



'96中国材料研讨会

材料设计与加工

Materials Design and Processing

中国材料研究学会

C-MRS

II—1

化学工业出版社

SYMPOSIUM PROCEEDINGS OF C-MRS

'96 中国材料研讨会会议论文集

II

材料设计与加工

Materials Design and Processing

1

材料设计、制备、加工新技术

中国材料研究学会 (C-MRS)

化学工业出版社

·北京·

(京)新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

材料设计与加工=Materials Design and Processing
/中国材料研究学会组织编写. -北京: 化学工业出版社
, 1997.9
('96 中国材料研讨会论文集; 第2卷)
ISBN 7-5025-1972-6

I. 材… II. 中… III. ①工程材料-设计-文集 ②工程材料-制造-文集 IV. TB3-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (97) 第 12883 号

材料设计与加工

中国材料研究学会 (C-MRS)

责任编辑: 夏叶清 徐 蔓

封面设计: 于 兵

*

化学工业出版社出版发行

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

新华书店北京发行所经销

中国文联印刷厂印刷装订

*

开本 787 × 1092 毫米 1/16 印张 44 字数 110 千字
1997 年 11 月第 1 版 1997 年 11 月北京第 1 次印刷

印数: 1—600

ISBN 7-5025-1972-6/TQ · 985

定 价: 160.00 元

版权所有 盗印必究

如该书有缺页、倒页、脱页者, 请与本社发行部调换。

前 言

本书是中国材料研究学会(C-MRS)组织编写的《'96中国材料研讨会会议论文集》之一。“中国材料研讨会”是中国材料研究学会组织的最重要的学术年会,一般每逢双年举行大型、跨学科的一系列会议,规模为1000人左右。“'96中国材料研讨会”于1996年11月17日至21日在北京召开。参加会议的有来自高等院校、科研院所、工矿企业及有关领导机关的材料科学家、工程师、企业家及研究生共1000余人。研讨会期间还成功地举办了“第一届中韩双边新材料研讨会”及“材料微观分析和特殊条件下的力学测试新技术讲座”。会议共收到论文1300余篇,有11位国内外著名科学家和部门领导在大会上作了综合报告,其余论文分24个分会进行宣讲和墙报展示交流。24个分会名称为:

- | | |
|-------------------------------|------------------|
| 1. 半导体材料与外延膜(中韩双边) | 13. 高聚物基及金属基复合材料 |
| 2. 磁性材料(中韩双边) | 14. 新型陶瓷及陶瓷基复合材料 |
| 3. 材料的表面与界面(中韩双边) | 15. 新型建材 |
| 4. 光学与光电子材料 | 16. 核材料 |
| 5. 人工晶体 | 17. 材料疲劳与断裂 |
| 6. 超导材料 | 18. 材料腐蚀与防护 |
| 7. 智能材料及结构(与中国航空学会新材料专业委员会联办) | 19. 环境材料 |
| 8. 纳米材料 | 20. 材料设计 |
| 9. 金刚石膜及相关材料 | 21. 材料制备与加工新技术 |
| 10. 生物材料(医用) | 22. 材料与体育 |
| 11. 天然生物材料与仿生材料 | 23. 材料艺术与考古 |
| 12. 功能性有机高分子材料 | 24. 材料科学前沿 |

本次大会的论文涉及面广,内容新颖,学术水平高,反映了我国(及韩国)在新材料研究与工程应用方面的最新成果。所有论文均按照规定的评审程序和正式的出版要求进行审查和统一排版。最终收集在本论文集的论文共1073篇,分三卷,七个分册。

第一卷为新型功能材料(含三个分册),第二卷为材料设计与加工(含两个分册);第三卷为生物及环境材料(含两个分册)。本三卷论文集为1995年出版的《'94秋季中国材料研讨会会议论文集》四卷(十个分册)之继续。

本书对从事材料开发和研究的科学工作者、工程技术人员、大专院校师生以及有关领导机关的人员均有重要的参考价值。

为了提高本论文集的出版质量,对全书共1000篇论文进行了统一排版。作者有几千人,遍布于全国各省市近200个单位和韩国的十几个单位。由于与诸多作者联系不便,正式排版后未能请作者本人作最终校对,是为遗憾,请各界同仁鉴谅并予以指正。考虑到材料科学和应用技术的发展日新月异,今后将继续定期召开类似研讨会,并将会议交流论文汇集成册,正式出版,祈望材料界有关人士予以大力支持。

'96中国材料研讨会论文集编辑委员会

顾问 师昌绪 严东生

主任 李恒德

副主任 韩雅芳 李成功 钟家湘 侯静泳

委员 (以姓氏笔划为序)

丁培道	于 翹	王天民	王中光	王占国
王崇愚	王震西	方俊人	孔梅影	石力开
石永康	卢 柯	冯 端	吕反修	刘伯操
朱道本	严东生	李家治	李最雄	沈荣熹
沈德忠	吴荫顺	吴维安	周本濂	周克崧
周邦新	周寿增	周 廉	杨大智	杨 桂
张立德	张国定	张振亚	林彰达	洪友士
欧阳世翕	闻立时	徐恒昌	徐惠彬	袁冠森
俞耀庭	顾秉林	顾觉生	饶 渤	黄尚廉
郭景坤	崔福斋	屠海令	曾汉民	蒋民华

