

中国汽车工程学会 汽车材料分会 第21届学术年会会议文集

THE 21ST BIENNIAL ACADEMIC CONFERENCE SYMPOSIUM
ON MATERIALS COMMITTEE OF SAE-CHINA

中国汽车工程学会汽车材料分会 汇编

版权专有 侵权必究

图书在版编目 (CIP) 数据

中国汽车工程学会汽车材料分会第 21 届学术年会会议文集/中国汽车工程学会汽车材料分会汇编. —北京: 北京理工大学出版社, 2018. 9

ISBN 978 - 7 - 5682 - 6352 - 8

I. ①中… II. ①中… III. ①汽车 - 工程材料 - 中国 - 学术会议 - 文集 IV. ①U465 - 53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 216249 号

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (总编室)

(010) 82562903 (教材售后服务热线)

(010) 68948351 (其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京地大彩印有限公司

开 本 / 710 毫米 × 1000 毫米 1/16

印 张 / 24.5

彩 插 / 10

字 数 / 450 千字

版 次 / 2018 年 9 月第 1 版 2018 年 9 月第 1 次印刷

定 价 / 148.00 元

责任编辑 / 孟雯雯

文案编辑 / 孟雯雯

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 王美丽

图书出现印装质量问题, 请拨打售后服务热线, 本社负责调换

《中国汽车工程学会汽车材料分会 第21届学术年会会议文集》

编委会

主任：康明

副主任：马鸣图 周湛

主审：王勇

编委（按姓氏字母排名）：

包耀宗 陈功彬 董仕节

郭爱民 李飞鹏 李满良

刘继杰 陆匠心 路洪洲

邵亮 王智文 王文军

杨如松 张勇 张伟

张瑞萍 郑虹

中国汽车工程学会汽车材料分会

第 21 届学术年会

组 委 会

大会顾问： 敖炳秋 褚东宁 柏建仁 冯美斌
曹 正 蔡燮鳌 程世长 付俊岩
陈一龙

大会主席： 康 明

大会副主席： 马鸣图 周 湛

学术委员会（按姓氏字母排名）：

包耀宗	陈云霞	程兴德	曹红福
陈思杰	陈连峰	陈湘茹	董仕节
费 劲	郭爱民	高惠菊	韩星会
韩志勇	郝彦英	衡俐琼	胡树兵
黄泽民	蒋 青	蒋百灵	姜传海
金庆生	康 明	李飞鹏	李博鹏
李满良	李建平	李立军	李文胜
李晓刚	李 平	刘柯军	刘仁东
刘 正	刘永刚	刘 波	陆匠心
路贵民	马鸣图	蒙秋红	牛济泰
彭冬华	齐建军	单长伟	史文方
孙 华	唐新民	唐玉刚	万文华
王智文	王 勇	王 育	王 利
王全礼	王文军	王 旭	王海龙
魏元生	熊惟浩	熊 飞	严范梅
杨如松	杨维沛	于 笋	俞 雁
曾建民	曾大新	翟启杰	张 勇
张继魁	张 海	张 奎	郑 虹
周 湛	周志伟		

中国汽车工程学会汽车材料分会 第 21 届学术年会 组织机构

主办单位：

中国汽车工程学会

中国汽车工程学会汽车材料分会

江苏省汽车工程学会

承办单位：

江苏沙钢集团淮钢特钢股份有限公司

协办单位：

中信金属股份有限公司

支持单位：

淮安市科技局

汽车工艺与材料

中国汽车材料网

前 言

中国汽车工程学会汽车材料分会学术年会是汽车行业较有影响力的学术年会，每两年举办一次，已经连续举办了20次。为促进汽车材料技术的进步、发展做出了积极贡献。

本次年会的征文主题为“结构零件轻量化及可靠性”。大会还特别邀请国内知名专家参会，同时开设专家特邀报告和生产、应用和研究领域专题报告。

本论文集共收录论文44篇，涉及钢板、特殊钢、有色金属和理化检验与失效分析等专业领域，反映了近两年来汽车材料领域的最新发展、应用情况，对行业工程师具有一定的借鉴意义。

