

精密锻造成形技术在我国的应用

伍太宾

(重庆工商大学机械工程学院, 重庆 400067)

摘要: 简要介绍了精密锻造成形技术的发展概况及主要应用领域, 列举了大量的工程应用实例来阐明冷锻成形、温锻成形、闭塞锻造成形、精密热模锻成形、复合成形、等温锻造成形等精密锻造成形工艺在我国的应用情况。

关键词: 冷锻; 温锻; 精密热模锻; 闭塞锻造; 等温锻造; 复合成形; 应用

中图分类号: TG316 **文献标识码:** A

文章编号: 1674-6457(2009)02-0012-07

Present Utilization State of the Precision Forging Technology in China

WU Tai-bin

(School of Mechanical Engineering, Chongqing Technology and Business University, Chongqing 400067, China)

Abstract: The development situation and the field of application of the precision forging technology were introduced briefly, and the present applications of the precision forging technology such as cold forging, warm forging, closed-die forging, hot precision forging, combined forming and isothermal forging etc. were discussed mostly by citing numerous engineering utilization examples in this article.

Key words: cold forging; warm forging; hot precision forging; closed-die forging; isothermal forging; combined forming; application

材料、能源和信息是当代科学技术的三大支柱, 材料成形与加工是现代材料科学的组成要素之一。近年来, 随着机械工业, 尤其是汽车工业的飞速发展, 与国际竞争的日趋激化, 零部件及其设计与生产过程的高精度、高性能、高效率、低成本、低能耗, 已成为提高产品竞争力的主要途径。常规切削加工技术和普通锻造成形制坯工艺已难以满足发展要求, 因此以生产尽量接近最终形状的产品, 甚至是以完全提供成品零件为目标应是塑性加工技术变革的必然趋势和发展方向^[1]。

精密锻造成形技术作为先进制造技术的主要

组成部分, 伴随着汽车、摩托车、兵器、航空、航天、电子以及通用机械等支柱产业的需求与发展而得到了迅速的发展, 并已成为提高产品性能与质量, 提高市场竞争力的关键技术与重要途径。因为精密锻造成形不但可以节材、节能, 缩短产品制造周期, 降低生产成本, 而且可以使金属流线沿零件轮廓合理分布, 获得更好的材料组织结构与性能, 从而可以减轻制件的质量, 提高产品的安全性、可靠性和使用寿命^[2]。

收稿日期: 2009-07-13

基金项目: 重庆市科技攻关计划项目资助(CSTC, 2007AC3031)

作者简介: 伍太宾(1967-), 男, 教授, 高级工程师, 主要从事复杂形状零部件及难变形材料的精密成形技术研究、开发工作, 主持国防科研项目、省部级科研项目和民品开发项目共20余项, 获省部级科技进步奖2项。

1 精密锻造成形技术的发展概况

精密锻造成形是指所成形的制件达到或接近成品零件的形状和尺寸,它是在普通锻造成形工艺的基础上逐渐完善和发展起来的一项高新技术。工业化革命以后的很长一段时间,大都采用自由锻造的方法生产锻件。后来随着锻件批量的增大、形状日趋复杂,自由锻满足不了要求,便产生了胎模锻和普通模锻,同时因不同形状锻件的成形需要,出现了挤压、辗扩、辊锻等成形方法。近几十年来,为提高锻件尺寸精度,又出现了小飞边、无飞边闭式模锻,径向锻造,多向模锻,电热墩粗,摆动辗压,粉末锻造,滚轧,楔横轧,强力旋压和超塑性模锻等。为进一步提高锻件精度和适应精密成形技术等新的成形方法,又出现了闭塞锻造和采用分流原理的精密锻造成形等新的成形方法,原有的成形方法也在采用新工艺的基础上进一步得到了完善,并广泛采用了冷成形和温成形工艺。同时为了适应某些低塑性、难变形材料的成形,还采用了等温成形工艺。