Hyun M. Jang (韩国) Seung-Ki Joo (韩国)

Teasuk Jang (韩国)

统编 侯静泳

目 录

第一部分 材料疲劳与断裂

YAG 激光毛化对 40Cr 钢拉伸性能和疲劳寿命的影响 洪友士 顾子晏 沈还 杨江明.....	3
多轴疲劳循环应力应变特性及损伤累积模型的研究 王德俊 等.....	8
腐蚀疲劳过程中载荷间交互作用的研究 柯伟 李劲.....	15
断裂分形的普适性和材料的特性 龙期威 姜健 龙起易.....	24
晶粒的取向和变形性质对双晶体循环变形影响的模拟研究 王明章 林实 李成华 肖纪美.....	29
双滑移取向铝单晶体的疲劳损伤与裂纹萌生 王明章 林实 关靖娇.....	34
Cu 双晶的循环形变与饱和位错结构 胡运明 王中光 李广义.....	39
铜三晶体中循环形变及疲劳裂纹萌生行为的研究 贾维平 李守新 王中光 李广义.....	44
SiC 颗粒增强 Al 基复合材料力学行为的研究进展 董雁瑾 洪友士.....	48
离心喷射沉积 TiAl 合金的低周疲劳行为 陈文哲 张飒 钱匡武等.....	54
高温合金材料热机械疲劳-蠕变循环性能模拟 施惠基 牛莎莉.....	58
GH132 合金的蠕变-疲劳交互作用 周浩 王翔 田茂盛等.....	62
汽车用贝氏体钢的研究 陈长白 方鸿生 何光楚等.....	66
新型贝氏体双相钢的组织及其性能 陈长白 方鸿生 籍可缤等.....	69
表面裂纹尖端的 SPM 研究 李晓冬 王燕斌 褚武扬等.....	73
疲劳裂纹在残余应力场中之扩展行为 侯建元.....	77
一种含稀土 Nd 近 α 型钛合金在单向和交变载荷下裂纹形成与扩展规律研究 朱知寿 马济民 曹春晓等.....	81
高温下 Ni ₃ Al 基合金单晶体的疲劳裂纹萌生及扩展 张广平 王中光.....	86
X56ERW 直缝高频焊管试样的疲劳裂纹扩展 臧启山 刘路 刘慷等.....	90
全层片 TiAl 基合金的室温断裂韧性及断裂过程研究 周科朝 黄伯云 曲选辉等.....	94
层状结构铝锂合金疲劳裂纹的扩展特性 徐可为 李航月 胡奈赛.....	98
疲劳短裂纹数密度分布的稳定性分析 乔宇 洪友士.....	102
材料断裂表面维数计算中的 RSC 问题 杨国伟.....	107
疲劳断口定量分析的新途径 颜云辉 王德俊 黄雨华等.....	110
945 钢动态 J-R 阻力曲线与断口分形维数的关系 李强 赖祖涵 马常祥 裴剑芬.....	114
定量表征断口表面粗糙度与材料组织性能的联系 李小武 田继丰 康雁 王中光.....	118
循环应力对 SiCw/6061Al 复合材料高温蠕变行为的影响 刘丕林 王中光.....	123
用云纹干涉法测量应力腐蚀试样裂尖形变场 朱万旭 刘宝琛 史训清等.....	127

TiAl 基金属显微组织对断裂韧性的影响 陈小群 黄伯云 贺跃辉等.....	132
M50NiL 钢的接触疲劳性能的研究 沙江波 楼秉哲 沈福三.....	136
TA5 钛合金基板、焊接和热影响区疲劳损伤机理研究 杨明 李春林.....	141
“逆向锯齿屈服”——高强铝合金中动态应变时效的一个重要特征 钱匡武 彭开萍 李效琦.....	145
高低温淬火 40 °C 钢微试样拉伸形变与断裂 何则荣 林国雄.....	150
铝合金热挤压平模断裂的分析 何则荣.....	155
动态断裂韧性 J_{Ic} 测试方法研究 吴国运 戴瑞玲 王勇等.....	160
Ta 和 Ta-12W 合金的动态断裂 张廷杰 张德尧 丁旭.....	167
汽车保险杠材料的高速冲击性能 冯力军 于苏 张懋炯等.....	172
热钢化玻璃的强度检验试验和寿命预测 宋力昕 胡方行 吴国庭.....	177
失效分析应用与述评 雷祖圣.....	181
多度域分形模型下重叠区微结构比例对断裂韧性的影响 张程华 龙期威 姜健.....	185

