

机电学院

052 系

序号	姓名	职 称 或学历	单位	论文题目	刊物、会议名称	年、卷、期
1	黎向锋	副教授	052	微生物细胞磁性金属 化研究	科学通报	2003.48.2
2	黎向锋	副教授	052	Metallization of bacteria cells	科学通报	2003.48.2
3	蔡 军 黎向锋	博士生 副教授	052	Research on magnetic metallization of bacterial cells	中国科学公告	2003.48.2
4	左敦稳 黎向锋 王 珉 李 亮 卢文壮	教 授 副教授 教 授 讲 师 讲 师	052	Adhesion improvement of CVDdiamond film by introducing an electro-deposited interlayer	Journal of Materials Processing Technology	2003.138
5	宋胜利 左敦稳 王 珉	博士生 教 授 教 授	052	大面积HFCVD系统衬 底温度场建模与分析	应用科学学报	2003.21.4
6	宋胜利 左敦稳 王 珉	博士生 教 授 教 授	052	PID参数模糊自调整技 术应用研究	机床与液压	2003.1
7	宋胜利 左敦稳 王 珉	博士生 教 授 教 授	052	基于遗传算法寻优的 PID控制技术及应用	系统工程理论与 实践	2003.9
8	宋胜利 左敦稳 王 珉 相炳坤 卢文壮 黎向锋	博士生 教 授 教 授 讲 师 讲 师 副教授	052	Genetic optimization of hot filament parameters in HFCVD system	南航学报(英文 版)	2003.20.1
9	李 超 王 珉 左敦稳	博士生 教 授 教 授	052	双曲面麻花钻数学模 型及刃磨方法研究	中国机械工程	2003.14.14
10	卫中山 王 珉 左敦稳 李 亮	博士生 教 授 教 授 讲 师	052	钛合金的微动疲劳及 其防护	材料科学与工程 学报	2003.21.2

序号	姓名	职 称 或学历	单位	论文题目	刊物、会议名称	年、卷、期
11	卫中山 王 珉 左敦稳 李 亮	博士生 教 授 教 授 讲 师	052	La+,Mo+注入TC4合金 表面粗糙度变化研究	特种铸造及有色 合金	2003.4
12	朱 胤 王 珉 左敦稳 宋胜利	硕士生 教 授 教 授 博士生	052	CVD金刚石衬底温度 场的自调整模糊PID控 制器研究	中国制造业信息 化	2003.32.11
13	朱 胤 左敦稳 宋胜利 黎向锋 王 珉	硕士生 教 授 博士生 副教授 教 授	052	串口通信在CVD金刚 石膜生长系统中的应 用	自动化与仪器仪 表	2003.4
14	朱 胤 左敦稳 王 珉 卢文壮 宋胜利	硕士生 教 授 教 授 讲 师 博士生	052	计算机控制CVD金刚 石生长系统的研究	人工晶体学报	2003.32.6
15	卢文壮 左敦稳 王 珉 黎向锋 宋胜利 相炳坤	讲 师 教 授 教 授 副教授 博士生 讲 师	052	大面积EACVD金刚石 沉积设备的系统衬底 温度场建模与分析	机械设计与制造	2003.160.6
16	卢文壮 左敦稳 王 珉 黎向锋 徐 锋	讲 师 教 授 教 授 副教授 讲 师	052	CVD金刚石刀具的制 备工艺研究	机械工程师	2003.146.8
17	闫 静 左敦稳 王 珉	讲 师 教 授 教 授	052	双轴柔性滚弯技术的 有限元分析	机械科学与技术	2003.22.2
18	闫 静 左敦稳 王 珉	讲 师 教 授 教 授	052	双轴柔性滚弯过程中 工件回弹的理论分析	兵工学报	2003.24.2
19	黄因慧 田宗军 花国然	教 授 讲 师 博士生	052	纳米材料在制造业中 的应用与发展	2003年中国机械 工程学会年会论 文集	2003.10

序号	姓名	职 称 或学历	单位	论文题目	刊物、会议名称	年、卷、期
20	赵剑峰 李 悦 张建华	副教授 助 研 博士后	052	Analysis of the wear characteristics of an EDM electrode made by selective laser sintering	Journal of Materials Processing Technology	2003.138.1-3
21	赵剑峰 黄因慧 张建华	副教授 教 授 博士后	052	Fundamental experimental study on free fabrication of nanocrystalline copper bulk by selective electro deposition with electrolyte jet	2003年CAPE会议论文	2003
22	赵剑峰 黄因慧	副教授 教 授	052	射流电沉积快速成形技术基础实验研究	机械工程学报	2003.39.4
23	赵剑峰 黄因慧 花国然 张建华	副教授 教 授 博士生 博士后	052	激光烧结快速制备自由形状纳米块体材料的试验研究	材料科学与工程学报	2003.21.3
24	赵剑峰 李景新 沈以赴 黄因慧	副教授 博士生 博士生 教 授	052	纳米Al ₂ O ₃ 粉体材料激光烧结成形基础试验研究	中国激光	2003.30.12
25	刘 润 赵剑峰 黄因慧 花国然	硕 士 副教授 教 授 博士生	052	激光快速成形与等离子喷涂相结合制备纳米复合涂层的研究	2003年全国特种加工学术会议论文集	2003
26	刘 润 赵剑峰 黄因慧 花国然	硕 士 副教授 教 授 博士生	052	激光熔覆纳米Al ₂ O ₃ 复合陶瓷涂层的组织结构	应用激光	2003.23.5
27	刘 润 赵剑峰 黄因慧 花国然	硕 士 副教授 教 授 博士生	052	纳米复合陶瓷涂层激光熔覆后的组织与耐磨性能	中国表面工程	2003.16.5
28	赵阳培 黄因慧	博士生 教 授	052	电沉积纳米晶材料的研究进展	材料科学与工程学报	2003.21.81
29	赵阳培 黄因慧	博士生 教 授	052	射流电铸快速成形技术研究	南京理工大学学报	2003.27.4

