我国双相钢的研究和进展及今后发展的几点意见*

刘兴乾

(冶金部钒钛钢领导小组)

一、双相钢的研究和进展

(一) 双相钢钢种的研究

我国双相钢钢种的研究已经进入了批量试生产和装车试验阶段。这次会议主要介绍了五个钢种，其成分和性能见表1。

1. Mn-Mo热处理型热轧双相钢

该钢种经760～820℃短时加热后喷雾冷却，获得约10～20%马氏体加铁素体组织。成型后屈服强度可提高176MPa，与08Al相比，冲压汽车脚踏板托架可减轻重量12.5%。

2. Si-Mn连续退火冷轧双相钢

该钢种利用硅钢生产线进行工业试制，三年来进行了各种规格的汽车冲压件试验，表面尺寸和精度都符合相应的国家标准规定。

3. Si-Mn-Cr-Mo热轧双相钢

该钢种是在1700热连轧线上控轧的双相钢。同板卷性能波动最大范围为69MPa，延伸率为7%左右，钢种板卷性能的稳定性和再现性均比较好。

4. 罩式炉退火冷轧双相钢

该钢种经罩式炉在临界退火温度范围内退火，试制的钢板冲压汽车发动机护罩及盖等零件未发现冲裂现象，结果良好。

5. Mn-V-N临界热处理型双相钢

该钢种是含钒和氮的双相钢，在两相区加热后(800℃)风冷，获得了最佳的强度延性配合。试验钢试冲了前刹车室、横梁拉板、离合器分离杆等形状复杂，用558MPa级低合金钢难以成型的零件，试验结果良好，其成型性远高于同等强度的低合金钢。

(二) 双相钢的组织和性能的研究

1. 双相钢中的相硬化和相软化现象

我国首次提出了双相钢中普遍存在的相硬化及相软化的现象。试验证明，在双相钢中铁素体因受到相硬化作用而具有远高

成份与性能 表1

钢种	化学成分，%						力学性能		
	C	Si	Mn	Mo	V	N	σ_b, Mpa	σ_s, Mpa	δ_5, %
热处理型热轧钢	0.11	0.26	1.27	0.12			539～568	294～343	30～33
连续退火冷轧钢	0.08	0 40	1.35				≥ 500	≥ 300	δ_{10}(%)≥27
热轧双相钢	Si Mn Cr Mo 总合金量< 3 %						560～620	380～390	29～31
罩式炉退火冷轧钢	0.07		2.15				450～529	172～225	δ_{10}(%)≥30
临界热处理型钢	0.12	0.40	1.65		0.11	0.018	554～617	313～363	26～30

*本文系全国首届双相钢学术会议总结

于正火态的显微硬度。马氏体则因受到相软化作用而具有较相同含碳量的单相马氏体低得多的显微硬度。这说明双相钢并不是铁素体与马氏体两相简单的机械混合物，而是两相物理状态发生了巨大变化的天然复合材料。

我国利用有拉伸装置的扫描电镜，通过直接动态观测，证明了马氏体参与应变可在试验宏观缩颈之前，也可在缩颈之后，取决于钢中马氏体含量及含碳量。这样便将两相应变相等的Mileiko理论、马氏体不参与变形的等应力模型、马氏体在缩颈之后变形的Asbby理论和各种中间模型统一起来。在考虑了双相钢中相硬化和相软化现象，以及马氏体参与变形的基础上，将双相钢作为短纤维复合材料，用剪切滞后分析法研究了双相钢的抗拉强度，提出了新的强度表达式，并且与试验结果吻合得很好。

2. 双相钢的组织参量与复相组织

研究报告指出，双相钢的机械性能可表示为组织参量的函数，可以通过回归方程来表示。回归分析结果表明，马氏体平均自由程λ_M，铁素体、马氏体相界数量K_M，晶界数量K_F，以及马氏体体积百分数f_M等组织参量可以近似表示双相钢的组织特点，且随着λ_M的减少和K_M的增大，双相钢的强度上升，延性下降。

还有的研究结果指出，通过适当的热处理工艺可以把Cr-Mo钢处理成复相组织，即铁素体基体上的马氏体和贝氏体岛状组织。与双相组织相比，三相组织的均匀延伸率、加工硬化指数，大幅度地提高，屈服强度下降而抗拉强度相近。

