

国外



低合金钢、合金钢

2

(总第8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，每集约30万字。1989年仍出版两集，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，尚有少量剩余，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12月

目 录

一、综 述

钢在高技术产业中的积极作用	(1)
特殊钢连铸的发展方向	(3)
09Г2С钢的性能改善和推广应用	(7)
汽车用钢发展动向	(10)
超纯3.5NiCrMoV低压汽轮机转子锻钢的研制	(13)
苏联钢轨钢生产工艺技术的进展	(19)
汽车弹簧钢的弹性减退抗力及试验方法	(24)
不锈钢热轧复合板材的板形控制	(30)
引人注目的新钢材	(36)
光亮退火不锈钢生产工艺的现状	(41)

二、低合金钢

新一代微合金锻钢	(48)
低合金调质钢	(51)
汽车用03XГЮ双相带钢长度方向力学性能和腐蚀性能稳定性的研究	(52)
焊接性能好的锅炉及压力容器用0.5%Mo钢板	(54)
建筑用低屈服比60kgf/mm ² 级高强度厚板的开发	(56)
薄板用连续退火的高强钢	(59)
用含钛合金对车轮轮箍钢脱氧	(63)
转炉低合金钢脱氧工艺的改进	(64)
低屈服比高强钢的制造方法	(66)
冷加工性优异的钢材的制造方法	(69)
连续退火用冷轧钢板母材的制造方法	(72)
用连铸坯制造软质、深冲性优异的搪瓷钢板	(76)

三、合金钢

改善3- $\frac{1}{2}$ NiCrMoV蒸汽透平轮盘锻件的韧性	(79)
用真空感应法冶炼高清净马氏体时效钢	(83)
多层不锈钢钢	(86)
Cr-Ni-Mo钢的热脆倾向性	(88)
X ₂ CrNiMoN22 5 3 (Remanit 4462) 铁素体-奥氏体钢的加工	(90)

耐磨材料·····	(94)
高镍合金板和叠层板的耐蚀性·····	(97)
耐磨奥氏体高锰钢·····	(102)
在低热值煤气化设备上各种金属材料的耐高温腐蚀性·····	(104)
无磁轴承钢的开发·····	(108)
氮化钛涂层刀具的耐磨性·····	(110)
含Mn奥氏体钢的发展·····	(111)

四、工艺性能和使用性能

双相不锈钢的制造和使用经验·····	(119)
压力容器用钢经消除应力退火后机械性能的变化·····	(122)
管线钢的表面状态对应力腐蚀开裂的影响·····	(126)
浇铸工艺和热轧压下量对50CrV4弹簧钢疲劳强度的影响·····	(129)
低合金钢的脆断原因及其消除方法·····	(131)
Fe-Ni-Ti双相马氏体-奥氏体钢的显微组织与机械性能·····	(133)
用离子注入法使不锈钢表面改性·····	(137)
在电弧炉炼钢时脱氧剂和合金料的合理利用·····	(140)

钢在高技术产业中的积极作用

在制造业中长期作为基础材料的钢，于80年代已进入一个新的发展阶段。冶金工艺的进步、采用高技术生产过程的革新和先进的控制技术的出现大大地扩大了钢的应用范围，这一现象令人鼓舞。

钢的基本特性，强度和韧性进一步得到改善，得以满足目前制造业对高性能产品的需求。在超高或超低温下仍保持强度和韧性的钢现在已不难生产，即使在很强的腐蚀环境下，现也能保证钢有效地抗腐蚀。当今，处于发展前沿的是，某些特殊钢的磁性和无磁性有很大的提高，以及复合材料（钢和其它材料性能的互补得到优异性能）的不断发展。

“高技术”是指那些拥有很先进或很专门技术和装备的领域，如集成电路、核聚变、超导、等离子、激光和生物技术。尽管这些技术正在建立，却已激发了许多工业部门，从电子和信息/通讯到一些老工业部门如汽车和家用电器的革新。

目前这些工业部门需要更多种类的钢制品，包括材料成分或生产工艺（或两者同时）达到新的先进水平的高级特殊钢。这类新钢材正在以下六个关键工业部门中起重要作用。这六个部门是：汽车、家用电器、信息/通讯、能源、海洋和空间领域。

汽车

近年来，由于要求更高的燃料效率，减轻车体重量已成为汽车设计的一个重要目标。用高强度钢板来制造车体可以减轻重量。由于这些板的强度较高，在相同的安全度下可以使用较普通钢板更薄的薄板。问题是车体用薄板必须有很好的成形性，在许多

情况下应与低碳钢的成形性相当。但是，高强度和好的成形性一直被认为是不相容的性能，难以在同种钢中实现。

日本钢铁工业充分利用炼钢、轧钢和连续退火工艺的研究开发能力，研制出具有很好成形性的高强度钢板，在汽车制造中完全能经受复杂冲压成形作业，证明了性能不能兼有的说法并不正确。

取得这一成就的研究工作着重在控制钢的析出晶体的尺寸和分布的扩散理论。高强度高成形性钢板的实际生产还涉及装备设计、操作和控制技术。

解决减轻车辆重量的另一途径是引用高效阻尼钢板（两层钢板间夹一层树脂）。用这种材料来减小从车体和油盘产生的振动和噪音很有吸引力。一种相似结构但不同树脂的轻型叠层钢板也受到注目。

家用电器和信息/通讯

电子技术的迅速发展对家用电器和信息/通讯工业产生了很大冲击，特别在减小产品尺寸和引入光学纤维传输（一种高效通讯方式）方面。随着这方面的进步，为提高办公效率的办公自动化技术也在扩大应用。

这些领域中，高级的钢制品也是个重要因素。例如，电器产品的紧凑性在许多情况下是由于采用了紧凑马达。大型发电机用的高效磁性钢板、主变电所的大变压器和电车马达也都要用紧凑型马达（工业机器人用的驱动马达和音响设备、文字处理器、专用计算机和其它许多高技术设备用的驱动/步进马达）。

光纤电缆显然是光纤传输系统的关键元件。然而，光学纤维本身，其强度不足以在

自承电缆中单独应用。因此，要用不锈钢和其它耐蚀钢管、形变条钢和其它钢制品作为张力件来支承这些电缆。

文字处理器和专用计算机是办公自动化设备的最主要类型。这些装置中的阴极射线管备有阴罩。当电子束从阴极管喷枪投射到玻璃显示屏幕上的萤光涂层上时，通过反射阴罩使显示图象清晰。阴罩由厚度仅0.1~0.15mm的超薄钢板制成。冲压后，用电子束浸蚀在罩上造成多达300000个微孔（这些孔允许阴极射线管的电子束通过阴罩到达显示屏）。用作阴罩的钢中的夹杂物必须极少以防止孔的阻塞。先进的炼钢工艺（从熔炼和精炼到轧制各个阶段）已成功地将夹杂物减少到所要求的程度。

