

现代电子装联工艺技术丛书

现代电子装联 工艺过程控制



樊融融 编著



本书讨论了现代电子产品生产过程中工艺过程控制的重要性，并以人、机、料、法、测、环等六大因素为对象，就工艺过程控制的基础技术理论、内容、方法和目标进行了较全面的分析。旨在为从事现代电子产品制造的工艺工程师、质量工程师、生产计划管理工程师、物料管理工程师等，提供一本实践性较强的、理论和实践紧密结合的参考读物。



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

现代电子装联工艺技术丛书

现代电子装联工艺过程控制

樊融融 编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书讨论了现代电子产品生产过程中工艺过程控制的重要性,并以人、机、料、法、测、环等六大因素为对象,就工艺过程控制的基础技术理论、内容、方法和目标进行了较全面的分析。旨在为从事现代电子产品制造的工艺工程师、质量工程师、生产计划管理工程师、物料管理工程师等,提供一本实践性较强的,理论和实践紧密结合的参考读物。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

现代电子装联工艺过程控制 / 樊融融编著. —北京: 电子工业出版社, 2010.7

(现代电子装联工艺技术丛书)

ISBN 978-7-121-11296-6

I. ①现… II. ①樊… III. ①电子产品—装配—过程控制 IV. ①TN605

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 131183 号

策划编辑: 李 洁

责任编辑: 万子芬

印 刷: 北京市李史山胶印厂

装 订:

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本: 787×1092 1/16 印张: 22.75 字数: 582 千字

印 次: 2010 年 7 月第 1 次印刷

印 数: 4 000 册 定价: 49.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线: (010) 88258888。

序

现代电子产品制造是连接现代电子产品设计和市场营销之间的桥梁,任何一种先进的产品设计,均需经过产品制造这一环节,变成设计所赋予的全部功能的产品实体后,再通过市场营销手段转变为社会商品。显然产品制造是一个企业生产实践活动的核心,是企业赢取利润的重要环节。

随着芯片封装技术多功能化和微小型化日新月异地发展,现代电子产品制造技术已与传统电子产品制造技术有了很大的不同,这种不同就在于前者中的板级电子装联部分越来越占据主导地位,它成了决定现代电子产品制造质量好坏和制造可靠性高低的基础。

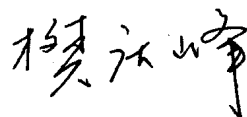
现代电子装联工艺技术,是研究如何以最优化的工艺流程,最适宜的工艺技术手段,力求以最低的成本,最少的人力、物力消耗,以最快的时间来响应市场的需求,向社会提供制造质量好、可靠性高的现代化的电子产品的一门技术。因此可以说:产品的高质量、低成本既是设计出来的,更是制造出来的。

产品制造中的高质量、低成本策略的实施,要以人为本。造就一批既精通现代电子装联技术理论,又有丰富实践经验的现代电子装联工艺工程师群体,是企业工艺文化的核心,是市场竞争的需求,也是企业产品不断发展与创新的需要。

笔者根据现代电子产品生产实际的需要,组织撰写了这套“现代电子装联工艺技术丛书”,目的是让电子装联工艺工程师们,在面对现代电子产品生产制造过程中的问题时,不仅知道如何去处理,还要知道为什么要这样处理。

期待本套书的出版,能对国内从事现代电子装联工艺工程师们的工作有所助益。

中兴通讯股份有限公司执行副总裁



前 言

一个产品的制造工艺过程由工步、工序及若干个质量控制节点构成。为获得最高的良品率，按照预定的工艺技术要求 and 工艺窗口设计，对每一道工序、工序及影响制造质量的节点参数进行科学的控制和管理，使产品的整个生产链都处于工艺受控状态，总称为工艺过程控制。

产品制造过程和其他事物一样，其遵循的规律是在不断变化的，要控制产品的制造质量，做到事先预防，就必须掌握它的变化规律，这个规律就是产品质量的波动性。工艺过程控制的目的，就是为了最大限度地限制这种波动性，使其在所要求的范围之内。

引起产品制造中质量波动的主要因素可归纳为人、机、料、法、测、环（5M1E），因此，广义的工艺过程控制应该以人、机、料、法、测、环等六大因素为对象，从产品设计的可制造性、可测试性、可维修性、原材料进厂、生产线的布局、人员的技术素质、各工序、工步的工艺参数和窗口的设定、质量控制标准、生产环境要求和控制，直到产品进入市场的每一个环节都应进行全方位的控制和管理。