2 精密锻造成形技术的应用领域

目前,精密锻造成形主要用于两大领域。

1) 批量生产的零件,例如汽车、摩托车、兵器、通用机械的一些零件,特别是复杂形状的零件。

2) 航空、航天等工业的一些复杂形状的零件,特别是一些难切削的复杂形状的零件;难切削的高价材料(如钛、锆、钼、铌等合金)的零件;高性能、轻量化结构零件等。

3 各种精密锻造成形技术的应用

3.1 冷锻与温锻成形

由于汽车、摩托车工业的发展,大大促进了我国冷、温锻造成形技术的发展。例如花键挤压、齿轮、轮套、连杆、曲轴等零件的冷锻成形或温锻成形。冷锻件已从早年开发的活塞销、轮胎螺母、球头销发展到等速万向节、发电机爪极、花键轴、起动齿轮、差速器锥齿轮、十字轴、三销轴、螺旋锥齿轮、汽车后轮轴等^[3-12]。冷锻成形的齿轮单件质量为1 kg以上,齿形精度达7级。最大汽车冷锻半轴套管质量为10 kg以上。用冷挤压工艺过程生产的轴类件最大长度达到400 mm以上。日本和德国的一辆汽车开发应用冷锻件达到40~50 kg,我国目前每辆汽车约有30 kg左右的冷锻件。

汽车、摩托车以及通用机械的阶梯轴、花键轴类件,大多数采用冷挤压。螺旋花键轴、蜗杆类零件,大都采用冷滚轧成形。端面齿、小尺寸的直齿圆锥齿轮等零件,大都采用冷摆辗成形。轿车齿轮采用冷锻工艺,精度可以达到7级。等速万向节的复杂内型腔采用冷锻或温锻工艺过程成形,尺寸精度达到0.05~0.08 mm,可以直接装机使用。

冷锻或温锻成形的各种精密锻件如图1所示。

3.2 闭塞锻造成形

闭塞锻造成形工艺是最先进的精密锻造成形技术之一。与传统的锻造方式不同,它不是通过模具直接锻打坯料成形,而是在封闭的模具型腔内,通过冲头单向或双向复动挤压成形。锻件无飞边,材料

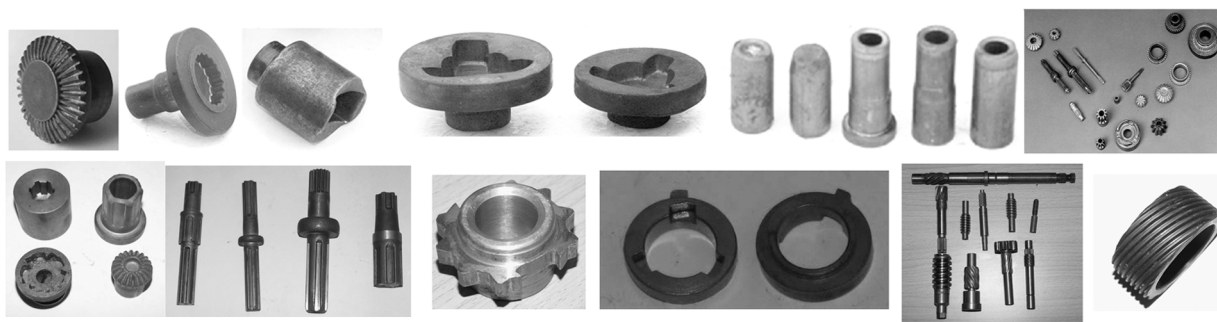


图1 各种冷锻或温锻精密锻件

Fig. 1 The precision forgings of cold forging or warm forging

利用率达到 85% ~ 90%, 生产率为班产 2000 ~ 3000 件, 制造成本较传统工艺降低 15% ~ 20%; 尺寸精度高(一般可以达到: 直径方向 ≤ 0.04 mm, 同心度 ≤ 0.05 mm, 厚度方向 ≤ 0.15 mm)。

该技术可用于轿车差速器行星齿轮、半轴齿轮、等速万向节星形套、十字轴、三角恒速器接头、连杆盖、离合器齿轮等高精度复杂零件的生产^[13-16]。这类精密锻件的机加工余量很小, 如万向节十字轴仅留 0.30 ~ 0.40 mm 的磨削余量; 伞齿轮的传动精度可达到 GB7 级, 齿面不用机加工直接使用; 星形套的内球道直径公差 0.05 ~ 0.08 mm。