序号	姓名	职 称 或学历	单位	论文题目	刊物、会议名称	年、卷、期
30	赵阳培 黄因慧 赵剑峰	博士生 教 授 副教授	052	射流电铸快速成形纳 米晶铜的研究	材料导报	2003.17.7
31	花国然 黄因慧 赵剑峰 张建华	博士生 教 授 副教授 博士后	052	纳米陶瓷粉末激光选 择性烧结初探	中国机械工程	2003.14.20
32	花国然 黄因慧 赵剑峰 张建华 田宗军 刘 润	博士生 教 授 副教授 博士后 讲 师 博士生	052	激光熔覆纳米改性陶 瓷涂层制备技术研究	全国第三届纳米 材料和技术应用 会议论文集(下)	2003
33	张建华 赵剑峰 田宗军 黄因慧	博士后 副教授 讲 师 教 授	052	选择性电铸的分层切 片算法研究	南京航空航天大 学学报	2003.35.6
34	张建华 赵剑峰 田宗军 花国然 黄因慧	博士后 副教授 讲 师 博士生 教 授	052	SiC 纳米陶瓷粉末的 激光烧结初探	应用激光	2003.23.6
35	何桂军 黄因慧 赵剑峰	硕士生 教 授 副教授	052	空间立体电解电铸精 加工	2003年全国特种 加工学术会议论 文集	2003
36	刘永强 赵剑峰 黄因慧	硕士生 副教授 教 授	052	射流电铸快速成形控 制系统的研究	2003年全国特种 加工学术会议论 文集	2003
37	朱 荻 王 昆 杨建明	教 授 硕士生 博士生	052	Design of electrode profile in electrochemical manufacturing process	CIRP Annals - Manufacturing Technology, v 52, n 1, 2003, p 169- 172	2003.52.1
38	曲宁松 朱 荻 雷卫宁	讲 师 教 授 博士后	052	Pulse electrodeposition of nanocrystalline nickel using ultra narrow pulsewidth and high peak current density	Surface and Coatings Technology 2003 Vol.168 123 - 128	2003.168.2

序号	姓名	职 称 或学历	单位	论文题目	刊物、会议名称	年、卷、期
40	曲宁松 朱 荻	讲 师 教 授	052	Processing of nickel quasicrystal composite coating produced by pulse reverse current plating	Transactions of the Institute of Metal Finishing 2003 Vol 81 part 4	2003.81.4
41	雷卫宁 朱 荻	博士后 教 授	052	纳米晶精密电铸技术 的研究	中国机械工程	2003.14.12
42	杨建明 朱 荻 雷卫宁	博士生 教 授 博士后	052	电沉积法制备纳米晶 材料的研究进展	材料保护	2003.36.4
43	杨建明 朱 荻 曲宁松 雷卫宁	博士生 教 授 讲 师 博士后	052	纳米晶Ni-Mn合金的脉 冲电铸研究	中国机械工程	2003.14.22
44	张文峰 朱 荻	博士生 教 授	052	电沉积纳米复合材料的 研究与应用	材料导报	2003.17.8
45	张文峰 朱 荻	博士生 教 授	052	电子束加工技术及其 在表面工程中的应用	新技术新工艺	2003.8
46	张文峰 朱 荻	博士生 教 授	052	基于特种加工的镜面 抛光新技术	表面技术	2003.32.4
47	张文峰 朱 荻	博士生 教 授	052	纳米晶复合材料电沉 积工艺的研究进展	兵器材料科学与 工程	2003.26.6
48	解西锋 朱 荻	硕士生 教 授	052	高频脉冲电铸的试验 研究	航空精密制造技 术	2003.39.2
49	史先传 朱 荻	硕士生 教 授	052	可重构电解加工机床 研究	电加工与模具	2003.6
50	王 蕾 朱 荻 李志永	博士生 教 授 博士生	052	发动机叶片电解加工 阴极设计的基础研究	航空精密制造技 术	2003.39.5
51	李志永 朱 荻 赵东标	博士生 教 授 教 授	052	可重构制作模式	机械制造及其自 动化	2003.4
52	李志永 朱 荻 王 蕾	博士生 教 授 博士生	052	电解加工发动机叶片 阴极进给方向的优化	航空学报	2003.24.6
53	张朝阳	博士生	052	激光切割过程的阶段 分析及温度场模拟	应用激光	2003.23.6

序号	姓名	职 称 或学历	单位	论文题目	刊物、会议名称	年、卷、期
54	何 宁 李 亮	教 授 讲 师	052	高速切削工艺技术	机械工人(冷加工)	2003.9
55	何 宁	教 授	052	高速切削技术	工具技术	2003.37.11
56	何 宁 王志刚 姜澄宇 张 彬	教 授 硕士生 教 授 硕士生	052	The Finite Element Method Analysis and Control Stratagem for Machining Deformation of Thin-Walled Components	J.of Materials Processing Technology	2003.37.11
57	武 凯 何 宁 姜澄宇 何 磊	博士后 教 授 教 授 工程师	052	有限元技术在航空薄壁件立铣变形分析中的应用	应用科学学报	2003.21.1
58	满忠雷 何 宁 武 凯 李 亮 姜澄宇	博士生 教 授 博士后 讲 师 教 授	052	氮气介质下铣削钛合金时的刀具磨损研究	机械科学与技术	2003.22.6
59	李新龙 何 宁 李 亮 杨 波 潘文炳	硕士生 教 授 讲 师 硕士生 硕士生	052	半导体制冷装置的试验研究	第四次江苏科技论坛论文集	2003
60	王志刚 何 宁 武 凯 赵 威	硕士生 教 授 博士后 博士生	052	薄壁件加工变形因素综合分析	南航第五届研究生学术会议论文集	2003
61	刘 钢 何 宁 满忠雷 李 亮	硕士生 教 授 博士生 讲 师	052	铣削GH4169合金铣削力研究	第四次江苏科技论坛论文集	2003
62	肖 冰 徐鸿钧 傅玉灿 徐九华	讲 师 教 授 副教授 教 授	052	Form and Distribution Characterization of Reaction Products at the Brazing Interface Between Ni-Cr Alloy and Diamond	Key engineering Materials	2003.259-260

