

本文仅旨在概括腐蚀问题，并非提供各种腐蚀形式的全面参考，也并非具体合金优缺点的详细分析。不锈钢和碳钢腐蚀大不相同，由于选择紧固件材料时，全面腐蚀或表面腐蚀往往是主要考虑因素，因此本文主要介绍这两类腐蚀。

碳钢和不锈钢是制造紧固件最常用的材料，合金类别或牌号都数以百计，属性也各不相同。不锈钢部件的初始成本通常（但并非都）高于碳钢。例如，相同直径、相同长度的轻型卷制圆柱销与实心销相比，轻型卷制圆柱销的成本更低。从而，不锈钢卷制圆柱销成本会等于或低于碳钢实心销。另外，热处理或电镀等二次工艺往往增加了碳钢零件成本，不锈钢则不存在这个问题。但不考虑价值，只考虑成本是无意义的。例如，高端室外烧烤架厂商可能会选择耐蚀性远远超过产品预期寿命的不锈钢。这一选择反映出厂商看重产品完整性、外观、长寿命。能够提供最优质紧固件的“价值”可以抵消增加的相关成本。如果折扣品牌预期的消费者更在意成本而不是质量，那么该品牌厂商可能会为其产品型号选用定价更低的镀层钢紧固件。两种选择都是合理的，选择不锈钢的前提是客户既考虑成本也考虑价值。选择合适的紧固件材料时，设计人员必须权衡成本、优势和风险。

SPIROL 制造卷制圆柱销、直槽销、实心销、嵌件、管件、机加工螺母、限压套、垫片和碟形弹簧，满足全球各行业需求。SPIROL采用包括黑色和有色金属材料在内的多种材料制造部件，但本文仅涉及黑色金属产品，具体而言，仅限不锈钢和碳钢。

SPIROL的黑色金属产品采用四个主要标准材料组制造而成：

- 低碳钢
- 高碳钢和合金

- 马氏体铬不锈钢（AISI 410和420、EN/DIN 1.4516和1.4021）
- 奥氏体镍不锈钢（AISI 302、304、305或EN/DIN 1.4319、1.4301和1.4303）

碳钢和不锈钢均为黑色金属，即都含铁，但对于腐蚀的反应大不相同。根据定义，不锈钢铬含量不得低于10.5%。这种合金元素接触氧气以后，表面形成一层氧化铬，迅速阻止进一步氧化，进而变为“钝态”。该钝化层为连续层，厚度均匀，不溶且无孔。钝化层隔绝了环境氧气与基体金属；只要仍有氧气，被刮擦或磨损后，钝化层可自动修复。钝化层仅有10~100个原子厚，不影响零件尺寸。虽然特定条件下，不锈钢接触某些化学试剂会被腐蚀，但不会像碳钢一样因为均匀或全面腐蚀而生锈。铬作为合金元素，是均相混合物的成分，不易从合金中释放出来，所以被认为是安全元素。最后一点，不锈钢回收利用相对容易。不锈钢为100%可回收，行业分析师估计80%~90%的弃置不锈钢可以回收利用。

锈出现在铁和钢等铁合金上。锈是零件上有水分时接触氧气而在表面形成的一层氧化铁。这层氧化铁仍具活性，随着外层丧失完整性，逐渐消失而裸露新金属，铁持续转化为氧化铁（见图1）。

氧化铁也是多孔结构，可以吸收水分和各种元素，加剧腐蚀，每接触一次，活性腐蚀时间进一步延长。为防止氧化铁或铁锈形成，有必要避免接触氧气和水分。

基于这些原因，人们注意到相比潮湿环境下运行的机动车，干燥气候下运行的机动车受的腐蚀或锈蚀要少得多。在道路使用了防冻剂的寒冷潮湿环境下，腐蚀速度加快，腐蚀更严重。

碳钢紧固件一般成本低于不锈钢，而通过



图1: 链条正在生锈，证明了铁锈或全面腐蚀导致材料损失。

表面处理可以获得优异的耐蚀性。设计时还应考虑这些表面处理不应导致尺寸增大。碳钢可以采用喷漆、电镀或涂层等工艺防蚀。通常喷漆不适合紧固件，因为喷漆大多需采用挂镀工艺，而非批量工艺，不够经济。涂镀层是保护碳钢的主流方法，尽管有些工艺因为影响环境而不再受欢迎。表面处理的有害物质包括镉和六价铬等。过去十年，批量涂镀工艺走向成熟，能以较低成本获得优异耐蚀性，还能满足现行环境法规要求。尽管取得了这些进步，基体金属易生锈仍是“死穴”。大多数涂镀层都是消耗性的，意味着涂镀层耗尽即无保护作用。基体金属裸露出来，便会生锈。现在可以采用的表面处理和涂镀层举例如下：

