



## 紧固件的金相制备

销钉与连杆作为机械连接部件，是最古老的结构构件之一。铆钉和螺钉最初由用贵金属制成，后来改用有色金属材料和钢材通过锻造和机械切割法加工来制造。

在具有足够延良好塑性、可承受冲压和轧制工具压力的金属材料开发出来之后，冷成型工艺才开始应用于紧固件的批量生产。



铆接，铝包钢铆钉

机械连接部件主要可分为螺栓、螺母和螺钉等螺纹紧固件及铆钉和销钉等非螺纹紧固件。螺纹紧固件和非螺纹紧固件根据强度、扭力要求及环境条件的不同，其用途也有所

不同。根据规范标准要求及安全 and 环境要求，铆钉和螺钉均有特定的应用领域，如飞机和汽车工业等。

紧固件在众多工程应用领域对确保结构安全来说是至关重要的，其生产须严格按照特定标准进行。因此，一般性检验，尤其是金相检验和质量控制程序在生产过程中发挥着重要作用。测试内容涵盖了尺寸、机械特性与物理变量的检验以及结构检验和定量分析等。



无论是原材料抽检、成型及热处理工艺的控制检验还是失效分析，金相检验均是紧固件生产质量控制体系中的一个组成部分。

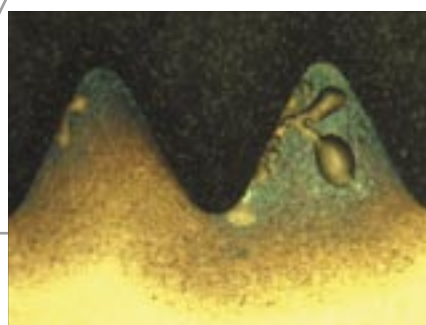
### 金相制备过程中面临的难题

**切割：**由于尺寸和形状的限制，紧固件切割时并非总是能够做到牢固夹持和切割获得合适的断面切割。



镶样之前切除螺钉头多余部分

**镶样：**用显微镜观察试样前须对试样进行良好的边角保护和试样清洗，而紧固件螺纹和头部的收缩间隙却可能使这些工作难以彻底完成。



收缩间隙致使螺纹锈蚀

### 解决方案：

**切割：**紧固件采用专用试样夹具座，小型螺钉采用精密切割，或者固定好在整个紧固件固定好后由边缘向中心进行粗磨。

**镶样：**正确除脱脂和清理清洗，采用收缩量最小的镶样介质材料进行热压镶样或冷镶样。

# 紧固件的生产与应用

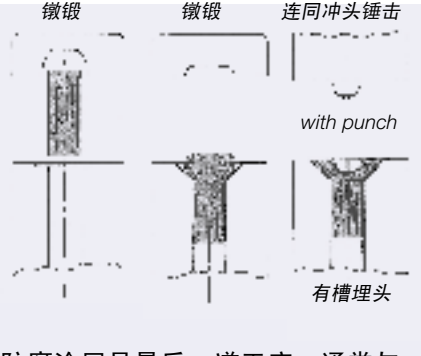
在紧固件的生产的历史进程过程中，机械加工是重要一环，对车削螺纹来说更是如此。如今，无切屑成形（轧制）技术已经成为一种通用而经济的生产方法，机加工技术仅在对形状、公差和表面有极特殊要求和极高品质要求的工程螺钉初成形之后，进行精加工时才使用机加工技术。

紧固件成型通过冷压或热压技术完成。冷成型技术和冶金技术的长足发展，已经使冷压技术几乎代替了紧固件生产中的热成型工艺。对于特大型螺栓或形状复杂的螺栓，热成型技术仍不失为一个选择。大截面尺寸要求大冷成型力，从而对冷加工效果提出了更加苛刻的要求。

冷成型时，一件连续式线材被送入挤压机，在冲模中受到挤压，并缩小了线材直径缩小，制成紧固件（图1）。紧固件螺纹通过冷轧作业成形（图2）。螺纹是一颗螺钉最关键的部分部位，因此，正确的滚丝和后续热处理具有非常重要的意义。冷加工工艺可提高硬度，为了生产出优质的钢紧固件，需要通过各种热处理工序实现某些材料的性能，满足特定应用要求。