序号	姓名	职 称 或学历	单位	论文题目	刊物、会议名称	年、卷、期
63	徐鸿钧 傅玉灿 肖 冰 徐九华	教 授 副教授 讲 师 教 授	052	Fabrication of Monolayer Brazed Diamond Tools with Optimum Grain Distribution	Key engineering Materials	2003.259- 260
64	傅玉灿 肖 冰 徐鸿钧 徐九华	副教授 讲 师 教 授 教 授	052	Machining Performance of Monolayer Brazed Diamond Tools	Key engineering Materials	2003.259- 260
65	徐九华 任开强 耿国盛	教 授 硕士生 博士生	052	Cutting Forces in High- speed Milling of a Close Alpha Titanium Alloy	Key engineering Materials	2003.259- 260
66	王少刚 徐九华 姜澄宇	博士生 教 授 教 授	052	铝基复合材料的脉冲 氩弧焊研究	航空材料学报	2003.23.3
67	汪 炜 刘正坝	讲 师 教 授	052	根据大学生心理特点 组织教学, 不断提高 专业选修课教学质量	南航学报(社科 版)	2003.5.23
68	汪 炜 安鲁陵 谷 安 刘正坝 朱 荻	讲 师 副教授 讲 师 教 授 教 授	052	可重构WEDM编控一 体化系统设计及开发	电加工与模具	2003.5
69	汪 炜 刘正坝	讲 师 教 授	052	液体压力激波发生器 试验研究	中国机械工程	2003.14.18
70	汪 炜 翟洪军 安鲁陵 刘正坝 朱 荻	讲 师 博士生 副教授 教 授 教 授	052	可重构电火花线切割 CAD/CAM系统的研究	中国机械工程	2003.14.13
71	汪 炜 刘正坝 谷 安	讲 师 教 授 讲 师	052	液体压力激波加工技 术研究	南航学报	2003.35.5
72	翟洪军 汪 炜 安鲁陵 刘正坝	博士生 讲 师 副教授 教 授	052	电火花线切割加工中 上下异型体轨迹合成 的同步线性化	电加工与模具	2003.6
73	翟洪军 王东辉 刘海亮 汪 炜 安鲁陵	博士生 硕士生 硕士生 讲 师 副教授	052	基于ACIS平台的 WEDM自动编程系统 与开发	2003年全国特种 加工学术会议论 文集	2003

序号	姓名	职 称 或学历	单位	论文题目	刊物、会议名称	年、卷、期
74	赵庆志 刘正坝 高长水 谷 安	博士生 教 授 副教授 讲 师	052	数控电火花线切割曲线加工动态跟踪显示的实现	电加工与模具	2003.1
75	谷 安 刘正坝	讲 师 教 授	052	开放式慢丝机数控系统的研究	制造技术与机床	2003.1
76	薛重德	副教授	052	CPLD在电火花加工脉冲电源设计的应用	电加工与模具	2003.233
77	张 磊 云乃彰 郭紫贵	硕士生 教 授 硕士生	052	带冠整体叶轮的应用其及加工工艺的研究	电加工与模具	2003.2
78	张 磊 云乃彰 郭紫贵	硕士生 教 授 硕士生	052	带冠整体叶轮叶片型面电火花加工工艺若干关键研究	2003年全国特种加工学术会议论文集	2003
79	郭紫贵 云乃彰 张 磊	硕士生 教 授 硕士生	052	带冠整体叶轮组合电加工关键工艺的研究	机械科学与技术	2003.22
80	郭紫贵 云乃彰 张 磊	硕士生 教 授 硕士生	052	带冠整体叶轮数控展成电解加工的阴极设计	2003年全国特种加工学术会议论文集	2003
81	高长水 刘正坝	副教授 教 授	052	单晶硅材料电火花加工试验研究	电加工与模具	2003.5
82	高长水 刘正坝	副教授 教 授	052	A Study of Ultrasonic-aided Micro-Electrical Discharge Machining by the Application of Workpiece Vibration	Journal of Materials Processing Technology	2003.139
83	吴春艳	硕士生	052	通信光缆在线监测方法研究	自动化理论、技术与应用	2003.10
84	李萍萍 吴春艳 高长水	硕士生 硕士生 副教授	052	某型初速测定雷达性能改进研究	扬州大学学报	2003.5
85	张宝亚 高长水	硕士生 副教授	052	高速走丝线切割数控系统的设计与开发	电加工与模具	2003.5