闭塞锻造的各种锻件如图 2 所示, 十字轴的闭



图 2 各种闭塞锻造成形的锻件

Fig. 2 The forgings of closed-die forging

塞锻造成形流程如图 3 所示, 闭塞锻造的模具如图 4 所示。

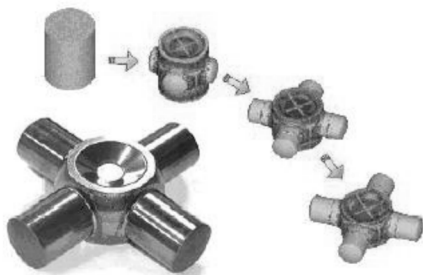


图 3 十字轴的闭塞锻造成形流程

Fig. 3 Closed-die forging process for cross shaft

3.3 铝合金的精密锻造成形

大批量铝合金锻件的开发与应用与汽车工业的飞速发展密切相关的。我国铝合金的整体锻造水平较发达国家落后 10 ~ 20 年, 目前仍处于用单工位的简单锻粗与挤压方式生产形状相对简单的锻件的阶



图 4 冷、温闭塞锻造模具

Fig. 4 The dies of cold or warm closed-die forging

段。20 世纪 60 年代, 我国开始研究铝活塞的挤压工艺, 并得到广泛应用。对复杂形状铝合金锻造的研发较少, 特别是在大批量生产上先进实用的工艺技术还鲜有人开发研究。用自由锻造方法单件或小批量生产飞机上的铝合金锻件, 由于材料利用率低、成本高, 无法在大批量生产上应用。近年来, 随着我国汽车工业特别是轿车工业的发展, 国内采用冷挤压、温冲压、等温锻造等精密锻造成形工艺进行支架、引信体、安全气囊壳体、通讯器材壳体等复杂铝合金锻件(如图 5 所示)的大批量工业生产, 满足了生产需要^[17-20]。

3.4 精密热模锻成形

精密热模锻成形是我国汽车工业、摩托车、通用机械、兵器、航空航天等行业广泛应用的制造工艺方法。它可以生产更接近最终形状的金属零件, 不仅节约材料、能源, 减少加工工序和设备, 而且显著提高了生产率和产品品质, 降低了生产成本。各种精密热模锻件如图 6 所示。

3.4.1 汽车差速器齿轮^[32-33]

汽车差速器齿轮(直齿锥齿轮)是精密热模锻成形技术应用最普遍的一例^[1], 如图 7 所示。目前我国载重汽车的直齿锥齿轮绝大部分都是精密热模锻工艺过程生产的, 其齿形精度达到 8 级, 完全取代了切齿加工。

3.4.2 汽车前轴^[34-35]

前轴是载重汽车上最大的锻件, 其质量通常在 70 ~ 130 kg。对于载重汽车的前轴, 北京机电研究所开发成功了载重汽车前轴“精密辊锻-整体热模锻”的精密锻造成形技术^[21]。

该项技术使前轴的工字梁和弹簧座通过精密辊



图5 各种精密锻造成形的铝合金锻件

Fig.5 The aluminum alloy forgings of precision forging processes



图6 精密热模锻的各类锻件

Fig.6 The forgings of hot precision forging

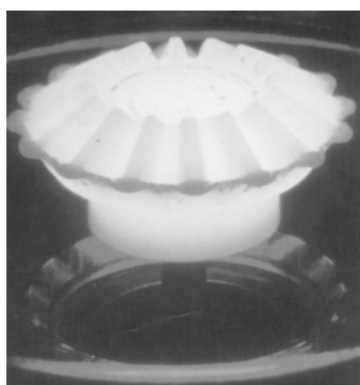


图7 精密热模锻的汽车差速器锥齿轮

Fig.7 The hot precision forging process for straight bevel gear in differential case

锻成形,而模锻只对两端弯臂成形,从而大大降低了

锻造主机的吨位,只需用 25MN(2500 t)螺旋压力机即可锻造 120 kg 左右质量的前轴锻件,产品精度达到 125MN(12500 t)热模锻压力机锻件水平,而模具寿命比后者提高 50%,生产成本降低 20%。

汽车前轴的“精密辊锻-精密热模锻”生产过程如图 8-10 所示。

3.5 复合成形

复合成形突破了传统锻造加工方法的局限性,或将不同种类的锻造加工方法组合起来,或将其它金属成形方法(如铸造、粉末冶金等)和锻造加工方法结合起来,使变形金属在外力作用下产生塑性流动,得到所需形状、尺寸和性能的制品。复合成形扩展了锻造成形的加工对象,有效利用了不同成形工艺的优势,具有良好的技术经济效益。精冲与挤压,热锻与冷整形,温锻与冷整形,热锻与温整形等各种相互交叉的复合成形都在迅速发展。

