



连接器失效机理及其对策

- 连接器连接要求及其影响因素
- 连接器的失效机制/机理介绍
- 连接器的腐蚀
- 连接器界面正向力的丧失
- 连接器的磨损
- 连接器的其他失效机理

讲义中的数据，案例，图片和图示培训时提供



连接要求及其影响因素



- Electrical: low power losses, no signal distortion, no overheating
- Mechanical: stable contact force during closing and opening, high wear resistance
- Ecological: resistance to environmental factors, minimal pollution to the environment under fabricating, operating, and recycling conditions
- Ergonomic: simplicity of design and fabrication, simple maintenance repair and replacement, possibility of combining units
- Economic: minimal content of noble and deficient nonferrous metals.

The variety of the factors can be conventionally divided into (1) the performance factors governed by the operating conditions and (2) the design-technological factors determined by the fabrication characteristics of a contact unit.

The performance factors (parameters) are divided basically into two groups: internal and external . The internal factors are mechanical (the contact load, the type and characteristics of motion such as slip, the sliding velocity, and reciprocation) and electric (type and strength of current operating voltages) factors.

The external factors include temperature–time variations, humidity, atmospheric pressure, and the effect of aerosols, and these are often uncontrollable. The performance factors affect the properties of contact materials and surface films, the occurrence of physical and chemical processes in the contact zone, wear particle formation thus influencing the state of the interface and, finally, the contact resistance and reliability of electrical contacts

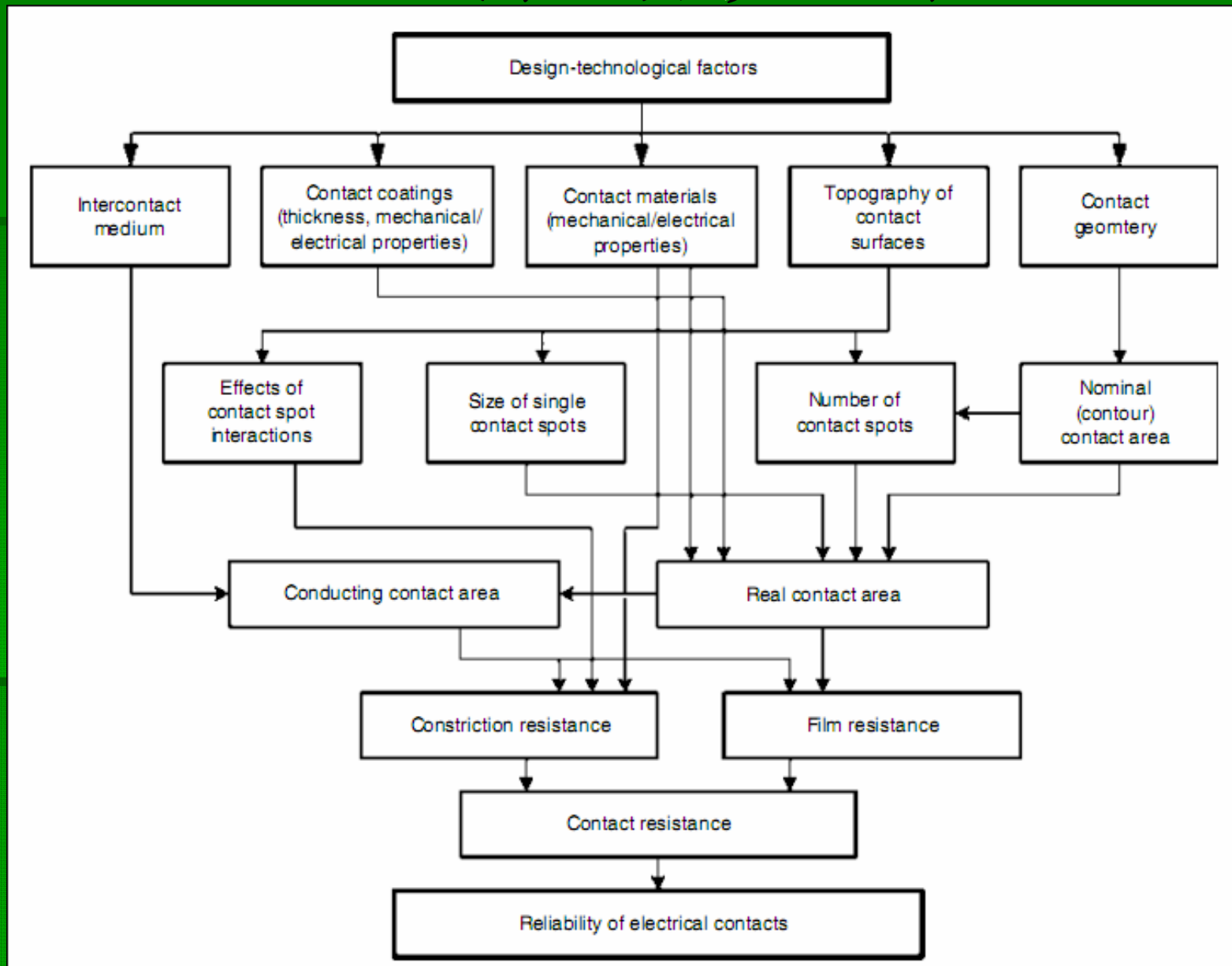
Encnn enables connection!

www.encnn.com



连接要求及其影响因素

ENCNN



ENCNN enables connection!