能源开发

石油/天然气开采和海洋结构用高强度钢

随着石油和天然气矿床的探测越来越向地球深处和酸气矿区扩展，钻掘环境变得一年比一年严峻。

在北海建设的海洋结构，那里的温度达-80℃，要求钢制品具有高的强韧性和低温韧性，能经受在这样条件下使用的钢板必须具备细晶粒和晶粒间的高接合强度。要求整个厚度方向有均匀的精密度，晶界的杂质应尽可能去除，通过重点对新的生产工艺和新的化学成分系的研究和开发，发展了能满足这些要求的高强度钢板，并已在低温水域中用作海洋结构。这些钢板的生产，在熔炼和精炼阶段实现钢的高纯化，然后用控轧控冷（TMCP工艺）从加热和轧制到冷却全过程都通过整体在线控制系统来精密监控，实现晶粒的细化。TMCP工艺还正用来生产造船用的高强度钢板，并因其性能好而赢得称赞。

核电站

核电站用的设备和设施，安全和高的作业率至关重要，质量要求十分严格。所用钢有严格的质量和耐蚀标准，以脆断韧性为例

已详细确立。

近年来，电站规模越来越大，寒冷地区电厂的建设增多，从断裂力学观点出发，对满足特别严格的韧性要求的钢材的需求在增加。由于采用先进的冶金工艺，符合这些要求的钢材目前已能生产。

对管材来说，通常应用不锈钢和有色金属以防腐蚀，减少维护工作。对耐海水腐蚀不锈钢管材，新设计的化学成分钢种的大批量生产工艺已经建立，正在进行性能试验，准备付之实际应用。在核动力领域，能确保安全和经济的产品已得到认可。

示范性高速增殖反应堆目前在日本正在建设中。许多超高质量的不锈钢制品正用作堆芯材料。具有高经济效率的外卷管也已引进。为满足用于堆芯材料的要求，必须在高达550℃时仍有高的疲劳强度，日本钢铁业开发了控制最小杂质的冶炼工艺和新的轧制工艺。

在核反应堆中，中心问题之一是如何用磁场将等离子体（超高温、超高密度的气体粒子流）限定在反应堆内。正在研究的反应堆类型中，tokamak（复合磁系统将等离子限制在环形空间）的研究是最先进的。

日本原子能研究所和先进的钢厂正联合研究用于实验性核反应堆的超导磁体的结构材料。这种材料在极低温度下必须具有高的强度和韧性，并且没有磁性。一种新型的含氮Cr-Ni奥氏体不锈钢符合这些性能的要求值：超低温下的抗拉强度达150kg/mm²并且在这样低的温度下韧性超过普通钢在通常温度下的值。

海洋开发

海洋是留给人类的最后领域之一。巨大和空旷的海洋表面吸引着建设多种用途的人造岛，海底下的石油、天然气和矿产资源几乎没有开始采掘。

对深海处的人造岛，正在探索新的建筑技术，同时寻求适宜的耐海水腐蚀结构材

料,包括复合材料。为了进一步开发海洋资源,对宜于在深海石油/天然气钻井装置用的钢材和宜于用在深度达2000~7000m的海洋探查的潜水构件用的钢材的需求正在增长。已经开发了在深处绷紧钻井装置用的高强度钢丝,具有潜水器外壳用高强度钢同样的强度($>100\text{kgf/mm}^2$)。

空间探索

将许多专门技术领域的新发展综合起来是探索和利用外层空间的关键因素。这一领域的发展致力于两个方面:进一步发展空间运输系统和空间应用技术。

为了进一步发展空间运输系统,壳体结构的韧性和耐热性是研究的目标(同时还有更高推力的发动机和高度精密的感应控制系统)。有关材料开发的努力将着重于用作火箭和航天飞机薄壁结构材料的轻型高强度材料;发动机部件用的超耐热材料和为防止空间运载器在高速返回地球大气压时发生破坏的屏蔽材料。

为了这些使用目的,正在研制很多特种

钢和复合材料。例如有高强度(100kgf/mm^2 或更高)钢和陶瓷/金属复合材料,以及经济的以沥青为基的碳纤维。

最初开发的由一个高技术产业应用的材料不一定仅限于此领域使用。例如为核反应堆开发的材料工艺可以应用到其它新的技术领域,如高速线性马达,它要求超低温强度和良好的无磁特性;还有医护用的MRI和电能贮存系统。

含有铝基陶瓷析出物的不锈钢作为一种超耐热材料很引人注目,也有希望成为耐久的人造齿材料。

微米级直径的超细不锈钢纤维广泛地用作电干扰器的抗静电材料、外壳用耐热材料和超高精密过滤器用材料。它们的多种适用性在于具有传导性、耐蚀性、耐热性和不锈钢的强度,加上灵活性和容易加工等良好的综合性能。

赵量译自《Steel Today & Tomorrow》,1989, April-June, 4~7

特殊钢连铸的发展方向

В.А.Коржавић等

鉴于汽车制造业和动力工业的迅速发展,有充分的理由认为,世界特殊钢(其中包括耐蚀钢)的产量将在最近几年高速增长。

掌握钢的连铸是七十至八十年代钢的冶炼生产领域中最重大成就之一。

1986年世界连铸钢的比例为50%,西欧各国为70%,日本为90%。据推测,到2000年世界钢的连铸比将达到钢总产量的93%。日本特殊钢转向连铸的发展速度很快,那里73%以上的合金钢采用连铸。1978~1982年期间用连铸机浇铸的特殊钢数量增加五倍,为一千万吨。1986年初日本用连铸机浇铸了

转炉冶炼的85.2%的特殊钢,电炉冶炼的61.3%的特殊钢。

美国几乎所有用作板材的工具钢和电工钢、耐蚀钢和耐热钢,以及用作型材的耐蚀钢均用连铸机浇铸。

1984年世界生产的八百万吨耐蚀钢中,约六百四十万吨是用连铸机浇铸的。

据认为,连铸机可以浇铸约85%的各种牌号钢,当前存在扩大连铸钢品种的大量工作。浇铸对裂纹敏感的特殊钢,其中包括含2%Ni和1%以上Cr的工具钢及含大量Mo和W的钢,目前出现一定的困难。

