

倒钩型油套管特殊螺纹加工工艺优化

周新义^{1,2}

¹宝鸡石油钢管有限责任公司钢管研究院;² 国家石油天然气管材工程技术研究中心

摘要: 油套管特殊螺纹具有密封性能好、连接强度高优点,广泛应用于油气田开发中。油套管特殊螺纹连接中的倒钩型特殊螺纹,因具有更高的抗拉伸强度和复合载荷承载能力,经常应用于复杂井况环境。尽管倒钩型特殊螺纹显著提高了接头的连接效率,但由于其特殊的结构和几何形状,螺纹加工比 API 圆螺纹和偏梯形螺纹更加复杂。本文针对成型螺纹刀片加工倒钩型特殊螺纹的难点,分析不同加工工艺,提出了一种更合理的侧向进刀加工工艺方法,并给出了进刀量与轴向偏移量的关系。此新工艺方法适用于各种油套管倒钩型特殊螺纹的加工。

关键词: 油套管;特殊螺纹;倒钩型;加工工艺

中图分类号: TG62;TH162

文献标志码: A

DOI:10.3969/j.issn.1000-7008.2020.07.017

Study on Processing Technology of Barb-type Premium Tubing and Casing Thread

Zhou Xinyi

Abstract: Premium tubing and casing threads have the advantages of good sealing performance and high connection strength, and are favored by more and more oilfields in oil and gas development. In premium thread connections of tubing and casing, there is a barb-type thread, which is often used in complex well conditions because of its higher tensile strength and higher composite load. While the barb-type premium thread connection greatly improves the connection efficiency, but the processing of such thread is more complex than that of API LC and BTC because of its special structure and geometry. The difficulties of processing barb-type premium threads with forming thread blade is introduced, the different processing technologies are studied, a more reasonable side feed processing technology is put forward, and the relationship between the feed and axial offset is given. The new processing technology is applicable to the machining of various barb-type premium tubing and casing threads.

Keywords: tubing and casing; premium thread; barb type; processing technology

1 引言

为满足深井、超深井、高压气井、水平井、热采井等复杂井况的开采需求,油套管螺纹接头需具有高连接强度、高抗弯曲性能、复合载荷下优异的密封性能以及高抗扭矩等特点,近年来,国内外涌现了各种形式的油套管特殊螺纹接头。由于油套管螺纹接头是整个管柱的薄弱环节,其性能直接影响管柱质量,并关系到油气井寿命。为满足不同的开采需求,制管企业研发出各种齿型螺纹的油套管螺纹接头,从最初的 API 圆螺纹、偏梯形螺纹到改进的偏梯形螺

纹、矩形螺纹、楔形螺纹,再到倒钩型特殊螺纹。

倒钩型特殊螺纹的独特结构决定其具有优异的拉伸性能和复合载荷性能。很多制管企业将倒钩型特殊螺纹作为高性能油套管接头的一种类型,并研发出各种高性能新产品。表 1 为近年来主要倒钩型特殊螺纹产品。

表 1 倒钩型特殊螺纹产品

序号	扣型	厂家	国家	螺纹承载角
1	VM TOP	V&M	法国	-5° ~ -3°
2	BGT2	宝钢	中国	-3°
3	BJC - II	宝鸡钢管	中国	-4° ~ -3°
4	BGC2	宝钢	中国	-3°
5	TPG2	天钢	中国	-3°
6	Tenaris 特殊扣	Tenaris	阿根廷	-4° ~ -3°

基金项目: 陕西省重点研发计划(2020KW-15)

收稿日期: 2020 年 2 月

[16] 梁迎春, 盆洪民, 百清顺. 单晶 Cu 材料纳米切削特性的分子动力学模拟[J]. 金属学报, 2009, 45(10): 5-1210.

