

箔材的表面处理对不同胶水剥离强度的影响

□张知博 龙冬方 田爱堂

浙江九为电子科技有限公司

【摘要】国内制造应变计的厂家在箔材表面甩胶前，大多都要采用溶剂清洗箔材表面。但是，国内的箔材制造商在箔材出厂之前已经将箔材清洗过一次。研究发现，不同胶膜在箔材表面表现出不同的粘结性能，对于聚酰亚胺胶膜，使用前不清洗箔材，粘接后的剥离力更大，结构更稳定，而箔材表面的清洗工艺对酚醛胶膜的粘接也没有明显影响。但是，环氧胶膜在箔材表面清洗后表现出更好的粘结性能。

【关键词】应变计；箔材；聚酰亚胺；环氧树脂；酚醛树脂

文献标识码：A 文章编号：1003-1870（2026）03-0015-04

Effect of Surface Treatment of Foil material on Peel Strength of Adhesives

【Abstract】 Most domestic strain gauge manufacturers use solvent to clean the surface of foil materials before applying adhesive. However, domestic foil material manufacturers have already cleaned the foil materials once before delivery. The study found that different adhesive films exhibit different bonding properties on the surface of foil material; For polyimide adhesive film, omitting cleaning of the foil material prior to use results in greater peel force and a more stable structure after bonding. The cleaning of the foil material surface has no significant effect on the bonding of the phenolic adhesive film. However, the epoxy adhesive film shows better bonding performance after the foil material surface is cleaned.

【Keywords】 strain gauge; foil material; polyimide; epoxy resin; phenolic resin

引言

1856年，汤姆逊在敷设横穿大西洋的海底电缆时，发现电缆的电阻值在发生机械形变时将发生变化。1936-1938年，美国加利福尼亚理工学院教授西蒙斯和麻省理工学院教授鲁奇分别同时研制出电阻丝式纸基应变片。经过几十年的发展，上世纪70年代初的电阻式应变计的精度取得了长足的进步。之后随着电子行业和计算技术的发展，电阻式应变计在产品标准化、系列化以及规模化生产工艺等方面都有很大的发展^[1]。

现代社会正在逐步进入万物互联、数据为王的时代，传感器作为物联网的终端和采集数据的源

头，赋予了万物“感官”功能，且比人类感知更准确、感知范围更广^[2]。近年来，国内外的电阻式应变计的需求出现了大幅度的增长。然而，相比于德国、美国和日本等发达国家，我们在高品质电阻式应变计的研发以及制程工艺方面差距比较明显。而电阻式应变计的电阻敏感栅和基底材料之间的粘接问题是造成这种差距的原因之一。

为提高电阻敏感栅和基底材料之间粘接的稳固性，国内的厂家在合金箔材进行涂胶或者粘接之前都要对合金箔材表面进行清洗。不同的厂家有不同的清洗工艺，本文研究了康铜和伊文合金箔材的不同表面处理工艺，对胶水在其表面剥离强度的影

响。

1 实验

1.1 试剂和原材料

丙酮（工业品，南通鑫泉化工原料有限公司），丁酮（工业品，南通鑫泉化工原料有限公司），碳酸钾（分析纯，上海国药），氢氧化钾（分析纯，上海国药），脱脂棉（广州佳颖无纺制品厂），聚酰亚胺胶水（自制），环氧树脂胶水（自制），酚醛树脂胶水（自制），康铜合金箔材（厚度 $5\mu\text{m}$ ，上海羽

尔），伊文合金箔材（厚度 $5\mu\text{m}$ ，上海羽尔）。

1.2 合金箔材的表面处理及涂胶工艺

如图1所示，首先将箔材放置在一个水平面上进行擦洗，采用脱脂棉蘸丁酮擦洗一遍，再用脱脂棉蘸丙酮擦洗一遍，最后再用脱脂棉蘸丁酮擦洗一遍， 100°C 烘干20分钟。将烘干后的箔材粘接固定在钛合金的框上，然后如图1所示在合金箔材上进行甩胶，在 $100\text{mm}\times 100\text{mm}$ 的区域内甩胶 3 ± 0.1 克，甩胶机的转速为650转/分钟，甩胶时间为7秒。



