



国外 低合金钢、合金钢

1

(总第7集)

1989

冶金部钢铁研究总院

前 言

为配合《七五》国家重点科技攻关课题,大力发展我国的低合金钢和合金钢,冶金部科技司委托钢铁研究总院在《七五》期间内,将有针对性地、不定期编辑出版《国外低合金钢、合金钢》情报资料,供有关单位和人员参考。

1986、1987、1988年已出版了六个文集,每集各约30万字。1989年仍计划出版两集,内容分综述、低合金钢、合金钢、工艺性能和使用性能四部分。文章的选取力求密切结合《七五》攻关的实际需要,又考虑到未来发展的新动向。本资料对从事低合金钢和合金钢生产、使用、科研和教学人员很有参考价值。欢迎订购。1986、1987、1988年出版的文集,尚有少量余额,仍可订购。

由于编译者水平有限,错误和不当之处,欢迎读者提出意见和批评,以便在随后的文集中加以改进,也欢迎向本刊投稿。

编 者

1989年8月

目 录

一、综 述

海洋平台用钢	(1)
提高铁路钢轨钢质量的现状及未来	(4)
马氏体时效钢的近期发展	(6)
廉价钢铁材料在汽车制造中的有效利用	(10)
结构钢生产技术的现状	(13)
易切削钢研究和应用的发展	(16)
不锈钢领域的发展现状	(23)
不锈钢精炼技术的发展	(28)
核燃料后处理装置用不锈钢的腐蚀及防护	(35)
从材料生产厂看汽车用钢铁材料	(41)

二、低合金钢

高韧性微合金珠光体钢的发展	(45)
耐海水腐蚀钢材	(48)
铌处理钢的断裂韧性	(52)
含钛高强度低合金钢的形变热处理	(55)
煤气主管线用高强度和高耐寒少珠光体钢	(59)
钛对热轧10 Γ 2钢组织和性能的影响	(63)
钛和硼复合微合金化对14 Γ 2钢性能的影响	(66)
轧制热强化管用08X2 Γ 2 Φ 低碳马氏体-贝氏体钢	(68)
低温韧性优良的含硼非调质高强度钢板的制造方法	(70)
用调质工艺生产高韧性高强度钢板的方法	(75)
厚度方向材质均匀的厚钢板的生产方法	(78)
油井管用高强度热轧板卷的生产方法	(83)
耐大气腐蚀性、耐海水性优良的钢板的生产方法	(87)

三、合金钢

耐延迟破坏性优异的马氏体时效钢	(91)
控轧后调质0.4C-Ni-Cr-Mo钢的低温力学性能	(93)
耐氢腐蚀和耐SR裂纹性优良的压力容器用Cr-Mo钢	(96)
链条结构钢的生产及评价	(100)
微合金化添加剂和杂质对高强度螺栓用钢腐蚀延迟断裂强度的影响	(104)

添加少量硼对低温钢的组织转变和性能的影响.....	(108)
无镍耐蚀钢04X19AΦT.....	(112)
高强度齿轮钢.....	(114)
塑料成形用新型模具材料.....	(118)
合金化和热处理对低合金无钨高速钢95X6M3Φ3T性能的影响.....	(120)
低合金高速钢的性能及其合理利用.....	(125)
高氮不锈钢丝.....	(129)
热加工性能优良的含氮双相不锈钢.....	(134)
在奥氏体不锈钢中添加氮提高强度和耐蚀性.....	(137)
钼含量和其他因素对CrMoV耐热管线钢疲劳强度的影响.....	(138)
用炉外精炼和微合金化方法生产15X17HMΦT耐热钢.....	(142)
高质量铅易切削钢.....	(143)

四、工艺性能和使用性能

锰、磷和钼对高强度低合金钢抗硫化物应力破裂性的影响.....	(146)
C-Mn微合金化结构钢中碳当量和硬度同裂纹倾向的相互关系.....	(149)
添加少量镍对低合金钢硫化物应力腐蚀敏感性的影响.....	(155)
气轮机转子在工作14万小时后的材料疲劳.....	(158)
奥氏体铬镍(铜、钼)不锈钢在几乎无水醋酸中的腐蚀行为.....	(162)
氮离子注入对AISI316不锈钢氧化性能的影响.....	(163)

海洋平台用钢

Shiga Chiaki

1. 前 言

结构钢因其具有较高的强度，价格便宜，故从19世纪以来一直被广泛应用。即使是现在，由于它同水泥、塑料、有色金属相比显示出明显的优越性，竞争力强，所以仍在扩大使用范围。而且，使用者提出越来越高的要求，这对结构钢自身的发展起着促进作用。

在钢材市场上对高强度低合金（HSLA）钢有不同的定义。但从本质上讲，认为这类钢含碳量低、晶粒细小、通过析出强化和相变强化提高强度和韧性，采用Nb、Ti、V进行微合金化强化。作为HSLA钢一个特殊用途是挪威和英国北海海域用海洋平台用钢。现在许多轧钢厂和精加工厂采用形变热处理和控制冷却来制造HSLA钢，但要花费大的投资增设有关设备。

自1972年以来海洋结构用钢获得迅速发展。这些钢大多采用微合金化与形变热处理工艺进行制造，其屈服强度（Y.S）在350MPa左右。这类钢的生产厂把主要精力集中在钢材的疲劳性能、焊接性能和断裂韧性上，这就要求先进的冶炼设备和技术。为了避开这个问题开发北海用钢，假如不用上述HSLA钢，而采用淬火-回火或快速冷却方式生产的高强度和焊接性能良好的钢种，也是可以考虑的。

从减轻重量和节能出发，使用HSLA钢有很大经济意义，这在运输上尤为重要。作为海洋结构和管线材料同样希望减轻材料自身重量，因此HSLA钢在各国的市场上仍占一定的比例（见表1）。