www.encnn.com

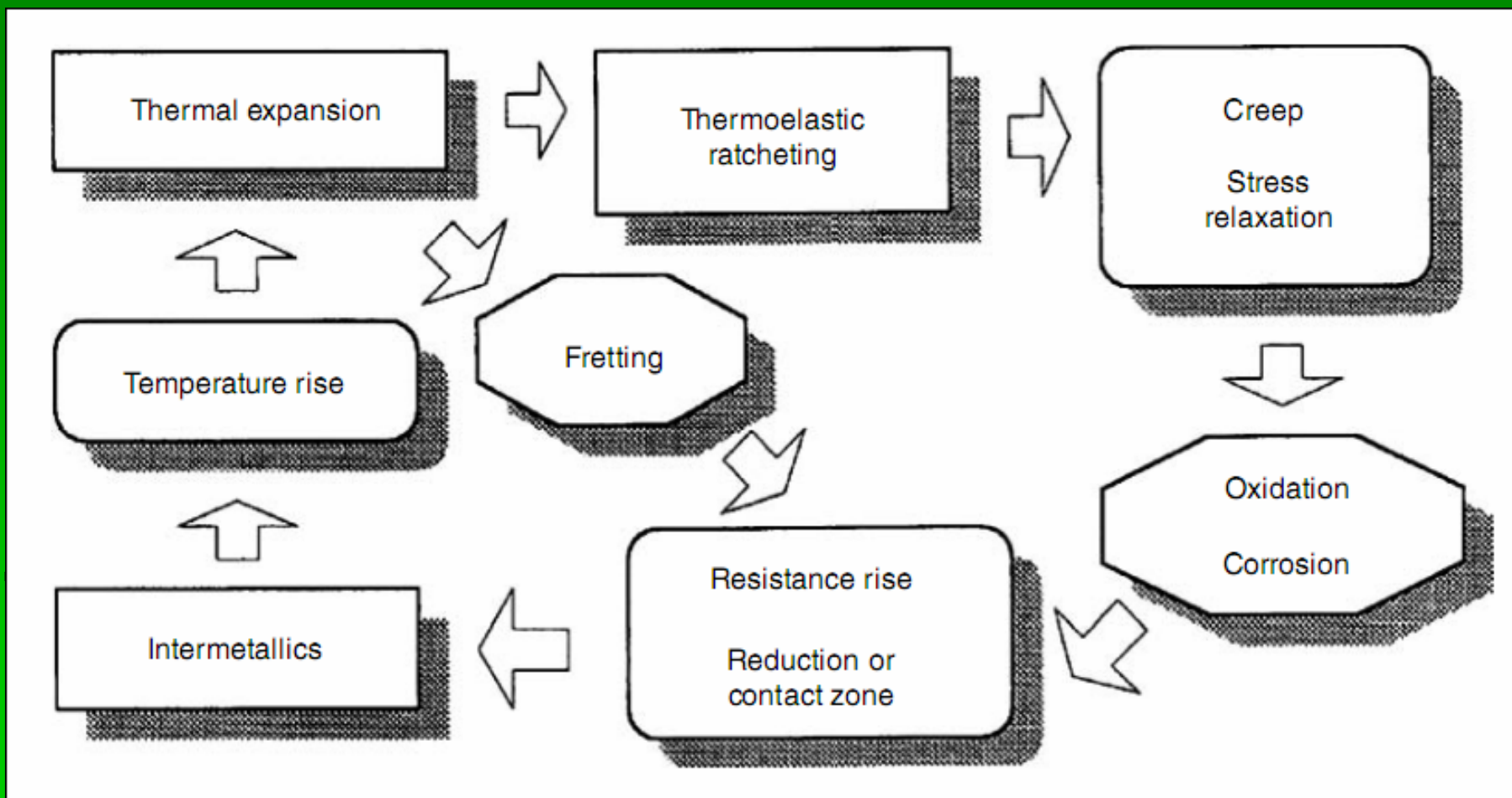


连接器的失效机制/机理介绍

- 连接器界面的失效形式
- 连接器设计决定连接器内在的潜在失效机制/机理（e. g. 锡镀层/微动腐蚀，50g正向力/应力释放）
- 连接器应用环境决定连接器潜在的失效机制/机理是否会启动
- 连接器是否失效取决于通过失效机制/机理产生的退化/降解是否在允许的范围内
- 应用环境/要求实际上定义了连接器失效准则（性能要求的环境依赖性）
- 理解应用环境，失效机理及失效准则保证了有效及以尽可能低的成本来设计连接器
- 连接器失效原因（端子几何形状），失效机理（赫兹应力磨损），失效模式（大电阻）及失效影响/后果（信号丧失）的关系-FMEA角度
- 理解连接器失效机理是分析连接器设计的关键。
- 连接器接触电阻的减少是由于连接器界面金属与金属的接触面积的减少：正向力减少，界面腐蚀，界面磨损-连接器分组试验的依据。



连接器界面的失效形式





连接器界面的失效形式



连接器的腐蚀

- 反应生成膜在界面的作用方式
- 氧化: 金属表面与大气化学反应, 高温高湿加速反应
- 镀层表面 (e. g. 钯, 钯镍) 与大气反应
- 镀层底层和基材与大气反应
- 镀层底层和基材裸露的原因: 电镀孔隙性, 电镀不连续, 之前工序或过程的磨损, 损坏, (预镀材) 剪切, 料带切断
- 接触腐蚀的种类 (腐蚀动力角度): 孔隙性腐蚀; 腐蚀攀爬
- 接触腐蚀的种类取决于引起腐蚀的环境因素 (混合气体试验应用选择)
- 孔隙性腐蚀
- 腐蚀攀爬
- 微动腐蚀
- 电化腐蚀: 异金属; 共同的电解液; 共同的电路
- 金属间化合物 (IMC)
- 电迁移 (electro-migration)
- 常见电镀规格的潜在失效机理
- 腐蚀抵御战略



膜的作用方式

ENCNN

- 与收缩电阻串联
- 与收缩电阻并联
- 界面不存在膜.

Encnn enables connection!
www.encnn.com



氧化

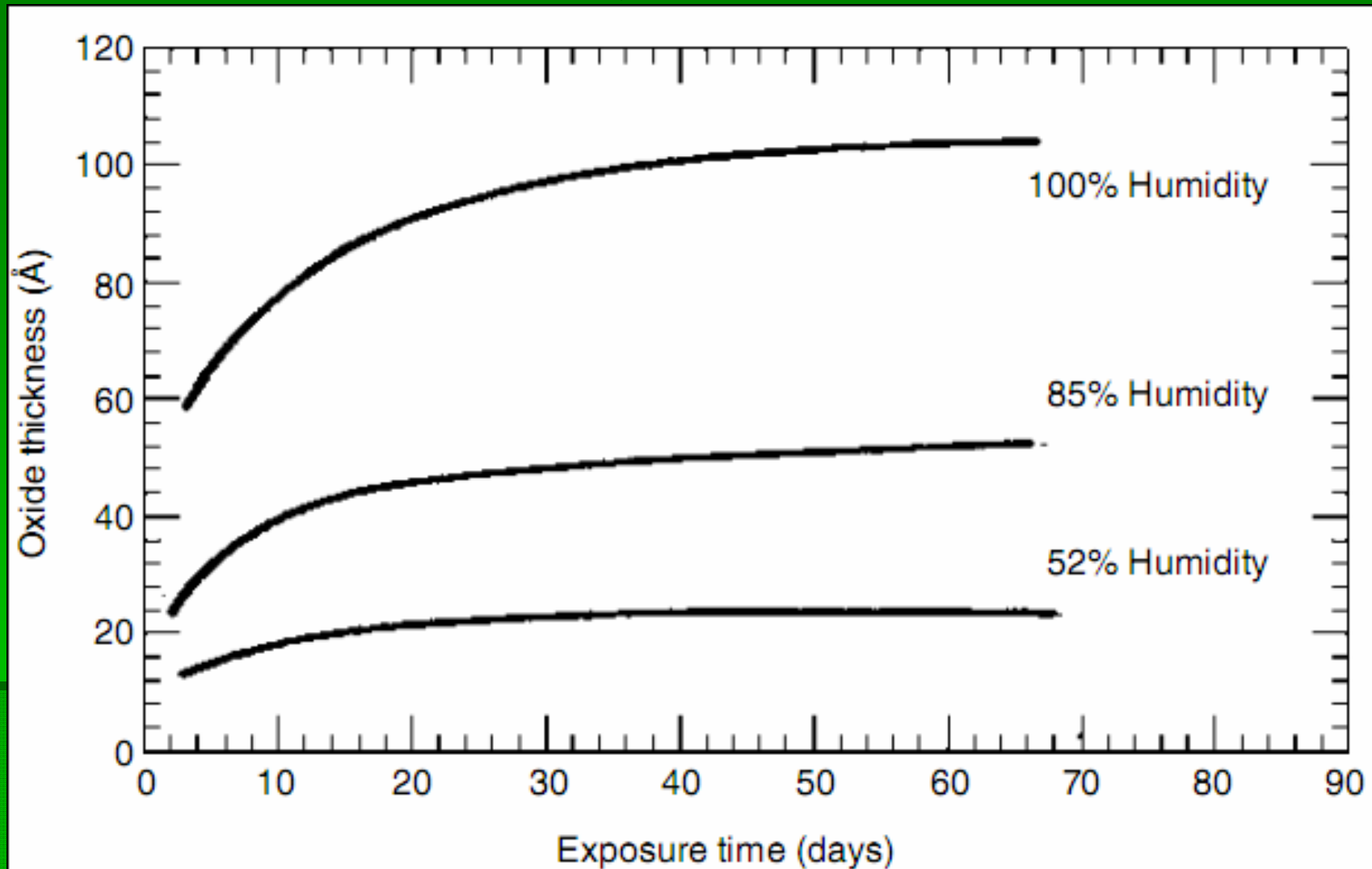
ENCNN

Oxidation Kinetics of Some Common Electrical Contact Materials

Metal	Ambient	Product	Characteristic Features	Thickness (nm) at		
					10^3 h	10^5 h
Cu	Air	Cu_2O	Oxide forms immediately	20°C	2.2	4.0
			Temperature-dependent	100°C	15.0	130.0
Sn	Air	SnO	Initially slow growth rate	20°C	4.2	6.1
			Weak temperature-dependence	100°C	25.0	36.0
Ni	Air	NiO	Self-limiting	20°C	1.6	15.0
			Weak temperature-dependence	100°C	3.4	34.0
Al	Air	Al_2O_3	Oxide forms immediately (2 nm in sec)	Self-limiting growth		
			Humidity and temperature-dependent	Very hard and insulating		
Ag	Sulfur	Ag_2S	Depends of sulfur-vapor concentration	Humidity-dependent		
	Ozone	Ag_2O	Remains thin and decomposes at 200°C	No effect on contact		