第一作者: 陈华, 硕士研究生, 福州大学机械工程及自动化学院, 350116 福建省福州市

First Author: Chen Hua, Postgraduate, College of Mechanical Engineering and Automation, Fuzhou University, Fuzhou 350116,

China

通信作者: 黄健萌, 教授, 福州大学机械工程及自动化学院, 350116 福建省福州市

Corresponding Author: Huang Jianmeng, Professor, College of Mechanical Engineering and Automation, Fuzhou University, Fuzhou 350116, China

2 倒钩型油套管特殊螺纹加工难点

倒钩型特殊螺纹能显著提高油套管接头的拉伸性能和复合载荷性能。相比于 API 圆螺纹和梯形螺纹,倒钩型螺纹的加工难度更大。倒钩型特殊螺纹的牙型结构见图 1。螺纹表面由齿顶、齿底、导向面和承载面构成。导向面与螺纹设计母线之间的夹角为导向角 α ,其作用是引扣、抗弯曲和抗压缩等。承载面与螺纹设计母线的夹角为承载角 β 。当承载角 $\beta < 0^\circ$ 时,承载面即为负角度承载面,形状类似倒钩形状,因此称为倒钩型特殊螺纹,其作用是抗弯曲和抗拉伸载荷。

油套管在入井后需要承受自重产生的轴向载荷。油气井越深,承受的轴向拉伸载荷越大,因此采用倒钩型特殊螺纹可显著提高螺纹接头的连接效率。倒钩型特殊螺纹可显著提高抗拉伸载荷,但不能采用普通 API 螺纹加工方法,因此对倒钩型特殊螺纹加工提出了更高的要求。

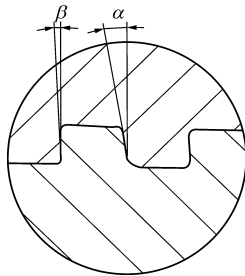


图 1 倒钩型螺纹齿形

随着数控设备及数控技术日趋成熟,螺纹成型刀片的设计和制造也越来越先进。目前,油套管螺纹加工普遍采用高精度数控车床和成型螺纹刀片进行车削。为便于对扣,API 圆螺纹、偏梯形螺纹采用锥度为 1:16 的锥螺纹。加工普通的正角度承载面螺纹时,可采用加工 API 螺纹的进刀方式(即垂直进刀车削),对切削过程影响较小甚至无影响,但对倒钩型螺纹的加工影响较大。如果用这种工艺加工倒钩型螺纹会出现多切现象,螺纹表面出现台肩、螺纹不完整、实际轮廓与设计轮廓形状不符等,严重影响接头的外观质量及使用性能。

以加工管体外螺纹为例,油套管螺纹接头加工无法一次成型,一般采用多次螺纹循环切削的方式。螺纹结构及切削过程见图 2。在正角度承载面螺纹加工过程中,前后两次的加工切削不会产生干涉,而在负角度承载面螺纹加工过程中,垂直进刀车削的前后两次加工产生了严重干涉,前一刀车削出现多切现象,螺纹完成后的轮廓形状与设计完全不符。

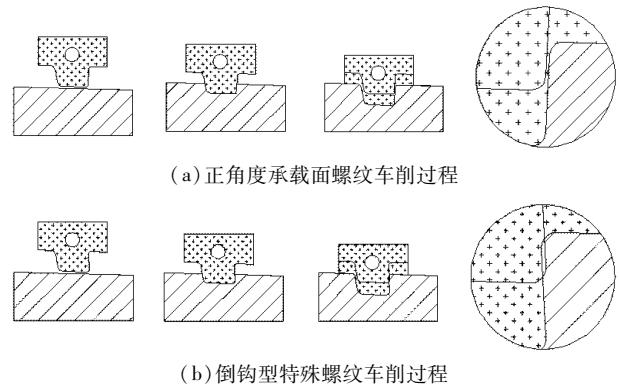


图 2 螺纹成型刀片垂直进刀车削螺纹

3 倒钩型油套管特殊螺纹加工工艺

利用螺纹成型刀片和数控车床,按照图 2 的方式不能完成倒钩型特殊螺纹的车削加工,即切深不能使用成型刀片垂直进刀的方式进行螺纹车削。为此,通过调研查阅相关资料,针对倒钩型特殊螺纹通常采用以下两种不同的加工方案。