表1 各国使用HSLA钢占结构钢的百分数

用 途 与 结 构		欧 洲	北 美	日 本
结 构 用	型材	30	20	10
	造船材料，型材	15~30	20	10
	钢板桩	25	15	100
	钢筋	100	5	10
	板材	25	20	10~30
建筑用薄板和钢卷（含镀锌板，不含钢筋）		95	80	70
海 洋 钢	板材	90	30	70
	型材	70	20	10

2. 海洋结构用钢

海洋平台可用来开采石油与天然气，早在70年代英国与挪威就在北海地区开发油气田。

这些地区的海水深度达70~160m, 气候条件恶劣, 需建造大型平台, 故使用大量混凝土和钢材。

鉴于海洋平台用钢采用套层结构, 其材料的重要参数是高强度、可焊接性与断裂韧性。将有关要求的参数及解决对策汇入表2。1970年使用这种结构钢为BS4360-50, 最低Y.S为345 MPa, 该钢作为海洋结构钢, 基本上能满足加工、焊接及机械性能的要求。图1(略)示出海洋平台各个部位使用BS4360级结构钢的概况。表3给出BS4360-50钢的化学组成和机械性能。

表2 海洋结构钢的要求

要求的性能		解决对策	钢厂措施
强度		综合考虑强度、韧性及焊接性能	1972~1986年几乎全部采用正火处理, 目前采用调质及快冷方式较多
母材的韧性		细化晶粒、降低S和C含量	用Al、Nb或V细化晶粒, 把C含量从0.18%降至0.10%
焊接性能	层状撕裂	减少非金属夹杂物含量	把S含量从0.02%降至0.002%, 并通过二次精炼控制O ₂ 含量
	HAZ硬度	减少合金元素含量	降低C含量, 并尽量降低Nb和P含量
	HAZ韧性	减少显微组织中马氏体含量, 避免HAZ晶粒粗化	降低C含量, 通过加Ti平衡P、Nb、N, 以改善HAZ的韧性

表3 BS4360-50HSLA钢的化学组成和机械性能

BS4360-50的类别	生产工艺	化学组成, %								厚度 mm	机械性能				
		C	Si	Mn	P	S	Nb	Al	Ceq		Y.S MPa	T.S MPa	夏比冲击能 J	硬度 HV	温度 ℃
50D	快速冷却	0.08	0.34	1.49	0.011	0.002	—	0.025	0.35	<75	434	517	331	—	-10
	正火	0.11	0.39	1.55	0.014	0.002	0.030	0.025	0.39	<75	376	517	328	—	-10
50E	正火	0.12	0.45	1.53	0.014	0.002	0.026	0.034	0.40	40~63	384	513	277	—	-40

为改善焊接性, 目前使用较多的是以Nb、V、Al或Ti进行微合金化的C-Mn钢。主要目的是细化晶粒, 借以提高屈服强度和韧性。通常, HSLA钢的屈服强度为345MPa, 通过适当选择化学组成和工艺可提高到420~450MPa水平。开发北极海域用钢要求质量更高, 希望尽量减低S、P含量, 提高清洁度。并要求能生产厚度达150mm的控轧材或调质材。

3. 腐蚀与防护

HSLA钢一般具有相同的耐蚀性。设计时应选用允许腐蚀率相同的材料, 根据不同使用条件对材料采取相应防护措施。在静止海水中浸渍时的腐蚀速率为0.075~0.125mm/年, 在流动海水中腐蚀速率则高达0.6mm/年。局部腐蚀比通常的腐蚀条件更加苛刻, 腐蚀速率可达1mm/年。

焊缝接头是薄弱环节，在冰海区很快将防护涂层浸蚀掉。通常海洋平台使用寿命为30年，采用阴极防护、涂层和加大结构断面尺寸的方法保证使用寿命。一般断面尺寸考虑10~12mm的富余。

4. 焊接性能

HSLA钢在焊接结构中应用很多，其含碳量较船板和早年海洋平台用钢低，因此焊接后不产生马氏体，在HAZ的韧性较好。只要精心操作、严格控制焊接工艺，完全可以保证HAZ的焊后韧性。但是，海洋结构的焊接线能量高达4~5kJ/mm，使用环境恶劣，所以应作夏比V型缺口冲击试验和CTOD试验。对于屈服强度为345MPa的海洋结构用钢，要求含C量低，焊接线能量控制在3.5kJ/mm，对厚度40mm板材焊接时容易释放热应力，对改善HAZ韧性有利。目前正考虑线能量高达10kJ/mm的焊接工艺。

HAZ的硬度是一个很重要的参数，因为它关系到H₂致裂纹与应力腐蚀裂纹，硬度越高越不利。硬度比较容易测定，并可用于控制焊接和制造条件。HAZ的硬度可由化学组成和冷却速度进行控制，目前使用的海洋结构钢的HAZ硬度水平均符合要求。

炼钢技术的进步使材料更加均匀、洁净，并使化学成分的控制精度获得提高。钢中加入Ca，不仅能改善S的夹杂物形态，还能使S含量降至0.02%以下（见图2），保证了沿厚度方向性能的提高。

5. 高屈服强度钢

屈服强度高达700MPa的高强度钢已经用于石油钻井及其辅助设备，这种钢多以中空结构使用，其薄弱环节是疲劳性能和焊接性能。作为海洋结构钢，由于必须考虑疲劳特性、腐蚀疲劳及断裂韧性，目前基本上仍然采用BS4360-50为代表的屈服强度在345MPa左右的结构钢。尽管如此，在深海结构中高强度钢的使用仍在不断扩大。对海洋结构来说，钢筋混凝土是有竞争力的竞争对手，但不如钢结构施工快，可靠性也差，因此在欧洲海洋结构中用的不多。未来的海洋结构应采用中空结构以减轻自重并力求提高屈服强度。