3. 层片型铁素体＋马氏体双相钢的研究

层片型双相钢中马氏体以层片状与铁素体平行相间排列。预先淬火温度和亚温淬火温度对层片型双相组织形成和组织形态有决定性作用。欲获得典型的层片型双相组织，存在着最佳的预先淬火温度和亚温淬火温度。层片型双相组织具有较优良的强塑性匹配，相同马氏体体积分量时，层片型双相组织的冲击韧性优于岛型双相组织。

4. 双相处理工艺的研究

临界区淬火是获得双相（F＋M）组织的一种方法。采用临界区淬火可以抑制可逆回火脆性，提高室温下的冲击韧性，以及回火后的低温韧性。不同作者对30CrMnSi钢，MnMoV钢和45*钢进行了临界处理，不仅提高了强韧性，而且减少了氧化脱碳和电力消耗，带来了直接经济效益。

5. 钒对双相钢的作用

双相钢中添加钒的主要作用是等价于冷却速度的增加。如果钒钢采用强制空冷，而普通钢采用比在99℃盐水中淬火还要稍快一点的冷却速度，那么两种钢便会获得基本相同的显微组织、相近的加工指数和相同的强塑性结合。也就是说，双相钢中添加0.06%的钒，相当于普通钢增加了三倍的冷却速度。

此外，在组织和性能的研究中，还探讨了疲劳寿命与腐蚀介质的关系、氢对双相钢力学性能的影响等问题。

（三）形变与断裂

双相钢的裂纹主要萌生于F/M界面上，有时还萌生于小岛马氏体内或铁素体基体上。与同等强度的普通低合金钢相比，裂纹形核容易，扩展较难。还有的作者指出，双相钢能获得高延伸率的主要原因还在于原始组织中有可动位错，在较小形变量下，变形位错的汇聚，在铁素体-马氏体界面形成裂纹，松驰应力，使位错滑移可以继续进行，位错再塞积，裂纹形

成，应力再松驰，从而使铁素体可持续变形获得高的延伸率。

双相钢受力后微区应力应变的主要特点，研究报告指出：铁素体的存在使马氏体中产生拉应力集中；马氏体中靠近铁素体处的应变大于平均应变；铁素体的全部和马氏体的大部处于三向拉应力状态，并且越靠近铁素体的马氏体中拉应力越大。

对于不同分布及不同形态的（F＋M）双相组织，在强塑性能及断裂机理方面的区别，有的研究者指出：细粒状（F＋M）双相组织，滑移变形在整个铁素体中均匀地进行；混晶双相组织，在受力状态下易造成微观区域的高度应力应变集中，使材料的塑性明显地降低；纤维状（F＋M）双相组织，滑移主要沿着有利于变形的马氏体纤维方向进行，表现为较低的屈服极限，形变能力差，但强度极限较高。

（四）双相钢的应用

1. 汽车工业

双相钢问世以后，首先应用于汽车工业。据估计，美国国内1990年汽车工业对双相钢的需求量为120万吨；加拿大为12—18万吨，我国汽车工业对双相钢的需求量和加拿大相当。

北京吉普车公司指出，汽车结构件可分三种情况考虑双相钢的适用性。一是大中型复盖件；二是非受力的内部结构件；三是受力的内部结构件。到目前为止，北吉已经用冷轧双相钢薄板冲制了20多种零件，计26500多件，有的已经装车使用。他们指出，根据双相钢强度的特点，使钢板厚度减薄10—20%，可以节约钢材减轻车重。估计如果年产2.2万辆吉普车，则每年可节约钢材440—800t。

双相钢在解放牌和东风牌汽车上都得到了相应的应用。

2. 非冲压件

国外于1981年后已经开始把双相钢的应用研究扩大到非冲压成型材料，国内也开展了相应的工作。

（1）高强度高塑性双相钢热轧钢筋及预应力钢筋。印度已经成功地生产出Ⅳ级双相钢钢筋，1985年产量达到7000t。报告指出，560MPa级双相钢钢筋代替420MPa级热轧钢筋，可节约钢材20%左右，并显著提高构件的安全性。因此，经济效益是显著的。

