用途中当作最有效的材料被广泛接受的情况下是可以实现这一设想的。

四天会议将提供许多机会去接触同行，欢叙旧谊，交换意见和交流思想。最后，这次会议将用“微合金化 83”（“Microalloying 83”）一书来很好的记录下来。

总主席 M·柯尔奇斯基

（M·Korchynsky）

吴中萱 译

低合金高强钢系列评述

F. B. Pickering

(英国谢菲尔德市工业大学)

本文根据微量合金对控制晶粒大小的作用，形变工艺在奥氏体转变之前、转变过程中和转变之后对奥氏体转变过程及析出效果的影响，首先叙述各种低合金高强度钢的基本冶金学原理，将讨论这些基本原理在奥氏体组织的预测和控制、以及随后控冷期间的转变等方面对研制工艺技术的影响。接着将论述生产超细化奥氏体晶粒可能采用的新方法；并且还将讨论生产价廉且具有较好韧性和成型性双相钢的工艺过程，以及普通钢和双相钢在汽车用可成型材料方面的应用。

本文略述了钢板和管线产品在今后十年的可预见的潜在进展：这就是要求具有铁素体、贝氏体或回火马氏体组织；要求获得可满足所需组织和性能的处理工艺，特别是快速的奥氏体化工艺，要求获得转变过程和淬透性的关系。这将导致在谈及低合金高强度钢管在其它方面应用的同时，对油田所需产品、特别是管线材料的组织和性能作一综述。特别是非金属夹杂物对低合金高强度钢

性能的影响作用，以及工艺对它们的控制和改善，重点是对硫化物介质中氢致裂纹，可焊性和焊接件的组织与性能作一介绍。

此外，将论述合金元素和微量合金元素对钢淬透性的影响。着重讨论微量合金的叠加效应，微量合金与碳化物和氮化物稳定性和溶解度的关系，及对奥氏体晶粒度的影响。同时讨论了沉淀相对这些淬透性交互作用的某些可能影响，略述了微量合金元素对于铁素体、贝氏体和马氏体回火特性的影响，以及珠光体组织中的相间析出形成过程。然后，将上述基本的冶金现象与钻杆、加固材料、活塞杆这些棒线材的生产工艺技术，与铁轨、车轮、轮箍等铁路器材及一般锻件的生产相联系起来，也考虑了铸件某些可能的进展。

利用冶金制造和处理工艺，控制钢的组织 and 性能。这是当今应用和未来潜在发展的新途径，也是全文所阐述的主题。

吴中董 高 农 译 李凤亮 校