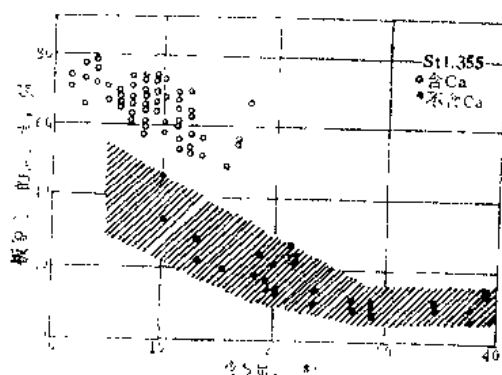


图2 S含量和添加Ca对HSLA钢厚度方向延性的影响

王玉砚摘译自《Steel Times International》，1988，No10，38~43

提高铁路钢轨质量的现状及未来

Л. К. Нестеров等

加强铁路运输工作, 保证列车安全行驶和提高运输效率同钢轨质量有密切关系。铁路运输的一个重要指标是钢轨的强度和运行的可靠性。为此, 从提高铁路钢轨强度和安全可靠性出发, 在苏联广泛地开展了为完善工艺而进行的实验和结构设计的综合性科学研究工作。为了解决这些问题, 苏联黑色冶金研究院在制造钢轨方面起了很重要的作用。在黑色冶金系统中, 乌克兰冶金工业科学研究所及有关科研院所、大学及冶金企业的协同下完善了钢轨的制造工艺, 提高了材料的质量。白俄罗斯铁路运输科学研究所为提高钢轨强度曾耗费不少资金, 协助这项科研工作。

在组织这项科研工作中, 苏联黑色冶金部和交通部的专家明确了各自的分工。关于冶金方面着眼于冶炼工业、脱氧、钢轨钢浇注、坯料与钢轨轧制、热处理, 以保证获得稳定质量和性能要求的成品钢轨。随着钢轨质量的提高, 铁路的承载强度提高, 增加了车辆的轴向载荷, 提高了列车运行速度。故在目前的运行条件下轨顶处接触应力急剧增加, 发生的故障多因接触疲劳缺陷所致。虽然1985年度铁路运输条件比较苛刻, 由于提高了钢轨质量, 铁路故障率仍较上一年下降2.1%。

为改善钢轨的质量, 采用新工艺, 在钢包中脱氧和合金化, 降低了金属消耗, 减少了钢中非金属夹杂物含量。经验表明, 采用Si-Ca-Zr合金脱氧处理的钢轨使用寿命增加17%, 其可靠性提高30%; 采用Si-Ca-Ti合金脱氧处理时, 其使用寿命和可靠性分别提高12%和20%; 采用Mn-Al合金脱氧处理时, 其使用寿命和可靠性分别提高10%和15%。采用ΦБнКC合金进行复合脱氧处理最有效, 其使用寿命及可靠性分别提高70%和57%。使用中间合金能改善钢轨表面质量。

提高钢轨质量的另一途径是采用真空处理和Ar气搅拌的钢包精炼, 可去除非金属夹杂物和气体。对于平炉车间必须做大的改建方能实现钢轨钢的真空处理, 因此冶金企业掌握冶炼钢轨钢的钢包Ar气搅拌工艺对保证化学成分均匀、减少夹杂物和气体起了重要作用。提高了表面质量, 降低了出现裂纹的危险性, 因此使25m I级钢轨产量增加5~10%。

采用下铸法能提高钢轨质量, 在亚速钢厂的工艺试验表明, 由于采用上述新工艺而减少表面缺陷并改善了钢轨底部的组织, 因而增加了I级长轨的产量, 1984年完成现场试验。其中未致使铁路发生故障的运载量为4.116亿吨, 钢轨的最高运载寿命达6.120亿吨。

1987年在库兹涅茨克冶金厂生产符合ГОСТ 24182—80标准的P65-II钢轨为1077.6吨、P65-I钢轨为543.6吨。

在万能轧机上轧制钢轨是提高钢轨质量的另一前景。在国产的轨梁轧机上采用钢轨的轧制工艺先轧成T型断面, 然后在开式和闭式轧槽轧制底部和顶部的凸缘。这样, 可减少钢轨表面的局部不均匀性, 因为这类缺陷在以后矫直时不能被消除。

采用万能孔型轧制钢轨的方法是沿轴向用立辊多道次轧制钢轨底部和顶部, 该轧制法有利于改善底部与顶部的金属加工, 提高型钢强度, 延长轧辊及其它机械设备的使用周期。

1987年库兹涅茨克冶金厂在万能机架上进行P65型钢轨的预精轧, 在生产7189吨钢轨

中, P65型25m的I级钢轨占82.2%; 而采用普通轧机轧制的相同型号的钢轨中, I级品仅占78.3%。采用万能辗轧制时, 使轧材底部与顶部的气孔减小1/2~2/3, 机械性能与宏观和微观组织均满足标准要求。

进一步提高钢轨使用期限的有力措施是采用强化热处理。在油中淬火后钢轨具有如下性能: $HB=331\sim388$ 、 $\sigma_B=1180\sim1300\text{N/mm}^2$ 、 $\sigma_T=840\sim950\text{N/mm}^2$ 、 $\delta_5=7\sim9\%$ 、 $\psi=35\sim37\%$ 、 $KCU^{+20^\circ\text{C}}=35\sim45\text{J/cm}^2$ 、轧制轨顶表面的残余应力 $=80\sim120\text{N/mm}^2$ (拉伸应力)、 $A_K^{-80^\circ\text{C}}=85\text{kJ}$ 、弯曲疲劳强度 $P_{0.1}=45\sim48$ 、工作周期 $N_{\text{ж}}=(150\sim100)\times10^3$ 次, 接触强度极限 $\sigma_K=3300\text{N/mm}^2$ 。这些性能完全符合使用性能的要求。