根据国际钢铁研究所的资料,估计80%

以上的造船钢、结构钢、奥氏体耐蚀钢和60%左右用来制造在压力下工作的制件的特高强度X70级钢和用作造船厚板的细晶粒钢，都可以用连铸机浇铸。

为了获得优质的特殊钢连铸坯，必须解决一系列课题：建立可靠的连铸设备；连铸坯壳的形成；从结晶器中拉坯；选择钢水温度和化学成分微调方案；防止钢水二次氧化；对钢水的物理和物化作用，其中包括变性处理和微合金化，电磁搅拌，二次冷却，应用最佳的造渣剂等。

由于上述一连串技术和工艺课题得到了解决，目前已可用连铸机浇铸所有牌号的耐蚀钢，包括对裂纹最敏感的奥氏体钢。

用于浇铸耐蚀钢的连铸机：1965~1972年间日本投产10台，1975~1984年间西欧投产10台，1970~1982年间美国投产6台。

近十年来西欧和日本的许多公司在研制和建造特殊钢连铸机方面取得了很大的成就。例如1980~1981年间西德克虏伯钢公司的波鸿厂和蒂森特钢公司的克雷费尔德厂投产了用来浇铸截面为865~1650×220~260mm和800~1600×150~280mm板坯的弧型连铸机。两台连铸机都是单流式的，其特点是：铸钢包—中间包—结晶器区段钢水的防护性好，采用了在高的振动频率（200 min⁻¹）下振幅小（约4mm）的可调结晶器。表面未经清理的冷轧带钢的轧制结果表明，连铸机可以浇铸大部分钢。

法国于吉纳-格尼翁公司的阿尔杜瓦斯厂，1983年投产了用来浇铸截面为160×800~200×1620mm奥氏体、铁素体和马氏体类不锈钢板坯的瑞士《Concast》公司的单流弧型连铸机。该机备有容量为13.2t的中间包。结晶器含有宽度可调的隔板和防止跑钢的系统。铸坯的矫直是在曲率半径为10.75；13.5；18.3；28m的四点内进行的。铸速为1~1.3m/min，最低可调速度为0.25m/min。

日本千叶厂在1号曲线型单流连铸机上安装了新的设备，用来浇铸特殊钢板坯，其中包括耐蚀钢，高碳钢，高、低合金钢的板坯。

尽管基建投资费用高和连铸机的高度大，仍在建设立式连铸机。英国钢公司已决定在斯托克布里奇厂采用四流立式连铸机。该厂95t电炉除了碳素钢、锰钢、铬钼钢外，还冶炼轴承钢，弹簧钢，超高和良好可加工性的结构钢，耐蚀钢。

选择立式连铸机是考虑到它可消除曲线型连铸机浇铸时在铸坯中所形成的特殊缺陷。在铸钢包—中间包区段钢水流的防护是利用陶瓷管实现的，而在中间包—结晶器区段则是用氮气（浇铸侧面小于140mm的小断面坯时）保护和采用塞杆调节的浸入式水口（浇铸大型坯时）保护。

日本山阳特殊制钢姬路厂投产了一台用来浇铸特殊钢的带直角结晶器的立式连铸机。该机的设计生产能力约为60万吨/年。该厂拟将合金钢的连铸比增加到65%。

顿河黑色冶金研究所、国家冶金工业科学研究设计院及顿涅茨冶金工厂共同研制和建设了一台用来浇铸各种各样钢种的板坯和型材坯的新的倾斜—直线式连铸机。顿涅茨冶金工厂的试验型工业连铸机的操作结果表明，连铸机的直线轴与地平面的倾角为30°时，有利于提高铸坯的质量和扩大所铸钢种（包括低塑性、对裂纹敏感的钢种）。同时，铸速提高到1.5~2倍。

采用水平连铸机来浇铸特殊钢，目前具有很大意义。二十年来，水平连铸机的发展经历了从实验装置到高效率工业装置的道路。

到1985年世界共投产了43台用来浇铸碳素钢，结构钢，奥氏体、铁素体和莱氏体类低、中、高合金钢方坯（侧面55~250mm）或直径25~330mm的圆坯，直径3~12mm的丝和棒材，尺寸25~50mm的圆棒或方棒

的水平连铸机。最近五年已投产的用来浇铸特殊钢的水平连铸机超过十台。

在主要的工业水平连铸机中最有前途的是带活动结晶器和连续拉坯的连铸机，以及两面拉坯的连铸机。

水平连铸机主要安装在小型钢厂和炉子功率不大的电炉炼钢车间，并用来浇铸小断面坯。最近几年在水平连铸机的发展方面存在的趋向是增加铸流数。最近五年建造的水平连铸机中双流水平连铸机的台数增长3倍。美国阿姆科钢公司，捷克的维特科维茨钢厂，澳大利亚联邦钢公司的沃拉塔厂都分别于1984年和1986年先后投产了双流水平连铸机。

目前世界的水平连铸机已能生产直径在430mm以内的特殊钢铸坯，截面为 90×200 mm的板坯， 185×320 mm的初轧坯和侧边为250mm的方坯。

用水平连铸机浇铸截面为 12×305 、 25×610 和 25×1020 mm的工具钢板坯的工艺和直接浇铸中空管的工艺的研制计划正在完成。

未来几年用截面为135~175mm的工具钢、轴承钢和耐蚀钢连铸方坯生产小型材和盘条仍然具有很大优点。

将来特殊钢金属产品的成本可望下降。在这方面备有新的冶炼机组、炉外精炼设备和与水平连铸机联合的现代轧机的、专门生产碳素钢、耐蚀钢和镍基合金等的小型钢厂，将起到很大作用。

水平连铸机浇铸领域的进一步试验研究将主要面向：使各种特殊钢和合金铸坯的浇铸工艺最佳化；增加铸坯的各种规格尺寸的数量和研制提高钢的物理化学均匀性的新方法。

在特殊钢连铸的现代发展趋势中应当特别指出，用可以获得尺寸接近成品轧材的带式、滚筒式和其他形式连铸机浇铸板坯、带和钢箔的工艺研制积极性正在增长。英国、

西德、日本、美国和法国在特殊钢薄板坯和扁材连铸领域都制定了科学试验研究和设计研究计划。国外的许多公司都在研究用连铸机生产各类连铸坯，如25~40mm厚的薄板坯，5~15mm厚的热轧厚扁钢，厚度小于10mm的冷轧扁钢和成品形式的薄钢板。