低碳钢经过渗碳处理后，中心柔韧、表面变硬度提高。碳钢经过硬化和回火处理后，可根据用途以及奥氏体化和回火温度的变化，从同一种原材料中获得不同的力学性能。螺钉头等部位可采用感应淬火方法对表面进一步硬化。在各道成形和热处理工序中，还需要执行进行酸洗、清洁和上油涂油等其他工序。

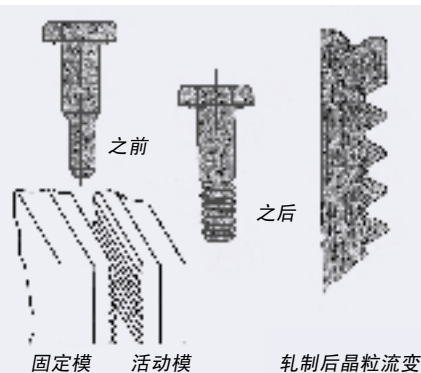
图2：冷镦基本作业，可将圆线材“冷”加工成各种必要的形状。连续自动作业，但必须保持晶粒连续性，以确保紧固件的完整性。



防腐涂层是最后一道工序，通常与制造工序分开进行。为了提高防腐性能，紧固件需要涂敷锰、锌或磷酸铁，然后上油。镀锌、镀镉或镀铬涂层可提高防腐性能，镉和铝蒸镀涂层也具有同样的功效。（出于环境方面的原因，一些国家已停止使用镉涂层。）

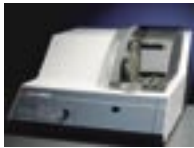
除了一般用途的低碳钢和碳钢紧固件外，还有应用于建筑和机械工程领域的高强度钢紧固件，具有良好耐腐蚀性的不锈钢紧固件，针对高温应用的镍基合金和钴基合金紧固件，飞机、医疗和食品行业采用的钛紧固件。用黄铜和紫铜等有色金属制成的紧固件可配合装饰性金属栏杆和金属边饰使用。钢制铆钉用于汽车行业，而钛制铆钉则主要用于飞机外机身的建造。

优质的原材料是生产优质紧固件的一个主要前提条件。棒料中可能存在裂缝、中心气孔或热处理不当等缺陷，导致晶粒粒径尺寸差异或晶体结构不正确缺陷。这些材料缺陷可在紧固件生产过程中可能诱发产品缺陷。因此，原材料的金相质量控制与总体生产控制具有同等重要的作用。



# 紧固件制备中面临的难题

紧固件的几何结构是紧固件金相分析制备所面临的挑战。通常，切口必须穿过螺钉中心，由于螺钉头外凸，在对铆钉或螺钉进行截面切割时难以做到铆钉或螺钉的牢固夹紧。大型螺栓通常可毫不困难地切割为两半，但是，螺钉越细，切割难度越大。



由于螺纹和螺钉头的弧形部分恰好是镶样树脂最可能发生收缩的部位，故几何结构问题还可能影响紧固件的镶样。这一点对于涂层材料尤为关键，因为边角保护不佳则无法对涂层进行适当检查。

## 紧固件制备推荐方案

建议采用以下方法解决切割与镶样问题：

对于中型螺钉或细螺钉，可制作一个带螺纹的专用试样夹具座，在截面切割时将零件牢牢夹紧固（图3）。对于较小的螺钉或铆钉，可将一侧的螺钉头或铆钉头切除，使螺钉能平放在镶样机中。镶样完成后，向中心研磨螺钉剩余部分。也可选择为镶样机专门制作一个下模芯，下模芯两侧设有与螺钉头相匹配的凹槽（图4）。螺钉很小时，采用切割方法效率较低。应在镶样时用一块金属或塑料作为垫片将其垫平，镶样完毕后向中部研磨（图5）。研磨紧固件最有效的方法是在自动研磨机上采用磨砂轮进行研磨，紧固件体积较大时效果尤为明显。