氧化



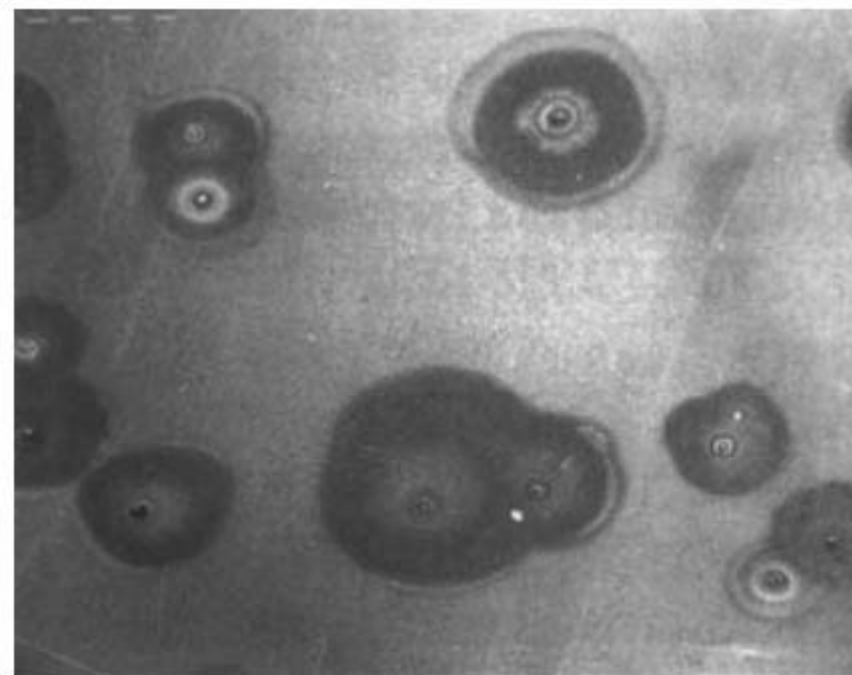
Effect of humidity on the oxidation of aluminum.



孔隙性腐蚀

Encnn

- 金属表面的针孔与腐蚀性元素反应（氧气，氯气，二氧化氮，硫化氢，二氧化硫）
- 针孔一旦被填满，腐蚀物不再生长。
- 对应于class II MFG



1 mm

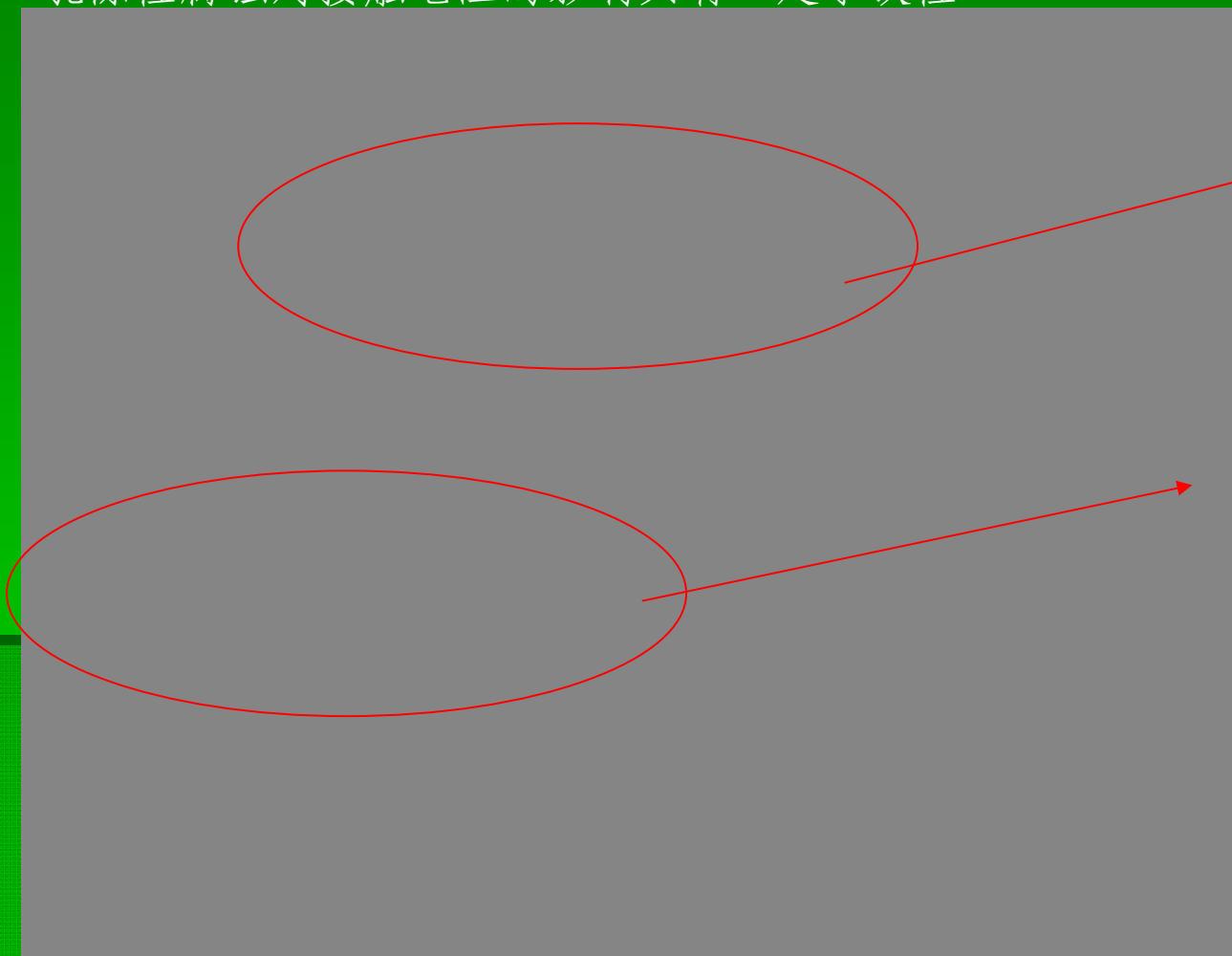
Encnn enables connection!
www.encnn.com



孔隙性腐蚀（2）

Encnn

- 决定孔隙性腐蚀对接触电阻的影响的因素：孔隙性腐蚀物是否出现在接触界面；端子是否能渗透孔隙性腐蚀物——决定于正向力，几何形状，刮除特征。
- 孔隙性腐蚀对接触电阻的影响具有一定争议性。