本论文集的成功出版，得到了江苏沙钢集团淮钢特钢股份有限公司的大力支持，中信金属股份有限公司、汽车工艺与材料编辑部、中国汽车材料网以及中国汽车工程学会汽车材料分会委员单位及委员的支持，为此特代表主办单位表示感谢！

由于时间较紧，疏漏之处在所难免，恳请读者批评指正。

目 录

- 1 汽车用钢的研究进展及相关问题的思考 马鸣图 (1)
- 2 980 MPa 级冷轧双相钢高温变形行为研究
..... 肖洋洋 詹 华 邹 英 景宏亮 (8)
- 3 5182-O 铝合金 VPTIG 焊接接头组织与性能分析
..... 张 伟 杨上陆 王艳俊 (15)
- 4 熔融制样-X 射线荧光光谱法同时测定硅铁中硅、铝、锰、钙
和钛 李 京 (23)
- 5 铋盐—抗坏血酸光度法测定铸铁中磷的研究
..... 马 红 向 洋 吴 莉 (28)
- 6 20CrMoH 钢环形锻件毛坯等温正火工艺试验探讨
..... 陈 郑 皇百红 杨亮波 张 宇 孙皖皖 (34)
- 7 车轮钢材料高周疲劳特性研究
..... 杨 荣 胡 飞 袁 飞 廖放心 (41)
- 8 低碳齿轮钢带状组织影响因素研究
..... 冯桂萍 李 刚 郭晓俊 赵 敏 刘金鑫 (49)
- 9 第三代先进高强钢 QP980 电阻点焊工艺性能研究 方友震 (57)
- 10 二苯基碳酰二肼光度法测定油漆中六价铬的研究 马 红 (73)
- 11 关于金属材料室温拉伸试验速率的综述
..... 洪语哲 王砚民 陈东涛 (81)
- 12 轨道压簧早期断裂原因分析 钱志涛 何 杰 朱延律 (85)
- 13 无损检测及金相检验在淮钢汽车用钢质检中的应用
..... 王树远 周振伟 顾永明 (93)
- 14 轧制比和 Nb 对 V-Ti 车削用非调质钢组织及性能的影响
..... 谭 利 吉 光 肖 波 郑力宁 周 湛 陈少慧 (102)
- 15 冷变形对 5A06 铝合金组织转变的影响
..... 张鑫明 冯继军 卢柳林 (109)

- 16 两种钢厂 CR780DP 钢表面耐腐蚀性能对比分析研究
 张 杰 缪 苗 张 勇 (119)
- 17 渗硫技术在变速器垫片的应用研究
 邵 亮 杨 林 赫建勇 赵润东 张昕辉 张弋飞 刘 华 (125)
- 18 变速器中间轴常啮合齿轮断裂分析
 刘 胜 汪秀秀 皇百红 高 勇 (131)
- 19 汽车发动机单缸和双缸缸体疲劳试验方法对比研究
 陈学罡 吴 鹏 夏广明 (138)
- 20 汽车钢淬透性检验稳定性分析 瞿晓刚 (150)
- 21 汽车排气系统用铁素体不锈钢的研究进展
 尚成嘉 张 伟 王学林 (158)
- 22 汽车金属材料表面涂镀层六价铬含量快速定量方法
 姜伟男 孙 硕 薛雅芳 赵 君 (177)
- 23 汽车金属材料的回收再利用研究 胡 曼 柳立志 (184)
- 24 汽车铝合金铸造零部件的晶粒细化研究
 路洪洲 张振栋 王 巍 王立生 郭爱民 刘春海 陈湘茹 (188)
- 25 某轿车稳定杆连杆失效分析 王子齐 栗 丽 (198)
- 26 汽油机挺柱磨损失效分析 张 薇 刘柯军 柳 超 (207)
- 27 轻量化金属材料在重型商用车上的应用趋势
 王琼霜 高亮庆 刘成虎 欧阳可居 王德财 刘 欢 占 炜 (215)
- 28 曲轴开裂拉瓦失效分析
 颜 婧 冯继军 余政宏 卢柳林 陈雷磊 高 勇 洪语哲 (224)
- 29 热冲压成型门环技术研究 张建芬 刘海文 于海波 (233)
- 30 设计夹具应用直读光谱法分析细丝样品中的元素 张金城 (244)
- 31 水泵叶轮疲劳开裂力学模型分析
 刘 瑶 常淑彤 常连霞 董笑飞 (250)
- 32 浅谈汽车轻量化技术和应用 李 俭 (259)
- 33 新型胀断连杆材料 46MnVS5 研究探讨 王连海 马 群 (270)
- 34 一汽乘用车冷轧薄板应用进展 柏建仁 (276)
- 35 一种热冲压成型铝硅镀层钢板涂装性能研究及热处理工艺
 评价 陈 明 (285)