第二部分 材料设计

Materials Design by a Large Scale Computer Simulation 川添良幸.....	191
晶格反演的嵌入原子法模型及其应用 张文清 谢谦 赵雪丹 陈难先.....	195
表面和界面生长的动力学模型与非线性生长方程的研究 黄志峰 顾秉林.....	199
晶体多光子吸收系数的第一原理计算 段纯刚 顾宗权 王鼎盛.....	203
晶界能量理论基础及掺杂晶界电子结构 王崇愚.....	208
磁场下纳米反铁磁颗粒中的宏观量子现象 吕嵘 朱嘉麟 顾秉林 川添良幸.....	216
聚苯胺体系中非线性元激发和电子关联效应 傅荣堂 吴健 朱嘉麟 川添良幸 孙鑫.....	220
多磁势垒结构中输运现象的研究 郭永 顾秉林.....	223
金属晶体设计原则之一——成键电子的自旋相适应性 刘维鹏 李惠娥 罗连生.....	227
一维有机材料中的量子晶格涨落：链间耦合效应 吴长勤 曾上游 王健等.....	232
钛基二元合金的电子结构和相稳定性研究 叶亦英.....	234
半导体化合物 $CdSiAs_2$ 的光学性质的计算 倪军.....	239
分子动力学方法研究 $Ni_{62.5}Al_{37.5}$ 合金马氏体相变的微观机理 沙宪伟 张修睦 李依依... ..	243
对合金化合物 Ni_3Al 从非晶到晶体的分子动力学模拟 王鲁红 刘浩哲 陈魁英 胡壮麒	249
Cu_3Au 与 Au_3Cu 中点缺陷的分子动力学研究 顾强 邢志伟 王天民.....	253
液态金属及其凝固过程的微观结构转变转性研究 李基永 刘让苏 周征等.....	258
单个刃型位错对 $NiAl$ 马氏体相变影响的模拟研究 沙宪伟 张修睦 李斌 李依依.....	262
正常晶粒长大的计算机模拟 衣进 王先进.....	268
原子团簇作为设计新材料的基元 王广厚.....	273
基于遗传学方法的团簇结构优化 吴健 李志强 余京智等.....	279
第二过渡金属团簇材料的理论研究 杨金龙 邓开明 李家明.....	283

钠在沸石笼子中的构型及电子结构的理论研究 孙强 叶令 谢希德.....	287
铁铝金属间化合物的电子结构及场镜成像机理研究 罗银燕 李阳 陈宁等.....	291
ZnSe 的 p 型掺杂研究 任天令 朱嘉麟 熊家炯.....	296
体心立方金属键合作用强度及其滑移系的选择 宋岩 徐东生 李东 胡壮麒.....	300
晶体原子振动的非简谐效 王建邦 杨晓峰.....	304
高熔点化合物 Ti_3Si_3 脆性断裂的物理模型计算 张澜庭 吴建生 郑杭.....	308
TiAl 原子间作用势的构造和位移阈能的计算 顾强 王宝义 王月霞 王天民.....	312
有限体系中的统计力学理论 陈坚 顾秉林.....	317
BP 网络训练过度现象及其控制方法的研究 张宝金 周龙光 曾梅光 胡苗青.....	321
材料设计专家系统用于镍氢电池优化设计 郭进 陈念贻.....	325
非线性光学晶体电子结构的并行计算 黎军 王鼎盛.....	329
宽频雷达吸波材料的优化设计系统 刘列 张雪明 胡连成.....	333
应用 Foxpro for DOS 数据库管理系统建立工程结构材料数据库 沙江波 黎祚坚 李凤 艾军.....	337
准周期超晶格和分形结构物质的物理性能的研究 田德诚 石兢 夏海波.....	342
合金元素在 DO_3 结构 Fe_3Al 中的有序行为预测 徐东生 宋岩 李东 胡壮麒.....	346
人工机械心脏瓣膜 DLC / 不锈钢梯度材料的设计 杨云志 冉均国 郑昌琼.....	351
环氧树脂与热塑性树脂共混体系相结构的调控研究 孙佳明 谢续明.....	356

第三部分 材料设备与加工新技术

旋转叶片快速凝固制备过程动力学研究 沈宁福 汤亚力 张东捷等.....	363
高功率脉冲激光束与电子束烧蚀过程的对比研究 康文 江兴流.....	367
碱法铁黄合成过程成核生长机理 李春忠 蔡世银 车阿小等.....	371
粉末热锻浮动油封密封环研制 曾建谋 许少驰 曾扬暖.....	377
烧结工艺对细钨粉烧结坯组织均匀性的影响 张小立 李应泉 殷为宏.....	382
粉末高温合金 / 单晶热等静压复合成形研究 毛健 汪武祥 呼和等.....	385
$TiB_2-Al_2O_3$ 陶瓷的燃烧合成与烧结致密化 钟吉华 殷声 赖和怡.....	389
微波合成 $Li_xMn_2O_4$ 阴极材料的研究 郝华 刘韩星 欧阳世翕.....	394
$TiB_2-Al_2O_3$ 复合陶瓷的还原性自蔓延高温合成研究 温殿英.....	398
SHS-离心铸造制备 Al/金属间化合物复合管的研究 严新炎 孙国雄 周小新 张树格.....	403
SHS 铝热-离心铸造技术在材料制备中的应用 周小新 张树格 严新炎.....	409
$Ti_{44}Ni_{47}Nb_9$ 的热爆燃烧合成的引燃与温度的关系 杨华斌 殷为宏 杨宗坡.....	415
离心自蔓延制取陶瓷内衬钛管 祝朝晖 张宝生 夏志华等.....	420
燃烧合成 TiNi 形状记忆合金致密体 储成林 李勃 张树格 杨晓曦.....	424
高压方法原位合成 TiC_p/Ni_3Al 复合材料 刘浩哲 夏秋菊 王鲁红等.....	431
俄罗斯自蔓延高温合成研究概况 唐清 吴丰 郭建亭 庄汉锐.....	435

