氮化硅材料在凸焊螺母工艺上的应用

王传武[1]，徐鹏[1]，黄成[2]

1．蔚来科技（安徽）有限公司　安徽合肥　233000

2．天汽模志通车身科技有限公司　安徽六安　231323

摘要：车身连接质量直接影响整车的安全性与使用寿命。紧固件凸焊连接工艺以其简洁、高效的应用优势，占据了紧固件连接点的70%以上。可靠的连接强度、稳定的外观质量，是紧固件凸焊工艺的基本目标。焊接虚焊与火花飞溅是凸焊工艺的常见缺陷。氮化硅陶瓷材料以优良的性能优势，近年来被汽车主机厂与零部件企业广泛投入到凸焊定位销的研究与应用中。

关键词：车身；零件；凸焊；氮化硅；轻量化

DOI:10.16173/j.cnki.ame.2025.05.009

凸焊螺母的工艺

凸焊螺母是一种常用的紧固件，广泛应用于机械、家电、航空航天以及汽车制造等领域。凸焊螺母具有连接工艺简单、安装过程便捷等优点。凸焊螺母的结构特点（见图1）是在螺母的一端设置凸点或者凸环，通过加热，凸点或者凸环熔化形成焊点，以焊接的方式固定在母材上，从而实现连接的目的。

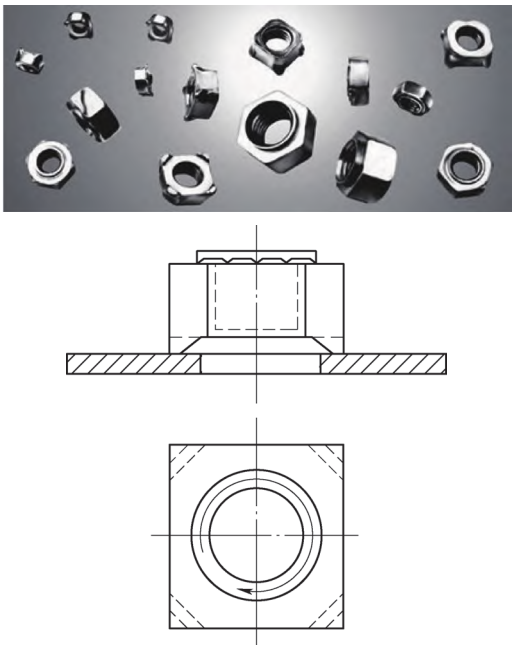

图1　凸焊螺母

凸焊螺母连接的工艺原理

凸焊工艺属于电阻焊的一个分支。电阻焊的工艺原理如图2所示，当被焊接材料组合后，通过电极施加压力，利用电流流过焊接区所产生的电阻热加热工件，使要焊接部位达到局部熔化或高温塑性状态，通过电阻热与机械压力的联合作用，使被焊接材料形成原子间结合（焊点），从而实现连接。

电阻焊的基本过程如图3所示，分为四个阶段。

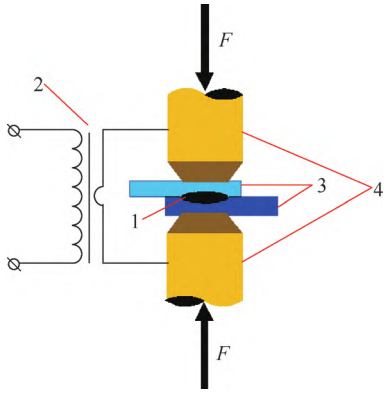

图2　电阻焊原理

1－焊点　2－电源　3－被焊接材料　4－电极

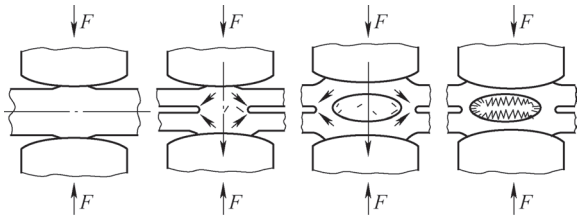

图3　电阻焊基本过程

点焊时产生的热量由下式决定

$$Q = \int_0^t i(t)^2 r(t)\mathrm{d}t \qquad (1)$$

式中　Q——产生的热量；

i——焊接电流；

r——焊接电阻；

t——焊接时间。

通过公式（1）得知，影响焊接热量的因素中，焊接电流的稳定至关重要。

汽车行业凸焊工艺现状

汽车行业在节能、环保及轻量化的大发展背景下，广泛应用高强度板材、热成型板材以及高强度紧固件。以上新材料的优势在于抗拉与屈服性能优良、硬度高，提高了整车的安全性；显著缺点是，材料的工艺焊接性变差，增加了脱焊、虚焊等缺陷的发生概率。为获得稳定的连接质量，提升焊接电流、提高焊接时间是简单有效的方法。