亚速钢厂在钢轨热处理工艺上较库兹涅茨克冶金厂有新的改进。即由原来的油淬改为沿整个长度方向对轨顶表面做感应加热淬火 (高频淬火)。高频淬火后的钢轨性能: $HB=341\sim388$ 、 $\sigma_B=1176\sim1411\text{N/mm}^2$ 、 $\sigma_T=804\sim1039\text{N/mm}^2$ 、 $\delta_5=7\sim13.5\%$ 、 $\psi=27\sim45\%$ 、 $KCU^{+20^\circ\text{C}}=26\sim76\text{J/cm}^2$ 、 $\sigma_{-1}=530\sim550\text{N/mm}^2$ 、 $P_{0.1}=50\sim51\text{t}$ 、 $\sigma_K=3724\sim3940\text{N/mm}^2$ 、 $A_K^{-80^\circ\text{C}}=100\text{kJ}$ 、 $N_{\text{ж}}=(220\sim690)\times10^3$ 次。这些性能符合TY14-2-651-85, 淬硬层深度沿长度方向均匀, 表面残余应力降至 15N/mm^2 。

提高钢轨稳定性的途径是盐浴淬火、二次淬火、高温形变热处理, 但这些新工艺尚处于试验阶段。

根据制造和使用P75型钢轨的综合研究结果, 证明可以增加重轨的生产量, P75型钢轨具有良好的抗表面横向疲劳裂纹和疲劳断裂的性能。因此, 虽然这种钢轨增加了单重, 但服役期限较其它钢轨长50%, 所以仍可节省金属。

对P75型钢轨的表面做高频淬火对改善材料性能非常有效, 在寒冷的西伯利亚地区进行了一年的试验, 运载量为1.5亿t/km, 相当于P65型钢轨的1.5倍, 这说明P75型钢轨具有更高的可靠性与低的应力集中敏感性。铁路拐弯处钢轨的接触疲劳缺陷比直线段高0.9~3.3倍, 因此拐弯处的钢轨应做成特殊的断面形状, 以保证车轮同轨顶的接触平稳, 使轨顶表面受力均匀, 这样可使钢轨服役期限延长20~25%。对此, 库兹涅茨克冶金厂已完成试制工作。

目前, 苏联已着手建造新型钢轨轧机, 以满足对钢轨质量的更高要求。新建车间带有真空脱气与Ar气搅拌等炉外精炼装置, 并且有连续铸锭、万能轧机、热处理等一整套设备。

总之, 根据钢轨的每一具体质量问题, 确定工作的基本方向, 以进一步满足交通运输对钢轨的质量要求。今后需解决的问题如下:

- (1) 增加P75型钢轨的供应量, 以满足越来越苛刻的使用条件;
- (2) 扩大P75-I型钢轨的产量, 区别不同的线路条件适当采用这种钢轨;
- (3) 增加采用下铸法生产钢轨的供应量; 在库兹涅茨克冶金厂的轨梁车间增设两台万能轧机, 并在它们之间加一台二辊轧机;
- (4) 用连铸机铸造钢坯, 再用万能轧机轧制成钢轨。

总之, 应相应提高钢轨生产工艺和装备的水平, 以保证钢轨的质量。

王玉砚摘译自《Сталь》, 1988, №5, 52~54

马氏体时效钢的近期发展

R. F. Decker

镍马氏体时效钢具有良好的强度和韧性配合及好的焊接性,并且在淬火时畸变极小,这些特殊的性能使之成为普通淬火回火钢有吸引力的替代材料。自从大约30年前开发以来,由于合金成分以及钢水精炼、浇注、热和冷加工、热处理和表面处理等技术的改进,使马氏体时效钢有了很大进步。

提高纯洁度

钢水精炼技术的发展使有可能开发许多新的合金。精炼的目的是尽可能降低碳、硫、氧和氮的含量,从而减少 $M(C, S, O, N)$ 以大的不溶解夹杂或膜片状析出物在奥氏体晶界形成。在马氏体时效钢开发早期,大的空气熔炼炉炼的钢中的夹杂含量高,导致脆性和焊接问题。高的夹杂含量也阻碍了含高钛钢种的开发。

VIM(真空感应熔炼)、VOD(真空氧脱碳)、VAR(真空电弧重熔)、ESR(电渣重熔)和EB(电子束)熔炼技术使痕量元素下降。例如,真空下CO的沸腾作用使碳和氧的含量降到30ppm以下,通过加入稀土元素硫含量可降到10ppm以下。小的夹杂物一得益于新的冶炼和浇注流程—改善断裂韧性。采用这些工艺使有可能发展含高钛的钢种。

过去几年由于对马氏体时效钢的潜在优点的关注,已经开发了将近30种新的合金(包括无钴、Ni-Cr、Ni-Co-Mo和Ni-Co-Mo-Cr型)。鉴于80年代钴的短缺,无钴马氏体时效钢的开发已取得很大进展。冶金学家乐意用钛和2~3%Mo一起来提高无钴马氏体时效钢的淬硬性。此外,镍和铬的含量范围对获得最佳强度和韧性已严密地得到控制。对良好韧性来说,至少需要17%(Ni+Cr),为保证奥氏体完全转变成马氏体,21%(Ni+Cr)是最大值。

INCO公司与Teledyne/Vasco发展了含18~19%Ni和不含Co或Cr的T250马氏体不锈钢,在强度为1725~1930MPa情况下具有好的韧性。这一成分有利于细小 Ni_3Ti 析出强化,同时基体保持足够的镍而利于韧性。T250用于小型火箭壳体,能节约合金原料。T200和T300钢对强度能给予更多的选择余地。

其它近来发展的无钴钢种包括南朝鲜开发的W250,它用钨代替钴,其屈服强度为1780MPa;苏联开发的N16F6M6(H16Φ6M6),它用钼代替钴,脆性得到减小。

日本的14Ni-3Mo-1.5Ti-3Cr合金(屈服强度为1750MPa)也证明在钛强化合金中为获得良好韧性要求有一个最低的Ni+Cr含量。至少需要12~14%Ni+3%Cr以减少因 Ni_3Ti 析出引起基体中镍贫化而造成的韧性损失。高的Cr/Ni比,对 $Fe_2(Mo, Ti)$ 的析出比 Ni_3Ti 更有利,从而使镍保留在基体中。这就要求在加工、固溶处理和时效过程中更好地控制,以便生成细小的 $Fe_2(Mo, Ti)$ 质点。