改革开放以来，我国电子产品制造业已有了长足的发展，在单项工艺技术研究、工艺技术装备开发、产品质量缺陷形成机理等的研究试验水平也在向国际水平靠近。然而对产品制造全流程工艺过程控制技术、理论和应用的系统研究却还滞后于先进国家，这正是我国电子产品制造质量与国外一些著名品牌存在差距的症结所在。

（1）国内普遍存在的“虽然拥有世界一流的工艺技术装备和手段，但却不能完全实现低成本、稳定、持续生产出享誉世界的、一流质量的产品”。

（2）国外一些与国内同等规模，甚至规模更小的公司，采用并非世界顶级的工艺装备和手段，却能源源不断地生产出享有世界盛名的高质量产品。

（3）遇到质量问题攻关，往往是越攻，工艺窗口越窄，其后果必然是该批次问题似乎解决了，下批次却又重生，好像割韭菜，割了又生，其要害也是轻视了“工艺过程控制”这一环节。

作者在对国外一些公司考察后，对所见所闻进行了长时间的深入思考和研究，不得不承认国内在电子产品制造过程中不同程度地忽视了“工艺过程控制”这一系统工程要素。国外一些公司正是通过不断完善的“工艺过程控制”这一手段，把产品质量形成过程中的各种要素，自始至终都严密地控制和管理起来了。

撰写本书的目的，是为了引起国内电子制造业界，在电子产品制造过程中对“工艺过程控制”这一系统工程要素的重视。唯有这样，才能使我国由电子制造大国变成电子制造强国。

本书的出版，得到了中兴通讯股份有限公司执行副总裁樊庆峰先生的热情支持，在此表示深深的谢意。

本书在编著过程中得到了中兴通讯高级顾问马庆魁先生，副总经理张强先生，硬件研究所所长冯力博士，总工艺师戎孔亮先生，部件生产部长钱国民先生，PCBA 生产工艺部长董四海先生，材料实验室主任宋好强先生和工艺专家贾忠中先生等同仁的关心与支持。基础工艺科长刘哲先生及邱华盛、孙磊、钟宏基、曾福林等高级工程师校阅了书稿，在此也向他们表示衷心的感谢。

由于时间仓促，作者水平有限，书中错误在所难免，敬请广大读者批评指正。

作 者

2009.10 于中兴通讯股份有限公司

目 录

第 1 章 现代电子装联工艺过程控制概论	(1)
1.1 工艺技术和工艺技术进步	(1)
1.2 工艺过程和工艺过程控制	(3)
1.3 工艺过程控制的要素和内容	(4)
1.3.1 工艺过程控制的要素	(4)
1.3.2 工艺过程控制的内容	(4)
1.3.3 控制项目和方法	(7)
1.3.4 数据和图表	(8)
1.3.5 产品生产与运营	(9)
1.4 SMT 全过程控制和管理	(10)
1.4.1 概述	(10)
1.4.2 SMT 全过程控制和管理	(10)
1.5 工艺过程控制中应注意的问题	(13)
1.5.1 要更多关注检测过程	(13)
1.5.2 动作和措施的执行	(14)
1.5.3 正确地分离变异原因	(14)
1.6 电子制造技术的发展	(16)
第 2 章 现代电子装联工艺过程的环境控制要求	(18)
2.1 现代电子装联工艺过程质量与环境	(18)
2.1.1 现代电子产品组装质量与环境的关系	(18)
2.1.2 DPMS 与大气气候变化的统计关系	(20)
2.2 现代电子装联工艺过程对物理环境条件的要求	(25)
2.2.1 正常气象环境的定义	(25)
2.2.2 现代电子装联工艺过程对物理环境条件的要求	(25)
2.3 现代电子装联工作场地的静电防护要求	(28)
2.3.1 静电和静电的危害	(28)
2.3.2 电子产品制造中的静电	(29)
2.3.3 静电防护原理	(30)
2.3.4 静电监测仪器	(30)
2.3.5 现代电子装联工作场地的防静电技术指标要求	(30)
第 3 章 电子元器件、PCB 及装联用辅料的互连工艺性控制要求	(32)
3.1 概述	(32)
3.2 电子元器件引脚(电极)用材料及其特性	(32)
3.2.1 对电子元器件引脚材料的技术要求	(32)
3.2.2 电子元器件引脚用材料	(32)