- 锌系磷酸盐转化膜——通常之后需涂油或其他防锈剂。二次施用防锈剂决定了耐蚀性；以下镀层和其他涂层，按耐蚀性从最弱到优异排列。
- 机械镀锌——氢脆风险极低，是这种表面处理工艺的主要优势。表面处理层可能比电镀层厚，但不及电镀层光滑。往往需二次施用镉和/或封闭剂，以提高性能。
- 电镀锌——通常采用补充三价铬，最后往往还需采用封闭剂。这些表面处理工艺对于高强度钢而言有产生氢脆的风险；零件一般需要烘烤，避免这一问题。
- 电镀锌镍——比传统电镀锌更耐腐蚀。这种工艺和标准电镀锌工艺一样，高强度钢需要烘烤，降低氢脆风险。
- 铝锌涂层——浸渍离心工艺能够获得极强耐蚀性，而且不存在氢脆风险。

盐雾试验是运用最广的腐蚀试验方法。盐雾试验意在提供一种可重复的方法，可以评估材料或表面处理对腐蚀的反应。理论上，这种办法还可将使用寿命试验压缩至实际可行的时间。例如，室外门把手厂商将把手在室外放置15年，来确定15年保质期是否合适，这样做是不切实际的。将把手短时间放置于盐雾箱中，模拟15年腐蚀可能的影响，这才是可行的方法。尽管这种试验方法也只是有限的选择之一，但这些类比结果可能非常不准确，认识到这一点十分重要。现实情况与盐雾箱中的时间并不确切关联。如果门把手厂商关注沿海地区使用的产品，关键是要认识到，潜在的暴露将仅仅是间断发生的。有可能数月没有暴风雨，天气干燥，很少接触腐蚀性元素。简言之，相对于许多紧固件/组件的预期用途来说，盐雾试验模拟的是极端情况，并且试验时间是根

据设计者对实际情况的最佳猜测而主观设置的。最后，虽然很多厂商安排了不锈钢产品盐雾试验，但盐雾试验主要还是用于碳钢件。不锈钢一般在无盐湿度箱中进行试验。在重点关注氯化物暴露情况下，不锈钢可以选择盐雾试验。

盐雾试验要求通常有两个简单标准——形成白色腐蚀的小时数和之后出现红锈（或基体金属）腐蚀的小时数。盐浓度、温度和时间需要准确控制。大多数涂镀层依赖基体金属涂覆的有色金属、随后的铬酸盐浸渍，以及根据性能要求决定的有机或无机封闭剂。这些表面处理层失效的顺序与涂覆顺序相反。腐蚀环境破坏外层封闭剂和铬酸盐层之后，开始侵蚀下层有色金属。白色腐蚀自此开始。锌、镍、铝和镁等有色金属不含铁元素，不会出现“红锈”。只有保护性金属耗尽之后，才能看到红锈（见图2）。

电镀层和机械镀层都存在一个难题，即在深孔和明显裂缝中的镀层。这也是SPIROL的诸多制造产品（如直卷制圆柱销、直槽销和管件）等的一个关注问题。两种工艺都不能在管内充分沉积（见图3和图4）。虽然这些表面处理工艺可能在内部沉积铬酸盐和封闭剂，但有色金属（本例中为锌）达不到100%覆盖；有色金属是最重要的表面处理成分。据前文所述，液体涂层不同于机械镀层和电镀层，可以充分覆盖零件内部；卷制圆柱销比较特别，卷之间空间不容易充分覆盖。这看似是很严重问题，但关键还是认识到腐



图2：卷制圆柱销先采用轻型镀锌，后采用铬酸盐浸渍工艺进行表面处理。经评定，表面处理工艺能提供48小时的“红色”腐蚀防护。零件在盐雾中放置200小时，出现了明显红锈，而部分锌和白色腐蚀仍然存在。虽然表面锌显露出来，但不管临近区域侵蚀多严重，零件依然未出现红锈。

蚀形式的多样性，就紧固件而言，这些位置的腐蚀不太重要。虽然存在这些问题，数以亿计的镀层紧固件都已成功应用多年。如果紧固件完全安装在主体材料上，大体上就能获得腐蚀防护。可以证明这一点的案例，是夹在两个组件中间的限压套，该限压套受到垫圈的保护，上面还有一个法兰螺栓。就电偶腐蚀而言，表面处理无需提供均匀保护效果，因为只要电流能从一处流向另一