(1) 方案一

采用两把不同的成型刀片车削(见图 3)。使用第一把成型刀片车削螺纹导向面,切深垂直刀具进给方向,使用第二把成型刀片车削倒钩型承载面,切深与进给方向相反。使用多把成型刀加工倒钩型特殊螺纹的优点是不需要计算每刀之间轴向偏移量,刀具切削时不完全被工件包容,有利于断屑和排屑,且冷却液易进入切削部位,有利于刀具和工件冷却,减少刀具磨损。但不完全包容的切削方式致使刀具受力不均匀,易发生振刀,工件螺纹表面易产生颤纹,严重时甚至发生崩刃等现象。该方法对操作人员的技术要求较高,对刀时要求两把刀具均有较高的相对精度,否则加工出的螺纹易造成齿槽与齿厚超差、螺纹表面出现台阶等现象,影响螺纹的外观质量和使用性能,不利于特殊螺纹的批量生产加工。

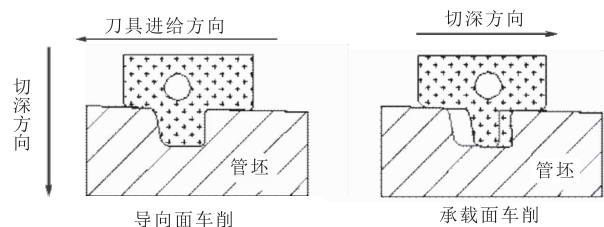


图 3 两把组合刀片车削负角度承载面螺纹

(2) 方案二

如图 4 所示,采用一把成型刀片加工出倒钩型特殊螺纹,每次的切深沿着负承载角侧向进刀。使用该方法加工倒钩型螺纹的优点是减少了两把成型刀具

的加工精度误差,且加工效率高;缺点是由于仅考虑了承载面角度侧向加工,未考虑导向面的角度,切削量分配不均,使螺纹加工时受力不均匀,容易出现颤刀现象。如切削量过大,极易发生崩刃,影响加工质量;如切削量过小,走刀次数增多,加工效率降低。

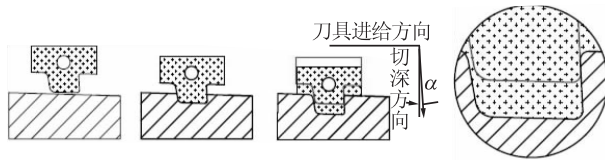


图4 沿承载面侧向进刀加工螺纹

(3) 加工工艺分析

通过以上两种加工方案的分析和研究可知,负角度承载面特殊螺纹加工的垂直进刀方式无法满足加工要求,只能选择侧向进给的方式进行加工。侧向进刀应选择合理的角度。假设倒钩型螺纹承载面角度为 α 、导向面角度为 β (见图1),侧向进刀角度为 γ ,分别尝试采用 $\gamma < \alpha$, $\alpha \leq \gamma \leq \beta$, $\gamma > \beta$ 三种侧向进刀方式完成倒钩型螺纹车削,加工过程见图5。

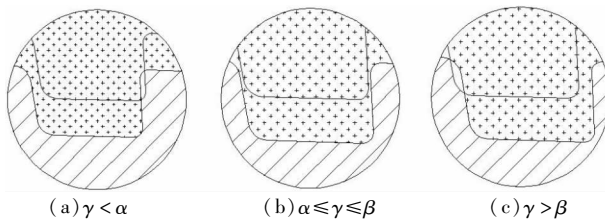


图5 不同侧向进刀角度加工

由图5可以看出:切深侧向进刀角度 $\gamma < \alpha$ 时,螺纹车削过程会发生与垂直进刀类似问题,螺纹承载面发生多切现象;切深侧向进刀角度 $\gamma > \beta$ 时,螺纹导向面发生多切现象;只有切深侧向进刀角度 $\alpha \leq \gamma \leq \beta$ 时,可实现倒钩型特殊螺纹的车削加工。切深侧向进刀角度直接影响螺纹承载面和导向面切削量的分配。合理分配螺纹承载面和导向面切削量关系到螺纹加工效率和加工质量,同时影响螺纹成型刀片的寿命。对此,本文提出倒钩型特殊螺纹车削切深侧向进刀角度 $\gamma = (\alpha + \beta)/2$ 。