- 36 一种商用车铝合金储气筒鼓包变形失效分析
..... 郑远宝 王德财 张 梅 (298)
- 37 用好喷丸强化提高车用齿轮弯曲疲劳强度 白 涛 (305)
- 38 高强钢 DP980 电阻点焊焊接性能研究
..... 付 参 张永强 伊日贵 鞠建斌 杨建炜 (315)
- 39 变速器铝合金后悬置支架断裂原因分析
..... 张 聪 刘佳宁 季 枫 王善鹏 (324)
- 40 预变形对 TWIP880 拉伸性能的影响
..... 马鸣图 Kim Dongun 王光耀 张筠萍 (333)
- 41 超高强度热冲压成形钢的发展 马鸣图 赵 岩 方 刚 (339)
- 42 汽车用高强韧球墨铸铁的发展 曾大新 何汉军 张元好 (349)
- 43 超纯铁素体不锈钢在汽车排气系统的研究及认证
..... 张 浩 周巧妹 叶盛薇 (363)
- 44 铸造镁合金发电机支架断裂原因分析
..... 曹 鑫 王本满 王道勇 (371)

汽车用钢的研究进展及 相关问题的思考

马鸣图

中国汽车工程研究院股份有限公司, 重庆 401122

【摘要】本文对汽车用钢的新近研究进展进行了概述, 提出了在汽车用钢的研发领域内需要深入认识的相关问题, 建议了近期内对汽车用钢进行研发的重点内容。

【关键词】汽车用钢; 材料性能; 零件的功能; 轻量化; 强韧性匹配

1 汽车用钢的研究进展概述

2000年以来, 中国汽车工业驶入了快车道, 每年都以两位数的速度增长。2009年产销达1 300多万辆, 此后, 产销量一直居世界首位。2017年, 产销量达到2 908万辆, 其中新能源汽车近80万辆。汽车工业的发展对汽车用钢提出了更高的要求, 从而带动了汽车用钢同步发展。特别是钢铁材料, 它是既保证轻量化, 又提升汽车安全性的性价比高的一种材料, 是其他材料难以替代的。随着汽车工业的发展, 我国从开发满足汽车需要的普通高强度钢发展到改进成型性、提高强度和延性匹配的第一代先进高强度钢, 其强塑积在15 000~20 000 MPa·%, 包括DP钢、CP钢、马氏体级钢、热冲压成型钢、TRIP钢, 目前这类高强度钢的生产已经形成了系列, 其中应用较多的为双相钢, 包括DP450、DP500、DP590、DP780、DP980、DP1180, 宝钢等单位已可以稳定生产。第二代高强度钢为孪晶诱发塑性钢, 强塑积为60 000 MPa·%。第三代先进高强度钢基本上为马氏体基的相变诱发塑性钢, 强塑积为30 000~40 000 MPa·%, 其中Q&P钢已可批量供货。其余钢种尚处于研发和试用阶段。在白车身上面, 高强度钢和先进高强钢的用量已经迅速增长, 如国产白车身中的软钢用量为26%, 双相钢或复相钢用量为34%, 高强度低合金钢用量为24%, 烘烤硬化钢用量为9%, 热成型钢和马氏体基钢用量7%。钢铁材料的发展为我国自主品牌白车身的轻量化和安全性的提升做出了贡献, 但白车身上用高强度钢的性能稳定性和一致性尚需提升, 我国自主品牌