《日本钢管》和《新日本制铁》研制了用双辊式连铸机浇铸厚2~5mm的耐蚀钢带的生产工艺。美国阿·勒德隆公司正在研制用单辊式连铸机浇铸厚0.75~1.0mm、宽610mm的耐蚀钢带的连铸工艺，其铸速为0.15m/min。该公司浇铸了首批1.5 T SUS 304钢，并获得了厚0.75mm的钢带。不久这种方法将投入工业规模生产。

西欧、日本等许多公司在薄板坯和扁钢连铸领域所取得的成就具有重要意义。1989年西德施勒曼-西马格公司在美国纽科尔公司的参加下拟投产铸坯弯曲的立式连铸机，用来浇铸截面为 50×1350 mm的板坯，铸速为6m/min。日本《住友金属工业》和美国的《哈泽莱特铸钢》公司投产了第一台双带式工业连铸机，用来浇铸截面为 $30 \sim 50 \times 600$ mm的耐蚀钢优质板坯，铸速为4~6m/min。法国研制成用于浇铸厚6~9mm钢带的双辊式连铸机，铸速为 ≤ 50 m/min。

最为有效的是用带有两个铸造轮的轮式连铸机浇铸难变形合金薄带的工艺。用类似的连铸机试浇出SUS 304(18%Cr、8%Ni)耐蚀钢薄带。

通过使结晶器振动参数最佳化（高的频率和低的振幅）来降低连铸坯清理时金属损失的研究工作在继续进行。目前带有短杠杆装置的立式和弧型连铸机所采用的结晶器振动机构可使结晶器的振动频率达到 400min^{-1} 。

不同公司的水平连铸机的拉坯制度变化范围很大。日本《住友金属工业》和《神户制钢》公司连铸机的平均拉坯周期频率为30和 50min^{-1} 。日本《钢管公司》连铸机的最

低拉坯周期频率则为 120min^{-1} 。美国SCE公司的连铸机为了降低振动痕迹的深度,允许的最低频率为 250min^{-1} 。西德曼内斯曼-德马格公司的连铸机的拉坯周期频率约为 200min^{-1} 。日本《钢管公司》京滨厂于1983年投产的、用于浇铸耐蚀钢和高合金钢(SUS 304, SUS 405, SUS 329J1和NCF 825)的水平连铸机在最大铸速为 $4.0\text{m}/\text{min}$ 时,拉坯周期频率为 $120\sim 150\text{min}^{-1}$ 。拉坯周期频率在 $100\sim 200\text{min}^{-1}$ 范围被认为是最合理的。根据曼内斯曼-德马格公司的专家预测,今后拉坯频率将为 $200\sim 300\text{min}^{-1}$ 。

为了使特殊钢连铸坯获得均匀的铸造组织,大多数连铸机对钢水均采取了电磁搅拌。西德齐根厂在六流弧型连铸机上用不同的搅拌方法浇铸特殊钢型材坯所作的工业试验表明,在结晶器下面直接安装电磁搅拌装置,可使连铸坯组织获得很大改善。

西德、美国和日本的一些公司在各自的连铸机上采用了一种在结晶器出口处装上电磁旋转器的最简单的搅拌系统。

为了改善铸坯的内部组织(消除柱状晶的轴向带),提高铸坯表面质量和节省电能,日本的一些公司沿铸坯不凝固部分的中心线安装了若干感应器。若将中间包的钢水温度过热约 50°C ,并与这种搅拌方法相结合,便能减少高合金钢铸坯的内部裂纹数量。

奥地利卡普芬贝格厂随着采用奥钢联-阿尔卑斯公司研制成的、具有强和非对称磁场特点的线型感应器,并使水平连铸机中间包的钢水过热温度保持在同一水平上,浇铸成了截面为 $106\times 106\text{mm}$ 的特殊钢(合金钢,耐蚀钢,工具钢)铸坯。铸速为 $3\text{m}/\text{min}$,相当于约 $15\text{t}/\text{h}$ 钢。

除了电磁搅拌以外,还可以通过变性处理来实现对连铸钢水结晶过程的控制。例如《亚速》钢铁公司对用于生产大口径管的 $09\Gamma 2\Phi\text{B}$ 钢,用含硅钙合金的粉末带在双流

曲线型连铸机的中间包内进行处理,使 -15°C 下的钢的冲击韧性由101提高到 $160\text{J}/\text{cm}^2$,提高了钢的组织均匀性和螺旋焊管的合格率。

德聂伯彼得罗夫斯克冶金学院的立式连铸机在浇铸过程中用硅铁基的粉末丝在直径 140mm 的结晶器内对铁素体类耐蚀钢03X18进行变性处理,使中心疏松和裂纹得以完全消除,柱状晶带减少,连铸钢的高温塑性提高到1.7倍。

若改进冷却系统,除了提高连铸坯的表面质量外,还可以在铸坯中保留为实现热装所需的尽可能大的热量。西德曼内斯曼公司研制了各种不同结构形式的带冷却水道的高强度辊子。目前曼内斯曼-德马格公司应用上述研制的辊子按照干法铸造工艺浇铸了对表面裂纹敏感的钢,铸坯不经火焰清理而直接送往轧制。

特殊钢连铸机出现了广泛采用自动化系统的趋向,以保证提高连铸机生产率、产品质量、操作可靠性和改善劳动条件。

西德克虏伯公司电炉炼钢车间采用的对主要工艺过程进行自动控制的连铸技术,保证了浇铸的稳定性,提高了铸坯的表面质量,并改善了宏观组织。

法国洛林-南方连铸公司的工厂应用计算机模型调节连铸机的工作参数,并利用自动化涡流装置在线控制连铸板坯的质量,保证了90%的板坯在热态下送往轧制。

进一步提高特殊钢连铸的效率,还可以采取缩减从铸坯到成品轧材的中间加工工序,尤其是实现铸坯的直接轧制和研制连铸-连轧工艺的办法。如果说型材坯的连铸-连轧问题尚待研制完全新的工艺方案,那么对于薄板坯则已经建成结晶器可与所铸坯同步移动的连铸机,而铸速则是以将其送往现代轧机。这种将薄板坯连铸和将其热轧成薄带钢的工艺相结合起来的设备,是由西德曼内斯曼-德马格冶金工程公司、施勒曼-西马格公

09Г2С钢的性能改善和推广应用

一、09Г2С钢板的性能与化学成分

09Г2С钢板是产量最大的低合金钢之一。为了寻求提高该钢机械性能的合格率, А.С. Пикунин等人^[1]研究了钢板性能与化学成分之间的关系。根据机械性能与钢板厚度、个别元素含量及综合元素含量之间的对应关系, 多重相关系数的比较结果(见表1)表明, 其综合作用对极限强度影响最大,