等速万向节外套的温锻-冷精整成形如图 11 所示,30CrMnSiNi2A 超高强度钢壳体零件温挤压-冷变薄拉深如图 12 所示。汽车用交流发电机转子工件通过 4 次温挤(变形力分别为 500,1659,2000,250 kN)、5 次冷挤(反挤、弯曲、冲孔、精压,变形力分别为 700,1250,250,3300 kN)成形。汽车差速器锥齿轮通过冷镦头、温成形、冲孔、冷精整生产,齿厚公差为 ± 0.005 mm,齿间误差为 0.01 ~ 0.03 mm,如

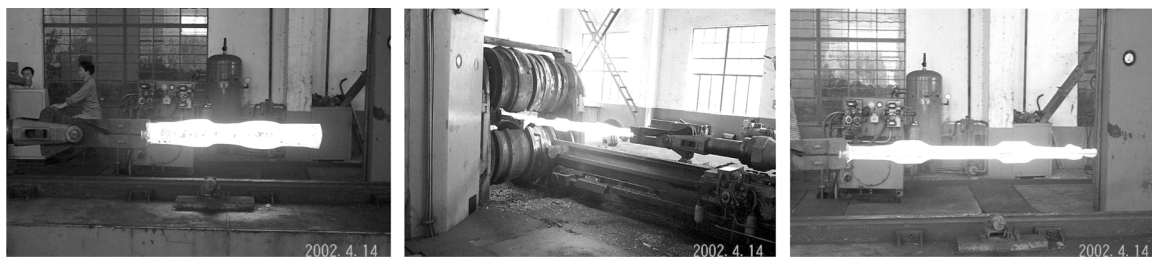


图8 1000 mm 自动辊锻机精密成形辊锻流程

Fig. 8 The precision roll forging of front axle of heavy truck



图9 25MN(2500 t) 螺旋压力机的锻造成形流程

Fig. 9 The processes of hot precision forging for front axle of heavy truck



图10 精密辊锻-精密热模锻各道工序的锻件

Fig. 10 Preforms of precision roll forging and forgings of hot precision forging



图11 采用温锻-冷精整成形的等速万向节外套

Fig. 11 Warm forging and cold sizing of the housing of constant velocity universal joint

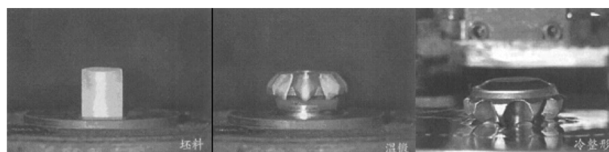


图13 锥齿轮的温锻-冷整形复合精密锻造工艺

Fig. 13 Combined forming technology of warm forging and cold sizing for straight bevel gear

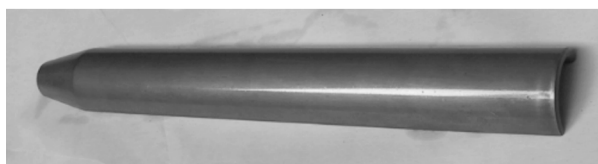


图12 温挤压-冷变薄拉深成形的超高强度钢壳体

Fig. 12 Warm extrusion and cold drawing of shell body of ultra-high-strength steel

图13所示。汽车联轴节每件质量为1~2.5 kg,经过4~5道温挤(正挤、镦粗、冲边、反挤、成形等),然后再冷成形2次,其公差可达0.04~0.08 mm。还有半闭式挤压预成形件生产带枝叉转向节锻件,

冷/温挤联合成形生产 $\phi 100 \sim \phi 400$ 轴承套圈,采用铸造毛坯再精锻生产有色金属铝合金轮毂锻件等^[22-34]。

3.6 等温锻造成形

等温锻造与其他常规锻造的主要不同点在于:把锻模的温度控制在和毛坯加热温度大致相同的范围内,使毛坯在温度不变的条件下完成锻造的全过程。等温精密成形减小或消除了模具激冷和材料应变硬化的影响,提高了材料的塑性,不仅使变形抗力减小,而且有利于简化成形过程,以较少的变形工步成形具有复杂形状的锻件。