的白车身用高强度钢的强度水平也需要提升。

在汽车轻量化用钢中,还包括悬架系统的轻量化,主要用弹簧钢。弹簧的设计应力远低于国外,弹簧钢的疲劳性能和夹杂物的粗细与国外有差距,影响弹簧设计应力的提升。在动力传动系统中,发动机曲轴用的非调质钢硫化物形态与国外有差距,不同炉次成分一致性的控制与国外有差距,国外不同炉次的非调质钢成分几乎相同,国内硫化物的长径比与国外有较大差距,影响曲轴的弯曲疲劳性能。胀断连杆用的非调质钢相关标准缺失,影响性能的控制和构件的疲劳性能。在后桥齿轮用的齿轮钢中,接触疲劳寿命和后桥齿轮的疲劳寿命与国外有较大差距,如国外SUV车后桥齿轮寿命超过60万km,国内一般为30万km。我国某车型后桥从动齿轮直径为 $\phi 240$ mm,而国外某车型后桥从动齿轮直径为 $\phi 205$ mm,重量降低了约15 kg。齿轮钢性能的一致性不如国外,从而影响了齿轮变形的差异,进而影响传动系统的噪声和振动。

2 汽车用钢有待进一步深入认识的问题

2.1 强度和轻量化的关系问题

按照拇指法则,强度提升就可减薄结构件用钢板的厚度,实现轻量化。

厚度和强度的关系为

$$1 - \frac{t_2}{t_1} = 1 - \left(\frac{\sigma_1}{\sigma_2} \right)^n$$

式中, t 为不同强度级别的板材厚度; n 为由变形形式所决定的常数,当零件承受弯曲力矩变形时, $n=1/2$; σ_1 , σ_2 分别为材料更替前后的流变应力,该应力可以是材料冲压变形时材料冲压变形量下的流变应力,也可是材料的屈服或抗拉强度。

减少材料厚度和实现轻量化必须考虑所制零件的压溃吸能,压溃吸能与材料抗拉强度、厚度的关系可用下式表示:

$$A_E = kt^2 \sigma_b^{2n} \quad (n=1/2 \sim 2/7)$$

式中, A_E 为压溃吸能; t 为厚度; σ_b 为抗拉强度; n 为常数,当材料承受纵向弯曲时, n 可取 $2/7$ 。

在汽车强度提升、厚度减薄进行轻量化时,还应考虑一个因素,即零件的刚度。对承受弯曲载荷的零件,刚度可用下式表示:

$$S_N^b = \frac{E_n}{E_0} \times \frac{t_n}{t_0} \times S_0^b$$

式中, E 为弹性模量; t 为厚度; S 为刚度。

厚度减薄还应考虑零件局部鼓胀失稳 (bulking) 抗力, 该抗力正比于零件厚度的立方。

$$\frac{L_n}{L_0} = \frac{E_n}{E_0} \times \frac{1 - \mu^2}{1 - \mu_n^2} \times \left(\frac{t_n}{t_0} \right)^3$$

式中, E 为弹性模量; t 为厚度; μ 为泊松比。

因此, 在强度提升、零件厚度减薄和轻量化时, 必须综合考虑零件的各种功能, 才能达到零件预期的轻量化效果, 使零件性能达到提升和满足。

2.2 超高强度钢的成型和工艺问题

目前国际上超高强度钢制件的成型有两种趋势, 一种成型方法是提高冷轧板或镀层板强度和延性的匹配, 以使材料在冷冲压成型时也可得到形状较为复杂的零件。日本一些汽车厂已经做了这方面的工作, 采用冲压成型时最高强度级别为 980 MPa, 辊压成型时可以到 1 180 MPa 或 1 500 MPa, 如门的防撞杆和保险杠等, 但需解决零件成型时的回弹、剪切时的边裂、冲压时局部变形量大的地方的开裂、超高耐磨性模具的设计加工等问题。另一种成型方法是超高强度钢的热冲压成型, 但这种成型方法需要零件的二次加热, 成型淬火模具设计结构复杂, 需要成型力学性能高的模具材料, 融成型工艺、相变、金相、流体力学、传热学等多学科为一体的模具设计技术。这种成型方法可使零部件获得抗拉强度 1 500 MPa 以上的超高强度性能, 根据不同的钢种, 目前已经做到 1 500 MPa、1 800 MPa 和 2 000 MPa 的超高强度热冲压成型零件, 并可保证零件的成型精度, 可以有效取得轻量化效果和提升安全性。