探针位于孔隙性位置

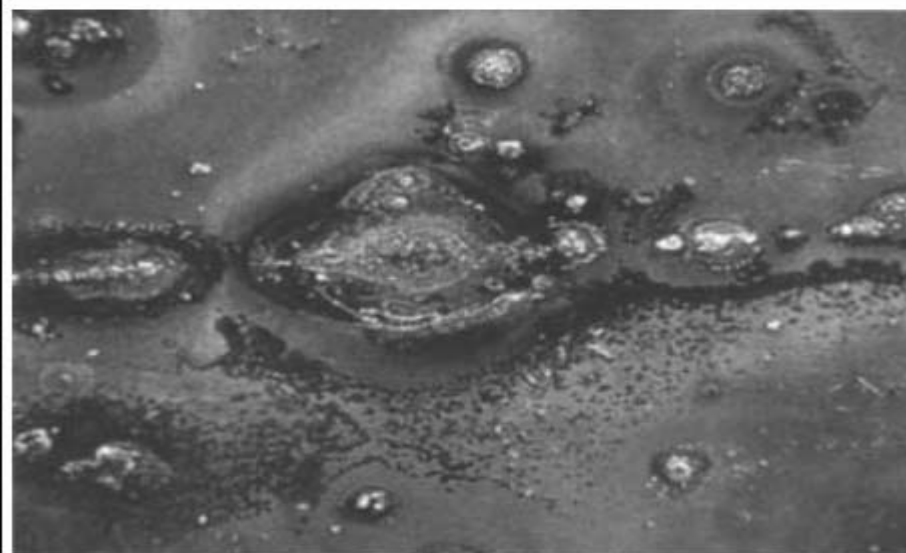
探针位于不带孔隙性位置



腐蚀攀爬

Encnn

- 金属表面的针孔与腐蚀性元素反应（氧气，氯气，二氧化氮，硫化氢，二氧化硫）
- 即使针孔被填满，腐蚀物继续生长。
- 对应于class III MFG



1 mm

Encnn enables connection!
www.encnn.com

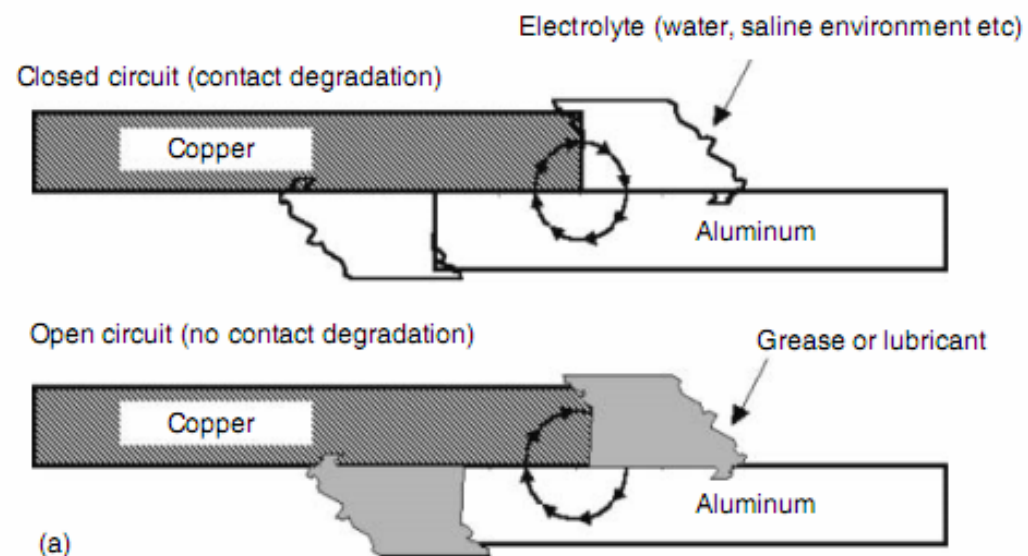


微动腐蚀

- 定义和概念参见相关章节
- 常见于非贵重镀层，未镀金属及薄金（磨损后）



电化腐蚀





连接器镀层潜在失效机理

- 金的潜在失效机理：接触腐蚀（孔隙性腐蚀和腐蚀攀爬）和微动腐蚀（薄金）

金层接触腐蚀的原因：孔隙性（尤其是厚度较薄, 0.25); 边缘裸露; 镀金区附近的未镀或非贵金属镀层; 金层磨损

- 钯的潜在失效机理：表层腐蚀（很轻微）和接触腐蚀

钯层表层腐蚀和接触腐蚀的原因：孔隙性（尤其是厚度较薄); 表层微细裂缝; 边缘裸露; 镀钯区附近的未镀或非贵金属镀层; 钯层磨损（相对金可能性较小）

- 钯镍的潜在失效机理：表层腐蚀（较难刮除）和接触腐蚀

钯镍层表层腐蚀和接触腐蚀的原因：镍元素降低钯的“高贵性”; 孔隙性（尤其是厚度较薄); 边缘裸露; 镀钯镍区附近的未镀或非贵金属镀层; 钯镍层磨损（相对金可能性较小）

- 银的潜在失效机理：表层腐蚀和接触腐蚀

银层表层腐蚀和接触腐蚀的原因：银“非高贵性”; 孔隙性; 边缘裸露; 镀银区附近的未镀或非贵金属镀层; 银层磨损（银较软，正向力较大）

- 锡的潜在失效机理：微动腐蚀

- 镍的潜在失效机理：表层腐蚀（极难刮除）和微动腐蚀



连接器镀层抵御腐蚀的措施

- **贵金属系统:**
 - 增加厚度-降低孔隙性, 提高耐磨性;
 - 施敷润滑涂层-降低裸露底层和基材的腐蚀, 减少磨损, 预防薄金——微动腐蚀;
 - 封孔剂-降低接触腐蚀;
 - 施镀漂金层-降低表面腐蚀, 降低孔隙性, 提高耐磨性 (砧板效应)
 - 加强对环境的隔离
 - 保证足够的正向力 (整个产品寿命期)
 - 平衡赫兹应力-较高赫兹应力增加渗透能力, 也同时增加磨损率
- **非贵金属系统:**
 - 施敷润滑涂层-预防微动腐蚀
 - 改善设计-提高端子柔韧性
 - 增加正向力, 提高界面机械和电气稳定性
- **镍底提高腐蚀抵御能力:**
 - 降低基材裸露的可能性和提高对腐蚀的抵御能力
 - 减缓腐蚀攀爬
 - 提高耐磨损性能, 降低基材裸露的可能性
 - 阻碍基材元素向表层电镀的扩散