采用等温锻造、近等温锻造成形技术可以为航空、航天、兵器、船舶、石油化工、工程机械、汽车行业提供所需的高温合金、钛合金、铝合金等难变形材料

的等温锻件。

等温锻造生产的飞机发动机、兵器弹药系统中的涡轮盘、压气机盘、安装边、轴、机匣、引信、发动机壳体等高温合金、钛合金、高强度铝合金锻件^[35-37]如图14所示。



图14 等温锻造成形的航空、兵器用高强度锻件

Fig. 14 High-strength forgings of isothermal forging for aviation and ordnance

3.7 其它精密锻造成形方法

锻造所用的坯料一般均为体积毛坯。现今大力发展的粉末锻造成形工艺能提高粉末冶金件的密度,大大提高了粉末冶金件的抗拉强度,从而大大扩大了它的应用范围。用粉末锻造成形加工的连杆早已问世,并在生产实践中得到应用^[38-39]。

另外,用板料的冲锻成形工艺过程也在发展之中^[40-41]。

4 结语

精密锻造成形技术近20年来发展迅猛,并在我国获得了广泛的工业应用。精密锻造成形工艺和锻造成形装备的数字化、自动化、精密化、专门化和绿色化是精密锻造成形技术以后发展的重要内容。在目前我国经济高速发展、国内需求旺盛和提倡可持续发展的今天,若能把握这一发展机遇,将会显著提高我国在精密锻造成形工艺和锻造成形装备的制造水平。

参考文献:

- [1] 胡亚民,华林,伍太宾,等. 锻造工艺过程及模具设计[M]. 北京:中国林业出版社,北京大学出版社,2006.
- [2] 谢谈,贾德伟,蒋鹏,等. 精密塑性成形技术在中国的应用与进展[J]. 机械工程学报,2001,37(7):100-104.
- [3] 伍太宾. 摩托车启动主动齿轮的精密成形[J]. 锻压装备与制造技术,2004,39(4):53-55.
- [4] 伍太宾,王屹. 发动机燃油喷射系统挺柱体的冷挤压成形加工技术研究[J]. 重型机械,2005,26(5):15-18.
- [5] 伍太宾. 摩托车超越离合器本体的精密锻造工艺研究[J]. 重型机械,2004,25(3):37-40.
- [6] 伍太宾,周强,任广升. 细长多台阶底火体的精密冷挤压成形技术研究[J]. 锻压技术,2004,29(3):11-13.
- [7] 胡亚民,伍太宾,赵军华. 摆动辗压工艺及模具设计[M]. 重庆:重庆大学出版社,2008.
- [8] 彭树杰,李道生. 渐开线螺旋花键冷滚轧工艺研究[J]. 金属成形工艺,1995,13(6):4-8.
- [9] 彭树杰. 齿形不对称轴类零件冷滚轧技术研究[J]. 模具技术,2008(1):45-48.
- [10] 葛小平,吴康. 冷挤压齿轮模具设计与制造[J]. 模具工业,1998(6):34-36.
- [11] 徐祥龙. 冷、温锻造在中国的发展[J]. 锻造工业,1999(3):5-7.
- [12] 孙长杰,王秉义,李社钊. BJ型等速万向节外套温锻工序要点[J]. 模具技术,2000(1):57-59.
- [13] 刘化民. 闭式模锻双动液压模架的研制[J]. 吉林大学学报(工学版),2003,(4):544-546.
- [14] 张弛. 闭式锻造的发展概况及其应用[J]. 锻压技术,2004,29(3):7-10.
- [15] 杨慎华,寇淑清,徐成林. 轿车差速器行星与半轴齿轮