上述两种工艺各有千秋, 客观全面地评价这两种工艺的实用性, 涉及两种工艺所制的零件的最高强度要求, 如要求零件强度超过 1 500 MPa, 则只能应用热冲压成型技术; 1 300 ~ 1 500 MPa 的简单形状的零件, 可以选用热成型或冷冲压成型。其经济性还涉及板材的制作工艺和随后的零件连接工艺等因素。还需进行 LCA 评估, 即全寿命周期、能耗和 CO₂ 排放的评估。目前, 虽然大家都认识到这一评估的重要性, 但除蒂森、浦项等国际知名公司对某些工艺进行了系统评估外, 迄今还缺少相关的评估结果, 这正是决定一种技术发展方向的基本的重要依据。

2.3 正确认识材料性能和零部件功能之间的关系

材料性能是指冶金厂出厂时所检测的冶金产品的性能, 英文为 “property”, 将合适的材料经过各种加工, 如冲压成型、焊接等, 使其组合成有用的零件, 该零件所具备的性能称为零件功能。在某些工艺条件下, 通过材料性能可预

报零件的功能,有些工艺条件下,零件的功能远低于材料的性能;在另一些工艺条件下,零件的功能会高于由材料性能预报的零件功能,我们最终追求的是零件的功能,所以有必要建立材料性能和零件功能的数据库。

2.4 建立材料性能和零部件功能的数据库

材料性能是制造汽车零部件选材的基础,近年来国外不少公司已经十分重视材料性能的测试和评价,并将各种试验结果编成手册,供用户选材和计算模拟时应用。如何评价不同材料的性能,包括测试方法和评价参量,均需进行规范;同时,在材料的性能数据库中,应有全数字化的或用本构方程所描述的材料不同状态下的流变曲线,而不只是简单测试的离散的力学性能。对于碰撞的构件,还应有高应变速率下材料的流变曲线及相关的本构方程;对承受疲劳的构件,应有脉动疲劳、拉压疲劳等不同应力状态下疲劳的本构方程或曲线。将这些相关的数据一起编入材料的性能数据库,然后在数据库中加上该材料推荐应用的典型零部件和相关零部件的功能。这样的数据库再融入国际上的一些著名软件中,供设计和分析选用相关的材料,并通过相关的材料性能进行成型模拟和零件功能预测等。完成这类数据库的企业,国内外均屈指可数,这类数据库对材料的推广应用、正确选材和EVI服务都是十分重要的。

2.5 汽车用材的强度与延性的匹配

汽车零件多是动荷零件,其制造工艺都是经过冲压成型、焊接、热处理等复杂工艺组合而成,如何确定强度与延性的匹配,保证高强度下高的成型性和韧性,以保证零件撞击时不发生断裂,具有高的吸能;不同构件如何确定合理的强度和延性的匹配、强度和韧性的匹配,都是需要深入研究的。另外,提高强度和延性匹配的手段及工艺方法也需要深入研究,如目前的第三代钢有不同的工艺路线,包括中锰钢、Q&P钢、Q&PT钢,其中合金成分的设计和优化,残留奥氏体的稳定性、成分和数量、分布形态的控制方法,残留奥氏体的转变对相变诱发塑性和零件最终功能的影响等都是需要深入研究的课题。

2.6 超高强度钢的应用、氢脆和延迟断裂

超高强度钢基本上是马氏体基钢,马氏体分为两类:一类是形态为板条的精细结构为位错的马氏体,在板条间有残留奥氏体薄膜,这类马氏体具有良好的强韧性,一方面位错的变形能力较强,另一方面薄膜间的残留奥氏体可以使扩展的裂纹尖端发生钝化,从而阻碍裂纹的扩展;另一类为孪晶马氏