3.3	基体金属涂层的可焊性控制	(35)
3.3.1	可焊性	(35)
3.3.2	可焊性涂层的分类	(35)
3.3.3	可焊性镀层的可焊性评估	(36)
3.4	电子元器件引脚及 PCB 焊盘可焊性镀层的特性描述	(37)
3.5	电子装联工艺过程对 PCB 焊盘涂层及基材特性的控制要求	(41)
3.5.1	PCB 焊盘涂层材料及特性	(41)
3.5.2	电子装联工艺过程对 PCB 基材特性的控制要求	(45)
3.6	常用电子元器件引脚镀层的典型结构	(46)
3.6.1	THT/THD 类元器件引脚镀层结构	(46)
3.6.2	SMC/SMD 类元器件引脚典型镀层结构	(47)
3.7	电子元器件引脚及 PCB 焊盘金属镀层的腐蚀(氧化)	(52)
3.7.1	金属腐蚀的定义	(52)
3.7.2	金属腐蚀的分类	(53)
3.8	引脚镀层可焊性的储存期控制	(58)
3.8.1	储存期对可焊性的影响	(58)
3.8.2	加速老化处理控制	(59)
3.9	电子元器件焊端镀层的可焊性试验	(59)
3.9.1	可焊性的定义	(59)
3.9.2	可焊性和可靠性	(59)
3.9.3	焊接过程中与可焊性相关的物理参数	(60)
3.9.4	可焊性测试	(60)
3.10	助焊剂、钎料和焊膏的组装工艺性控制	(63)
3.10.1	电子装联用助焊剂的工艺性控制要求	(63)
3.10.2	电子装联用钎料的工艺性控制要求	(66)
3.10.3	电子装联用焊膏的工艺性控制要求	(68)
3.10.4	如何选购和评估焊膏应用的工艺性	(69)
第 4 章	电子装联用元器件及辅料的全流程过程控制	(71)
4.1	通用元器件的全流程过程控制	(71)
4.1.1	通用元器件引线镀层耐久性要求	(71)
4.1.2	通用元器件的验收、储存及配送	(71)
4.2	潮湿敏感元器件全流程过程控制	(72)
4.2.1	名词定义	(72)
4.2.2	MSD 的分类及 SMT 包装的分级	(74)
4.2.3	MSD 的入库、储存、配送、组装工艺过程管理	(77)
4.3	静电敏感元器件全流程过程控制	(81)
4.3.1	定义、标识和分类	(81)
4.3.2	SSD 入库、储存、配送和操作过程控制	(84)
4.4	温度敏感元器件全流程过程控制	(87)

4.4.1	术语定义和温度敏感元器件损坏模式	(87)
4.4.2	常见的温度敏感元器件	(87)
4.4.3	温度敏感元器件的入库、储存、配送和操作过程控制	(88)
4.5	PCB 全流程过程控制	(89)
4.5.1	定义和分级	(89)
4.5.2	PCB 的入库、储存、配送和操作过程控制	(89)
4.6	元器件引线、接线头、接线柱及导线可焊性控制	(91)
4.6.1	标准和分类	(91)
4.6.2	试验设备	(92)
4.6.3	试验方法	(92)
4.6.4	试验步骤	(94)
4.7	钎料、助焊剂的管理过程控制	(98)
4.7.1	引用标准	(98)
4.7.2	管理过程控制	(98)
4.8	焊膏的管理过程控制	(100)
4.8.1	标准及对焊膏管理的描述	(100)
4.8.2	焊膏管理过程的控制	(101)
4.9	SMT 贴片胶全流程管理控制	(104)
4.9.1	标准、作用及性能要求	(104)
4.9.2	管理过程控制	(105)
4.10	电子装联用其他辅料的全程管理控制	(106)
4.10.1	UNDERFILL 胶水	(106)
4.10.2	导热胶	(107)
第 5 章	电子装联生产线和线型工艺设计及控制	(109)
5.1	电子装联生产线概论	(109)
5.1.1	电子设备的制造过程	(109)
5.1.2	电子装联和电子装联生产线	(109)
5.2	电子装联工艺全过程控制和管理	(110)
5.2.1	电子装联工艺全过程控制驱动了工艺装备技术的发展	(110)
5.2.2	Ionics 公司典型 SMT 生产线配置介绍	(113)
5.3	表面贴装组件 (SMA) 的生产流程	(113)
5.3.1	单块板 PCB 组装结构及生产流程	(113)
5.3.2	PCB 拼板组装结构及生产流程	(114)
5.4	THT 组装生产线体类型及其特点	(118)
5.4.1	目前流行的 THT 组装生产线体的类型	(118)
5.4.2	THT 组装生产线体的流程参数设计和控制	(119)
5.5	SMT 生产线体类型及其应用特点	(121)
5.5.1	SMT 生产线体类型	(121)
5.5.2	适合于高密度组装的 SMT 生产线型	(121)