- 冷闭塞锻造成形研究[J]. 锻压技术, 2004, 29(1): 12-15.
- [16] 何常青, 夏巨谌, 王新云. 轿车直齿圆锥齿轮冷精锻试验研究[J]. 锻压装备与制造技术, 2005, 40(2): 16-20.
- [17] 伍太宾, 唐全波, 王屹. 2A12 铝合金薄壁壳体的近净成形加工技术研究[C]. 第十届全国塑性工程学术年会论文集, 2007.
- [18] 伍太宾. 微波通讯用 6061 铝合金外壳体温冲锻成形技术研究[C]. 2008 年重型(大型)锻压设备与技术研讨会论文集, 2008.
- [19] 李升, 刘冬梅, 张家泉. 锻造用铝合金在摩托车工业中的应用[J]. 摩托车技术, 2001(3): 14-15.
- [20] 王孟君, 彭大暑, 易德辉. 铝合金模锻成形[J]. 铝加工, 1998, 21(3): 30-33.
- [21] 蒋鹏, 谢谈, 钱浩臣. 前轴精锻-模锻生产线的设备选型与平面布置[C]. 第一届全国精密锻造学术研讨会论文集, 2001.
- [22] 伍太宾. 超高强度钢薄壁深盲孔弹体的精密成形技术[J]. 兵工学报, 2005, 26(4): 515-518.
- [23] 伍太宾, 唐全波. 45 钢制薄法兰盘毂类零件的近净成形加工技术[J]. 工程机械, 2007, 38(3): 49-53.
- [24] 伍太宾. 轻型汽车燃油喷射系统分配凸轮盘的高效加工技术[J]. 汽车技术, 2004, (4): 31-33.
- [25] 伍太宾, 任广升. 汽车差速器锥齿轮的温锻制坯/冷摆辗成形加工技术研究[J]. 中国机械工程, 2005, 16(12): 1106-1109.
- [26] 伍太宾, 任广升. 单向器主体的实用制造技术[J]. 农业机械学报, 2005, 36(12): 159-161.
- [27] 肖红生, 尹平, 张峥嵘, 等. 外星轮、三销套温锻-冷精整成形技术[C]. 第一届全国精密锻造学术研讨会论文集, 2001.
- [28] 伍太宾, 唐全波, 王屹. 冷/温复合成形技术及其工业应用三例[J]. 热加工工艺(铸锻版), 2006, 35(17): 83-86.
- [29] 金明华, 陈庆敏, 寇淑清等. 复杂弯轴类锻件辊锻-摩擦压力机模锻复合锻造工艺[J]. 锻压技术, 1999, 24(4): 21-22.
- [30] 蒋鹏, 贺小毛. 铸造锻造技术在铝合金轮毂成形中的应用[J]. 汽车工艺与材料, 1999(5): 1-3.
- [31] 蒋鹏, 谢谈. 热锻冷锻复合工艺及其应用[J]. 汽车工艺与材料, 2000(3): 6-8.
- [32] 张水忠, 刘淑梅, 李霞. 花键离合齿轮锻挤复合成形[J]. 热加工工艺, 2003(5): 54-55.
- [33] 孙国斌, 韩英淳, 辛华. 采用复合成形工艺实现锻件近净成形[J]. 汽车工艺与材料, 2003(10): 12-15.
- [34] 张雪冬, 李志广, 赵臣俊. 联接环铸锻复合塑性成形工艺[J]. 机械管理开发, 2004(5): 9-10.
- [35] 许锋, 薛克敏. 国内外钛合金等温锻造进展[J]. 皖西学院学报, 2007, 23(5): 48-50.
- [36] 孟庆通, 庞克昌, 王晓英. 钛合金整体叶轮等温锻造技术[J]. 上海钢研, 2006(2): 16-18.
- [37] 于卫敏, 周建华, 庞克昌, 等. BT25 钛合金压气机盘等温精锻件的研制[J]. 上海钢研, 2006(1): 35-38.
- [38] 洪慎章. 发展中的汽车连杆粉末锻造技术[J]. 新材料产业, 2007(1): 42-44.
- [39] 曹顺华, 林信平, 李炯义. 粉末冶金温压工艺在汽车连杆制备中的应用[J]. 汽车工艺与材料, 2007(11): 1-5.
- [40] 张士宏, 王忠堂, 周丽新, 等. 镁合金板件温热成形技术的几个新进展[J]. 材料导报, 2006, 20(8): 114-118.
- [41] 李雷松, 陈军, 吴公明, 等. 汽车离合器衬套冲锻复合工艺研究及其数值模拟[J]. 锻压装备与制造技术, 2006, 41(1): 49-51.

信息与资讯

镍基超耐热合金在空气中的等温锻造 CN1488457

在具有锻模的锻压机中锻压由锻压的镍基超耐热合金如 ReneTM88DT 或 ME3 制成的超耐热合金, 所述锻模由锻模镍基超耐热合金制成。通过加热至锻造温度约为 17001850°F, 并在此锻造温度下和公称应变速率下锻造而实现锻造。该锻造温度和公称应变速率下, 所选的锻模镍基超耐热合金的抗蠕变强度不低于锻造镍基超耐热合金的流变应力。