处，表面处理层就能消耗自己而起到保护基体金属的作用。例如，钢船体可在关键位置螺栓连接牺牲锌阳极进行保护——无需对整个船镀锌。与此类似，如果腐蚀源自电偶腐蚀，卷制圆柱销外围的锌就能保护内部。



图3：照片显示了卷制圆柱销的基本几何结构——由多圈金属组成。镀层不能穿透金属圈和浸渍涂层之间的空间，尽管镀层能够覆盖内部，却不能有效覆盖销的金属圈之间的空间。

不锈钢的优势依旧在于无需其他表面处理防护，自身就能抗腐蚀。分布于合金各处的铬提供了耐蚀性。不锈钢也会因腐蚀而失效，但不会因为全面腐蚀或表面腐蚀而生锈。影响不锈钢最常见的腐蚀形式是点蚀。当环境因素或机械磨损/刮擦破坏了钝化层，而同时钝化层又不能重新自发生成，就可能出现点蚀。然后出现局部腐蚀。盐雾中，零件表面可能形成小水滴。小水滴中可能聚集了强腐蚀性的氯化物。另一种是影响更大面积的侵蚀形式是缝隙腐蚀。内部有锐角或者部件接触面可能形成潜在的流体沉积点时，可能会出现这种侵蚀。良好的设计做法能最大限度减少缝隙腐蚀，尽管在许多情况下，缝隙腐蚀是应用的预期功能所固有的。改用其他不锈钢合金，也可提高耐蚀性。提高抗点蚀性能的常用方法包括添加钼或更高浓度的铬和/或镍。提高耐蚀性，通常成本也会提高，因此仅在必要时才提高耐蚀性。

SPIROL提供两种不锈钢，最强耐蚀性的奥氏体（或镍）不锈钢和容易被腐蚀的马氏体（或铬）不锈钢。镍不锈钢有两个优势：1) 铬含量从12%提高到18%；2) 添加了8%的镍，提高了对无机酸侵蚀的抗性。正确配比的铬和镍可以形成奥氏体结构。马氏体铬不锈钢耐蚀性略逊，但可做热处理达到更高强度，后续低速加工硬化工艺可以获得优异的抗疲劳性能。

图4：下文为图3所示销横截后的照片，旨在展示钢质卷制圆柱销卷间的侵蚀。



为了证明不锈钢与涂层碳钢之间的区别，两种材料的实心销都采用相同的几何形状。不锈钢销进行了钝化，而低碳钢销涂覆了锌涂层产品（见图5）。在第720个小时，涂层零件性能良好，但白色腐蚀清晰可见。锌耗尽后，就开始生锈。相比之下，奥氏体不锈钢销基本无变化（见图6）。充分钝化的300系列不锈钢销在盐雾中能提供长达2500小时的保护。

如前所述，马氏体不锈钢耐蚀性不及奥氏体，所以一般不做盐雾试验。普通空气、淡水、体液和烹饪环境中，以及铬酸和硝酸等弱氧化

酸中，410和420不锈钢都具有良好耐蚀性。下列马氏体不锈钢销置于盐雾中，观察300个小时。48个小时后，变色明显，小坑开始形成。300个小时后，点蚀严重，下列照片中清晰可见（见图7、8、9和10）。