体,精细结构为孪晶,这类马氏体硬而脆,孪晶变形能力差。一般孪晶马氏体的含碳量较高,板条马氏体含碳量在0.3%以下。板条马氏体由于位错和残留奥氏体薄膜均可作为氢陷阱,具有较高的抗氢脆和延迟断裂能力。冷冲压成型的超高强度钢,通常是通过相变诱发塑性来改善成型性,要产生相变诱发塑性,钢中的残余奥氏体必须很稳定, M_s 点应该在室温以下,在塑性变形诱发马氏体转变时也应该具有稳定性,即 M_d 点较高。因此这类残留奥氏体具有较高的碳含量或合金元素含量,这类残留奥氏体一旦转变为马氏体,钢的脆性就增加,对氢脆和延迟断裂的敏感性增加。因此,如何控制超高强度钢的强度和延性的匹配,也就是如何控制钢中残留奥氏体量、残留奥氏体的稳定性、残留奥氏体中碳和合金元素的含量、残留奥氏体的转变量,由此控制这类钢的氢脆和延迟断裂也是重要的课题。

2.7 超高强度钢韧性的评价方法

目前超高强度钢韧性的评价有叠片冲击和极限尖冷弯的评价方法,需要规范试验方法、评价参量、试验装备、工夹具等,即制定统一的评价规则和方法,以使表征参量更具有可比性。

2.8 传动系统,特别是后桥齿轮轻量化和高性能齿轮钢,电动车减速箱用的高转速、高性能、高阻尼性能的齿轮钢的开发和应用

普通燃油车后桥齿轮接触疲劳性能与国外有较大差距,如何评价汽车齿轮用钢的接触疲劳性能,研究其影响因素,提高接触疲劳抗力,是汽车行业和冶金行业共同关注的课题。新能源汽车,其减速箱的工况和使用环境与传统燃油车不同,传统燃油车的发动机转速通常为3 000~4 000 r/min,最高不超过6 000 r/min,新能源汽车的电机转速超过1万 r/min,最高已达到1.8万 r/min,为二级减速,减速比大。高转速是为了减轻电机的重量,通过减速箱提高扭矩,改善新能源汽车的加速性能,这对齿轮钢提出了更高的要求,需要开发高强韧性、高耐磨性、高接触疲劳性能和高阻尼性能的齿轮钢,以保证高的齿轮寿命和低的齿轮箱噪声。

2.9 悬架系统轻量化

汽车中的悬架系统有板簧悬架、扭杆悬架、螺旋弹簧悬架。为减轻重量,板簧悬架在国外的发展趋势是广泛推广应用少片半截面板簧。国外变截面板簧的设计应力是600~700 MPa,国内为450~500 MPa。提高设计应力,就可以降低板簧的重量,但需保证板簧的高疲劳寿命和使用的可靠性,因此需要提高弹簧钢的冶金质量,既提高纯净度,又减少夹杂物的数量,细化夹杂物

的大小。轿车悬架用的螺旋弹簧，设计应力和使用应力更高，剪应力高达800 MPa以上，需要高强韧性、高疲劳寿命的弹簧钢圆条，目前多用55SiCr，希望开发铌钒复合强化或细化的弹簧钢，同时研究各类不同弹簧制件的喷丸强化工艺，以提升其疲劳寿命。

按以上所提典型构件用钢的要求，建议开展汽车轻量化用钢的材料基因的研究，为高性能轻量化汽车用钢的设计和冶金零件制造工艺的制定直至材料性能的预报、零件功能的预报奠定先进的物理和力学冶金基础。

3 对汽车用钢重点研发内容的建议

(1) 汽车轻量化用高强度钢和先进高强度钢的成分、组织设计及冶金工艺的研究，目的是提高这类钢的强韧性、性能和质量的一致性及稳定性。

(2) 对各类先进高强度钢应用的强度水平、零件功能进行系统的不同路径的比较研究，以求得高性价比的汽车轻量化零件。

(3) 对各类汽车用钢和成型工艺进行系统的LCA评估，为汽车用钢的发展和用户的选材提供基础依据。

(4) 开展各类汽车用钢的性能和功能评价的试验方法研究，并参照美国ASTM标准制定中国汽车用钢的专用的特殊标准。

(5) 开展汽车用钢（先进高强度钢、高性能弹簧钢、高性能齿轮钢和新能源汽车专用齿轮钢等）性能的基因研究，为汽车轻量化用钢的成分、组织设计、性能预报和零部件功能的预报提供基础的物理力学冶金依据。