隔离环境对连接器的影响

贝尔实验室的试验数据——隔离降低环境对电脑连接器的影响



Encnn enables connection!
www.encnn.com



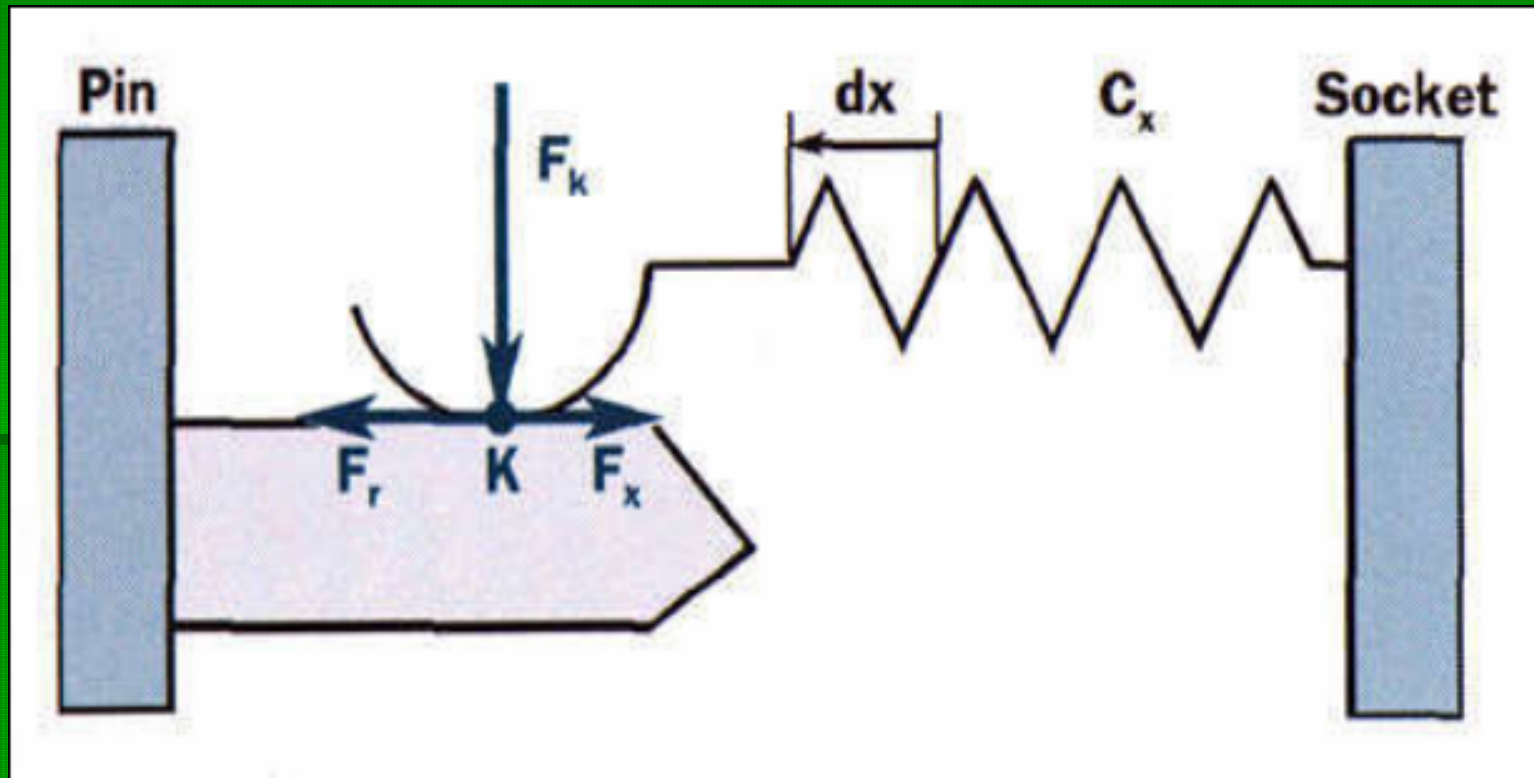
润滑剂降低微动腐蚀





避免微振动腐蚀的弹片设计

微振动腐蚀是连接器常见的失效机理之一,它会使连接器的接触电阻增大以致连接器性能失效.顾名思义,微振动腐蚀是因为配对的连接器端子间产生微小的相对错动,导致接触界面腐蚀,根源连接器的端子间相对错动.所以常见的措施之一是增大正向力降低错动的可能,但是微振动最常见的原因之一是热膨胀不一致.热膨胀产生的力是很大的有时光靠增大正向力无法避免微振动腐蚀的产生.我们可以通过增加端子的柔性来吸收微振动从而避免微振动腐蚀.



Encnn enables connection!

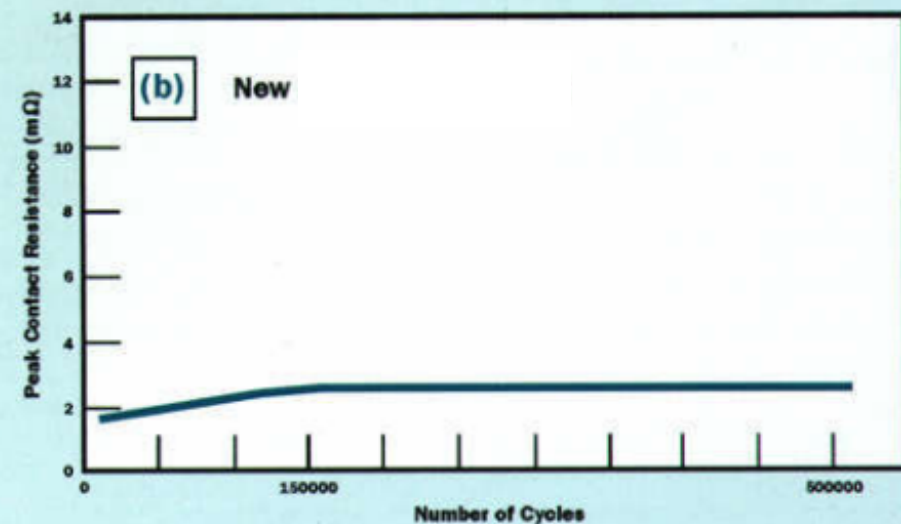
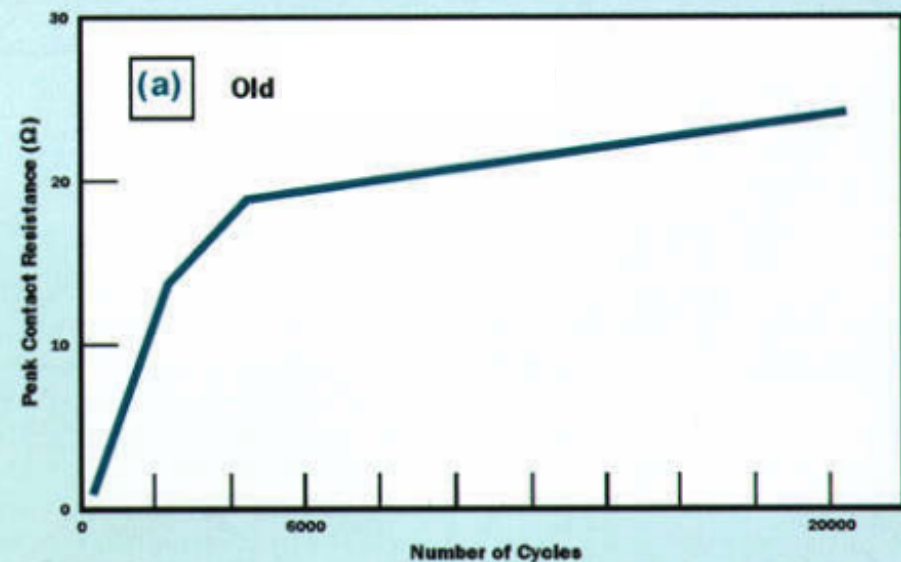
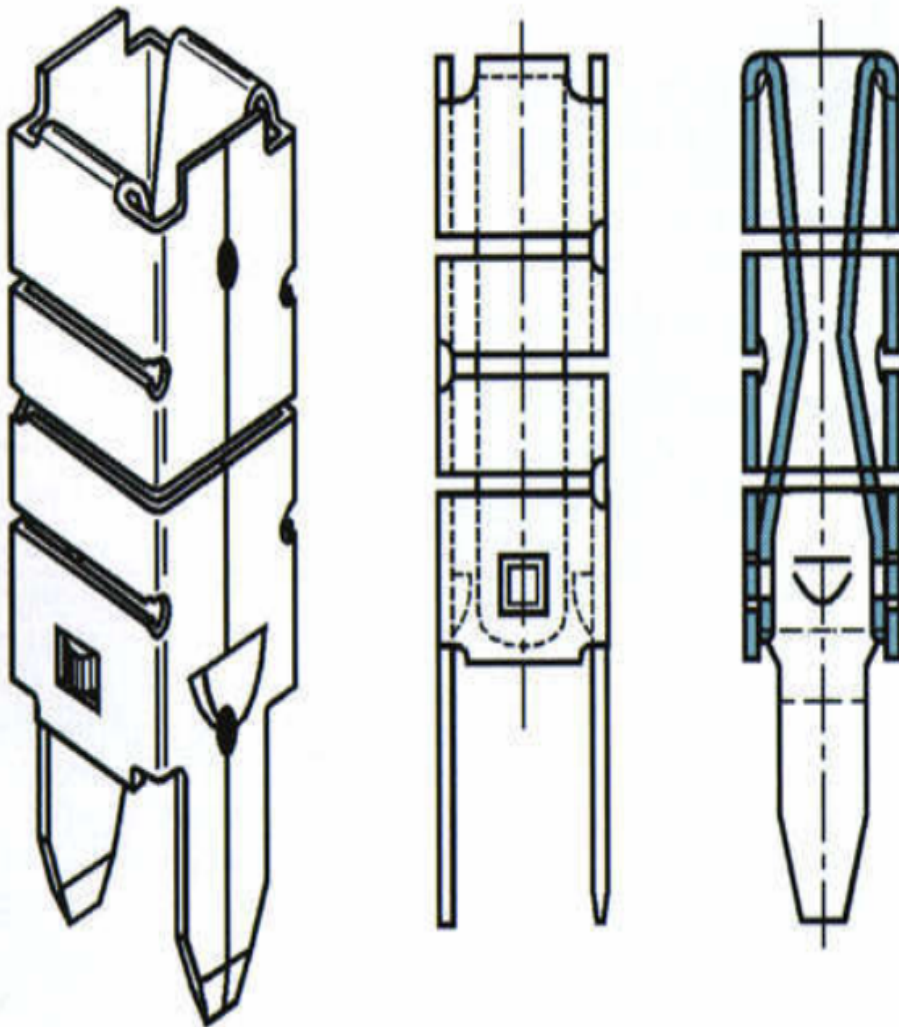
www.encnn.com