序号	姓名	职 称 或学历	单位	论文题目	刊物、会议名称	年、卷、期
86	徐家文 朱永伟 胡平旺 云乃彰	教 授 博士后 博士生 教 授	052	Computer Aided Programming for NC-Electrochemical Contour Evolution Machining of Integral Impellers	The Proceeding of 18th International Conference on Computer-aided Production Engineering	2003.3
87	朱永伟 徐家文 胡平旺 钱 密 云乃彰	博士后 教 授 博士生 博士生 教 授	052	线状阴极数控展成电解加工成形规律的研究	航空精密制造技术	2003.39.1
88	钱 密 徐家文	博士生 教 授	052	数控展成电解加工的阴极结构及流场研究	航空精密制造技术	2003.39.2
89	钱 密 徐家文	博士生 教 授	052	展成电解加工整体叶轮中的光整加工	航空制造技术	2003.4
90	徐家文 云乃彰 严德荣	教 授 教 授 技 师	052	数控电解加工整体叶盘的研究、应用和发展	航空制造技术	2003.6
91	徐家文 朱永伟 胡平旺 云乃彰 严德荣	教 授 博士后 博士生 教 授 技 师	052	数控电解加工整体叶轮的关键技术	宇航材料工艺	2003.33.2
92	徐家文 朱永伟 胡平旺 云乃彰 严德荣	教 授 博士后 博士生 教 授 技 师	052	整体叶轮的数控电解加工及其在航天制造中的应用前景	宇航材料工艺	2003.33.1

生物制造——一种新型微/纳米制造技术*

Bio manufacture — A New Micro/ Nano Manufacturing Technology

北京航空航天大学
中国科学院微生物研究所

张德远 黎向锋
李雅芹

【摘要】叙述了生物制造新技术产生的背景、发展框架与最新进展,并展望了生物制造的未来。

关键词:生物制造 生物加工 微/纳米制造

【ABSTRACT】 The background of new technology, development framework and the latest progress of biomanufacture are described. The future of biomanufacture is looked forward to.

Key words: Biomanufacture Biomachining Micro/ nano manufacture

微/纳米科学与技术的发展对国防和民用的众多学科领域产生了深远的影响,其中微/纳米制造技术起到决定性作用。微/纳米制造的对象主要包括:微机电系统 MEMS (Micro Electro Mechanical System)、纳米材料(有纳米颗粒、纳米涂层、纳米晶体等,尺度小于 100 nm)、纳米生物学和纳米医药学、纳米电子学等。

目前主要采用物理和化学形式的制造方法。而微机电系统的制造方法主要是硅片 IC 刻蚀、LIGA 深电铸技术,但只能在膜片上进行二维加工。因此,国际上对微细三维构造方法的发展倍加关注,并在努力探索新型微细加工方法。

另一方面,生物技术迅猛发展也是 21 世纪的重要特征之一,生命科学必将对微/纳米技术发展产生深刻的影响。生物制造作为物理、化学形式之外的一种新型制造方法,其可行性已得到证实(该项目由中科院微生物所与北京航空航天大学合作),并取得了理论上的进展,生物制造发展框架的提出,表现出这一新领域的巨大发展潜力与应用前景。

生物制造是 21 世纪生命科学、微/纳米科学、新材料科学交叉的新领域,它的产生将对这 3 个前沿领域的发展产生重要影响。已经开展和可以预见的生物制造发展框架包括以下几个方面:

- 生物加工:生物去除成形、生物约束成形、生物生长成形;

- 生物组装:菌体组装、蛋白质重组、DNA 裁剪;
- 生物材料:生物型复合材料、生物功能表面与生物膜、生物功能颗粒;
- 生物器件:生物型 MEMS、分子机器、生物传感器、生物芯片、人工活体器官、鞭毛马达。

本文以生物加工为核心,系统论述了生物制造新领域的研究进展。

1 生物加工

目前已发现的微生物有 10 万种左右,尺度绝大部分为微/纳米级,具有不同的标准几何外形与亚结构、生理机能及遗传特性。这就有可能找到“吃”某些工程材料的菌种,实现生物去除成形 (Bioremoving forming);复制或金属化不同标准几何外形与亚结构的菌体,再经排序或微操作,实现生物约束成形 (Biolimited forming);甚至通过控制基因的遗传形状特征和遗传生理特征,生长出所需的外形和生理功能,实现生物生长成形 (Biogrowing forming)。

1.1 生物去除成形

本研究采用中国科学院微生物研究所保藏的氧化亚铁硫杆菌 (Thiobacillus ferrooxidans) T-9 菌株,去除纯铜、纯铁和铜镍合金等材料,用掩膜控制去除区域,实现生物去除成形。该菌是中温、好氧、嗜酸、专性无机化能自氧菌,其主要生物特性是将亚铁离子氧化成高铁离子以及将其他低价无机硫化物氧化成硫酸和硫酸盐,并从中获得生长所需要的能量;以 CO_2 作为唯一碳源,最佳生长温度为 30~35℃,最佳 pH 值 2.5。振荡培养 45 h 后得到用于生物加工的细菌培养液。

金属试件的生物去除成形实验过程如图 1 所示。

首先选择纯铁(纯度 98.4%)、纯铜(纯度 99.9%)作为工件材料,并对被加工表面进行抛光和清洗,再贴上一层抗蚀剂干膜,掩膜覆盖下经紫外线曝光、显影,最后制备出所需图形保护膜的试件。另外,将氧化亚铁硫杆菌接种到具有一定浓度 Fe^{2+} 的 Leathen 培养基中,在一定条件下培养 45 h,制备出氧化亚铁硫杆菌培养液,用于生物加工上述金属试件。实测生物加工纯

* 国家自然科学基金、高校博士点科研基金、国防基础科研计划资助项目。

铜和纯铁的刻蚀速度分别为 $13.5 \mu\text{m/h}$ 和 $10 \mu\text{m/h}$ 。图2是生物加工 $85 \mu\text{m}$ 厚纯铜齿轮与 $70 \mu\text{m}$ 深、 $200 \mu\text{m}$ 宽沟槽的 SEM 照片。