5.5.3	SMT 组装生产线体的建线方案设计和控制	(123)
5.5.4	设备配置	(124)
5.6	电子产品制造中的静电防护	(128)
5.6.1	静电过载和静电释放损害的预防	(128)
5.6.2	EOS/ESD 安全工作台/EPA	(131)
5.6.3	生产线设备防静电实例	(132)
5.7	5S 管理	(134)
5.7.1	5S 管理概述	(134)
5.7.2	5S 管理的内容	(135)
5.7.3	5S 实施和管理	(138)
第 6 章	现代电子装联工艺过程控制的技术基础和方法	(140)
6.1	现代电子装联工艺过程控制的特点	(140)
6.1.1	现代电子装联工艺过程控制概论	(140)
6.1.2	现代电子装联工艺过程控制的特点	(140)
6.1.3	精度与重复性的确定	(140)
6.2	现代电子装联工艺过程中所发生现象的规律性描述	(141)
6.2.1	随机事件	(141)
6.2.2	统计规律和概率	(142)
6.3	6σ 与工艺过程控制	(146)
6.3.1	6σ 在过程控制中的应用	(146)
6.3.2	过程符合 6σ 的能力	(147)
6.3.3	过程(工序)能力指数 C_p	(148)
6.3.4	6σ 在现代电子装联工艺过程控制中的应用	(153)
6.3.5	DPMO 在电子装联板级组装中的应用	(156)
6.4	现代电子装联工艺过程控制中的统计过程控制 (SPC)	(160)
6.4.1	SPC 技术概述	(160)
6.4.2	SPC 技术的内容	(162)
6.4.3	SPC 控制图的原理、结构和作用	(164)
6.4.4	常用控制图介绍	(167)
6.4.5	控制图的修订和注意事项	(171)
6.4.6	SPC 应用实例	(172)
第 7 章	元器件成型、插装及波峰焊接工艺过程控制	(176)
7.1	元器件成型的工艺过程控制	(176)
7.1.1	元器件成型的定义及其对产品生产质量的影响	(176)
7.1.2	元器件成型前的质量控制	(176)
7.1.3	元器件成型的基本参数要求	(177)
7.1.4	元器件成型设备	(180)
7.1.5	元器件成型的特殊问题——应力释放	(187)
7.1.6	元器件成型工艺过程控制	(188)

7.2	元器件在 PCB 上插装工艺过程控制	(189)
7.2.1	名词定义	(189)
7.2.2	插装的基本工艺要求	(189)
7.2.3	插装质量控制和目标	(192)
7.3	波峰焊接工艺窗口设计及其工艺过程控制	(192)
7.3.1	影响波峰焊接效果的四要素	(192)
7.3.2	无铅波峰焊接的工艺性问题	(197)
7.3.3	SMA 波峰焊接的波形选择	(197)
7.3.4	波峰焊接工艺窗口设计	(199)
7.3.5	波峰焊接工艺过程控制	(204)
第 8 章	焊膏印刷模板设计、制造及印刷工艺过程控制	(212)
8.1	概述	(212)
8.2	焊膏印刷设备	(212)
8.2.1	焊膏印刷设备	(212)
8.2.2	选择焊膏印刷设备时应关注的问题	(213)
8.3	印刷模板设计的工艺性要求	(213)
8.3.1	模板设计的任务及应关注的问题	(213)
8.3.2	模板设计参数的控制要求	(214)
8.3.3	模板开孔侧壁的形态对焊膏释放的影响	(219)
8.3.4	焊盘面积的经验公式	(221)
8.4	模板加工技术对焊膏释放的影响	(222)
8.4.1	模板开孔形态对焊膏释放量的影响	(222)
8.4.2	模板制造技术及其对焊膏释放量的影响	(222)
8.5	焊膏的选择和参数控制	(227)
8.5.1	焊膏的选择	(227)
8.5.2	焊膏的应用环境要求	(229)
8.6	印刷用刮刀(刮板)	(229)
8.6.1	常用的刮刀(刮板)形式	(229)
8.6.2	刮刀的选用	(230)
8.6.3	金属刮刀的优点	(231)
8.6.4	刮刀结构形状对焊膏印刷中释放量的影响	(231)
8.7	焊膏印刷准备工序及印刷参数的选择和设定	(232)
8.7.1	焊膏印刷准备工序	(232)
8.7.2	印刷参数的选择和设定	(234)
8.8	焊膏印刷工艺过程控制	(238)
8.8.1	焊膏印刷工艺过程控制要素	(238)
8.8.2	焊膏印刷工艺过程控制方法	(240)
8.8.3	焊膏印刷工艺过程连续实时监测	(243)
8.8.4	保持 PCB 工艺文件的稳定性	(243)