高压氮气中自蔓延燃烧合成氮化铝 汪国健 庄汉锐 李文兰等.....	440
燃烧合成 β SiC 的研究 徐升美 李雯亭 杨小锡等.....	445
喷射沉积成形材料制备新技术的发展现状及其在材料研究中的应用 张济山 陈国良.....	449
喷射沉积过程二相介质运动的描写关于连续介质模型的讨论 刘大有 张济山.....	456
喷射沉积成形 18Ni (250) 型马氏体时效钢+ 10vol%Al ₂ O ₃ 颗粒增强金属基复合材料的 组织与性能 张济山 刘兴江 崔华等.....	460
喷射雾化沉积坯形状的研究 李周 米国发 张智慧等.....	465
喷射沉积 Ni-Al-Mo 系 Ni ₃ Al 基高温合金及其复合材料研究 米国发 李周 梁志凯等.....	470
耐热粉末铝合金喷射沉积管坯旋压工艺探索 罗琴英 杨久梅 杨俊等.....	475
Ni ₃ Al 基高温合金 TLP 扩散焊接头组织与性能研究 李晓红 毛唯 程耀永.....	479
Ni48PdCrBSi 钎料钎焊 GH625 合金接头组织和性能 柏文超 毛汉忠 陈靖等.....	483
单晶高温合金的连接及 Hf 的扩散行为 郑运荣 阮中慈 马书伟.....	487
金属/陶瓷焊接接头设计和强度 吴益文 郭益 斯重遥.....	491
单晶铸件定向凝固工艺研究 钟振纲.....	496
高温合金细晶铸造工艺的研究 刘发信.....	500
稳定耐火材料的研制及其应用 阎渊林.....	504
我国铸钛技术的现状及其今后发展方向 谢成木.....	509
通过热处理改善精铸 ZT4 钛合金疲劳性能的探索研究 王红红 王小娥.....	513
铸造 Al-Li 合金熔炼工艺研究 陈深传 王淑芝 郭必旭.....	518
快速成型技术在铸造业中的应用 郭必旭 王旭竹 王淑芝.....	522
用低偏析技术制备高温合金 肖远松 楼琅洪 佟英杰等.....	525
园筒形泡沫铝合金挤压铸造工艺研究 方立高 林再学 徐建辉.....	529
改善液态模锻铝合金机械性能的初步研究 严彪 陆虎 徐政.....	533
δ 相对 GH4169 合金超塑性变形的影响 韩雪等.....	539
等温锻工艺对 Ti-10V-2Fe-3Al 合金锻件晶粒度及热处理组织与性能的影响 王家宣 杜忠权 杨合.....	543
Tc11 钛合金叶片精锻工艺研究 王安乐 唐祥松 刘强.....	549
CP276 Al-Li 合金变形特征的研究 司鹏程 李建成 伊琳娜等.....	553
钛与钢的热轧复合研究 颜学柏 邢秋丽 李正华.....	557
工业纯钛的离子渗氮 谢紫杰 朱景环.....	562
IC 用铜合金引线框架材料的研究与国产化探讨 梁俊基.....	565
离心喷射沉积 TiAl 基合金的压缩性能 陈文哲.....	569
Cu-Ti、Al-Ti 爆炸焊结合层显微组织的研究 周邦新 周海蓉 李卫军.....	573
超声气雾化快冷制粉技术及装置的研究 王滨 仲守亮 王南平等.....	577
Fe ₂ O ₃ +CrO ₃ +Al 系列陶瓷衬管组织性能的研究 王金淑 周美玲 李俊.....	582
燃烧合成 AlN-SiC 陶瓷 陈克新等.....	587
雾化喷射沉积成形 2014 铝合金+ 15vol % SiCp 金属基复合材料的时效行为 张济山 崔华	