关于从1982到1987年所开发的Ni-Cr钢种中最早的是苏联的X11N10M2T(即X12H10M2T)马氏体时效钢。镍部分地用≤11%Cr替代,提出了一种低成本的屈服强度为1600MPa加上良好抗蚀性的高韧性合金。法国发展的9Ni-2Mo-0.3Ti-12Cr-0.7Al钢(屈服强度1300MPa)正被用于飞机和海洋钢结构(>1000吨/年)。这些新钢种在合金含量方面的成本减少35~45%。

新钢种还包括芬兰的铸造Lokomo C1650, 已用作苏联MIR-1和MIR-2 深水潜水艇压力壳体; 西德的Thyssen2799有一个比正常较高的奥氏体逆转变温度(100℃), 这对用作热作工具和模具是有利的。日本和苏联的钢种(14~20Co+12~16Mo)是一种适宜于模具和线材应用中马氏体形变的超硬型钢种。几种含10~14%Cr的pH不锈钢通过Co/Mo相互关系的调整能将强度提高到1500MPa以上。苏联的9Ni-12Cr-3Co-2Mo-0.8Ti合金通过马氏体形变热处理和时效处理强化到2500MPa, 可供作手术刀和精密仪器的弹簧。

一些近期发展的马氏体时效钢

合金	额 定 成 分							屈 服 强 度
	Ni	Co	Mo	Ti	Cr	Al	其它	MPa(×10 ³ psi)
不含 Co								
南朝鲜 W250	18	—	—	1.4	—	0.1	4.5W	1 780 (258)
N16F6M6	18	—	6	—	—	—	6V	1 880 (270) ¹
Inco/Vasco T250	18	—	3	1.4	—	0.1	—	1 700 (250)
Ni-Cr								
X11Ni10M2T	10	—	2	1.1	11	0.2	—	1 600 (230)
X12N9D2	9	—	0.7	0.8	12	—	—	1 500 (220)
中 国	9	—	—	0.9	12	—	2Cu, 0.4Nb, 0.1Be	1 750 (255) ²
Ni-Co-Mo								
Lokomo C1650	18	11	5	0.3	—	—	—	1 650 (240)
Thyssen 2799	12	8	8	0.5	—	0.05	—	1 800 (260)
日 本	10	18	14	—	—	—	—	3 300 (500)
日 本	10	18	12	1	—	—	—	3 900 (560) ³
N8K14M18TT	8	14	18	0.8	—	0.1	—	(67RC)
日 本	8	20	14	—	—	—	—	3 500~4200 (500~600) ³
Ni-Co-Mo-Cr								
Kobe M19	12	10	5	2	3	0.1	—	—
DEW Ultrafort	8	9	4.5	0.4	11	0.2	—	1 670 (240)
苏 联	9	3	2.2	0.8	12	0.3	—	2 500 (362) ³
苏 联	8	9	5	A ⁴	11	A	—	—
印 度	8	12	5	0.1	11	—	—	1 700 (250)
E190-VI	8	5	2	A	12	A	—	—
Cartech X-23	7	10	5	—	10	—	—	1 634 (237)
苏 联	6	5	10	—	13	A	—	(40~50RC)
苏 联	6	10	10	—	13	A	—	(40~50RC)
苏 联	5	14	5	A	12	—	—	1 600 (230)
X14N4K14M3T	4	13	3	0.3	14	—	—	1 500 (220)

1—冷却+马氏体时效;

2—奥氏体形变+马氏体时效;

3—冷加工+马氏体时效;

4—微量添加

形变热处理

马氏体时效钢的性能通过马氏体形变和奥氏体形变、或两者结合得到提高, 这些处理对超硬钢种特别适用。例如, 通过奥氏体形变处理, 加速冷却到金属间化合物相变温度以下以

避免析出，再进一步奥氏体形变处理使奥氏体晶粒尺寸减小到 $10\mu\text{m}$ 以下，得到具有一定延性和 3500MPa 以上的高强度。

当温度下降通过脆性区时大的热加工量有助于在再结晶奥氏体晶粒内使 $\text{Ti}(\text{C}, \text{N})$ 弥散。例如， $9\text{Ni}-12\text{Cr}-0.9\text{Ti}-2\text{Cu}+\text{Nb}$ 和 Be 在 850 到 850°C 之间奥氏体形变热处理（ 80% ）能细化相变马氏体晶块（从 20 到 $2\mu\text{m}$ ）的宽度和晶块内板条的宽度（从 0.6 到 $0.4\mu\text{m}$ ）。这种处理使强度增加 270MPa 并得到高的韧性（中国）。

在固溶和马氏体时效处理之间的马氏体形变处理，由于产生更多的位错，通常可使强度提高 200MPa 。固溶处理前的马氏体形变能细化奥氏体晶粒尺寸，使强度有更大的提高。日本的 500Alloy 已采用马氏体形变（ 88% 冷加工）使强度提高到 3860MPa 。苏联的 X11N10M2T （ X11H10M2T ）钢经马氏体形变处理（ $60\sim 80\%$ ）以提高 0.002% 弹性极限，供作弹簧使用。

曾采用未再结晶固溶处理来提高强度、韧性和抗氢脆性。居先的马氏体相变代替奥氏体形变处理，只要避免再结晶就能作为在奥氏体晶粒内产生缺陷和促进析出的方法。冷却后形成的马氏体比原始马氏体具有更无序和短（ $10\mu\text{m}$ ）的块。通过这样的处理，在相同的 K_{IC} 水平下强度可提高 $200\sim 300\text{MPa}$ 。

马氏体时效钢的冶金学问题

当马氏体时效钢在 1000°C 以上温度冷却时产生三类反应：在晶界析出 $\text{M}(\text{C}, \text{N})$ ，随后在大部分晶界以细薄 $\text{M}(\text{C}, \text{N})$ 成行析出的脆性反应；在超硬马氏体时效钢种中金属间化合物如 $\text{Fe}_2(\text{Mo}, \text{Ti})$ 的奥氏体时效反应；在很低温度下奥氏体转变成马氏体。