8.9	焊膏印刷的质量控制要求及常见缺陷	(244)
8.9.1	焊膏印刷的质量控制要求	(244)
8.9.2	影响焊膏印刷不良的因素	(245)
8.9.3	焊膏印刷中常见的不良现象	(248)
8.9.4	印刷不良单板的处理	(251)
第9章	表面贴装工程及贴装工艺过程控制	(252)
9.1	表面贴装工程概述	(252)
9.1.1	表面贴装工程技术的发展及其特点	(252)
9.1.2	支撑 SMA 发展的元器件技术	(252)
9.2	现代封装技术的发展对贴装设备的适应性要求	(257)
9.2.1	高密度电路互连技术的发展对贴装机的精度要求	(257)
9.2.2	电子制造需求驱动了贴装设备技术不断创新	(258)
9.2.3	现代贴装设备的发展	(259)
9.3	贴装设备	(260)
9.3.1	常用的贴装机分类	(260)
9.3.2	典型机型简介	(262)
9.3.3	Multiflex 线体	(266)
9.4	贴装机过程能力的验证	(270)
9.4.1	背景	(270)
9.4.2	贴装机过程能力的描述 (IPC—9850 简介)	(271)
9.4.3	期望的贴装机能力指数 C_{pk}	(272)
9.5	贴装工艺质量要求	(272)
9.5.1	元器件贴装前的准备	(272)
9.5.2	贴装工艺质量要求	(273)
9.5.3	影响贴装质量的因素	(276)
9.6	元器件贴装工艺过程控制	(278)
9.6.1	元器件贴装工艺过程控制概述	(278)
9.6.2	贴装工序工艺过程控制	(279)
9.6.3	贴装工序工艺过程能力的测评及控制方法	(280)
9.7	在 FPC 上进行元器件贴装	(280)
第10章	SMT 再流焊接工艺过程控制	(282)
10.1	再流焊接工艺要素分析	(282)
10.2	再流焊接温度曲线	(284)
10.2.1	再流焊接工艺过程中的温度特性	(284)
10.2.2	怎样设定再流焊接温度曲线	(287)
10.3	再流焊接工艺窗口设计	(290)
10.3.1	机器参数	(290)
10.3.2	过程记录参数	(293)
10.4	再流焊接工艺过程控制	(293)

10.4.1	再流焊接中需要控制的工艺要素	(293)
10.4.2	再流焊接工艺过程控制	(293)
10.5	再流焊接焊点质量的在线实时监控	(295)
10.5.1	再流焊点质量监控与工艺过程控制的相关性	(295)
10.5.2	如何评估再流焊点的完整性	(295)
10.5.3	再流焊点质量监控	(296)
10.5.4	在组装过程中对 BGA 器件焊点质量的监控	(298)
第 11 章	刚性印制背板组装互连技术及工艺过程控制	(301)
11.1	概述	(301)
11.1.1	刚性印制背板	(301)
11.1.2	刚性印制背板组装中所采用的接合、接续技术	(303)
11.2	压接技术	(305)
11.2.1	简介	(305)
11.2.2	压接连接机理	(306)
11.2.3	压接工艺过程控制	(308)
11.3	绕接技术	(308)
11.3.1	定义和应用	(308)
11.3.2	绕接的原理	(309)
11.3.3	绕接连接的可靠性	(311)
11.3.4	绕接的特点	(313)
11.3.5	绕接工艺	(316)
11.4	背板的波峰焊接	(318)
11.4.1	背板波峰焊接的难点	(318)
11.4.2	适合于背板波峰焊接的设备特点	(319)
第 12 章	电子组件防护与加固工艺过程控制	(320)
12.1	电子组件防护与加固工艺的内容	(320)
12.1.1	为什么要对电子组件进行防护加固	(320)
12.1.2	防护加固的目的和内容	(326)
12.2	防护加固的工艺措施及其控制	(327)
12.2.1	气候环境防护加固工艺措施	(327)
12.2.2	防热加固工艺措施	(328)
12.2.3	机械应力环境的防护加固工艺措施	(329)
12.2.4	无铅焊点在机械应力环境中的工艺可靠性问题	(329)
12.2.5	免清洗助焊剂在应用中的隐患	(330)
12.3	PCBA 的防护与加固	(332)
12.3.1	敷形涂覆的目的和功能	(332)
12.3.2	常用的敷形涂层材料	(333)
12.3.3	对涂覆材料的要求	(334)
12.3.4	涂覆工艺环境的优化	(334)