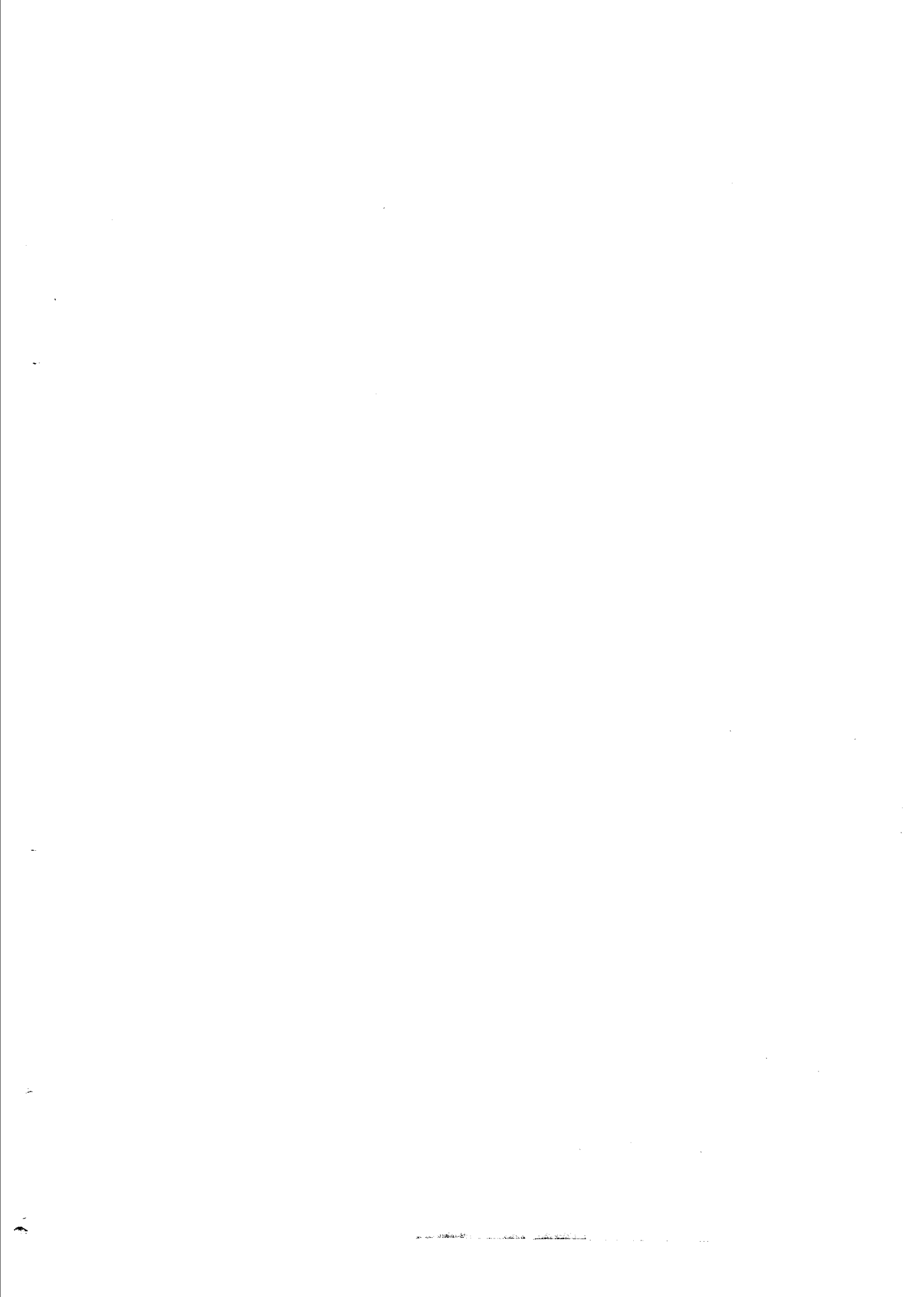
刘兴江等.....	594
影响无缝钎管旋压加工主要因素的探讨 张哈亮 兰涛 张根.....	600
制备 W-Mo 复合靶时分层的因素探讨 滕修仁 李亨荣.....	604
烧结温度对钨基合金密度及组织的影响 李明利 马蕊侠 杜平等.....	609
高压下合成 Mg ₂ Ni 王爱民 刘浩哲 丁炳哲等.....	613
复合氧化锆纳米粒子对 TiO ₂ -Al-C 系燃烧合成的影响 ...唐清 张登君 李报厚 张冠东.....	617
单晶空心叶片用氧化铝基陶瓷型芯的研究 曹腊梅 杨耀武 才广慧等.....	621
热等静压(HIP)冷速对 K405 合金 γ' 相和性能的影响 呼和 汪武祥.....	626
Ti-15-3 钛合金的冷成形 王庆和 戴美云 王世洪.....	631
铝锂合金焊接气孔敏感性研究 李艳 魏祚伟.....	636
铝硅合金变质处理热分析判据 熊艳才.....	640
飞机导流器铝精铸件的差压铸造 刘国利 葛来春 米佳伟等.....	644
集成快速铸造技术 米佳伟.....	648
Fe-Cr-C 系金属陶瓷涂层的研究 林涛 殷声 魏延萍.....	651
SHS-离心法不锈钢内衬复合钢管中的裂纹 段辉平 殷声 赖和怡.....	656
快速凝固 Al-Ti-(La)合金的相组成 汤亚力 沈宁福 柳百成.....	660
原位燃烧合成 TiB ₂ /Ti(C _{0.5} ,N _{0.5})复相陶瓷 曹方斌 李江涛 陈克新等.....	664
快凝 Al-Fe-(Cr+Mo)-Si 合金中准晶相与其晶体相的相关性研究 关绍康 沈宁福 胡汉起.....	668
Al ₂ O ₃ -ZrO ₂ 复合纳米超微粉的制备及其特性研究 陈大明 张晨.....	672
添加铬元素对钨铁镍合金塑性影响研究 周泽强 夏传芸.....	677
金属粉末注射零件收缩率的试验和分析 林好转 黄伯云 曲选辉.....	681
电子束区熔 DD2 合金定向凝固特性及单晶制备 魏朋义 张军 傅恒志.....	685
高梯度定向凝固对 DD2 单晶高温合金组织的影响 杜炜 魏朋义 李建国 傅恒志等.....	689
连续铸造铝单晶线材的制备工艺与性能 范新会 魏朋义 李建国 傅恒志.....	694