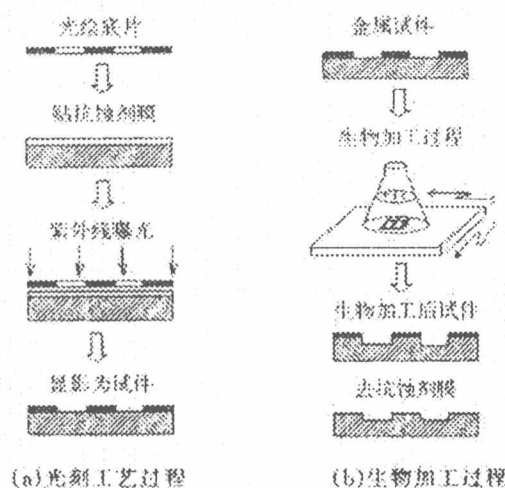


图1 生物去除成形实验过程

Fig. 1 Experiment procedure of bioremoving forming

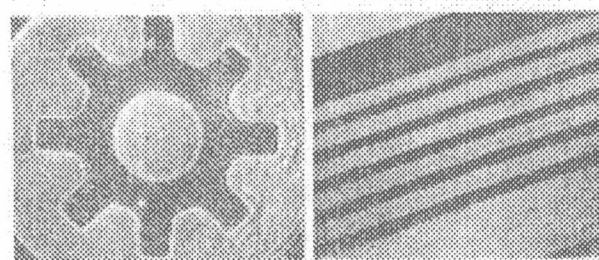


图2 生物加工纯铜齿轮与沟槽的 SEM 照片

Fig. 2 SEM photographs of bio-machined gear and grooves on a pure copper piece

生物去除成形的主要工艺特点是：

- (1) 侧向钻蚀量是普通化学加工的一半左右；
- (2) 加工过程反应物和生成物通过氧化亚铁硫杆菌的生理代谢过程达到平衡；
- (3) 可通过不同微生物的材料选择性加工不同材料；
- (4) 生物刻蚀速度取决于细菌浓度和材料性质。

1.2 生物约束成形

目前已发现的微生物中大部分细菌直径只有 $1 \mu\text{m}$ 左右，最小的病毒和纳米微生物直径为 50 nm 。菌体有各种各样的标准几何外形（如球状、杆状、丝状、螺旋状、管状、轮状、玉米状、香蕉状、刺猬状等），用现有任何加工手段都很难加工出这么小的标准三维形状。这些不同种类菌体的金属化将会有以下一些微/纳米尺度的用途：

- (1) 构造微管道、微电极、微导线等；
- (2) 菌体排序与固定，构造蜂窝结构、复合材料、多孔材料、磁性功能材料等；
- (3) 去除蜂窝结构表面，构造微孔过滤膜、光学衍射孔等。

德国的德累斯顿工业大学成功地进行了人工蛋白质微丝（直径 50 nm ）电镀。美国的海军研究实验室进行了脂质微管（直径 500 nm ）电镀。本文提出的菌体金属化，尺寸更统一，形状更多样，菌体获取更容易。

有关生物构成材料的化学镀镍研究非常少，属科学前沿领域，至今尚未发现对细菌菌体表面化学镀镍的报道。本课题首先选择了细胞壁较厚的固囊酵母菌作为金属化实验对象，探索其可行性。参考细胞切片工艺和化学镀镍工艺，按图3步骤实施菌体化学镀镍，其中菌体表面胶体钨活化这一步最为重要，直接影响到菌体表面形成催化中心的多少、粒度大小，分布均匀性，最终关系到化学镀镍的镀层质量。

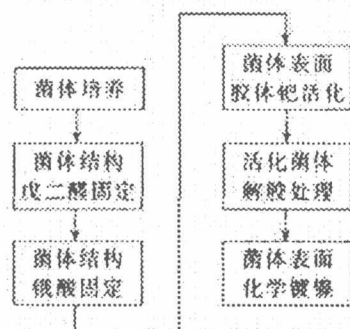
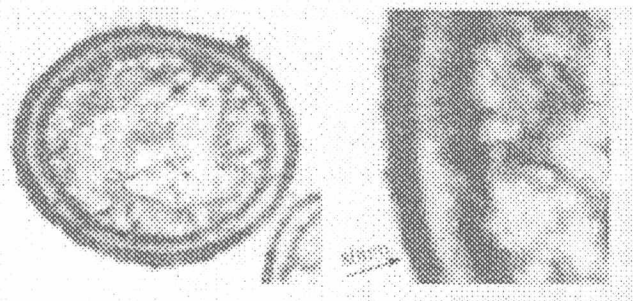


图3 菌体化学镀镍工艺过程

Fig. 3 Procedure for electroless depositing of nickel onto bacteria

图4示出固囊酵母菌 Ni-P 化学镀镍的镀层厚度约为 80 nm ，首次实现了菌体化学镀镍。对镀层进行



(a) $\times 1.7$ 万倍

(b) $\times 4.5$ 万倍

图4 固囊酵母菌化学镀镍的切片形貌

Fig. 4 Photographs of microtome section of *citreomyces matritensis* deposited by nickel, (a) $\times 17\,000$ (b) $\times 45\,000$

能谱分析表明,镍含量为 80%~90%,磷含量为 10% 以上。为实现金属化菌体的磁场排序,必须保证金属化菌体具有铁磁性。但是由于镀镍层含磷量大于 7% 就没有铁磁性, Ni-P 化学镀镍不容易产生磁性,所以本文作者正在进一步研究 Ni-B, Ni-Co, Ni-Fe-P, Ni-Fe-B 等镀镍配方的磁性问题。菌体磁性镀镍成功后,将进一步研究金属化菌体的磁场排序问题。