对延伸率和屈服强度影响也很显著, 并且以锰含量的影响最强烈, 与碳的相关性比与锰的相关性要小些, 在正火状态与碳的相关性比与硅的相关性还弱。在所有情况下, 都确定了机械性能与铬含量之间可靠的依赖关系。

强度(特别是极限强度)与磷含量有密切关系, 对热轧钢板影响极大。钛对正火状

表1 09Г2С钢板的机械性能与化学成分及钢板厚度的相关性

t, mm	性能	机械性能与下列变数的成对相关系数										多重相关系数 R
		C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Cu	Ti	h	
热轧状态												
6~20	σ_T	0.266	0.264	0.157	0.039*	0.177	0.115	0.043*	0.016*	0.144	-0.170	0.413
	σ_B	0.368	0.541	0.300	0.103	0.332	0.171	0.030*	0.081	0.206	-0.108	0.633
	δ_5	-0.124	-0.301	-0.166	-0.094	-0.187	-0.108	-0.099	-0.074	-0.124	-0.358	0.481
正火状态												
8~20	σ_T	0.247	0.337	0.266	-0.072*	0.149	0.132	-0.023*	-0.033*	0.318	0.119	0.459
	σ_B	0.238	0.428	0.349	-0.040*	0.172	0.157	-0.028*	-0.058*	0.290	-0.009*	0.531
	δ_5	-0.108	-0.321	-0.286	0.018*	-0.039*	-0.108	-0.015*	-0.030*	-0.227	-0.146	0.413
8~50	σ_T	0.219	0.348	0.255	0.038*	0.194	0.119	0.053*	0.017*	0.162	0.141	0.415
	σ_B	0.191	0.449	0.370	0.041*	0.226	0.129	0.089	-0.027*	0.174	-0.050*	0.515
	δ_5	-0.149	-0.317	-0.283	-0.031*	-0.105	-0.094	-0.055	-0.094	-0.136	-0.278	0.439

* 相关系数不大

态8~20mm厚钢板的机械性能影响最大, 这类钢板的性能与钛含量的相关系数要比与碳含量的相关系数大得多。对于更厚的钢板来讲, 机械性能与钛含量之间的关系则不太大。钢的延伸率与钢板厚度的关系最密切, 并且在热轧状态其相关性更加显著。

尽管磷对钢板强度影响极大, 但考虑到不可能利用磷来改善强度性能, 因此提出了下列不包括磷的回归方程, 可用来估算钢板(8~20mm)的机械性能:

$$\sigma_T = 281 + 324C - 36Mn - 1.24h + 59Cr + 246Ti;$$

$$R = 0.395; \quad (1)$$

$$\sigma_B = 300 + 114Mn + 471C - 1.21h + 87Cr + 292Ti;$$

$$R = 0.613; \quad (2)$$

$$\delta_5 = 42.5 - 0.35h - 7.1Mn - 6.5Cr - 14.1C - 25.2Ti;$$

$$R = 0.465. \quad (3)$$

对于所有厚度范围(8~50mm)的正火

态钢板机械性能的回归方程式如下：

$$\sigma_T = 252 + 57Mn + 247C + 335Ti, R = 0.402; \quad (4)$$

$$\sigma_B = 350 + 76Mn + 355Ti + 216C + 47Si, R = 0.489; \quad (5)$$

$$\delta_5 = 40.1 - 4.4Mn - 0.04h - 30.7Ti - 5.0Si - 12.0C, R = 0.422. \quad (6)$$

对于热轧状态的6~20mm厚钢板，得出了判断机械性能的下列方程：

$$\sigma_T = 281 + 324C_T - 1.24h,$$

式中 $C_T = C + 0.11Mn + 0.18Cr + 0.76Ti$;

$$\sigma_B = 300 + 471C_B - 1.21h,$$

式中 $C_B = C + 0.24Mn + 0.18Cr + 0.62Ti$;

$$\delta_5 = 45.2 - 14.1C\delta - 0.35h,$$

式中 $C\delta = C + 0.50Mn + 0.46Cr + 1.79Ti$;

正火状态的8~50mm厚钢板的机械性能估算方程式：

$$\sigma_T = 252 + 247C_T,$$

式中 $C_T = C + 0.23Mn + 1.35Ti$;

$$\sigma_B = 350 + 216C_B,$$

式中 $C_B = C + 0.35Mn + 0.22Si + 1.64Ti$;

$$\delta_5 = 40.1 - 12C\delta - 0.04h,$$

式中 $C\delta = C + 0.37Mn + 0.42Si + 2.56Ti$ 。

通常可借助于碳当量来估算钢板的机械性能，也可以按屈服点碳当量确定对钢成分的要求。图1和图2是按方程式(1)和(4)绘制的列线图，可根据任一炉号的钢包分析结果，从列线图求出一定厚度钢板的预期屈服强度。

钛是09Г2С钢的重要元素，其含量对热轧钢板冲击韧性影响极大，10~20mm厚的含钛钢板正火后可显著提高高温下的冲击韧性。钢中含钛高(0.021~0.03%)的钢板比含钛低(<0.01%)的钢板，强度性能大约高20N/mm²，从而保证了板材合格率从82~84%提高到了100%。

二、在电炉中的熔炼

因为钢中氮对钢的韧性损害很大，为了尽量降低氮，炼钢时所用炉料按熔化后碳含

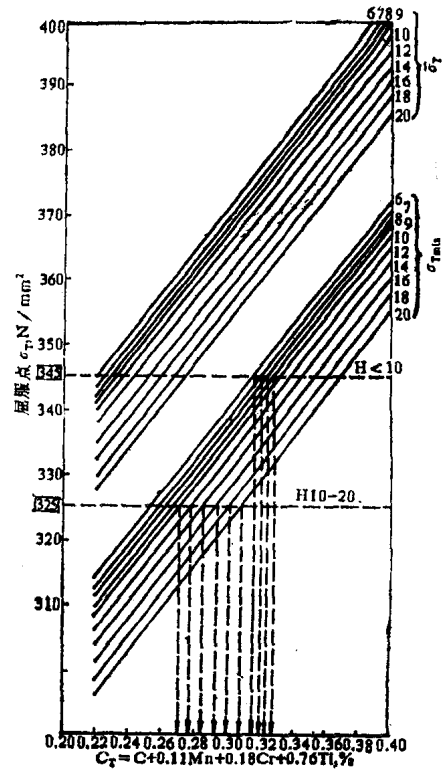


图1 预测热轧状态09Г2С钢板平均屈服极限($\bar{\sigma}_T$)和最低屈服极限值(σ_T^{\min})的列线图
直线上的数字是指钢板厚度mm; H<10和H10~20分别表示厚度<10mm和10~20mm钢板的炉号