12.3.5	敷形涂覆的工艺方法	(335)
12.3.6	敷形涂覆的典型工艺流程及应用中的工艺问题	(336)
12.3.7	多层涂覆	(338)
12.3.8	涂层质量要求	(338)
第 13 章	电子产品的可靠性和环境试验	(339)
13.1	电子产品的可靠性及可靠性增长	(339)
13.2	环境条件试验	(339)
13.3	气候、温度环境试验	(341)
13.3.1	高、低温度试验	(341)
13.3.2	温度冲击试验	(341)
13.3.3	低气压试验	(341)
13.3.4	湿热试验	(342)
13.3.5	霉菌试验	(342)
13.3.6	盐雾试验	(343)
13.4	力学环境试验	(343)
13.4.1	振动试验	(343)
13.4.2	加速度试验	(344)
13.4.3	冲击试验	(344)
13.4.4	模拟运输试验	(344)
13.4.5	真空试验	(344)
13.5	电子产品的老练	(345)
13.5.1	基本描述	(345)
13.5.2	常温老练	(345)
13.5.3	应力条件下的老练	(346)
13.6	表面组装焊点的失效分析和可靠性试验	(346)
13.6.1	概述	(346)
13.6.2	SMT 焊点的可靠性和失效	(346)
13.6.3	统计失效分布概念	(347)
13.6.4	可靠性试验	(347)
13.6.5	其他试验	(348)
13.6.6	性能试验方法	(348)
13.6.7	无铅电子产品焊点的长期可靠性问题	(351)

第1章 现代电子装联工艺过程控制概论

1.1 工艺技术和工艺技术进步

1. 工艺技术的定义

广义的工艺技术即产品的制造技术，它包括从产品设计的可制造性（DMF）、可检测性（DMT）、可维修性（DFS）的约束，到原材料进厂的工艺性要求、加工制造诸元素（人、料、机、法、测、环）的优化和控制、对应用环境的防护（三防）措施等全部加工制造和管理技术的总和。

工艺技术工作是一门为提高企业的劳动生产效率、提高产品制造质量、节能降耗、降低成本、增加利润的综合性的产品制造技术。它是以“时间”、“空间”、“效率”、“能源”等为基础，以对加工制造方法和顺序、生产手段、工作环境、组织机构、人力资源和结构、质量控制等的不断优化为研究对象的科学。我们对工艺技术研究就是为了寻求最经济、效率最高的加工方法去制造某种产品。因此，工艺技术亦是研究优质、高产、低消耗、高利润地生产产品的制造原理和加工方法的一门科学。

工艺技术在科技领域里是处于科技成果和生产成品之间，是一个独立的发展阶段。它是将科技成果转化为商品，设计样品转化为批量生产的产品供应市场的关键和桥梁。采用先进的工艺技术，可直接为企业增加经济效益和市场竞争能力。

工艺技术是产品制造过程中最活跃的因素，是产品制造质量的技术基础，加强工艺技术的不断进步是提高产品质量的前提。整个产品生产制造过程是以工艺技术为核心的系统工程，各个工序的工艺质量的总和即构成了整个产品的制造质量。

2. 推动工艺技术不断进步的动力

(1) 工艺技术研究

在科学技术高度发展的今天，工艺技术研究越来越被各企业所重视，越来越显示出它的重要性。任何一种新产品的设计或一项新的应用性发明创造都伴随着新的工艺试验研究过程。

在国外始终把工艺技术和试验放在突出的位置上，据有关统计资料反映，美国工业范围内各研究阶段投入的资金和人力比例，如果基础理论研究为 1，则应用研究为 5，产品开发研究为 20，生产技术研究为 300。也就是说工艺技术研究投入是产品开发研究的 15 倍。重视不重视工艺研究和试验，直接影响到产品质量的提高和经济效益的增长。有些企业采用同一种原料，应用同一种工艺装备，采用大致相同的工艺，然而生产出的产品质量却不同，经济效益也不一样。这里就有一个生产诀窍问题，而生产技术上的诀窍或关键就是加工技术方法，也就是工艺技术中的一种最佳的方案，最佳的工艺参数。这些关键或诀窍很多是“一点就明、一捅就破”的。然而要获得它，就必须经过工艺技术和试验才能得到。