凸焊螺母采用定位销精准定位，传统凸焊定位销使用KCF材料，KCF是合金材料，属于导电材料，在高温下经过特殊热处理工艺后，在表面生成一层5～10μm的绝缘层。在凸焊高温环境下，绝缘层磨损，定位销周围会有不必要的电流通过，使定位销与凸焊螺母之间产生火花，导致螺母虚焊（见图4）与飞溅（见图5）等。通过提升焊接电流、提高焊接时间解决连接质量问题的同时，会进一步增加凸焊后螺母外观缺陷的发生概率。

图4　合金凸焊定位销磨损状态

图5　螺纹内飞溅

虚焊与飞溅，是凸焊螺母质量缺陷的两个顽症，严重影响车身零部件质量水平。

绝缘材料的凸焊定位销，可以有效避免焊接过程分流。氮化硅材料的引入，为解决以上问题找到了方案。

氮化硅材料性能

氮化硅属于陶瓷材料，无机化合物，化学式：Si_3N_4，是世界上最坚硬的物质之一，维氏硬度约2200HV（凸焊螺母的材料硬度不超过400HV）。氮化硅熔点高达1900℃（超过钢铁的熔点1538℃），加热到1450～1550℃（凸焊电极工作面的温度800～900℃），可以保持性能稳定。氮化硅具有优良的耐腐蚀性能，能耐几乎所有的无机酸、烧碱溶液以及有机酸的腐蚀。还是一种高性能电绝缘材料，绝缘性极

佳。氮化硅材料具备坚固、耐高温、耐腐蚀、高度绝缘等优良性能，是制作凸焊螺母定位销的理想材料（见图6）。

图6　氮化硅定位销产品

氮化硅凸焊定位销应用优势

氮化硅作为综合性能极高的陶瓷材料，相比传统KCF合金材料，应用在凸焊定位销领域。具有以下突出优势。

1）氮化硅材料的高绝缘性能，可以避免定位销周围的分流，输出焊接电流稳更稳定。研究对比，屈服强度420MPa高强钢材料焊接10级M10凸焊螺母，设置16 500A电流。在同等工况下，传统KCF定位销，电流极差为600A；氮化硅定位销，电流极差只有200A。

2）使用氮化硅定位销，凸焊螺母质量稳定，减少了检修工序，提高了工作效率，降低了质量管理成本。热成型板焊接M6凸焊螺母，使用传统KCF凸焊定位销，虚焊、飞溅等缺陷高达30%，而使用氮化硅凸焊定位销可以彻底避免因定位销分流带来的飞溅与虚焊问题。

3）氮化硅材料的高耐磨特性使得工件可以长时间保持精确定位，从而确保了焊接的螺母具有非常高的形位尺寸。

氮化硅凸焊定位销性价比

以M6凸焊螺母定位销为例，统计对比：

传统KCF凸焊定位销单价在20～40元，最大使用寿命约10 000个工作循环（即可生产10 000颗凸焊螺母），每万颗凸焊螺母定位销成本摊销20～40元。

氮化硅凸焊定位销硅单价80～150元，最大使用寿命约100000个工作循环（即可生产10 000颗凸焊螺母），每万颗凸焊螺母定位销成本摊销8～15元。

氮化硅凸焊定位销现阶段价格相对较高，综合考虑其优异的耐磨性和产品质量保证能力，以及更长的使用寿命（传统材料定位销寿命的10倍），可以显著节约制造成本。

氮化硅凸焊定位销尚处在中前期推广阶段，随着氮化硅加工工艺改进与生产效率的提升，性价比优势会进一步扩大。

结语

氮化硅定位销的优异性能在众多领域得到了体现，在汽车零部件行业推广已经成为一种必然的发展趋势。

随着氮化硅制造技术的不断进步和工艺设备的持续升级，氮化硅定位销的性能将得到进一步提升。随着其在更多领域的广泛应用和研究的深入开展，氮化硅定位销在未来将为制造业带来更多的突破和进步。

AUTO1950

汽车工艺师 2025年 第5期 广告目次 Advertisement Catalogue

单位名称	查询编号	位置
汽车工艺师		封面
金粉商城	8000	封二
《汽车工艺师》杂志订阅	0001	封三
公益广告	8000	封底
公益广告	8000	1
公益广告	8000	2