（2）高强双相钢丝及预应力钢丝。文章指出，我国于1981年公开发表了低强度级别的、经双相化处理的棉花打包钢丝，1984年又根据双相钢的特性，提出了用低碳低合金双相钢代替铅浴淬火的高碳钢丝的课题。1986年试制成功了高强度级别的双相钢丝（>1960MPa），可完全取消铅浴淬火。据估计，此项成果的社会效益可达亿元以上。

（3）高强度紧固件。国内1984年成功地试制了不需要调质处理的8.8级双相钢冷镦螺栓。

（4）冷拔无缝钢管。国外的工作尚未见报导，国内已基本上掌握了生产工艺的技术决窍。

（5）热轧热处理双相无缝钢管。这方面的工作国内于1985年已经登记了发明专刊。

二、存在的问题

1. 钢板生产工艺和装备问题

目前冷轧双相薄板虽然得到了较好的应用，但面临的最大问题是缺少连续退火炉。武钢利用现有的硅钢生产线，又受硅钢生产的限制，难以进行大批量生产。利用现有的罩式炉生产，在工艺上亦需完善。因而使冷轧双相钢板的推广和应用受

到限制。热轧双相钢面临的问题是怎样形成双相组织的问题。也就是说怎样应用我国现有的热轧生产线成形双相组织；怎样对冷却设备稍加改造便可控制双相的数量；怎样选择合适的卷取温度以稳定钢板的性能等。都需要进一步解决装备以及生产工艺问题。

2。钢种的研制和产品质量问题

总的来看，国内的双相钢还处于研制和试生产阶段。如何完善性能，稳定质量，搞出量大面广，效益显著的拳头产品，也是目前双相钢急待解决的问题。

3。双相钢的焊接性能和产品规格问题

目前在我国推广使用双相钢筋的主要障碍是焊后焊缝和热影响区的组织发生了明显的改变，因而使此区域的性能也发生了改变，将给一系列的设计和使用带来困难。另外目前已有的双相钢筋，其规格从φ5～12mm，而用量较大的是φ20mm左右的钢筋。如何生产出这样大直径的双相钢筋，在生产工艺上还存在一定的困难。

4。加工工艺问题

试验钢的强度偏高，冲压时对落料、修边、冲孔的模具刃口和间隙要求严格以及模具损耗较快等，说明双相钢即使是制造浅冲压件也存在着冲压零件、设备、模具和工艺调整的适应过程。

5。理论研究进一步结合生产的问题

目前如何使我国生产出廉价的双相钢，在理论研究方面还需做许多工作。特别是如何进一步结合生产和用于生产。

三、发展双相钢的几点意见

今后发展双相钢应着眼于生产和使用；着眼于规格品种的系列化；着眼于经济效益和社会效益。为此，我们认为今后应着重开展如下的工作。

1。结合我国的实际情况，将各种研究成果用于生产，尽快进行必要的设备改造，形成稳定的生产线。对于冷轧双相钢板，要尽量利用现有的罩式炉设备。条件具备的单位应结合设备改造，建立起连续退火工艺线；对于热轧双相钢板，要加强轧机的压轧能力，建立冷却装置，选择合适的卷取温度，稳定双相组织，对于钢筋、棒材，除需解决轧机压轧能力外，对于大直径材还需要解决冷却装置的冷却能力问题；对于热轧热处理双相无缝钢管，尚需要一定的固定资产投资。

2。在继续完善现有钢种的基础上，注意发展非冲压成型材，如钢丝、钢筋、钢带、紧固件、无缝钢管等。同时，在钢种研制上要注意成分选择适当；强度级别要系列化；规格品种要配套；方便用户，方便使用。

3。结合我国资源特点，研究各种元素，特别是我国富产元素V，Ti，Nb，B，Re等在双相钢中的作用，及其对组织性能的影响，逐渐形成具有我国资源特色的双相钢系列。

4。双相钢的研究还要着眼于使用性能的研究和加工生产线的完善。对于可焊性、耐蚀性、加工硬化指数、成型极限、回弹控制、贴模性能等都要注意开展工作。同时，在使用部门也应建立相应的生产加工配套装置，完善生产线。

5。应用理论及测试方法的研究。要深入研究热轧及冷轧双相钢中双相组织的形成过程及其控制原理；开展岛状、片层状及纤维状双相组织的获得条件及其与力学性能关系的研究。同时还应注意开展双相钢各种工艺性能参数测定方法的研究。