第一部分

材料疲劳与断裂

主编:王光中 洪士友

本部分共有文章 40 篇. 包含的内容主要有:疲劳损伤的过程与机制, 疲劳断裂纹行为, 材料细微观损伤, 循环形变与疲劳断裂的计算机模拟, 动态断裂, 疲劳与断裂的环境效应, 工程结构的断裂设计与失效分析, 可靠性与分析与疲劳寿命预测等。



YAG 激光毛化对 40Cr 钢拉伸性能和疲劳寿命的影响*

洪友士 顾子晏 沈还 杨明江

中国科学院力学研究所 非线性连续介质力学开放研究实验室, 北京 100080

摘要 本文通过对 YAG 激光毛化处理和平滑表面的 40Cr 圆棒试样进行单调和循环加载的对比试验, 探讨了激光毛化处理对试验材料的拉伸性能和拉-拉疲劳寿命的影响。结果表明, 激光表面处理对单调加载的强度性能无明显影响; 对于疲劳加载, 当断裂周次大于 2×10^4 , 经毛化处理试样的疲劳强度开始低于未处理的试样, 随断裂周次继续增加, 二者的差距逐渐增大。对比分析认为, 激光毛化试样疲劳抗力降低主要归因于材料表面显微组织和粗糙度的改变。

引言

激光毛化是采用脉冲式激光束流对材料表面进行点状加工, 以达到材料表面改形改性的一种表面处理工艺。其工艺特点是, 通过高能量密度的激光束对材料表面的聚焦照射, 使材料表面局部熔化而形成微小熔池; 同时采用一定压力的气体侧吹熔池, 从而在被处理表面上形成尺度和排列可控的微坑分布。采用 YAG 激光的毛化处理已经成功地应用于冷轧机轧辊的表面造形和改性, 使轧辊的寿命和冷轧钢板的成材率、成形性、涂镀性等均获得显著提高^[1]。然而, 这一方法能否适用于其它工况需求? 相应的表面形状和材料显微组织的变化对材料整体的拉伸性能和疲劳寿命将产生何种影响? 这都是值得进一步探讨的课题。近期国外也在开展这方面的研究, 已有报道不锈钢表面受连续和脉冲 CO₂ 激光熔融处理对高周疲劳的影响^[2]。本文选择调质态 40Cr 钢作为试验材料, 研究 YAG 激光毛化处理对试验材料拉伸性能和拉-拉疲劳寿命的影响。

试验材料与试样制备

选择常用的 40Cr 钢作为试验材料, 所用原材的化学成分为 (wt %): C 0.39, Si 0.24, Mn 0.59, P 0.023, S 0.010, Cr 0.96, Fe 余量。原材为 $\phi 25\text{mm}$ 棒材, 经热锻成 $\phi 17\text{mm}$ 的坯件。坯件在 850 °C 奥氏体化后油淬, 然后在 550 °C 回火, 使试验材料的显微组织为回火索氏体。如此调质处理后的坯件经机加工成直径 $\phi 8\text{mm}$, 标距长度 30mm 的圆棒试样。为了进行比较, 将完成机加工并具有光滑表面的所有试样分为 4 组, 将其中 2 组进行表面毛化处理, 另 2 组保持精加工表面状态。再将 1 组经毛化处理和 1 组光滑表面的试样进行 300 °C 的去应力退火。4 组试样即为: A 光滑未退火, B 光滑退火, C 毛化未退火, D 毛化退火。每组试样有 15 ~ 17 件, 其中 3 件进行单调加载测试拉伸性能, 其余用于疲劳试验。

* 本文得到国家杰出青年科学基金和中科院力学所资助

使用单脉冲 50W YAG 激光源对试样表面激光毛化，工艺条件和参数为：脉宽 $1 \mu s$ ，氮气保护，作用功率 $10mJ/P$ 。试样表面激光毛化的区域略大于试样标距段。经激光毛化处理的试样表面呈现规则分布的微坑（图 1）。用光学显微镜观察并测量得到，微坑沿周向的间距为约 $230 \mu m$ ，沿轴向的间距为约 $210 \mu m$ ，微坑直径为约 $170 \mu m$ ，微坑的深度为 $10 \sim 15 \mu m$ 。从剖面观察表面，可见微坑的凸缘呈白亮色，显微硬度测试给出凸缘的硬度值明显高于基体（表 1）。对 A, C, D 3 组试样测定表面残余应力的结果（表 2）表明，机加工光滑试样的表面呈残余压应力，毛化处理后试样表面原有的残余压应力已不复存在而代之以残余拉应力趋势。毛化处理并去应力退火后，试样表面残余应力近似趋于零。