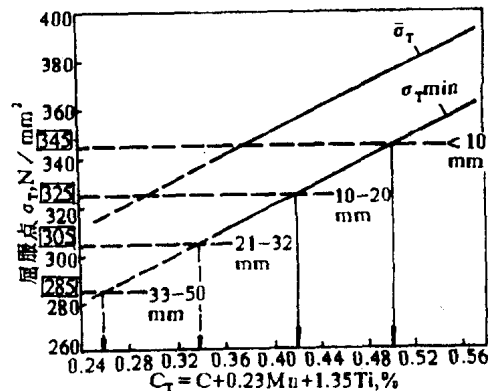


图2 预测正火状态09Г2С钢板平均强度值和最低强度值的列线图

数字分别表示厚度<10mm和厚度为10~20、21~32、33~50mm的钢板的炉号

量不低于0.3%计算。С.Д.Лишак等人〔2〕

在100t电炉中熔炼时，为强化熔池沸腾和形成泡沫渣而往熔池中添加铁矿石球团、石灰和焦炭，并在脱碳过程中吹氧，可保证出钢前钢水含氮不超过0.007%（见图3）。

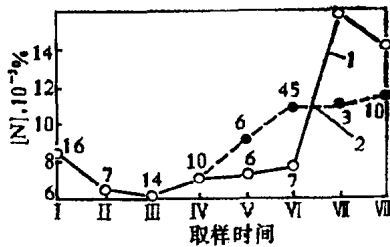


图3 在精炼过程中钢水含氮量的变化

1是不加钛的，2是加微量钛合金化的。点旁的数字代表熔炼的炉数。I是熔化期；II和III是氧化期和氧化期之后；IV是出钢之前；V和VI是吹惰性气以前和以后；VII是铸造钢坯；VII角材

往钢中添加微量钛可使氮形成对机械性能损害不大的氮化钛。研究结果[2]证明只有钛浓度不低于0.012%时在钢中才能形成氮化钛。并根据试验数据整理得出了表明化学成分对极限抗拉强度(σ_B)和屈服点(σ_T)有显著影响的下列关系式： $\sigma_B = 19.6 [Mn] + 95.7 [C] + 21.7$ ； $\sigma_T = 19.9 [Mn] + 96 [C] + 12 [Si] - 14.2$ 。说明钢的强度特性与其化学成分密切相关，而且化学成分（Mn含量）的波动可能导致 σ_T 的降低（见图4）。

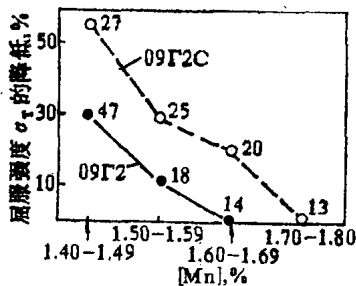


图4 屈服点降低的09Г2С和09Г2钢的炉数与其成品钢含锰量之间的依赖关系（点旁数字表示炉数）

根据所获得的数据，制定出加钛铁2.5~

3.5kg/t钢并在出钢前预先在热钢包底部装入一批硅锰合金料的微合金化工艺，并且在精炼装置上调整化学成分。本工艺可使09Г2С钢经过机械时效之后的冲击韧性合格率提高30%（总炉数），冲击韧性和氮含量的合格率为100%。

三、09Г2С钢的推广应用[3]

铁素体-马氏体组织的09Г2С钢比铁素体-珠光体组织钢，在同样的强度水平下具有更高的塑性。铁素体-马氏体09Г2С钢具有高的塑性和低的屈服点（ $\sigma_{0.2} / \sigma_B \approx 0.6$ ）是利用冷冲压加工这类钢时的最大优点。但是用于制造不需要冷冲压的结构件（如建筑结构物，管件等）时，低的屈服点却成为增加金属消耗量的原因。因此，提高铁素体-马氏体09Г2С钢的屈服强度，就能够更广泛地用于制造各种要求断裂韧性储备系数较高的结构物。

Л.И.Тушинский等人[3]研究了热轧铁素体-马氏体组织的09Г2С（含C 0.11%，Mn 1.4%，Si 0.6%，S 0.027%，P 0.025%）钢板（厚度8mm），通过调整热塑性强化处理使组织细化和形成亚结构来改善其性能的可能性。图5a示出了这种双相钢热处理的基本示意图。

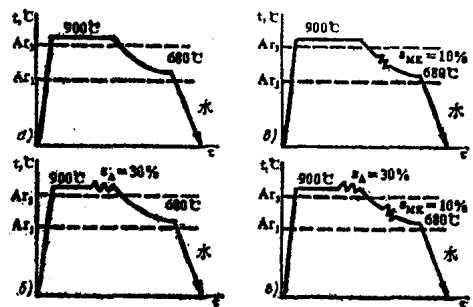


图5 钢的热处理示意图

- a—不采取变形加工的基本热处理（双相组织钢—ДС）；
- б—在奥氏体区采取变形加工的（细晶双相钢—ДСМ）；
- в—在临界间温度区采取变形加工的（具有亚结构的双相钢—ДСС）；
- г—采取调整热塑性强化热处理的（具有亚结构的细晶双相钢—ДСМС）

本方法，这种基本方法是首先在奥氏体化温度（ $T_a=900^{\circ}\text{C}$ ）保温，冷却到临界间温度（ $t_{mk}=680^{\circ}\text{C}$ ）并保温来完成由奥氏体析出铁素体的过程，随后水淬，即可获得铁素体-马氏体组织（含大约30%马氏体）。

按图56和B的制度，在奥氏体温度区和临界间温度区将09Г2С钢加以变形加工后发现，只有在奥氏体区变形的强化处理能够使双相钢的组织显著细化。性能显著提高，但面缩率稍有降低。因此，开发了在奥氏体化区和临界间温度区加以变形的热塑性强化处理，可获得最佳的效果，即是可使钢的晶粒组织显著细化，同时在铁素体中形成亚结构。与按标准制度处理的钢相比，可使应力强度系数的阈值提高一倍。在循环载荷下的疲劳裂纹扩展速度减低44%以上。与此同时，

极限抗拉强度 σ_B 由800提高到880N/mm²，屈服强度 $\sigma_{0.2}$ 自540提高到650N/mm²，而延伸率 δ 自17增加到19%。

因此，具有铁素体-马氏体组织的09Г2С钢，采取调整热塑性强化处理，可显著提高其结构强度指标并可改善塑性，为其作为建筑结构物和管道等要求高强度的结构材料打开了广阔的应用前景。