避免微振动腐蚀的弹片设计

ENCNN

端子设计方案一及测试结果



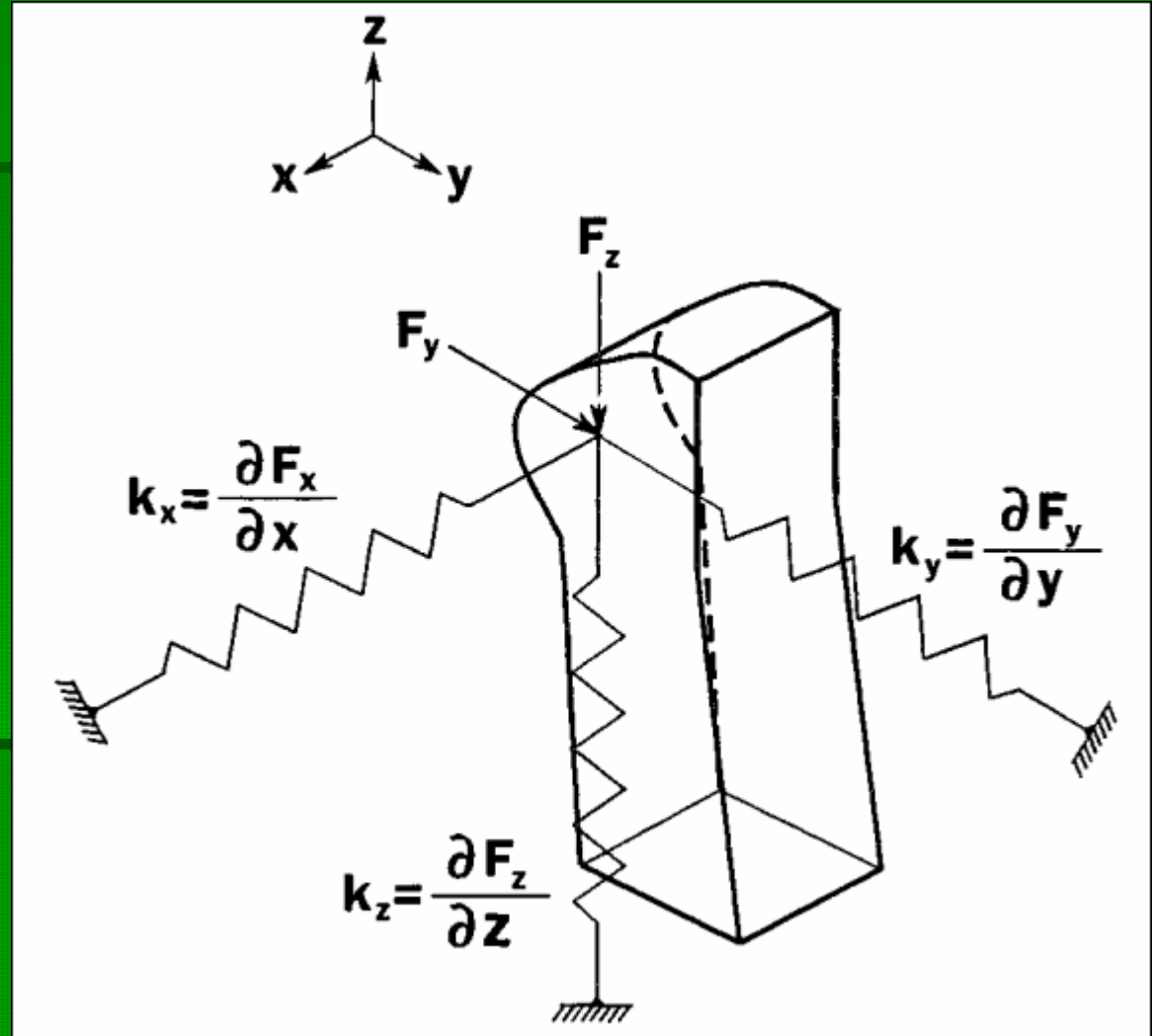
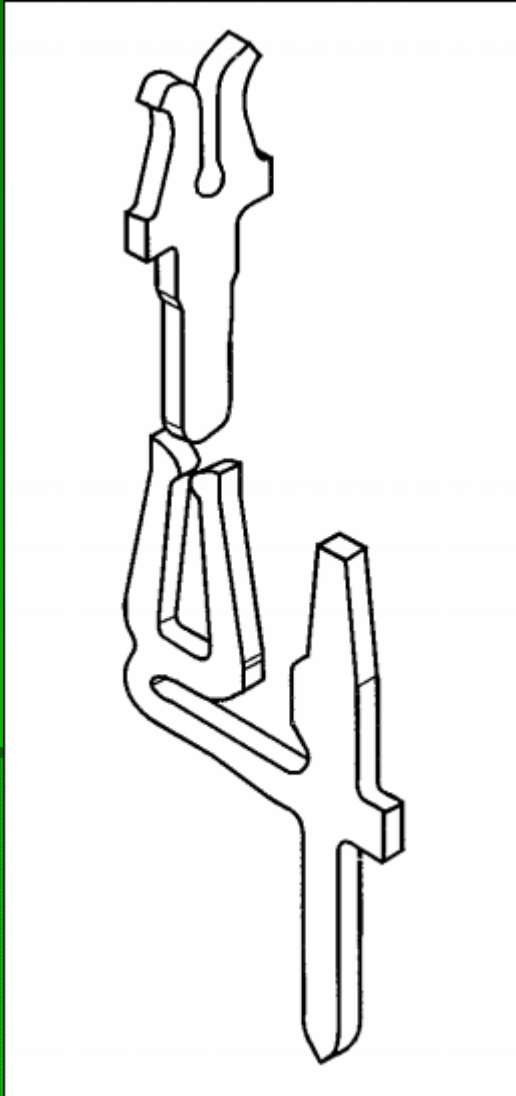
Encnn enables connection!
www.encnn.com