图5：销试验之前：上两根为有锌涂层的低碳钢；下两根为奥氏体305不锈钢。



图7：420不锈钢直槽销出现点蚀，并伴有相关变色。

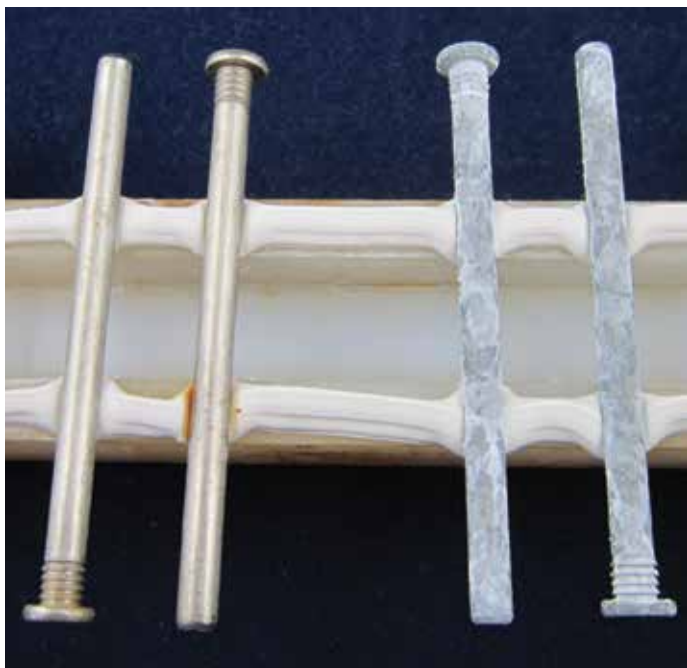


图6：试验后，305不锈钢未发生变化（左），而涂层零件（右）出现了明显的白色腐蚀。

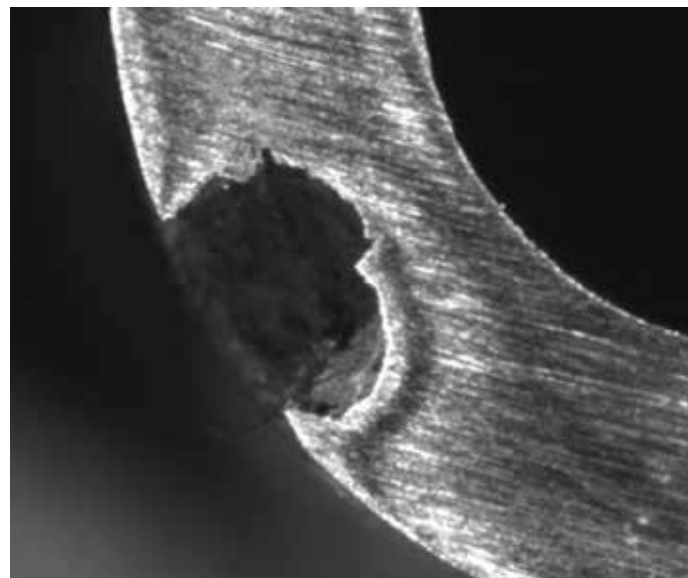


图8：图7所示点蚀横截面，表明了对横截面积的影响和强度的降低。



图9: 410不锈钢实心销出现点蚀，并伴有相关变色。

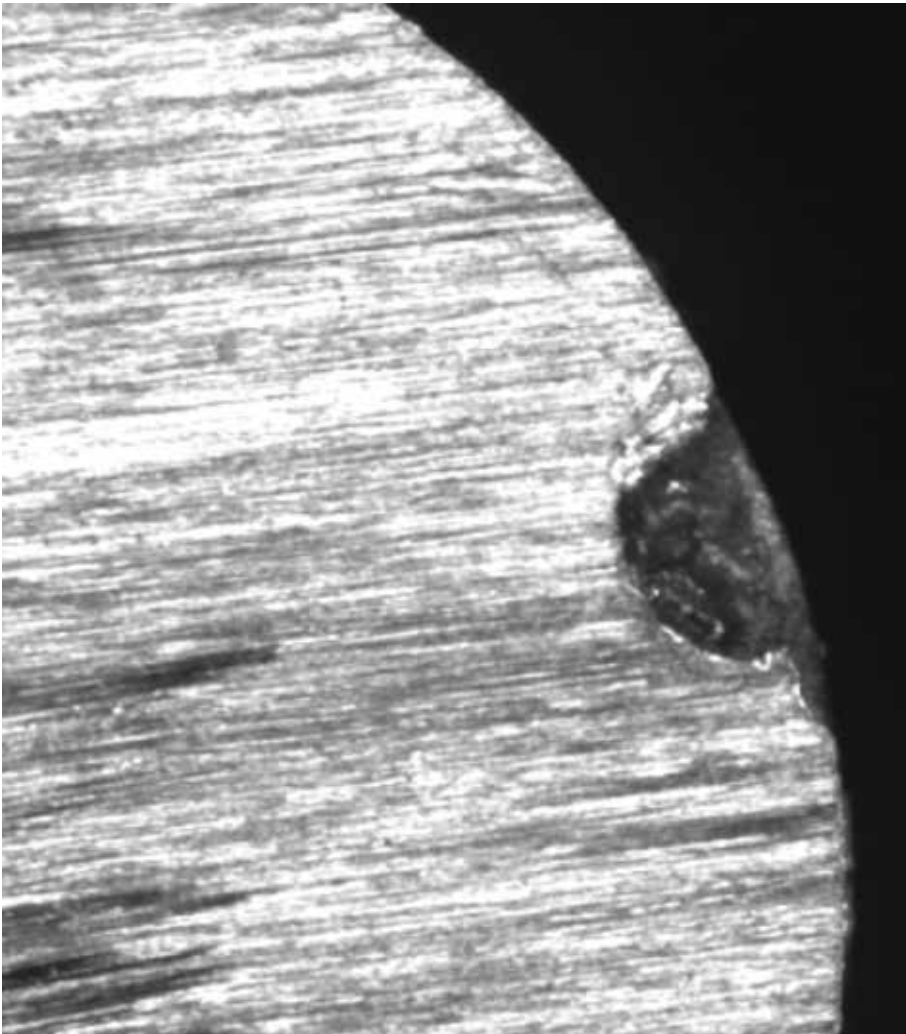


图10: 图9所示点蚀横截面，表明了对横截面积的影响和强度的降低。

总之，虽然可用于碳钢的表面处理工艺和涂层取得了极大进步，碳钢还是易被腐蚀。问题不在于表面处理层是否会失效，而在于表面处理层何时最终失效。不锈钢往往成本高，但失效成本更高。必须充分考虑预期环境和产品预期寿命，选择合适材料和/或表面处理工艺，确保成功。同样重要是，还应尽可能评估其他解决方案。改用卷制弹性圆柱销和管件，替代实心销、定位销和其他产品，减小材料用量，能够大幅减轻重量，进而降低成本。碳钢并非总是安装成本最低的解决方案，任何时候都应考虑“价值”。不锈钢不易被侵蚀，务必准确评估主体材料和环境，确保采用正确牌号/型号。

亚太地区 **SPIROL 亚洲总部**
中国上海市外高桥自贸试验区荷丹路122号D9地块22号楼一楼, 邮编: 200131
电话: +86 (0) 21 5046-1451
传真: +86 (0) 21 5046-1540

SPIROL 韩国
16th Floor, 396 Seocho-daero, Seocho-gu, Seoul, 06619, 韩国
电话: +82 (0) 10 9429 1451

欧洲 **SPIROL 英国**
17 Princeswood Road
Corby, Northants
NN17 4ET, 英国
电话: +44 (0) 1536 444800
传真: +44 (0) 1536 203415

SPIROL 法国
Cité de l'Automobile ZAC Croix Blandin
18 Rue Léna Bernstein
51100 Reims, 法国
电话: +33 (0) 3 26 36 31 42
传真: +33 (0) 3 26 09 19 76

SPIROL 德国
Ottostr. 4
80333 Munich, 德国
电话: +49 (0) 89 4 111 905 71
传真: +49 (0) 89 4 111 905 72

SPIROL 西班牙
Plantes 3 i 4
Gran Via de Carles III, 84