1.3 生物生长成形

生命是物质的最高形式,有生命的生物体和生物分子与其他无生命的物质相比,具有繁殖、代谢、生长、遗传、重组等特点。随着人类对基因组计划的不断实施和深入研究,人工控制细胞团的生长外形和生理功能已逐渐变为现实。

目前,国际上利用蛋白质晶体重组和细胞生长进行了不少有意义的探索性研究。英国 Bach 大学和奥地利 Bodenkultur Wien 大学合作研究了古细菌外膜(S-layers)蛋白质重组,在电镀格栅上自组装出具有 5 nm 直径孔有序阵列的二维蛋白质膜,在膜的两侧分别为 CdCl_2 和 H_2S , 结果在纳米孔口处形成 5 nm 左右的 CdS 纳米颗粒,有望成为纳米存储单元。德国 Dresden 工业大学利用猪脑蛋白质重组出 25 nm 直径的微管,并实现了磁性镀镍,但纳米管的变形较大。日本国立循环器官病中心利用表面细胞修饰技术,在一定活性修饰表面上接种神经细胞,结果生长出了微米级六边形阵列的人工神经网络,有可能实现活体神经网络的 0/1 控制。细胞团的三维生长控制,一般采用凝胶状或海绵状三维培养框架结构,在一定的外形约束、培养介质、培养条件(压力、温度、刺激因子等)下,对接细胞进行三维组织培养。目前国际上已成功地实现了皮肤细胞的二维生物组织构造,正处于产品开发阶段。软骨、血管、肝脏等细胞的三维生物组织构造技术正处于研究阶段。目前人类已能控制在老鼠身上某个部位长出耳廓形状的组织。相信在不远的将来,一定可以通过控制基因的遗传形状特征和遗传生理特征,生长出所需外形和生理功能的人工器官,用于延长人类生命或构造生物型微机电系统。

2 生物制造的未来

众所周知,集成电路的发现与硅制造技术的不断突破,创造了“硅时代”和“信息时代”,而纳米技术在总体上对社会的冲击将远比硅集成电路大得多,将成为未来国际经济和军事竞争的焦点,具有明显的政治色彩。纳米制造意味着人类用全新的制造工具和方法摆弄自然界的极端——原子和分子,创造出无穷无尽的新事物。然而纳米技术尚属初步探索阶段,困难主要

表现在纳米尺度的现象和机理绝大部分还不清楚,纳米制造手段还很不成熟。纳米技术的研究目标过于基础,而且特别具有学科交叉性,需要物理、化学、生物、工程等学科的联合与协作。生物制造将为纳米技术提供全新的制造手段,也将扩展传统制造领域的边界和范畴。

随着生命科学的进步,生物制造的理论和技术形式将不断完善和丰富。从以下几个方面可以预测生物制造的发展前景。

(1)在机器人、微机电系统、微型武器方面,将更多地应用生物动力(人工肌肉、鞭毛马达、生物泵等)、生物感知(生物触觉、视觉、味觉、听觉等)、生物智能(人工神经网络、生物计算机等),使未来的机器人越来越像人或动物。

(2)在纳米技术方面,实现纳米尺度上裁剪或连接 DNA 双螺旋,改造生命特征;实现各种蛋白质分子和酶分子的组装,构造纳米人工生物膜,实现跨膜物质选择运输和电子传递。

(3)在医疗方面,三维生物组织培养技术不断突破,人体各种器官将能得到复制,会大大延长人类的生命。

(4)在生物加工方面,通过生物方法制造纳米颗粒、纳米功能涂层、纳米微管、特殊结构的功能材料、微器件、微动力、微传感器、微系统等。

参 考 文 献

- 1 张德远,李亚芹,孙以凯. 生物加工金属材料的可行性研究. 中国科学(C辑), 1997, 27(5):410~414
- 2 张德远,李亚芹,吴依陶. 生物加工纯铜的动力学与热力学研究. 中国科学(C辑), 1999, 29(2):132~137
- 3 Zhang Deyuan, Li Yaqin, Wang Chunsheng. Fundamental study on biomachining. ICPG'98, 1998, 303~307

(责编 根 山)

|||||

电动轿车用稀土永磁无刷 直流电机驱动系统的研制

由国家科技部下达的“九五”国家重点科技攻关专题“电动轿车用稀土永磁无刷直流电机驱动系统的研制”,日前通过国家验收。该项目由西北工业大学研制,成功地解决了电动轿车用稀土永磁无刷直流电动机驱动系统的优化设计、直接功率转矩控制、大电流控制技术难题,具有效率高、输出转矩大、低速性能优越等特点,在电动汽车上应用,可以使电动汽车有限的储能发挥更长的续航里程。

(郭 明)

微生物细胞金属化工工艺研究*

黎向锋^{①**} 李雅芹^② 蔡 军^① 张德远^①

(①北京航空航天大学机械工程及自动化学院, 北京 100083; ②中国科学院微生物研究所, 北京 100080)

摘要 为生物约束成形加工制备单体, 对微生物材料固囊酵母菌和蜡状芽孢杆菌细胞的化学镀镍磷工艺、细胞形态、镀层成分和相结构进行了研究. 结果表明细胞壁厚的固囊酵母菌金属化后不破裂、不变形; 蜡状芽孢杆菌在适当镀层厚度下仍能保持原来形状; 镍磷镀层成分及厚度均匀, 为非晶态结构. 还探讨了菌体金属化工工艺过程的化学反应机理.