避免微振动腐蚀的弹片设计

ENCNN

端子设计方案二



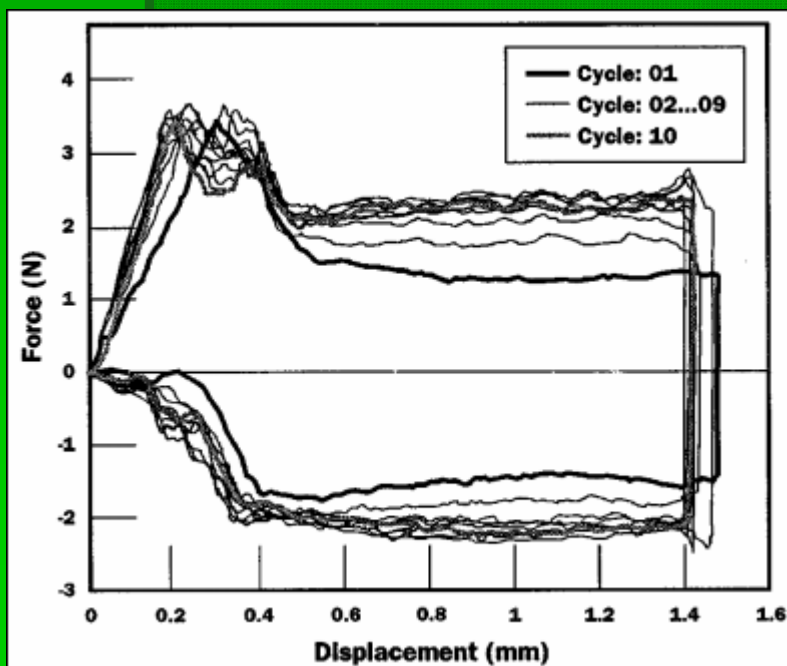
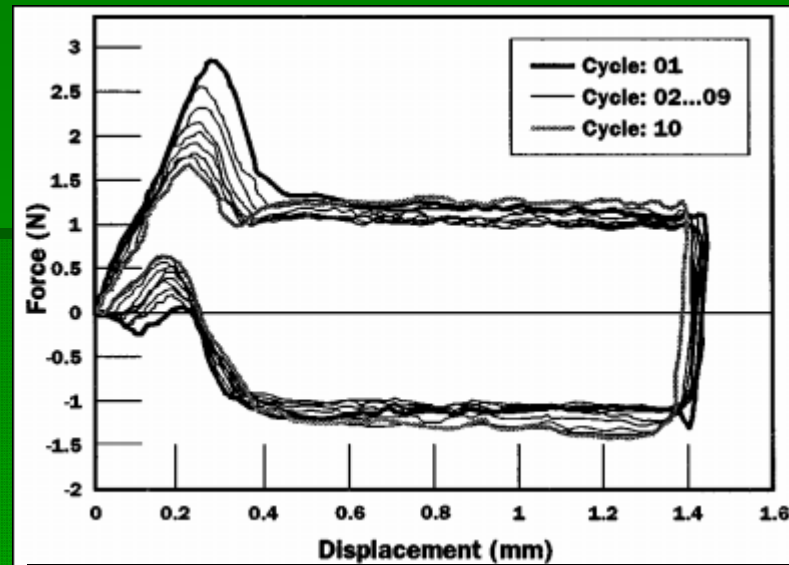
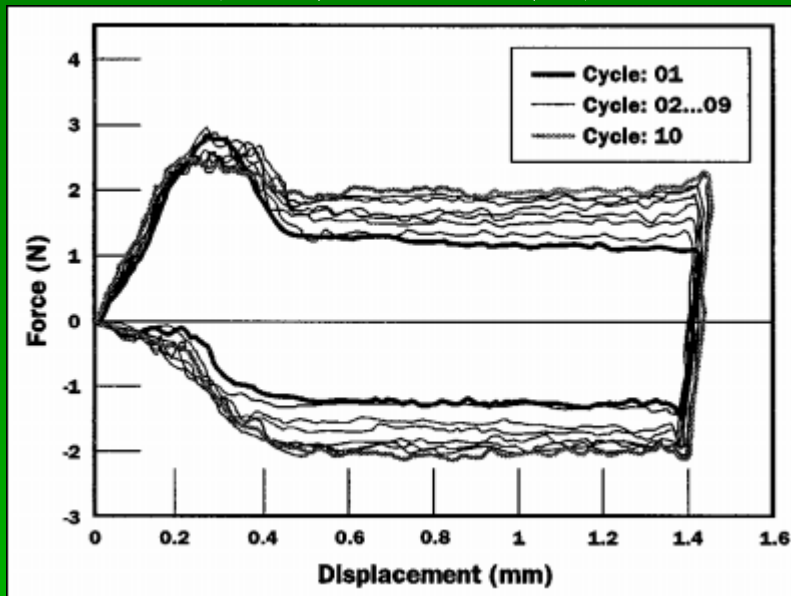
Encnn enables connection!
www.encnn.com



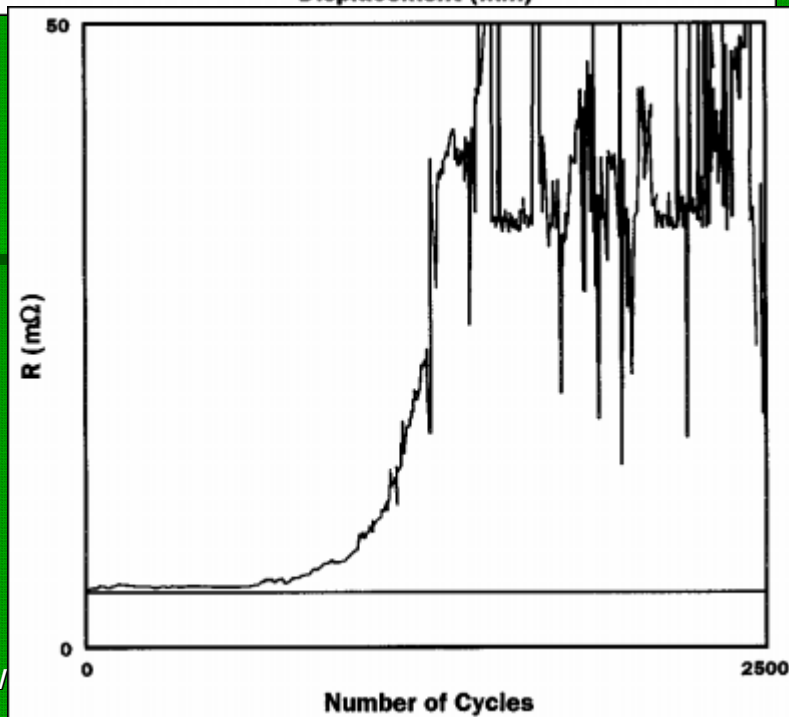
避免微振动腐蚀的弹片设计

ENCN

端子设计方案二测试结果



ncnn
w





连接器正向力的丧失

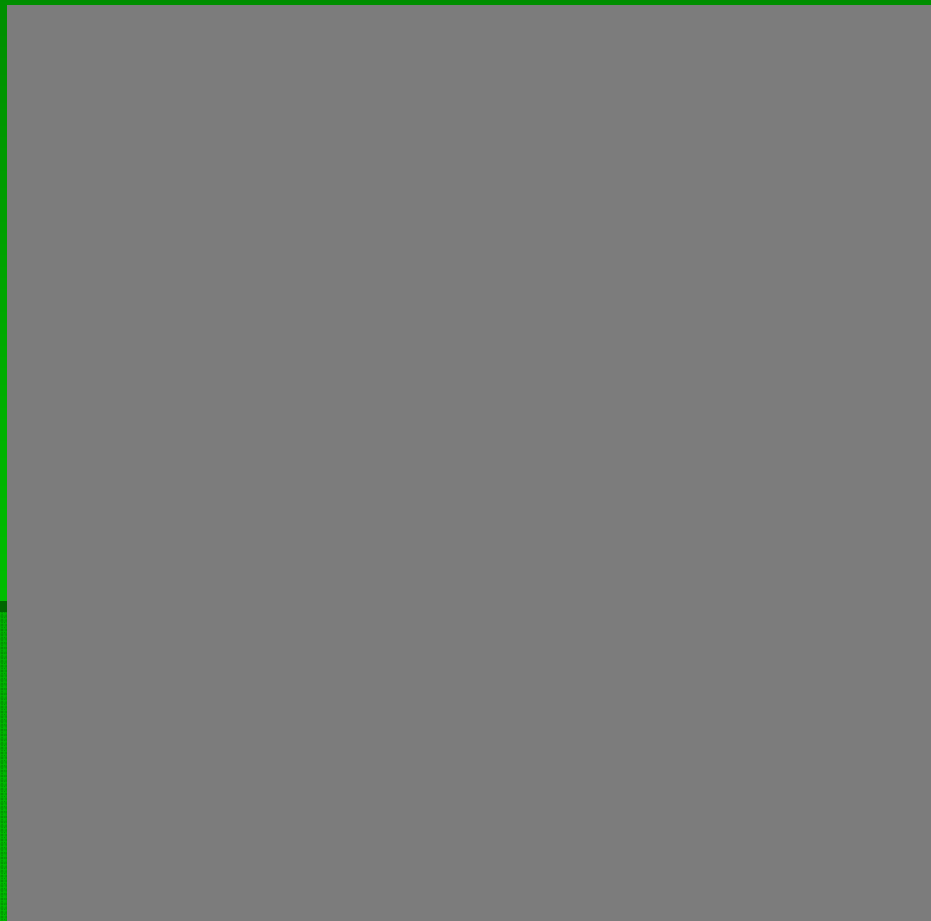
- 正向力丧失的两种方式
 - 永久变形
 - 应力松弛
- 正向力丧失的后果/影响
 - 计算分析: $R = k_p \{ (1/nd) + (1/D) \}$ - 参见相关培训内容
 - 正向力较小时, $(1/nd)$ 是主导因素/瓶颈
 - 正向力较大时, $(1/D)$ 是主导因素/瓶颈
 - 加载与卸载时正向力与接触电阻的关系特点
 - 界面是否位错的影响
- 正向力丧失的抵御
 - 抵御永久变形:
 - 考虑尺寸公差, 应用等因素, 提高端子弹性工作范围
 - 增加端子过应力保护特征: 导向柱/pin/槽/机构, 倒角, 限位结构
 - 抵御应力松弛:
 - 选择适当的电镀规格以保证合理的正向力要求
 - 选择适当的端子材料控制应力释放的速度和程度
 - 各种常见连接器端子材料在各种工作温度和电镀规格的正向力要求.