(2) 工艺技术实践

工艺技术实践的活动空间就是产品生产制造的第一线，它是贯彻工艺规程，落实工艺技

术标准和生产技术条件的必要前提。

工艺技术实践的核心就是要努力做好产品生产现场工艺技术问题的及时处理。产品都是通过相应等级的专业技术工人的技艺，并按照工艺技术文件的要求操纵某种工艺设备而完成的。也就是说，产品制造质量的优劣是在具体的工艺实践中形成的。通过对工艺过程的每一个环节严格贯彻工艺责任制，把制件的质量波动控制在允许的范围内，从而从根本上保证产品质量的稳定。

从保证系统上看工艺技术的现场工作内容包括：确保工艺文件正确，原材料质量、设备精度、工艺装备能力系数、作业环境、操作人员素质、质量标准、均衡生产、产能等方面均能得到有效的控制和管理。

3. 工艺技术研究的内容和范围

工艺技术研究和试验就是人们在产品生产实践中，为了寻求最优的加工方法和流程而进行的研究和试验。“最优”就是指所采用的工艺方法技术先进、工艺可靠，加工的产品质量高、性能稳定，材料消耗少、成本低、效益高，能最大程度满足生产的需要和日益发展的市场需求。

在企业中工艺技术研究和试验归纳起来可分为下述几个方面。

(1) 现有产品的工艺升级

现有产品是指已生产多年的产品，或者已投产了几年的新产品。限于当时的经济和技术力量的限制，采用的制造方法和技术可能还不那么合理和经济，产品质量也不同程度地存在一些问题。因此，有必要对老的加工方法和技术进行改造提升，以降低消耗，提高产品制造质量，适应市场竞争的需要。此时，可进行的工艺技术研究和试验的内容如下。

1) 影响产品质量关键工序的技术攻关和试验

在企业的产品生产中，某些工序存在工艺技术参数不合理，导致产品质量低，返修率高时，就需要通过工艺技术研究和试验对原有的工艺技术参数进行优化。

2) 影响产品生产效率关键工序的技术攻关和试验

在产品生产过程中，由于某些工序生产工艺过于复杂，速度慢，造成生产线失衡而成为“卡脖子”工序，严重阻碍产品生产效率的提高。对这样的工序就需要通过工艺技术研究和试验，迅速予以解决，实现生产线均衡运行，提高产品的生产效率。

3) 为改善劳动和生产条件的工艺技术研究和试验

在产品生产中可能存在着环境差、污染大、工人劳动强度大的问题亟待解决。在解决这些问题的同时，又要满足产品的工艺技术要求。因此，就必须通过工艺技术研究和试验，寻求最合理的加工方法，优化该工序的工艺，或者采用新的工艺予以彻底解决。

(2) 新产品研发中的预先工艺技术研究

无论哪一种新产品，从产品设计到新品试制、投产过程，小批量生产转化为大批量生产过程都包含着重要的工艺技术研究和试验的内容，以探索适合于大生产状况下的优化的工艺技术。

(3) 技术改造和革新中的工艺研究和试验

随着现代科学技术的快速发展，新工艺技术不断涌现。为提高产品质量和增加产量，降低消耗，改善劳动条件，进一步增加企业的经济效益，许多企业都在不断有计划地进行技术改造，采用新工艺、新技术来替代旧工艺、旧技术。但是每一种新工艺、新技术都不是现成的，不是拿来就可以毫不费力地利用的，而必须结合企业现有的工艺技术、工艺装备进行适

应性的工艺技术和试验,以解决应用中可能发生的问题。

(4) 新工艺技术的研究和试验

随着现代科学技术的发展,一个企业应有计划地不间断地进行适应性的新工艺技术的研究,以适应产品生产技术不断发展的需要。

(5) 消化引进技术的工艺技术和试验

改革开放以来,许多企业引进了国外的先进工艺技术和工艺技术装备,改善了生产条件,提高了企业生产的工艺技术水平,进一步发展了生产,增强了企业的实力,但是为了更好地消化、吸收引进的先进工艺技术,就必须加强消化引进技术的工艺研究和试验工作,充分掌握其技术规律性,才能更好地充分发挥引进技术的作用。

1.2 工艺过程和工艺过程控制

1. 工艺过程

(1) 定义

传统的电子产品制造工艺过程,按照具体产品的实际电气和结构特征,通常是由若干个工序排列组合而成,而在每一个工序中可按照使用的工具和操作动作的差异,又可分解为若干个工步。将这些工序和工步按照工艺技术和严密的科学顺序,按一定的节拍有序地排列组合成一条特定的群组,以完成某种产品的全部制造流程。我们将这些工序、工步的有序集合称为工艺过程。