韧性受脆性反应的影响很大，有可能损失高达 50% 的韧性。脆化作用与晶界 $\text{Ti}(\text{C}, \text{N})$ 析出有关，尽管钛是一种很好的附加强化元素。减轻脆化的方法包括：

（1）减少碳和氮的含量以延迟脆化；

（2）当冷却通过脆性区时控制轧制，这样同时产生奥氏体再结晶和 $\text{Ti}(\text{C}, \text{N})$ 的细微弥散析出；

（3）利用未再结晶奥氏体中的残余马氏体缺陷在奥氏体中形成细小晶粒间 $\text{Ti}(\text{C}, \text{N})$ 弥散析出的核心。

马氏体时效钢加工处理的目的是在冷却到室温时获得完全的马氏体组织，它受奥氏体成分的影响，合金元素除钴外使 M_s （马氏体起始点）相变温度下降。合金的一个设计原则是保证总的合金含量不使 M_s 降到大约 150°C 以下。具有 700MPa 屈服强度与很好延性和韧性的板条状马氏体是在非常低的含碳量情况下形成的（为此，限定的最高含碳量为 0.03% ）。

马氏体在大约 480°C 时效几小时产生析出硬化。钛常被用来促进时效硬化。通过 Co/Mo 的配合引起的硬化认为更加重要。钴提高 M_s 温度，降低钼（时效过程增加富钼析出物形成的量）的溶解度并适度增加强度（由于基体中的短程有序化效应）。

析出物在位错和马氏体板条边界形成，造成细小析出颗粒相当均匀的分布，从而有效地得到强度和韧性的良好配合。

夹杂物，如立方 $\text{Ti}(\text{C}, \text{N})$ 也常常在马氏体时效钢中出现。分析表明，断裂时常因这些颗粒的开裂而萌生，通过减少碳和氮的含量，从而减少 $\text{Ti}(\text{C}, \text{N})$ 颗粒的生成可使韧性得到改善。硫化物夹杂增加应力腐蚀裂纹的敏感性。其它夹杂物（如氧化物）也应尽量减少以使性能最佳化。

在控制马氏体时效钢性能的析出物显微特性中的最主要之点是极细小的析出物尺寸。减

小颗粒尺寸使颗粒间距变小,明显提高Orowan硬化作用。例如,第二相的进一步细化,从球墨铸铁(石墨 $30\mu\text{m}$)到珠光体钢(片 $20\mu\text{m}$),到普通贝氏体和马氏体钢(碳化物 $0.3\mu\text{m}$),到马氏体时效钢(颗粒 $0.05\mu\text{m}$),可使强度10倍地增高。

引起硬化的其它因素是颗粒硬度、相干应力、小的体积比差和增加析出物的体积。此外,非时效马氏体固有的组织特性,例如固溶强化、高的位错和晶胞含量、及马氏体块和板条边界也对马氏体时效状态的硬化有影响。

极细颗粒的过量析出对某些较新的马氏体时效钢的韧性有害。例如,时效不足($400\sim 450^\circ\text{C}$)的18Ni(350)钢的韧性比正常温度($480\sim 510^\circ\text{C}$)时效——生成 $\text{Ni}_3(\text{Mo}, \text{Ti})$ 析出物的时效处理——的低得多。研究指出,在时效不足的18Ni(350)钢中高的含钛量导致同时存在Mo区和 Ni_3Ti 。

马氏体时效钢的优越性和不足处

概括起来马氏体时效钢有下列优性能:

超高强度(达 3500MPa);到 500°C 还保持高的强度;在退火状态下有好的成形性;简单、低成本的硬化处理(低温、空气中);硬化处理时畸变很小;对淬火裂纹敏感性小;马氏体时效过程不脱碳;马氏体时效过程可以碳氮共渗;即使在时效状态下也有好的焊接性(不需预热);钎焊时不降低性能;可用普通方法冷、热加工。

马氏体时效钢也存在下列不足之处:

在水环境下对氢脆和应力腐蚀裂纹敏感;时效状态下低的加工硬化率;高的屈强比;对各种强度水平要求用不同的钢种(单一钢种不能热处理成宽范围的强度);成本高;如果不表面处理,耐磨性和耐疲劳抗力不比普通钢好。

表面性能的提高

在有些场合下马氏体时效钢的性能,如疲劳、耐蚀和耐磨性能不比普通钢的好。但是,通过表面处理(如气体渗氮、碳氮共渗、离子氮化或离子注入)马氏体时效钢的上述性能得到大的改善。

例如,屈服强度为 3500MPa 的马氏体时效钢经在 500°C ,气体渗氮 $10\sim 15$ 分钟后,表面硬度提高20%,疲劳强度提高16%。在大约 $50\mu\text{m}$ 深的表面层中形成 Fe_3N 、 Fe_4N 和 MoN 析出物。

离子氮化使X11Ni10M2T(X11H10M2T)钢的耐磨性提高 $100\sim 150\%$,并且耐蚀性比气体渗氮钢好,形成的离子氮化硬层使18Ni(250)滚动接触轴承的寿命提高100%。18Ni(250)钢经一氧化氮(NO)离子注入后,表面硬度提高30%,并且阳极水腐蚀减少50%,磨损减轻大约100%。碳氮共渗的18Ni(300)和(350)钢(于 490°C 、3小时马氏体时效处理后水淬)在5% HCl 溶液中的腐蚀量减少60%。

参考文献(略)