永久变形



当连接器弹片弯曲变形产生的应力超出材料的屈服应力便发生塑性变形，塑性变形后即使撤消载荷，弹片也无法恢复到原来的形状的现象为永久变形。



见图，

加载过程：

变形0.002(inch)/20g-弹性变范围内

变形0.01(inch)/100g-弹性变范围内

变形0.015/130g-塑性变形；

卸载过程：

变形0.002 (从加载始点计)/0g

变形0.01(从加载始点计)/80g

变形0.015 (从加载始点计)/130g.

结果：

产生**0.002**永久变形量

弹性系数保持不变

提高屈服应力-加工硬化

Encnn enables connection!

www.encnn.com



应力松弛



金属在较高温的承载状态下，总应变（弹性应变加塑性应变）保持不变，而应力随时间的延长逐渐降低的现象，简称松弛。松弛和蠕变是一个问题的两个方面。材料在较高温下工作，当保持应力恒定就产生蠕变，而当保持总应变恒定就产生松弛

应力释放的速度随温度增加而增加

应力释放过程中，金属通过重排内部缺陷（如位错）将弹性应变转化为塑性应变

见图

应力松弛后，
正向力由原来的**100g**降为
80g，

原来完全的弹性变形已部分转化为塑性变形



正向力与接触电阻

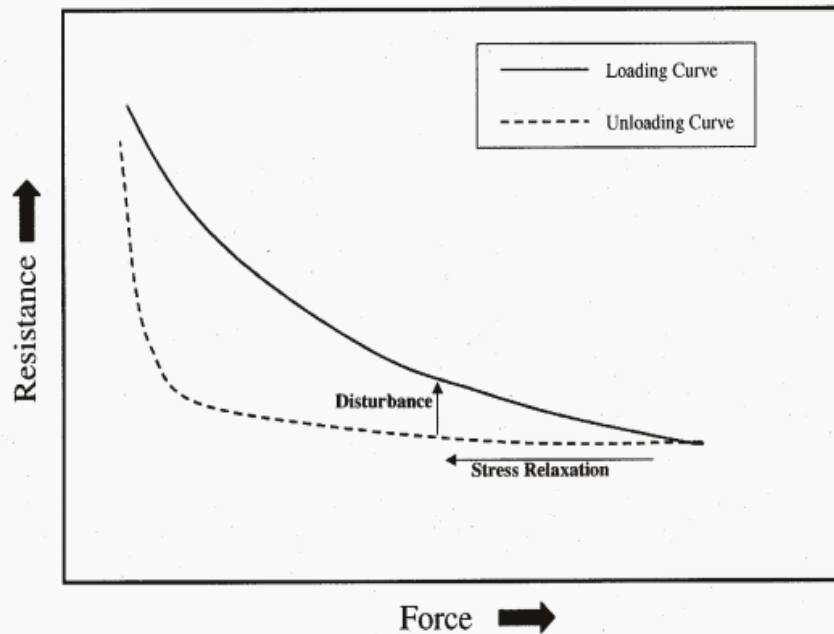


加载过程，接触电阻刚开始下降很快，逐渐趋于缓和；

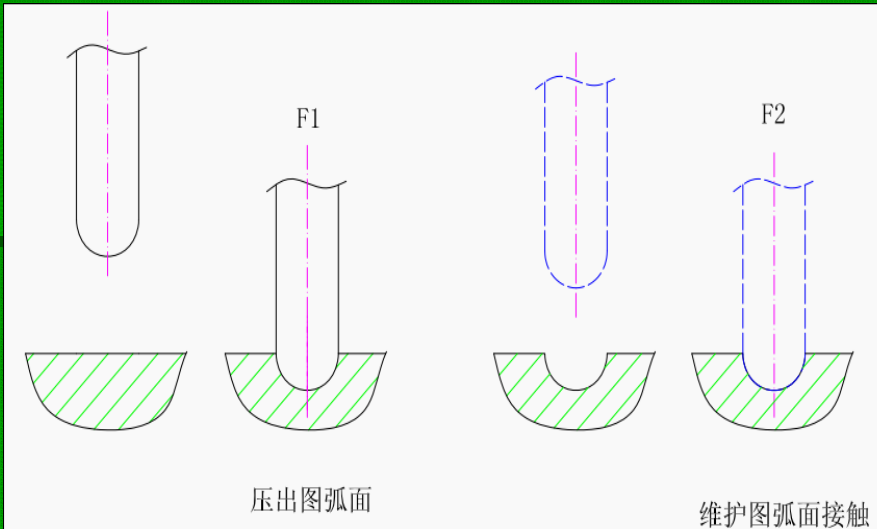
卸载过程，接触电阻在绝大部分过程增加很慢，临近结束陡增。

加载过程，除初始阶段，其他阶段正向力与真实接触面积的关系更为“协调”-更接近线性关系，因为界面形成前，触点的分布和微观形状未受影响，未“整形”

卸载过程，除临近结束阶段真实接触面积陡减，其他阶段正向力与真实接触面积的关系很不“协调”-真实接触面积几乎不怎么变化，因为界面的两表面已“互补”，已“整形”



$F_1 > F_2$





界面是否错位的影响

以上可见，对于一定的正向力，卸载过程的接触电阻小于加载过程的接触电阻
只要界面 **不**产生位错（微动），应力松弛产生的正向力较明显的减少是 **可以**接受的，因为卸载过程中正向力的减少对接触电阻影响不大

只要界面 **产生**位错（微动），应力松弛产生的正向力较明显的减少是 **不可以**接受的，因为卸载过程已变成加载过程，接触电阻增大，当存在腐蚀的情形影响更大。

镀金层
试验数据

Encnn enables connection!

www.encnn.com



材质/镀层/温度/正向力的关系



连接器的磨损

- 磨损机理
- 轻微磨损及其特点和要求（常见相关培训内容）
- 粘着磨损及其特点和要求（常见相关培训内容）
- 磨粒磨损及其特点和要求（常见相关培训内容）
- 在别的条件不变，正向力决定磨损类型
- 硬度对磨损的影响：两表面相似硬度，轻微或粘着磨损；硬度不匹配，粘着磨损可能性很高；润滑状态，轻微磨损.
- 影响磨损的因素
- 其他因素不变，正向力越大磨损越快
- 其他因素不变，硬度越高磨损越慢
- 润滑改善磨损性能
- 环境可能成为磨粒或润滑剂的来源；常见的环境改善镀金层的性能-将磨损类型的临界载荷由5-10g提高到30g以上
- 改善表面粗糙度降低磨损
- 几何形状/赫兹应力影响磨损
- 连接器对配时，阴阳接头磨损的程度不一样，常见结构是阴接头磨损得快
- 磨损的设计要素
- 平衡磨损与连接器界面电性能，选择适当正向力.
- 平衡磨损与赫兹应力.
- 抵御磨损：
- 施敷润滑剂；
- 增加镀层厚度；
- 改善界面的系统耐磨性能（选择合适的基材，底层电镀和表层电镀）-如固态润滑原理

Encnn enables connection!

www.encnn.com



连接器的其他失效机理

- 金属
- 金属间化合物：铜元素扩散到金表层-丧失“高贵性”；铜元素扩散到锡表层-增加锡表面硬度和刮除的难度；大部分预镀材不镀镍底。
- 锡须
- 脱锌 — 需好的镀层系统保护（抵御）
- 聚合物
- 失效机理：翘曲, 尺寸改变, 疲劳, 解聚, 侧链降解, 分子间环化, 起泡, 异色, 龟裂
- 聚合物降解的原因：
 - 超出允许温度的范围
 - 接触化学物质
 - 吸潮
- 抵御：根据应用，工艺，装配要求，选择适当的材料
- 润滑剂
- 退化的原因：超出允许温度的范围，暴露于UV，与环境反应，工艺能力不足，老化
- 失效机理：组分丧失（温度失控），低温凝固，组分退化，润滑剂对连接器应用环境的副作用，吸附灰尘，摩擦聚合-摩擦引起聚合
- 热膨胀