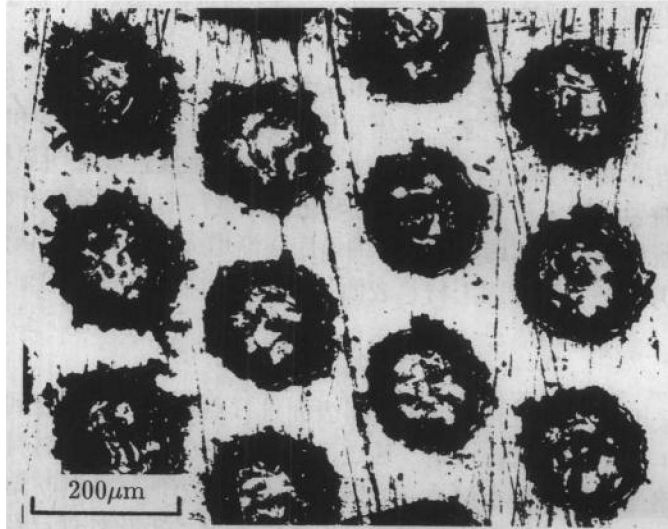


图 1 激光毛化处理的试样表面
水平方向为试样轴向，垂直方向为试样周向

表 1 激光毛化试样表面层的显微硬度（载荷 20 克）

距表面距离 (μm)	5	32	60	80	100
特征	白亮层	基体	基体	基体	基体
显微硬度 (Mpa)	6030	3310	3570	3710	3860

表 2 试样表面残余应力测试结果 (MPa)

试样组	A			C					D		
切向*	-280	-280	-480	-40	+40	0	-80	+80	+40	0	0
轴向*	-400	-440	-480	+40	-80	0	-80	+120	0	-80	0

*切向为沿试样圆周，轴向为平行于试样长度。

力学性能试验与结果

单调和循环加载的力学性能测试在液压伺服材料试验机上进行。单调加载试验的试样如前述，即直径 $8mm$ ，标距 $30mm$ 的圆棒试样，拉伸速度为 $2mm/min$ 。单调拉伸主要测定试

样的屈服强度 σ_y ，最大强度 σ_u 和断裂应变 ϵ_f ，结果列于表 3，其中， $\epsilon_f = 2 \ln(d_0 / d_f)$ ， d_0 是试样初始直径， d_f 是试样断口直径。

疲劳试验采用的试样仍为直径 8mm，标距 30mm 的圆棒试样。循环载荷的应力比 $R=0.1$ 。对于高应力区，断裂周次较少，频率一般控制为 5 ~ 10 Hz；对于低应力区，频率控制为 20 ~ 30 Hz。一般认为，在此范围，频率变化对疲劳寿命无影响。图 2 和图 3 给出了 4 组试样断裂周次与最大应力关系的测试结果。

表 3 4 组试样单调加载的拉伸性能

试样组	σ_y (MPa)	σ_u (MPa)	ϵ_f
A	943	1100	0.72
B	927	1090	0.70
C	923	1090	0.62
D	905	1070	0.64

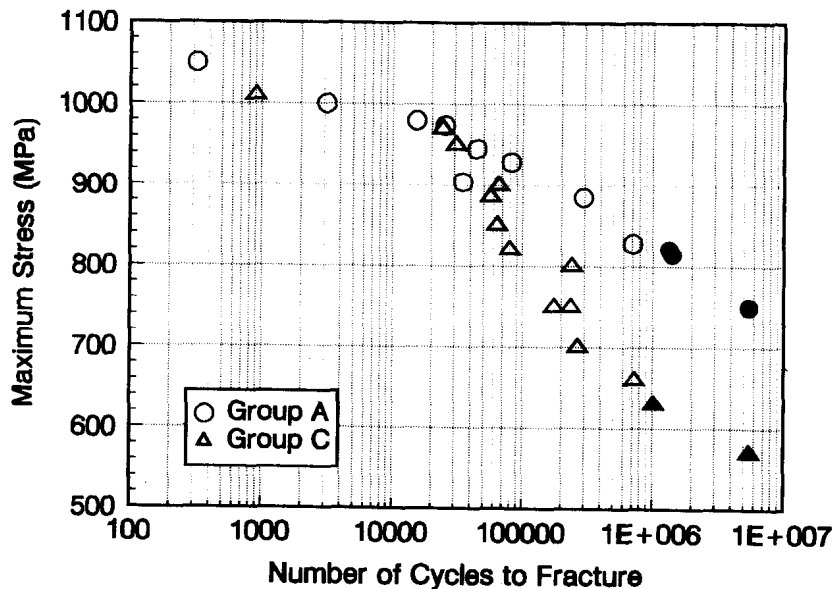


图 2 A 组和 C 组试样的疲劳试验结果

实心符号表示未断试样

讨论和结论

以上结果显示，经激光毛化处理，试样表面的粗糙度明显增大；同时，表面原有的残余压应力改变为具有拉应力的趋势，这显然归因于激光作用使表面局部熔化-凝固的过程。尽管如此，从表 3 看出，4 组试样的屈服强度 (σ_y) 和最大强度 (σ_u) 并未呈现明显差别 (< 4%)，意味着试样表面层粗糙度和残余应力的变化对单调拉伸的强度性能无明显影响。对于断裂应变，经毛化处理的 C、D 两组试样比未处理的 A、B 两组略低 (差值 10%~15%)，预示着表面层状态对于此断裂参量似有不利影响。