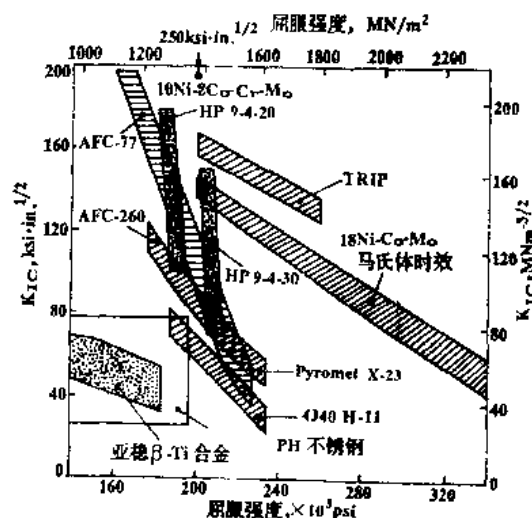


图1 马氏体时效钢的性能特点

赵 量 译自《Advanced Materials & Processes》，1988，№6，45~50

廉价钢铁材料在汽车制造中的有效利用

宫长 文吾

汽车用材的特点

汽车制造用材的选择特点和要求列举如下：（1）产量相当大；（2）要求材料和热处理的质量稳定；（3）必须具有足够高的耐久性；（4）材料与热处理的总成本低；（5）可以减少机械加工的工序；（6）生产过程中的搬运量最少；（7）尽量选用可轻量化的材料和处理工艺；（8）制造过程所需要的能量尽可能最少。

上述要求往往是相互矛盾的。例如，提高耐久性大多与成本相矛盾，但是有时也存在两种彼此相容的方法。

近年来作为汽车装饰板用的钢铁材料在强度和防蚀方面取得了惊人的进步。要求耐久性的强度构件用的碳钢和合金钢，其使用量约占钢铁材料总量的百分之十几，如何有效地使用这些材料十分重要。其中碳钢最便宜且用量最多，接近于碳钢的钢材之中的非调质强韧钢不需要热处理，因而已获得广泛应用。切削性改良钢减少了铅添加量，由于价格低且减少了公害，所以正被推广应用。

提高疲劳强度和耐磨性的热处理

1. 高频淬火

自从几十年前为了提高汽车后轴的疲劳强度便开始引用了高频淬火，但是对于曲轴来说，为了提高其耐磨性，只能对销钉、轴颈的平行部位加以高频淬火，但在曲轴的最弱部分即圆角区而有强度降低的问题。最近，已能对包括这种圆角区在内的曲轴进行高频淬火，从而大幅度地提高了曲轴的强度。

其次便是齿轮，如今已能使用各种各样的高频淬火方法，但是汽车用批量生产的小型齿轮最好采取整体一次淬火工艺。对于正齿轮，可采取在感应线圈中旋转加热后急冷淬火的方法。如能在这种齿轮齿根部得到1mm左右的硬化深度，则齿根部位的弯曲疲劳强度并不次于渗碳淬火的齿轮。

抗点蚀的强度，象S45C那样的碳钢也可得到充分高的硬度和硬化深度，所以也不比渗碳淬火的零件差。

再者，高频淬火时的频率对淬火结果影响很大，所以必须根据齿轮形状大小选择适当的频率，对于汽车用齿轮类宜采用30~100KHz左右的频率。最近，市场上已有利用晶体管变換器制作二段频率变换的变频装置出售，根据不同齿轮选用合适的频率，就能够获得高强度齿轮。如果所用频率不合适时，也可采取两次高频加热（一次预热）进行淬火。若采用碳钢高频淬火制作齿轮，较之采用合金钢渗碳淬火制造成本低得多，制造工时也大为节省。

2. 氮化处理

氮化处理可以采取各种方法，广泛使用气体渗氮、盐浴氮化（软氮化处理）、气体软氮化、离子渗氮、渗碳氮化、渗硫氮化、碳氮共渗，但是无论哪一种方法都是通过氮的扩散而在表面造成很大的残余压缩应力，从而提高疲劳强度。另外，软氮化处理后，表面形成氮化物层（厚度约10 μ m），硬度和耐磨性显著提高。其中，渗碳氮化和碳氮共渗以外的表面热处理，都是氮起主要作用，其扩散层深度通常为0.2~0.4mm左右，所以对于承受高表面压力的齿轮等抗点蚀性能的提高并不充分。因此，许多齿轮往往采用合金钢制造，并采取渗碳淬火或碳氮共渗，但作为可达到合金钢制品中等水平的表面热处理，看来碳钢的渗碳氮化或许有这种可能。

再者，适合采取上述氮化处理的零部件，还有曲轴、联接杆、齿轮类、凸轮轴、活塞环等等为数颇多，而且其利用范围尚在扩大。

3. 普通浸激淬火法的改进

现今，一般零部件大多是由原材料淬火后经550~650℃高温回火，再进行机械加工制成。通过对这种热处理工艺的根本改良，从而提高了疲劳强度并可实现轻量化，此种方法即所谓的完全淬火热处理。

完全淬火的方法及其特点如下：

- (1) 在淬火前进行机械加工并留下一定的磨削余量。
- (2) 选用比设计零件尺寸略小的淬透性良好的碳钢，并尽可能降低碳含量。
- (3) 为了尽量减小淬火变形，在淬火时采用模压控制或进行回转。
- (4) 为了尽量提高淬火时的急冷度，可采用高压水喷射冷却方法等。
- (5) 回火温度低于250℃时，表面硬度约为HRC50，并有残余应力存在。

利用这种完全淬火法制作的柴油机曲轴（断面图照片1略），其圆角区的硬化也相当充分，能够获得强度很高的曲轴。这种方法也适用于曲轴以外的各种轴类零件。在整个断面上不承受拉应力而在表面造成最大弯曲或扭应力的零件，都可采取这种完全淬火热处理。图2示出了由浸激淬火引起的残余应力与疲劳强度之间的关系。

4. 表面轧制

早已发现表面轧制对于提高疲劳强度的效果很大，但其应用直到最近才得到推广。表面轧制的特征如下：

(1) 因为不用加热,所以对不需要表面轧制的其它部位无影响。

(2) 处理时间约为1分钟左右,可以安排在加工作业线以内来进行。

(3) 对使用的材料不必加以选择,即使采用碳钢和球墨铸铁也能获得充分的效果。

(4) 被处理过的部位在相当深的位置都能造成残余压缩应力,另外,还有使表面平滑化的效果。

鉴于上述特点,近来许多生产厂家都将此法用于汽车发动机曲轴圆角区的处理。这种处理方法被称为圆角轧制法。图3为圆角轧制与曲轴的关系。

这种表面轧制方法,不限于在汽车方面应用,当用于船舶上的碳钢制大型柴油机曲轴的正火件时,能够大大提高其疲劳强度。由此看来,通过圆角轧制技术的提高,有可能利用碳钢来取代合金钢制造曲轴。至少在载重汽车用柴油机上是可以实现的。