图2：螺钉切割专用试样座

图2：滚丝。将坯料放置在两个带有平行轧槽的平模间进行轧制，轧槽须与所需螺纹型号精确匹配。冷成型或热成型工艺，滚丝螺纹应坚固顺滑——不浪费材料。





图4



图5

图4：热压镶样专用下模芯

图5：用于镶样的螺钉垫片

热压镶样时建议采用乙二稀烯加玻璃纤维（IsoFast）或酚醛树脂加碳素纤维（Poly-Fast），冷镶样时建议采用环氧树脂（Epofix），因为环氧树脂收缩率最低。镶样前，应使用丙酮或乙醇等除脂剂彻底清洗清洗零件。应特别注意螺纹及螺钉头以下范围，确保树脂与试样材料可牢固粘合。

## 研磨与抛光

紧固件切割和镶样完成后，须按照特定材料的特性进行研磨和抛光。由于紧固件材料种类繁多，本应用说明无法一一描述。因此，我们选择了两种金属紧固件并在表1和表2中介绍了其制备方法。（更多制备细节，请见司特尔e-Matalog或司特尔应用说明）。本应用说明所提供的制备数据为黄铜螺钉（表1）和低合金钢螺钉（表2）的制备数据。数据来自6个30毫米直径、试样夹具座夹紧的已镶嵌试样。螺钉采用了司特尔Abraplan自动研磨机向中部进行粗磨，然后采用了司特尔TegraPol进行了自动精磨和抛光处理。

## 蚀刻与结构分析



对于紧固件金相试样的蚀刻，应根据所用材料的不同，如碳钢、钛、黄铜、不锈钢等，采用该种材料相应常用和推荐的蚀刻方案。

如上所述，在紧固件的生产过程中，可能会产生毛刺、裂纹（图7a）、褶皱和重叠等机械缺陷，这些缺陷可通过肉眼观察或采用染色渗透液及磁粉探伤等无损检测方法加以探测。缺陷深度可用金相分析手段加以探测（图7b）。微观显微结构缺陷大多是由过热（图8）、晶粒长大、晶间氧化和脱碳（图9）等



图6：疲劳断裂

因素造成的。在很多应用领域，螺纹紧固件断裂可能导致严重的后果，因此，金相结构分析是查找断裂原因必不可少的工具。由于紧固件会随着时间的推移受到弯曲、应变等机械因素影响，热影响，以及暴露在润滑剂、蒸汽、化学试剂等的环境的影响……。长时间以后，这些影响会引发的疲劳（图6）、扭曲、脆化、腐蚀或其他多种现象，导致了紧固件发生断裂。

## 结语

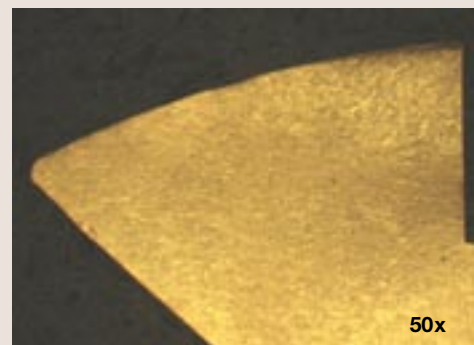
“紧固件”一词涵盖了各种各样带有螺纹或无螺纹的螺栓、螺钉、铆钉和销钉等，紧固件的生产要求使用特定的原材料和生产工艺。为了生产出优质的紧固件产品，必须对原材料和生产过程进行良好的金相质量控制。金相检验主要针对产品生产和后续热处理过程中产生的各种机械损伤和热损伤。由于紧固件形状和材料纷繁多样，结构和缺陷分析需要一定的专业经验。



图7a：裂缝导致的碳钢螺栓头裂口



图7b：所示裂缝的横截面图蚀刻剂：3%奈塔尔硝酸乙醇腐蚀液



冷成型造成的黄铜螺钉头流痕蚀刻剂：三氯化铁

## 制备方法 黄铜螺钉

### 研磨

步骤	PG	FG
表面	#320碳化硅研磨纸	MD-Largo
悬浮液		DiaPro Allegro/Largo
润滑剂	水	
每分钟转数	300	150
力[牛]	180*	180*
时间	根据需要	3分钟