对于拉-拉疲劳特性，当断裂周次小于 2×10^4 ，光滑表面与毛化表面二者的疲劳抗力无明显差异 (图 2, 图 3)，这与单调加载下表面状态对强度性能无明显影响的结果具有一致性，

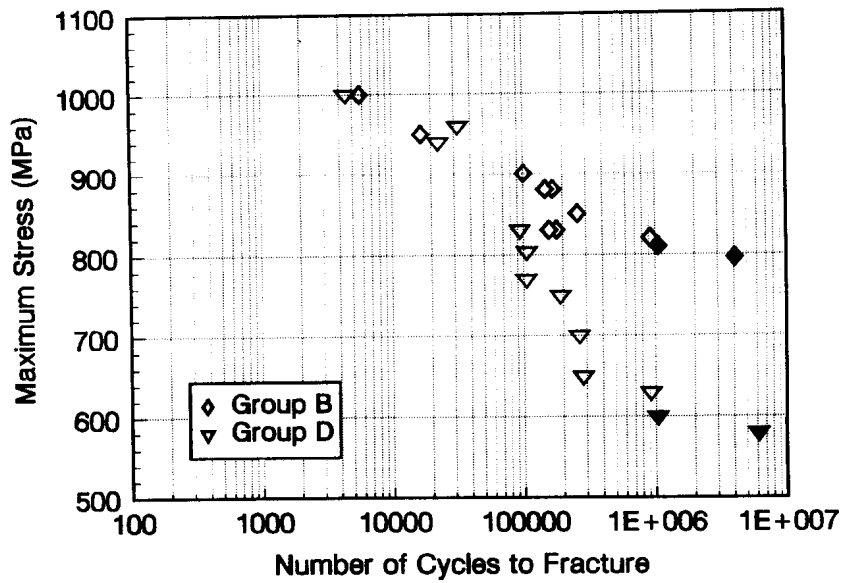


图3 B组和D组试样的疲劳试验结果
 实心符号表示未断试样

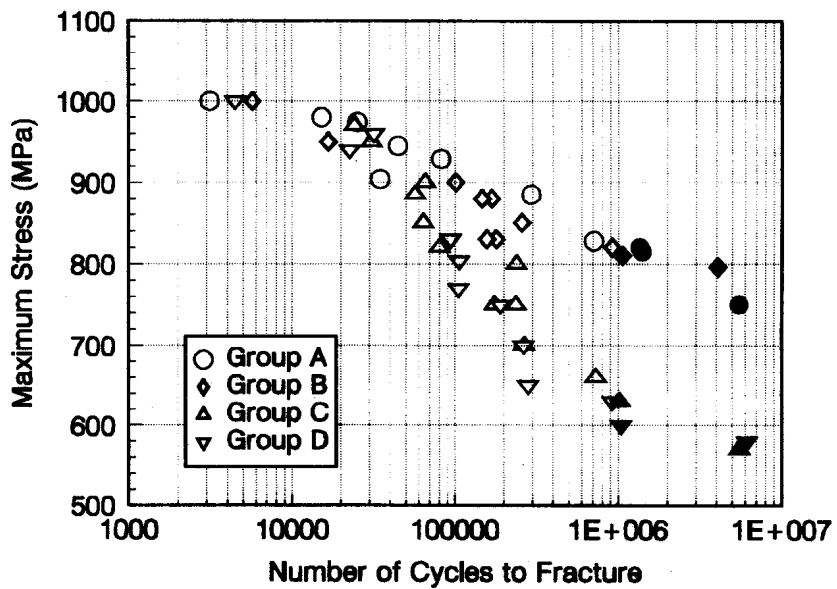


图4 疲劳试验综合结果
 实心符号表示未断试样

表明在应力较大(应变较大), 破坏时间较短的情形, 材料的强度指标基本不依赖于表面层的状态(粗糙度, 残余应力, 显微组织)。然而, 当断裂周次大于 2×10^4 , 光滑表面和毛化表面二者的疲劳抗力曲线开始发生分离(图 2, 图 3)。随断裂周次增加即最大应力减小, 这种分离越趋显著, 即毛化表面的疲劳抗力明显低于光滑表面的相应值。若将 4 组试样的疲劳试验结果综合一起(图 4)可以观察到, 去应力退火与未退火的试样的疲劳抗力分布在同一波动范围, 表明如此处理造成表面残余应力的调整并未对疲劳抗力产生影响。若以 10^6 断裂周次作为界限, A, B 组即光滑表面的试样的疲劳强度为 815MPa, 而 C, D 组即毛化表面的试样的疲劳强度仅为 615MPa, 后者比前者降低约 25%。从所得的试验结果及其分析, 似可认为毛化试样疲劳抗力降低的主要原因不是表面残余应力的变化, 而是由于表面粗糙度和表面显微组织的变化所致。

参考文献

- 1 杨明江, 激光毛化冷轧辊技术及应用, 内部报告, 1996.
- 2 H. Stamm, D. Boerman, F. Dos Santos Marques, F. Geiger, U. Holzwarth, Effect of laser surface treatment on high cycle fatigue of AISI 316 stainless steel, *Proceedings of the 7th International Conference on Mechanical Behaviour of Materials*, p. 299-300, 1995.