该方法可有效解决倒钩型特殊螺纹车削难题,还能均匀合理分配承载面与导向面之间的切削量,且加工过程中成型刀片被完全包覆,解决了成型刀片轴向受力不均匀问题,同时提高了成型刀片的使用寿命和螺纹加工效率。

通过侧向进刀方法,采用一把成型刀片可加工倒钩型特殊螺纹。每次的螺纹切深与轴向偏移量存在以下关系:螺纹承载面角度为 α ,导向面角度为 β ,每次以切深角度 $\gamma = (\alpha + \beta)/2$ 侧向进刀单循环螺

纹车削一次,沿直径 X 轴进刀 ΔX , Z 轴退刀 $\Delta Z = \tan[(\alpha + \beta)/2] \times \Delta X$ 。依次进行多次螺纹车削循环即可车削出完整螺纹。

由于螺纹加工过程采用成型刀片,切削面积随切深增大而逐渐增大,切削力也随之增大。螺纹车削最后一刀,切削力达到最大。当刀杆刚性不足时,螺纹车削的最后几刀容易发生振刀现象。通过该方法采用螺纹单循环车削,每次车削深度可以逐渐减少,从而逐渐降低切削力,克服由于切削面积逐渐增大和切削力增大带来的不利影响。

(4) 加工实例

以加工Q125钢级负角度承载面外螺纹为例,导向面 $\alpha = 10^\circ$,承载面 $\beta = 3^\circ$,齿高为1.575mm,切深进刀角度 $\gamma = -6.5^\circ$,切削次数为10次,根据经验可得出表2中每一刀进刀量和偏移量。

表2 倒钩型螺纹加工径向切深与轴向偏移量

走刀次数	切深 X (mm)	进刀量 ΔX (mm)	Z 轴偏移量(退刀量 ΔZ) (mm)
1	0.35	0.35	0.04
2	0.60	0.25	0.028
3	0.85	0.25	0.028
4	1.00	0.15	0.017
5	1.15	0.15	0.017
6	1.25	0.10	0.011
7	1.35	0.10	0.011
8	1.45	0.10	0.011
9	1.52	0.07	0.008
10	1.575	0.055	0.007

选用日本大隈OKMA LB45-III高精数控车床平台,编制正承载角螺纹加工(切深垂直进刀)与倒钩型特殊螺纹加工(切深沿 $(\alpha + \beta)/2$ 侧向进刀)程序代码(见表3)。

综上所述,倒钩型螺纹加工的难度是因螺纹循环加工过程的多次进刀造成。由于不可能使用成型刀一次进刀完成油套管螺纹的加工,所以侧向进刀的方式合理。为有利于螺纹表面精度,加工过程中尽可能减少进刀次数。但进刀次数过少,会造成切削力过大而引起崩刃,所以合理的切削深度和切削量分配是倒钩型螺纹加工过程中的关注重点。

根据经验,对N80以下钢级、齿高1.575mm的螺纹加工,切削次数一般为5次。而同等切深、钢级的P110套管螺纹加工,则需要7次切削完成加工;加工钢级Q125套管螺纹,需要10次左右切削完成加工。油套管的材料强度越高,单次切削深度越小,需要切削的次数越多。所以对于一些高合金油套管,切削次数可能会更多,使用该方法可能会降低加