图1 传统箔材甩胶工艺

如图2所示，采用电化学清洗工艺清洗合金箔材。电解过程采用两电极恒电流电解工艺，电解液为 30g/L 碳酸钾水溶液，电解过程中电流密度为 $4\text{A}/\text{dm}^2$ ，

对电极为不锈钢电解池。首先将箔材作为负极电解5分钟，然后正极电解30秒，反复用水冲洗干净， 100°C 烘干20分钟。甩胶工艺同上。



图2 电化学清洗箔材

1.3 胶水的固化工艺

聚酰亚胺胶水固化工艺： 180°C 1小时，环氧树脂胶水固化工艺： 185°C 3小时，酚醛树脂胶水固化工艺： 190°C 2小时。

1.4 剥离强度的测试

剥离强度的测试按照国标GB/T 2792-2014进行，强度测试采用海达多功能拉力试验机（HD-B609B-S），测试速率 $80\text{mm}/\text{min}$ 。

2 结果与讨论

2.1 康铜箔材的表面粘接性能

图3为三种不同胶膜在康铜箔材表面的拉伸剥离过程。在环氧胶膜的拉伸剥离过程中，康铜箔材表面的擦洗对环氧胶膜剥离力的影响非常明显，康铜箔材表面的擦洗能明显增加剥离力的力值，也能增加箔材和胶膜之间粘接的稳定性。对于现在国内企业常用的酚醛胶膜，箔材表面的擦洗对酚醛胶膜

剥离力的影响不明显。同时，拉伸剥离过程中酚醛胶膜的最大剥离力和最小剥离力之间的差值均比较大，这表明康铜箔材和酚醛胶膜之间的粘接结构很不稳定，最终也会影响应变计产品的稳定性。

对于聚酰亚胺胶水，出现了令人意外的结果，没有擦洗的箔材和PI胶膜之间的剥离力明显较高，而且PI胶膜和康铜箔材之间的粘结结构比较稳定，最大剥离力和最小剥离力之间的差值小于 11gf ，即擦洗康铜箔材出现了反向的结果。在进一步的研究中发现，人工擦洗厚度小于 $5\mu\text{m}$ 的康铜箔材非常容易在箔材表面形成一些折皱，如图4所示。这些折皱一方面影响了胶液的浸润性，另一方面在胶液中溶剂的挥发以及胶固化的过程中，在胶膜的内部容易形成应力集中点，从而导致胶膜的粘接结构不稳定，剥离力也比较小。