### 抛光

步骤	DP	OP
表面	MD-Mol	MD-Chem
悬浮液	DiaPro Mol	OP-S**
每分钟转数	150	150
力[牛]	180*	90*
时间	3分钟	3分钟

表1 \*数值来自6个30毫米直径、试样座夹紧的已镶嵌试样。

\*\*96毫升OP-S2毫升氨水（25%）2毫升过氧化氢（33%）

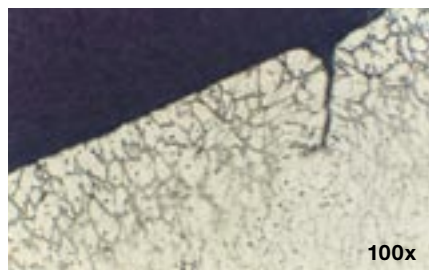
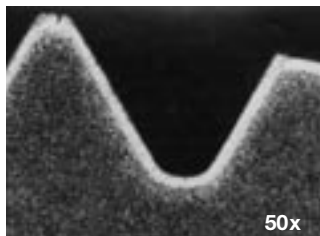


图8:  
顶锻时过热导致晶界熔化。  
镍基合金蚀刻剂: 改性Kalling 蚀刻剂。

图9:  
呈现脱碳迹象的螺纹断面蚀  
刻剂: 5%奈塔尔硝酸乙醇  
腐蚀液。



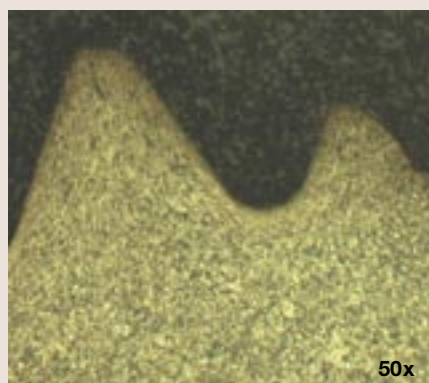
## 制备方法 合金钢螺栓 研磨

步骤	PG	FG
 表面	Stone 150#	MD-Allegro
 悬浮液		DiaPro Allegro/Largo
 润滑剂	水	
 每分钟转数	1500	150
 力[牛]	200*	200*
 时间	根据需要	4分钟

## 抛光

步骤	DP 1	DP 2
 表面	MD-Dac	MD-Nap
 悬浮液	DiaPro Dac	DiaPro Nap B
 每分钟转数	150	150
 力[牛]	200*	150*
 时间	4分钟	1-5分钟

表2 \*数值来自6个30毫米直径、试样座夹紧的已镶试样。



螺栓螺纹, 合金钢经回火处理蚀刻剂: 3%奈塔尔硝酸乙醇腐蚀液。

切割和镶样是金相制备过程中遇到的具体问题, 可借助各种有用有效的工具予以解决。研磨和抛光程序取决于需制备的紧固件材料, 可采用三步式或四步式方法在自动设备上完成。

## 应用说明

紧固件的金相制备 Elisabeth Weidmann, Struers A/S, Denmark John McElwain, Struers Inc., Westlake OH, USA.

## 致谢辞

在此对Frauke Hogue, Hogue Metallography, Pacific Palisades, Ca. USA为我们提供紧固件微观显微结构资料并允许我们复制图7a+b和图8表示感谢。

图1和图2: 版权 1975, Alcoa Global Fasteners, Inc. 及其子公司。版权所有。文中插图的翻印已经版权所有方允许, 严禁全部或部分复制文中插图。



## 参考书目

Handbuch der hochfesten Schrauben K.-H. Kübler, W. J. Mages, Hrsg.: Kamax-Werke, Verlag W. Giradet, Essen, 1986 Schrauben Vademecum, K. H. Illgner, D. Blume, Bauer und Schauerte, Neuss, 1978 Characterization of defects in precision fasteners by metallographic methods. Frauke Hogue, Structure 30, 1996