4 总结

本文基于近年来汽车用钢及应用方面的研究进展，研发和应用中出现的问题以及作者多年从事汽车用钢研发、评价检测、失效分析与延寿等多方面的经验，在概述汽车用钢研究的基础上，深入分析了汽车用钢有待深入认识的相关问题，提出了需要重点研发的内容，对有关问题的深入认识和应用研究中相关问题的解决，这将有助于确定汽车用钢进一步的发展方向和合理的扩大应用，提升汽车轻量化水平和性价比。

参考文献

- [1] 马鸣图，吴宝榕．双相钢—物理和力学冶金 [M]．2版．北京：冶金工业出版社，2009．
- [2] 崔崑．钢的成分、组织与性能（上、下册）[M]．北京：科学出版

社, 2013.

- [3] 中信微合金化技术中心. 汽车用铌微合金化钢板 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 2006.
- [4] 马鸣图. 先进汽车用钢 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2008.
- [5] 中国汽车工程学会, 中国汽车轻量化技术创新战略联盟, 中国第一汽车股份有限公司技术中心. 中国汽车轻量化发展战略与路径 [M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2015.
- [6] 中国汽车工程学会. 汽车先进制造技术跟踪研究 2016 [M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2016.
- [7] Kasper A S, Swenson W E, Dinda S, et al. Kinetic Modulus of Steel: A New Automotive Design Parameter [J]. SAE790003, 1978; Feb. 26-March 2.
- [8] Yisheng Zhang, Mingtu Ma. Advanced high strength steel and press hardening [C]//Proceedings of the 3rd international Conference on Advanced High Strength Steel and Press Hardening (ICHSU 2016), World Scientific, 2017.
- [9] Yisheng Zhang, Mingtu Ma. Advanced high strength steel and press hardening [C]//Proceedings of the 2nd International Conference on Advanced High Strength Steel and Press Hardening (ICHSU 2015), World Scientific, 2016.

980 MPa 级冷轧双相钢 高温变形行为研究

肖洋洋¹ 詹华¹ 邹英² 景宏亮¹

1. 马鞍山钢铁股份有限公司, 安徽马鞍山 243003
2. 东北大学, 轧制技术及连轧自动化国家重点实验室,
辽宁沈阳 110819

【摘要】随着汽车轻量化技术的推动与发展, 高强钢、超高强钢在汽车上的应用越来越广泛。而随着材料强度的不断提高, 不可避免地添加了多种合金元素, 因此导致高强钢在工业化生产中存在热轧及冷轧压下困难等问题。而热轧工艺稳定性也决定了冷轧基料强度和板形, 进而影响冷轧稳定性。因此, 如何保证高强钢产品热轧轧制稳定性至关重要。本文以 980 MPa 级冷轧双相钢为研究对象, 利用单道次压缩试验对试验钢的高温变形行为进行研究, 研究了变形温度和应变速率对试验钢流变应力的影响。结果表明: 变形温度越高、应变速率越低, 动态再结晶越容易发生; 当应变速率为 0.1 s^{-1} , 温度为 $1100 \text{ }^\circ\text{C}$ 时, 动态再结晶比较容易发生。因此, 在热轧生产时, 可控范围内宜采用高温区低速轧制, 以降低轧机负荷, 提高热轧轧制稳定性。

【关键词】热变形; 流变应力; 动态再结晶

1 引言

双相钢以相变强化为基础, 具有低屈强比、高初始加工硬化速率、良好的强度和延性配合等特点, 已发展成为一种汽车用新型高强度冲压用钢^[1], 实现了在不增加成本的前提下明显降低车身自重, 具有广阔的应用前景^[2,3]。目前, 国内批量应用的最高强度级别双相钢强度为 980 MPa, 宝钢、鞍钢、首钢等钢企均已具备批量生产能力, 但该类钢普遍存在微合金成本高、冷热轧衔接困难以及成材率低等瓶颈问题, 因此, 开发低成本、易焊接成型和适用于现有热冷轧流程的 980 MPa 级冷轧双相钢 (DP980) 产品, 仍然是冶金工作者不断努力的目标^[3-5]。

金属材料在高温变形时通常会发生两种软化行为: 动态回复和动态再结晶。动态回复和动态再结晶不仅影响其变形抗力, 同时对其后的相变过程及相变产物