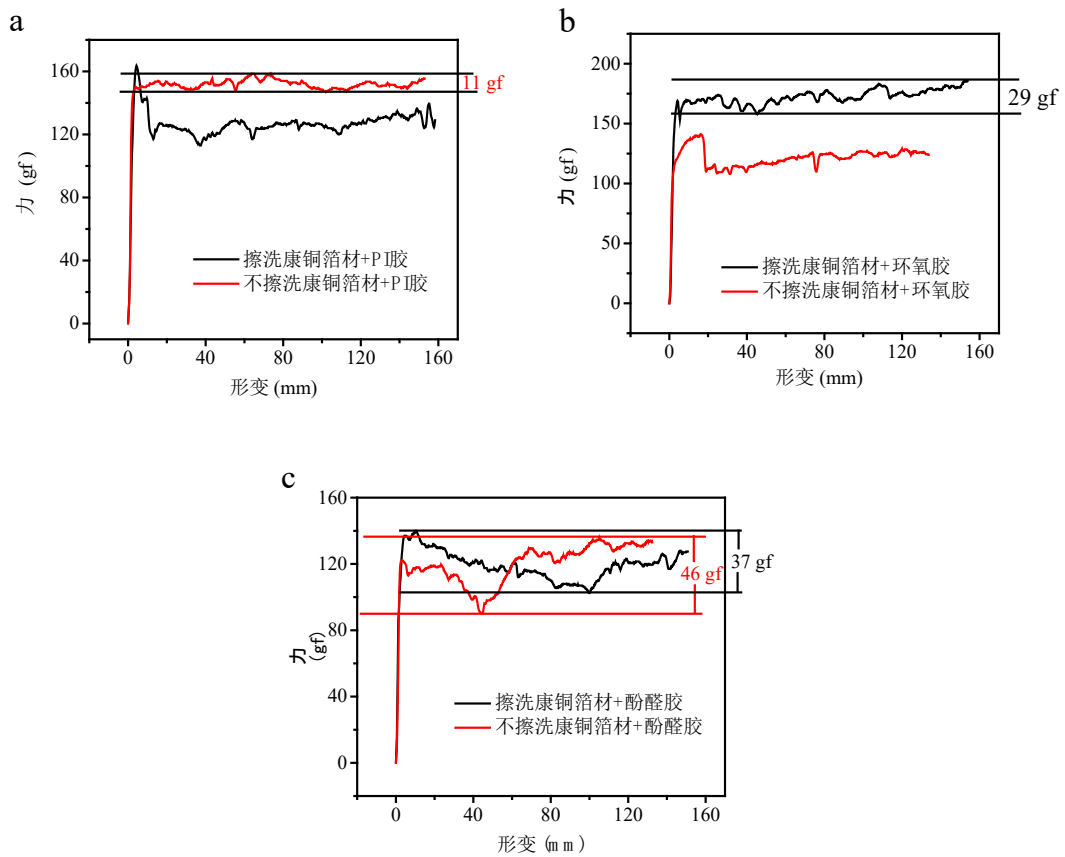


图3 不同胶膜在康铜箔材表面的拉伸剥离过程

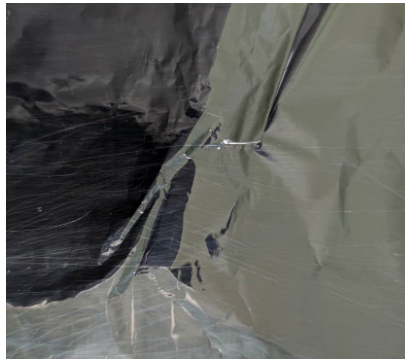


图4 擦洗后箔材表面的折皱

2.2 伊文箔材的表面粘接性能

图5 为三种不同胶膜在伊文箔材表面的拉伸剥离过程。很明显，环氧胶膜在伊文箔材表面的剥离力最低，均小于80 gf。而且箔材表面的清洗对剥离力的影响非常明显，环氧胶膜在清洗后的伊文箔材表面的剥离力几乎达到未擦洗箔材表面剥离力的2倍。对于酚醛胶膜，伊文箔材表面的清洗并没有对胶膜的

剥离力造成明显的影响，剥离力均大于176 gf，而且波动范围均小于34 gf。

聚酰亚胺胶膜在伊文箔材上的剥离力比较高，最大处的剥离力已经接近400 gf，但上下波动较大，尤其是清洗过的箔材表面PI胶膜的上下波动范围达到125 gf。但是未清洗的箔材整体性能较好，剥离力均大于300 gf，上下波动范围小于46gf。