参考文献

- [1] А.С.Пикулин等，《Сталь》，1989，№4，72~76
- [2] С.Д.Лишак等：《Сталь》，1989，№2，41~42
- [3] Л.И.Тушинский等：《МиТОМ》，1988，№9，19~23

耿文范 编译

汽车用钢发展动向

为使钢铁材料更好地满足汽车工业的新要求，钢铁生产厂家的基本想法是克服钢材的固有缺点（重量大和易生锈）和充分发挥钢的优点，特别是它的高强度和低成本。因此，研究开发汽车用钢产品的主要目标是：

- （1）提高薄钢板的强度，以减轻车体重量；
- （2）开发涂层钢板和后处理方法改善防锈性；
- （3）提高排气系统用材的高温抗力和耐蚀性；
- （4）通过研制钢和其它材料相结合制成复合材料产品（例如，钢/塑料复合材料）来获得新的材料性能（减轻重量和防振）；
- （5）开发能使汽车厂减少生产工序或汽车生产中使用方便的新材料。

汽车用钢材开发的主要进展简要地叙述如下（着重于新产品）。

冷轧钢板

汽车冷轧钢板的主要研究课题通常是更高的质量和更低的价格。为了节约能源，汽车制造厂近年来突出地探求较轻的车辆。在新开发的冷轧钢板中，目前最令人瞩目的有

以下几种。

超深冲冷轧低碳钢板

通过向超低碳钢添加Ti和Nb元素或者在炼钢阶段采用退火脱碳的方法来生产翼子板、后侧板和其它外车厢板及油盘用的超深冲优质钢板。这些钢板可以省去模压成形，能整体冲制成复杂的形状。

涂润滑剂的冷轧钢板

已开发出来的这种产品可满足对更好冲压成形性钢板的要求，它是用辊涂法或其它方法将很薄和均匀的特制润滑剂涂到热轧或冷轧薄钢板上，使之具有更好的冲压成形效率和更高的防锈性能。润滑剂能容易地去除，不会粘到模具上。这些优点赢得了用户对产品的高信誉。

高强度冷轧钢板

高强度冷轧钢板目前占整个应用的冷轧钢板的30~40%。所用的典型钢种对需要抗压痕的外面板，强度为35~40kgf/mm²；对内面板为40~45kgf/mm²；对防振构件为

60~100kgf/mm² (有120~140kgf/mm²的在试用)。这些钢板可以一般冲压用; 深冲用; 超深冲用; 或具有低屈服比; 和烘烤硬化用。

热轧钢板

车架和底座增强件用的热轧钢板已成为制钢厂努力减轻车重的另一目标。为此, 已采用了抗拉强度为50~60kgf/mm²的高强度钢板来代替普通的32~45kgf/mm²的热轧钢板。

已开发出了不仅具有高强度, 并且能满足高加工性、焊接性、疲劳强度和化学处理适应性要求的钢板。这是采用了如清洁钢生产工艺(有利于去硫, 得以改善加工性、焊接性和其它性能); 连铸工艺(能生产成分和质量均匀, 元素偏析小的钢)和控冷工艺(轧后快冷和精确控制冷却速度)的结果。

涂层钢板

随着对机动车辆要求更高的耐久性和更长的使用寿命, 防止车体、油箱和排气系统

的锈蚀变得十分重要。为此目的, 目前采用各种类型的涂层钢板, 如下表所示。下面介绍的是较新型的涂层钢板。

热浸镀锌钢板

热浸镀锌钢板通常镀锌层较厚。早先, 认为它们不适于用作车体外面板, 因为它们的涂漆性差和焊接时效率低。然而, 由于对汽车外面板的防腐蚀性标准越来越严格, 汽车厂对热浸锌板的兴趣增加。尤其是热浸Fe-Zn合金板和热浸双层Fe-Zn合金板大量用于外面板。它们的特点是涂漆性和焊接性好, 并且有良好的耐蚀性。

热浸Fe-Zn合金板的涂层是由Fe-Zn合金组成。这种薄板有一个硬的、凹凸不平(显微镜下)的表面, 并且熔点高, 所以涂漆性和焊接性都好。

双层热浸Fe-Zn合金钢板的特点是底层为高耐蚀性的富Zn的Zn-Fe合金, 表层为涂漆性好(和冷轧钢板相当)的富Fe的Fe-Zn合金。

汽车用的主要涂层钢板

涂层钢板的特性和用途	镀锌板						热浸镀锌	热浸镀铅锡	电镀铜	有机涂层	
	热浸镀锌	热浸镀锌铁合金	热浸镀锌铁合金(双面镀)	热浸镀锌合金	电镀镀锌	电镀镀锌合金				有机复合涂层	Zincrometal
特性	涂层厚, 高耐蚀	上漆性, 上漆后耐蚀, 可焊性	上漆性, 涂层厚, 高耐蚀	耐热, 热反射性	广泛用基础材料, 表面光滑	耐蚀, 上漆后耐蚀, 可焊性	耐热, 多样性	不上漆耐蚀, 锡钎焊性	铜钎焊性, 锡钎焊性, 宜作涂覆材	不上漆耐蚀, 加工后耐蚀	不上漆耐蚀
主要用途	车体外面	✓	✓	✓	✓	✓				✓	✓
	车体内面	✓	✓	✓	✓	✓				✓	✓
	油箱				✓	✓		✓			
	排气系统	✓					✓				
	其它构件	✓			✓	✓		✓	✓		

电解Zn合金涂层钢板

电镀锌法生产的涂层钢板的特点是镀锌层均匀, 表面光滑。无论是单面镀锌或差异镀锌都容易做到。由于这些优点, 它们大量用于汽车构件。当前, 日本钢厂开发的几

种独特的镀锌板特别引人注目。它们的镀层很薄, 实际和普通电镀锌层相同, 涂层厚了, 通常对冲压成形、焊接性和其它性能都有害。这类产品还有好的耐蚀性和油漆与钢板的粘着性。

Zn-Ni型：Zn-Ni合金涂层板的耐蚀性是普通电解镀Zn板的2~3倍，并且其焊接性和抗粉化性（成形作业时常常发生）很好。

Fe-Zn/Zn-Fe（双层）型：这类产品由涂覆成分不同的两种Zn-Fe合金层组成。先镀的是富Zn合金层，利用锌的牺牲作用。后镀的是富Fe的合金层，它有利于控制化学处理膜的结晶化，免得钢板在遭到阴极电析涂层时产生陷穴。另一种也已经引用的是顶层为Fe-P层。这些双层合金涂层适宜于用作车体外面板。