**CHINA**  
**Struers (Shanghai) Ltd.**  
Room 2705, Nanzheng Bldg.  
580 Nanjing Road (W)  
CN - Shanghai 200041  
Phone +86 (21) 5228 8811  
Fax +86 (21) 5228 8821  
struers.cn@struers.dk

**DEUTSCHLAND**  
**Struers GmbH**  
Karl-Arnold-Strasse 13 B  
D-47877 Willich  
Telefon +49 (0)2154 486-0  
Telefax +49 (0)2154 486-222  
verkauf.struers@struers.de

**ÖSTERREICH**  
**Struers GmbH**  
Zweigniederlassung Österreich  
Ginzkeyplatz 10  
A-5020 Salzburg  
Telefon +43 662 625 711  
Telefax +43 662 625 711 78  
stefan.lintschinger@struers.de

**SCHWEIZ**  
**Struers GmbH**  
Zweigniederlassung Schweiz  
Weissenbrunnstrasse 41  
CH-8903 Birmensdorf  
Telefon +41 17 77 63 07  
Telefax +41 17 77 63 09  
rudolf.weber@struers.de

**CZECH REPUBLIC**  
**Struers GmbH**  
Ocelářská 799  
CZ-190 00 Praha 9

Tel. +420 2 84 818 227  
Fax +420 2 660 32 278  
david.cernicky@struers.de

**POLAND**  
**Struers Sp. z o.o.**  
Oddział w Polsce  
ul. Lirowa 27  
PL-02-387 Warszawa  
Tel. +48 22 824 52 80  
Fax +48 22 882 06 43  
grzegorz.uszynski@struers.de

**HUNGARY**  
**Struers GmbH**  
Magyarországi fióktelep  
Puskás Tivadar u. 4  
H-2040 Budaörs  
Phone +36 (23) 428-742  
Fax +36 (23) 428-741  
zoltan.kiss@struers.de

[www.struers.com](http://www.struers.com)

司特尔(上海)国际贸易有限公司  
上海市南京西路580号南证大厦  
2705室, 200041  
电话 +86 (21) 5228 8811  
传真 +86 (21) 5228 8821  
struers.cn@struers.dk

**Struers A/S**  
Pederstrupvej 84  
DK-2750 Ballerup, Denmark  
Phone +45 44 600 800  
Fax +45 44 600 801  
struers@struers.dk

**FRANCE**  
**Struers S.A.S.**  
370, rue du Marché Rollay  
F- 94507 Champigny  
sur Marne Cedex  
Téléphone +33 1 5509 1430  
Télécopie +33 1 5509 1449  
struers@struers.fr

**THE NETHERLANDS**  
**Struers GmbH Nederland**  
Electraweg 5  
NL-3144 CB Maassluis  
Tel. +31 (0) 10 599 72 09  
Fax +31 (0) 10 599 72 01  
glen.van.vugt@struers.de

**BELGIQUE**  
**Struers S.A.S.**  
370, rue du Marché Rollay  
F- 94507 Champigny  
sur Marne Cedex  
Téléphone +33 1 5509 1430  
Télécopie +33 1 5509 1449  
struers@struers.fr

**UNITED KINGDOM**  
**Struers Ltd.**  
Ersline Ferry Road,  
Old Kilpatrick  
Glasgow, G60 5EU  
Phone +44 1389 877 222  
Fax +44 1389 877 600  
info@struers.co.uk

**USA and CANADA**  
**Struers Inc.**  
24766 Detroit Road  
Westlake, OH 44145-1598  
Phone +1 440 871 0071  
Fax +1 440 871 8188  
info@struers.com

**JAPAN**  
**Marumoto Struers K.K.**  
Takara 3rd Building  
18-6, Higashi Ueno 1-chome  
Taito-ku, Tokyo 110-0015,  
Phone +81 3 5688 2914  
Fax +81 3 5688 2927  
struers@struers.co.jp

**SINGAPORE**  
**Struers A/S**  
10 Eunos Road 8,  
#12-06 North Lobby  
Singapore Post Centre  
Singapore 408600  
Phone +65 6299 2268  
Fax +65 6299 2661  
struers.sg@struers.dk