08028, Barcelona, 西班牙
电话/传真: +34 932 71 64 28

SPIROL 捷克共和国
Pražská 1847
274 01 Slaný
捷克共和国
电话/传真: +420 313 562 283

SPIROL 波兰
ul. Solec 38 lok. 10
00-394, Warszawa, 波兰
电话: +48 510 039 345

美洲 **SPIROL International Corporation**
30 Rock Avenue
Danielson, Connecticut 06239, 美国
电话: +1 860 774 8571
传真: +1 860 774 2048

SPIROL 垫片事业部
321 Remington Road
Stow, Ohio 44224 美国
电话: +1 330 920 3655
传真: +1 330 920 3659

SPIROL 加拿大
3103 St. Etienne Boulevard
Windsor, Ontario N8W 5B1, 加拿大
电话: +1 519 974 3334
传真: +1 519 974 6550

SPIROL 墨西哥
Avenida Avante #250
Parque Industrial Avante Apodaca
Apodaca, N.L. 66607, 墨西哥
电话: +52 81 8385 4390
传真: +52 81 8385 4391

SPIROL 巴西
Rua Mafalda Barnabé Soliane, 134
Comercial Vitória Martini,
Distrito Industrial
CEP 13347-610, Indaiatuba, SP, 巴西
电话: +55 19 3936 2701
传真: +55 19 3936 7121



卷制弹性圆柱销



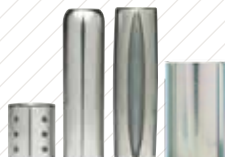
直槽弹性圆柱销



实心销



弹性定位销/定位衬套



标准隔套



限压套



塑料用嵌件



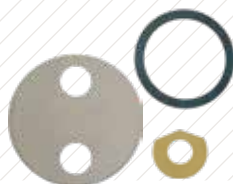
铁路螺母



碟形弹簧



精密金属垫片和高磨损组件



平垫和垫圈



振动送料系统



销装配技术



嵌件装配技术



限压套安装技术

最新的规格和标准详情请参考 www.SPIROL.cn。

SPIROL 提供免费的应用工程支持! 我们将协助新设计, 帮助解决问题, 并提供节省现有设计成本的建议。敬请登录 SPIROL.cn 查看 SPIROL 应用工程服务详情。

电子邮件: info-cn@spirol.com

SPIROL.cn