5. 喷丸强化

这种强化处理也是在制件表面造成很大的压缩残余应力的方法,几乎所有的弹簧类制品均可利用。此法不仅限于在弹簧类制品上利用,如果用于碳钢制件的应力集中部位,可望大幅度提高其疲劳强度。也有用于发动机联接杆和曲轴圆角区的例子。

发动机的阀门弹簧是对疲劳强度要求最高的部件,历来常用铬-钒钢或硅-铬钢,但若对油回火碳钢钢丝加以喷丸强化与热调质联合热处理之后,可能获得与合金钢油回火制品同等的强度。

为了轻量化的选材

轻量化是汽车工业最重要的任务,为此,正在采取多种措施。现已实用的有铝、钛和合成树脂的制件。

1. 非调质强韧钢的利用

非调质强韧钢在不热处理的状态抗拉强度可达到 80kgf/mm^2 ,适用于多种零部件。例如,制造象发动机联接杆那样承受反复载荷的部件,用上述处理方法可提高疲劳强度和减轻重量。

2. 使用高强度螺栓

在汽车制造业中主要使用抗拉强度为 80kgf/mm^2 级的螺栓,目前,建筑用摩擦接合高强度螺栓主要采用 $100\sim 110\text{kgf/mm}^2$ 级的,使用完全没有问题。用含碳量约为0.25%的加硼钢,可以制作直径 $\leq 25\text{mm}$ 的高强度螺栓。

由此看来,所有螺栓均统一在抗拉强度 100kgf/mm^2 以上的范围内。在设计阶段,所有螺栓均定为 100kgf/mm^2 ,与所承受的应力相反,联接到螺栓上的部件愈小,选用的螺栓直径也愈小,对于减轻螺栓重量颇为有效。但是,不可推荐使用抗拉强度高于 120kgf/mm^2 的螺栓,因为这种螺栓尚有延迟断裂等问题。

3. 对于铸铁的再认识

目前用铸铁制作的零部件几乎都改用铸铝制品,但再一次重新认识铸铁制品还是很有意义的。

近来铸造技术取得了惊人的进步,特别是已能很好地生产薄壁的铸铁制件。由于能够制作完善的型芯,因此用铸铁制造的中空部件要比钢制件轻得多,因为铸铁的比重约为7.1,而钢的比重为7.85左右。所以,铸铁正被推广用于高速发动机的曲轴。

另外,某些柴油机制造厂家,已成功地利用球墨铸铁制成与铝合金铸件重量相同的活

塞，有效地利用了铸铁所具备的其它优点。经过最强的等温淬火处理过的球墨铸铁也已进入实用阶段。

4. 钢管的利用

钢管历来在发动机摇臂轴和传动轴方面广泛使用，而最近开发的钢管用烧结合金烧结接合的中空凸轮轴，是一种划时代的制品，可望广泛应用。

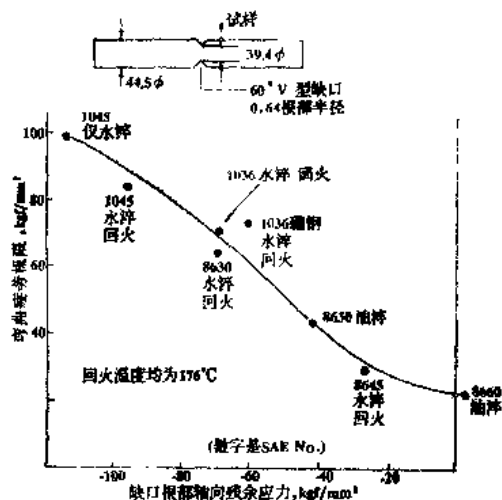


图2 由整体淬火的试样测出的残余应力与疲劳极限之间的关系（应力是在缺口底部测得的）

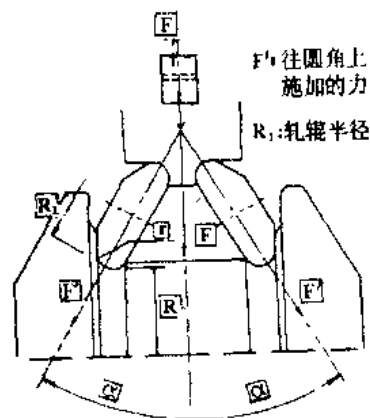


图3 曲轴的圆角轧制图

耿文范摘译自《工业材料》，1988，36，No1，48~52

结构钢生产技术的现状

原田 郁男 等

前言

近年来为适应用户对降低成本和提高零件性能的要求，钢材的质量不断提高，品种也趋于多样化。在钢铁企业中不断地改善现有的生产技术和开发新的工艺，并强化质量保证制度，力图使钢材质量稳定，性能提高，提供更多的新钢种。

表1列出近年来对结构钢的需求情况。针对在加工技术和零件设计上的种种要求，在冶炼方面主要考虑了如何提高内部质量，如对主成分和微量成分的精确控制，降低夹杂物，减少偏析等；在轧制方面主要考虑了如何提高外部质量，如尺寸精度、脱碳、表面缺陷等。近来，由于控轧控冷技术的发展，进一步降低了成本，省去了在用户的热处理。下面叙述生产设备和生产技术的最近动向。

炼钢设备和技术

1. 炼钢设备概要

过去，从熔化、脱碳，直至脱氧、脱硫、脱磷等降低杂质含量，调整成分都是由转炉或电炉单独完成的，但考虑到提高质量，现在一般都采用钢包精炼和脱气等炉外精炼工艺。铸造