(2) 现代工艺过程概念的发展

随着现代芯片封装技术日新月异的发展,超高性能、超微型化、超薄型化的产品设计技术异军突起,使得传统的电子产品制造流程发生了重大变革。驱使原来的“芯片→封装→安装→整机”的由前决定后的垂直生产链体系,转变为前后彼此制约的平行生产链体系,工艺技术路线和工艺过程也必将作出重大调整,以适应生产链的变革。

2. 工艺过程控制

一个产品的制造工艺过程包括工序、工步及若干个质量控制节点。为获得最高的良品率,按照预定的工艺技术和工艺窗口设计,对每一个工序、工步及影响制造质量的节点参数进行全面科学的控制,使产品的整个生产链都处于工艺受控状态,总称为工艺过程控制。

工艺过程控制目前在电子制造业界有两种不同的理解。

(1) 局域性的工艺过程控制

这种控制模式是对生产线的主要工序(如元器件成型、插件、波峰焊接、焊膏印刷、贴片、再流焊接等)的工艺过程进行控制,这种局域性的工艺过程控制是不可能实现零缺陷的生产境界的。

(2) 全域性(产品形成的全流程)的工艺过程控制

产品制造过程和其他事物一样,是遵循一定的规律在不断运动的,要控制产品的制造质量,做到事先预防,就必须掌握它的运动规律。这个规律就是产品质量的波动性。工艺过程控制的目的是为了最大限度地限制这种波动性在所要求的范围之内,而且是完全受控的。

影响产品制造中质量波动的主要因素可归纳为人、机、料、法、测、环(见1.3节)。因此,广义的工艺过程控制,应该以人、机、料、法、测、环六大因素为对象,从产品设计的可制造性、可测量性、可维修性,到原材料进厂、生产线的布局、人员的技术素质、各工

序和工步的工艺参数和窗口的设定，再到质量控制标准、生产环境要求和控制，最后到产品进入市场，每一个环节都应进行全方位的控制。

由于现代电子产品结构发展的微小化、安装的高密度化和多维化，互连密度不断提高，人的手不可能直接接近，基本上属于一种“无检查工艺”。因此，零缺陷制造技术越来越重要，为了实现上述要求的“无检查工艺”的目的，就必须通过全域的、精准的工艺过程控制才能确保。传统的“事后检查”、“死后验尸”式的产品制造质量控制方法将走进死胡同。未来产品制造质量控制必须和全流程的工艺过程控制结合起来，并以对工艺过程控制参数稳定性的监控作为产品质量控制的主要手段。这样才能实现把不合格品消灭在它的产生之前，变“死后验尸”的被动管理为“事先预防”的主动管理。

自改革开放以来，我国的电子产品制造业已有了长足的发展，然而对产品制造全流程的工艺过程控制的精细化尚存在一些不足。国外一些公司都充分利用了“工艺过程控制”这一系统工程手段，把产品质量的形成过程由始至终严格地控制起来。

1.3 工艺过程控制的要素和内容

1.3.1 工艺过程控制的要素

工艺过程控制要以确保质量控制的内容为基础，因此，工艺过程控制应围绕下述内容来展开：

- ① 人 (Man)；
- ② 机器 (Machine)；
- ③ 物料 (Material)；
- ④ 方法 (Method)；
- ⑤ 测量 (Measurement)；
- ⑥ 环境 (Environment)。

人们把这 6 种基础要素称为 5M1E。在工艺过程控制中，可以发现过程中的很多工艺问题，这是过程改进的基础，问题解决了，过程变异减小了，过程控制的质量也就提高了。通常过程控制应尽可能要求对过程实施标准化操作。

1.3.2 工艺过程控制的内容

1. 人

指的是实施过程控制中的人员。人是 5M1E 中最重要的一個因素，尽管由于现代电子元器件的封装不断微型化，绝大部分的操作均为自动化机器所替代。虽然人的劳动强度大幅度降低了，然而对人的技术素质要求却大幅提高了。主要控制的节点：操作者的技术素质、操作技能、工艺纪律、工作责任心、技术更新速度、工艺理论知识的培训等。

评估培训体系的有效性，可以从下述几个方面来衡量。

(1) 构筑金字塔式的专业人才梯次

一个科学有效的人才体系，必然是呈金字塔形的。

① 塔顶：必须培养有数名年富力强，有硕士、博士学位的“理论造诣深、实践经验丰富”的专业技术带头人，能统揽当代电子装联工艺的前沿技术，结合公司产品的发展趋势和