关键词 生物加工 生物约束成形加工 菌体金属化 镍磷化学镀 单体形态

在现有物理与化学形式的加工方法之外, 还有生物加工方法(biomachining). 利用微生物生理特征的生物去除成形加工(bioremoving forming)可行性已得到证实^[1-4]. 本文提出了基于微生物形态特征的生物约束成形加工(biolimited forming)方法, 即用化学沉积方法制备具有一定强度和外形的空心金属化菌体, 并以此作构形单体构造微结构或功能材料.

菌体金属化是实现生物约束成形加工的第一步, 目前还未见报道, 相关研究只有脂质微管金属化及塑料化学镀^[5-8]. 本文报道菌体金属化工工艺、细胞形态及镀层特性的探索研究.

1 材料和方法

1.1 微生物培养和细胞搜集

本研究采用中国科学院微生物研究所保藏的固囊酵母菌(*Candida matritensis*)和蜡状芽孢杆菌(*Bacillus cereus*)为金属化模板. 固囊酵母菌细胞形态呈椭圆形, 长轴约 4.8~5.5 μm , 短轴约 2.6~3.1 μm , 可有一个或两个芽. 蜡状芽孢杆菌细胞形态呈杆状, 长约 3.0~5.0 μm , 宽约 1.0~1.2 μm , 革兰氏阳性菌. 其培养均采用常规方法^[9], 对数期后离心搜集菌体.

1.2 细胞固定

为保持细胞原形和增加机械强度, 在金属化前对搜集的菌体细胞进行戊二醛固定和锇酸固定. 首先在温度为 4℃、浓度为 2.5%的戊二醛溶液中固定 6 h, 经磷酸缓冲液洗涤后, 再在温度为 4℃、浓度为 1%的锇酸溶液中固定 3 h. 其中蜡状芽孢杆菌经过戊二醛固定, 固囊酵母菌经戊二醛及锇酸固定, 再经乙醇系列脱水、环氧丙烷浸透、树脂包埋及固化等处理, 最后制备成超薄切片.

1.3 菌体金属化前处理方法

为使固定后菌体表面化学镀镍一开始就有镍离子还原, 必须经过敏化、活化及解胶等前处

2001-11-13 收稿, 2002-02-10 收修改稿

* 国家自然科学基金资助项目(批准号: 59975007)

** 目前通讯地址: 南京航空航天大学机械制造与自动化系 505 教研室, 南京 210016. xiangfeng6602@sina.com

理工艺, 最终在菌体表面上吸附钯颗粒, 以形成化学镀镍的活化中心, 使之具有自催化性。

活化溶液是将敏化与活化合为一步的胶态钯活化液。菌体用胶态钯活化液在室温下活化 10 min 左右。解胶溶液为 30 g/L 的 $\text{NaH}_2\text{PO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, 用水稀释到 1 L。胶态钯活化后的菌体在室温下用解胶溶液解胶 1 min 左右。这样, 钯颗粒周围的二价锡离子水解胶层脱去, 使其充分暴露出来, 成为化学镀镍的催化中心。

1.4 菌体金属化——化学镀镍磷

实验中采用镍磷化学镀实现菌体金属化, 镀液 1 和 2 均用 NaOH 或 NH_4OH 调到 pH 值为 9, 在 40℃ 下化学镀镍磷 60 min。镀液配方如表 1 所示。

表 1 化学镀镍配方(mol/L)

镀液	氯化镍	硫酸镍	次磷酸钠	焦磷酸钠	三乙醇胺	柠檬酸钠	氯化铵	氟化物	硫脲
1 号	0.09	无	0.24	无	无	0.15	0.56	少量	少量
2 号	无	0.09	0.24	0.13	0.67	0.05	0.56	少量	少量

硫酸镍或氯化镍是镀层中镍的来源。次磷酸钠通过催化脱氢, 提供活泼的新生态氢原子, 从而把镍离子还原成金属镍; 此外还使镀层中含有磷, 形成镍磷合金镀层。柠檬酸钠、焦磷酸钠、三乙醇胺及氯化铵等使 Ni^{2+} 生成稳定络合物, 防止生成氢氧化物及亚磷酸盐沉淀。硫脲可掩蔽镀液中产生的活性结晶核心, 防止镀液分解, 增加镀液稳定性。氟化物使亚磷酸分子中氢和磷原子间键合变弱, 氢在被催化表面上容易移动, 提高沉积速度。

2 实验结果

2.1 酵母菌细胞金属化单体镀层

对固囊酵母菌金属化各阶段的细胞超薄切片用透射电子显微镜和扫描电子显微镜进行研究, 细胞形态变化和镀层特征及成分分析如图 1 和表 2。综合分析如下: (i) 菌体双固定后, 细胞不变形, 细胞壁呈白色凝胶层。主要成分为 Os, 来自于双固定阶段中的钨酸。(ii) 胶态钯活化后, 细胞壁外表面有一层黑色絮状的钯活化层。主成分 Pd 和 Sn 来自于吸附在菌体表面的胶态钯。(iii) 化学镀后, 细胞壁形成厚度均匀的黑色镀层, 主成分为 Ni 和 P。2 号镀液的镀层厚度比 1 号镀液的大, 而且致密, 说明 2 号镀液的沉积速度快。(iv) 化学镀后细菌细胞壁的内表面均有一层黑色层, 是通过细胞壁上的纳米孔浓差渗透到细胞壁内沉积形成的。

表 2 固囊酵母菌金属化各阶段镀层特征及成分分析

特性及成分	镀层			
	双固定细胞壁	钯活化层	1 号镀层	2 号镀层
形态	白色凝胶状层	黑色絮状层	黑色絮状层	黑色致密厚层
层厚度/nm	125	30~60	50	100
主要成分(质量分数)	100% Os	32% Pd + 68% Sn	89.8% Ni + 10.2% P	92.7% Ni + 7.3% P