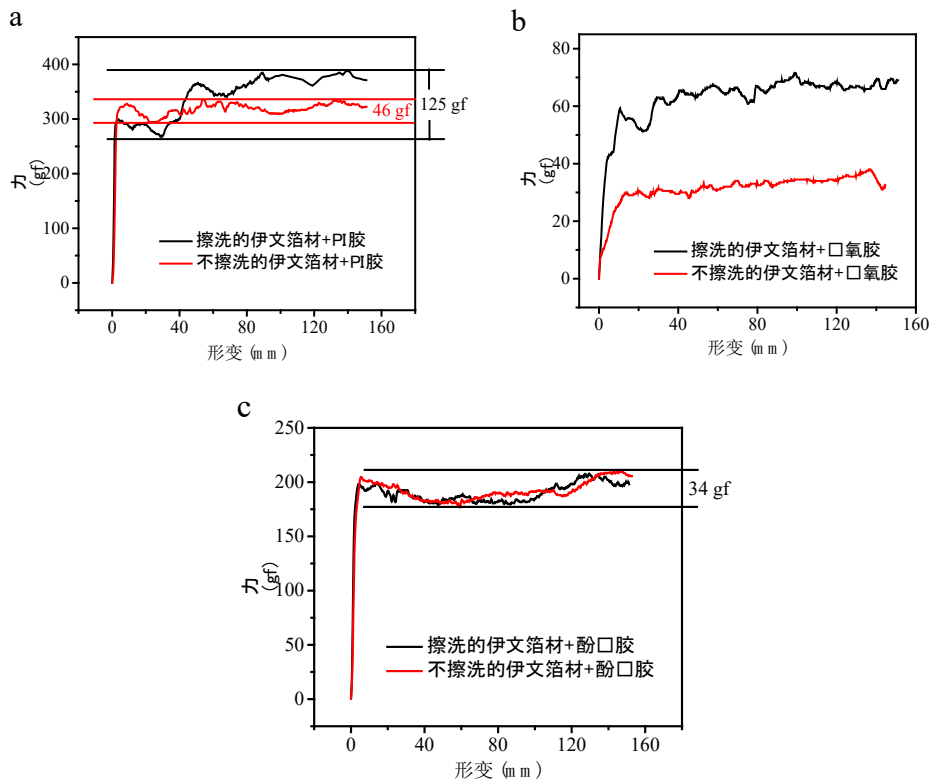


图5 不同胶膜在伊文箔材表面的拉伸剥离过程

不同的胶膜在不同箔材表面表现出不同的粘结性能，一方面与箔材表面的特性有关，另一方面也与胶膜本身的特性有关。此外，胶水所使用的溶剂也对粘接有明显影响。因为溶解能力较强的溶剂本身能够将箔材表面的部分有机污垢溶解进入胶层，从而增强胶结结构的稳定性。

3 结语

国内制造应变计的厂家，在箔材表面甩胶前，大多都要采用溶剂清洗箔材表面。但是，箔材表面的清洗对不同胶膜在箔材表面的粘接性能有不同的影响。第一，对于聚酰亚胺胶水，箔材表面的清洗使胶膜在箔材表面的粘接稳定性降低，这可能是由于箔材清洗过程使箔材表面增加折皱，这些折皱降低粘接结构的稳定性，因此用聚酰亚胺胶水时，清洗工艺应该取消。第二，对于环氧胶，箔材表面的清洗明显增加了粘接结构的稳定性，因此应继续保持箔材使用前的清洗工艺。第三，对于酚醛胶水，箔材表面的清洗对粘接结构的稳定性没有明显影响，箔材使用前的清洗工艺应该取消。

参考文献

- [1] 林静, 倪昔东, 戚培芸, 陈曦, 冯伟. 应变式扭矩传感器中应变片的粘贴技术. 船舶工程, 2012, 34(1): 52-53.
- [2] 何炎祥, 孙发军, 李清安, 何静, 汪吕蒙. 无线传感器网络中公钥机制研究综述. 计算机学报, 2020, 03: 381-408.
- [3] 史煜, 姚程炜, 李琦. 一种常温应变计用环氧-酚醛基底胶的研制. 热固性树脂, 2009, 24(4): 37-39.

作者简介

张知博（1998—）工程师，专注电阻应变计与高分子复合材料的研发，应变传感器与高分子材料的结合优化及应变计贴片胶开发。从事应变计产品技术研发、性能评估与自动化生产创新。

龙冬方（1972—）工程师，20+年应变计设计、开发与生产经验。历任某上市公司传感器研发总监，中国衡器协会专家委员会委员。擅长现场应力应变测试、材料力学分析及自动化控制项目设计。

田爱堂（1979—）工程师，擅长金属/高聚物复合功能材料的研发改进与应用。专注新型压力传感器中新材料、新工艺的创新应用。