工效率。采用10次切削加工Q125钢级的倒钩型套管特殊螺纹见图6。

表3 正角度承载面螺纹与倒钩型螺纹加工程序

正承载角螺纹加工 (切深垂直进刀)	倒钩型螺纹加工 (切深沿 $(\alpha + \beta)/2$ 侧向进刀)
N101 T0303 S300 M03 M08	N101 T0303 S300 M03 M08
N102 G00 X = 135.89 Z = 5.08	N102 G00 X = 135.89 Z = 5.08
N103 G33 X = 135.19 Z112 I2.1 F5.08	N103 G33 X = 135.19 Z112 I2. I F5.08
N104 X = 134.69	N104 G00 Z = 5.148
N105 X = 134.19	N105 G33 X = 134.69 Z112 I2. I F5.08
N106 X = 133.89	N106 G00 Z = 5.177
N107 X = 133.59	N107 G33 X = 134.19 Z112 I2. I F5.08
N108 X = 133.39	N108 G00 Z = 5.194
N109 X = 133.19	N109 G33 X = 133.89 Z112 I2. I F5.08
N110 X = 132.99	N110 G00 Z = 5.211
N111 X = 132.85	N111 G33 X = 133.59 Z112 I2. I F5.08
N112 X = 132.74	N112 G00 Z = 5.222
N113 G00 X500 Z100	N113 G33 X = 133.39 Z112 I2. I F5.08
N114 M05 M09	N112 G00 Z = 5.234
N115 M01	N113 G33 X = 133.19 Z112 I2. I F5.08
	N114 G00 Z = 5.245
	N115 G33 X = 132.99 Z112 I2. I F5.08
	N116 G00 Z = 5.253
	N117 G33 X = 132.85 Z112 I2. I F5.08
	N118 G00 Z = 5.260
	N119 G33 X = 132.74 Z112 I2. I F5.08
	N120 G00 X500 Z100
	N121 M05 M09
	N122 M01



图6 倒钩型特殊螺纹

4 结语

在油套管倒钩型螺纹加工时,使用成型刀片垂直进刀加工的前后两次切削会产生相互干涉,发生多切现象,造成螺纹实际轮廓与设计不符,直接影响螺纹外观质量和使用性能,甚至造成螺纹失效。

通过对倒钩型特殊螺纹加工过程的分析,提出了一种侧向进刀的螺纹加工新方法,合理分配承载面与导向面之间切削量,有效解决了负角度承载面螺纹加工的多切现象。给出了螺纹切削过程中进刀量与偏移量之间的关系,以及垂直进刀与侧向进刀程序代码对照,同时给出了几种常用钢级的油套管

倒钩型螺纹加工切削量。该工艺方法可以改善倒钩型螺纹车削加工质量和加工效率。

参考文献

- [1]张居勤. 国外油井管特殊扣的主要类型及其特点[J]. 钢管, 2006,34(3):56-60.
- [2]白鹤,呼延辉,李超,等. 油套管接头加工质量控制方法研究[J]. 焊管,2018,41(8):60-64.
- [3]罗蒙,王刚. 一种负承载角特殊管接头的螺纹加工工艺[J]. 宝钢技术,2009(5):74-77.
- [4]白鹤,贾宏安,党涛,等. 我国油套管特殊螺纹接头质量探讨[J]. 焊管, 2012(9):29-33.
- [5]白鹤,何石磊,党涛,等. 我国油套管特殊螺纹接头研究现状分析[J]. 焊管,2011,34(11):30-34.
- [6]蔡晓闻,高连新. 我国油套管特殊螺纹接头的发展现状[J]. 焊管,2008(4):41-44,94.
- [7]闫凯,杨红兵,杨专钊,等. 石油套管用特殊螺纹接头数控加工方法研究[J]. 机床与液压,2017,45(10):39-42,38.
- [8]朱志勇,骆号,陈建松. 数控车床车削梯形螺纹加工方法探讨[J]. 机械制造与自动化,2011,39(3):42-44.
- [9]王刚. 国外特殊螺纹接头油套管产品开发新进展[J]. 世界钢铁, 2007,7(4):1-4.
- [10]李瑞涛,杨美金,王耀锋,等. 特殊螺纹接头的研究现状分析[J]. 焊管, 2009(1):11-14,20.
- [11]高霞,肖国章. 油套管特殊螺纹设计要素分析[J]. 焊管,2010(1):21-24.

作者:周新义,硕士,工程师,宝鸡石油钢管有限责任公司钢管研究院,国家石油天然气管材工程技术研究中心,721008 陕西省宝鸡市

Author: Zhou Xinyi, Master, Engineer, Welded Pipe Research Institute of Baoji Petroleum Steel Pipe Co., Ltd., National Petroleum and Gas Tubular Goods Engineering Technology Research Center, Baoji, Shaanxi 721008, China