2.2 蜡状芽孢杆菌细胞金属化

蜡状芽孢杆菌用 2 号镀液化学镀 60 min 后, 其细胞形态、相结构及磁滞回线如图 2 所示, 图 M 为磁化强度(strength of magnetization), H 为磁场强度(strength of magnetic field)。可以看出: (i) 蜡状芽孢杆菌用 2 号镀液化学镀后, 菌体形状保持不变, 菌体表面光滑。(ii) 在 $2\theta = 40 \sim 50^\circ$ 出现一馒头峰, 为高磷镍磷镀层的典型 XRD 图, 说明镀层为非晶态结构。(iii) Ni-P 金

属化后的蜡状芽孢杆菌对 NdFeB 永磁体没有反应,表明此镀层没有磁性,是镀层中 P 含量较高所致。一般只有 $P \leq 3\%$ (质量分数) 的镀层才具有铁磁性。

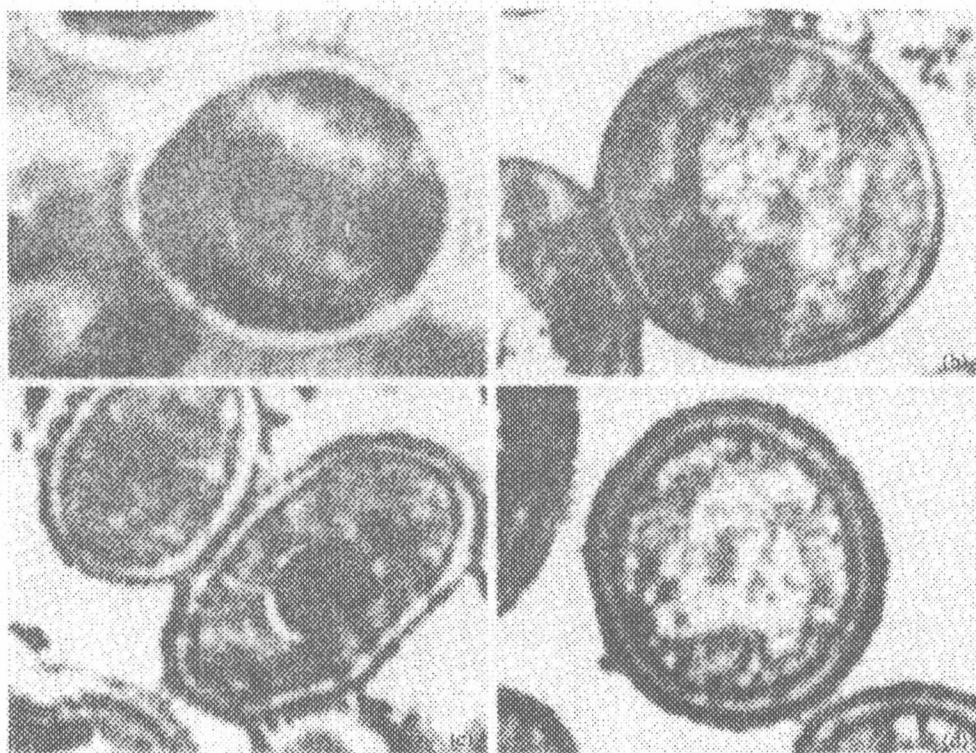


图 1 圆囊酵母菌细胞金属化各阶段细胞超薄切片的透射电子显微镜照片

(a) 双固定后, 6800 $\times$; (b) 胶态锇固定后, 51000 $\times$; (c) 1 号液电镀磷后, 51000 $\times$; (d) 2 号液电镀磷后, 51000 $\times$

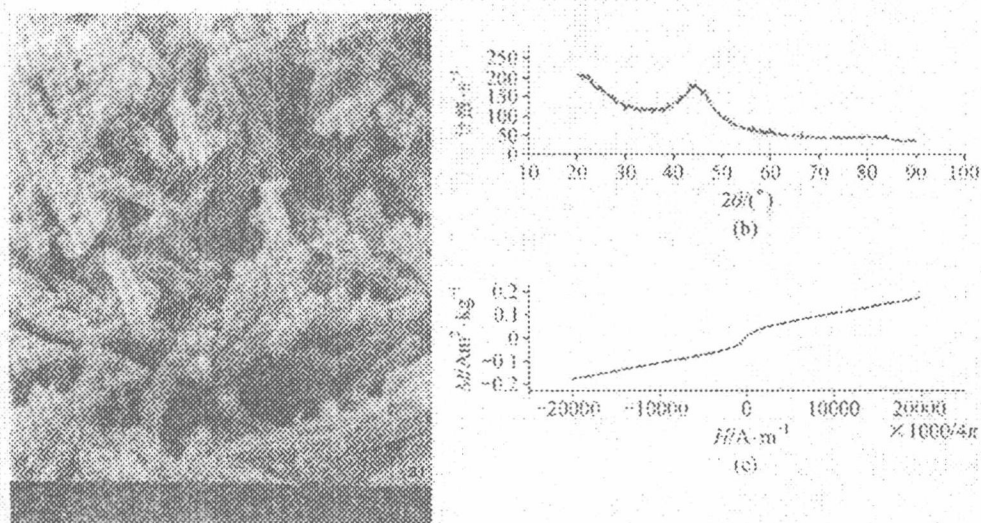


图 2 蜡状芽孢杆菌金属化后细胞形态、相结构及磁滞回线

(a) SEM 照片, (b) 相结构分析, (c) 磁滞回线