其它类型：另一种Co-Zn-Ni合金涂层板，性能胜过上述的类型。此外，还开发了各种合金涂层钢板，包括Fe-Zn型、Zn-Co-Cu型、Zn-Mo-Co型和Zn-Mn型。

有机涂层钢板

汽车用的有机涂层钢板是可焊接的预涂层钢板，包括独特的有机复合涂层钢板。这是一种非常新式的预涂层板，是用一种含金属粉的可焊接有机涂膜加到用作基底金属的Zn-Ni-Co合金涂层上制成的。这种涂层板有优良的冲压成形性、焊接性和耐蚀性。

镀锡钢板

镀锡板是在电解镀镍钢板上用热浸法再涂以铅和锡的合金制取的。它广泛用于汽车油箱，从安全角度考虑，这是最重要的部件之一。

镀铝钢板

热浸镀铝钢板具有很高的耐热和耐蚀能力，主要应用于排气系统。用钛镇静钢作基底金属，还可得到更耐热的镀铝钢板。它有一覆盖整个表面的稳定氧化物膜，并且有好的加工性。

钢管

无缝管、电焊管及其它用电弧焊、对接焊和冷拔制取的各种管材是许多汽车部件使用的材料，包括等速外向节的外罩、驱动轴、承轴球保持架、摇臂轴、传动齿轮轴、拉杆等。

碳素钢管和合金钢管

原先，碳素钢管和合金钢管都是高强度且壁很厚的无缝管。现今，由于电阻焊接工艺的进步，这些制品正用对接缝焊，使之满足薄壁（以减轻重量）和降低成本的要求。

降低噪音用的复合双壁管

这种管材是一种新产品，是在内、外管之间夹一层中间材料，然后对接缝焊成整体。它们兼有可加工性和减少噪音的能力。用来做排气管（主要是卡车）。中间层材料是玻璃布或不锈钢网。用的钢管可以由热/冷轧板、镀锌板、镀铝或不锈钢板制成，根据需要这些钢板还可有选择地组合。

特殊钢、不锈钢和其它

汽车中的许多部件使用特殊钢。这些特殊钢的质量要求标准和保证水准包含两方面：一是涉及制品设计要求的性能，如强度、韧性、疲劳强度、耐磨性和耐热性；另一是采用的加工工艺所要求的性能，如塑性加工能力、机械加工性和热处理性能。大多数特殊钢制品以棒材或盘条供应，并经过诸如切削加工和冷或热锻造。

不锈钢主要用于排气系统和车体的装饰材料以及特种车用材料。特别对排气系统正使用镀铝不锈钢。

铁或钢粉也提供作为粉末冶金法制造汽车部件的原料。

高性能冷锻钢

许多冷锻件用作等速万向节，是前置发动机、前轮驱动车（旨在减轻重量）的重要部件。已经开发了多种这类冷锻件用钢。它们通过化学成分的最佳化和控轧控冷工艺，精密控制组织、硬度和其它冶金因素而被生产出来。这些钢包括低碳钢、超低碳退火钢和短时退火钢，已能使退火简化，模具寿命延长和用作难加工的冷锻件。

高质量齿轮钢

工业车辆的发展趋向是更高功率的发动机和更严格的服役条件，要求汽车齿轮在齿

基具有高强度。已开发了满足这一要求的高强度齿轮钢。还有易切削齿轮用钢（含均匀、弥散分布的铅）；能精密控制钢中析出物的数量并能防止晶粒尺寸变粗的高温渗碳钢；淬硬带窄的能控制因渗碳和热处理产生的畸变程度。所有这些钢都能满足对齿轮性能提出的多种和日益复杂的要求。

轮胎帘布用高强度线材

钢丝束带轮胎的应用继续稳步增长，同时要求轻型和高性能的轮胎。为适应此情况，轮胎帘布用的高强度线材的生产工艺已确立。其中有控制夹杂物形态的工艺。目前正在研究 $360\sim 400\text{kgf/mm}^2$ 超高强度帘布用线材。

铁素体19Cr不锈钢

这是一种经济、耐蚀钢，主要在造型上应用，在提高机动车形象方面是一个因素（十分强调外观时）。它不含贵重的钼，基本成分为（%）：19Cr、0.4Cu、0.4Nb。此产品因其经济和质量受到用户高度赞赏。

铁素体11Cr-Ti不锈钢

目前在车体防锈方面已取得大的进步，而排气系统寿命较短又向汽车厂提出了新问题。为解决这个问题，在排气系统（如消声器）广泛采用不锈钢。典型的是铁素体11Cr-Ti不锈钢，它具有耐热和耐蚀的双重优点。并且完全可以利用普通钢的生产工艺

来生产，所以成本较低。深受汽车厂欢迎。

复合材料

复合材料设计的基本思路是将不同性能和功能的材料组合成具有附加性能和功能的新产品。当前与树脂结合的钢板构成的复合材料受到注目。

轻型叠层板

此产品大量用于汽车顶面、发动机罩、行李箱盖、空气清洁器和其它构件。为了降低它们的重量而又不失去刚性，这种复合材料是在两层钢板间夹一层塑性树脂芯。根据使用要求夹芯材料有两类：普通温度下用聚丙二醇脂，高温下用尼龙。与相同刚度的普通钢板相比，新产品要轻30~60%。其它基本性能，如表面质量和冲压成形性与普通汽车钢板大致相同，可以在现有生产线上采用。

阻尼钢板

这类产品，用于防止噪音和减振，是在两张薄钢板之间夹一层很薄的粘-弹性树脂。它们充分发挥树脂的剪切变形作用，以吸收振动能，从而阻尼振动。这种材料还兼有强度、成形性和焊接性，目前用于汽车发动机的周边制品。

余力摘译自《Steel Today & Tomorrow》，1989, Special Editor, 5~

11

超纯3.5NiCrMoV低压汽轮机转子锻钢的研制

R. I. Jaffee等

1. 前言

对转子钢抗回火脆化的探索至少已有70年的历史。回火脆化特别与低压汽轮机转子用的NiCrMoV钢有关，它的使用温度在不变脆的条件下通常限于 350°C 。如果NiCrMoV钢长期处于 $350\sim 575^{\circ}\text{C}$ 温度范围内就

可能发生回火脆化，并且在制造中由于转子心部缓慢冷却也有可能发生回火脆化。

几年前大家已知道，在实验室冶炼的高纯度NiCrMoV钢可以避免回火脆化。McMahon证明，Mn、Si和P的组合对2 $\frac{1}{2}$ Cr-1Mo钢的危害比单独P更大。