

文章编号: 1004-0609(1999)03-0567-06

汽车螺旋伞齿轮封闭模锻造 成形的变形特性^①

张 猛 黄尚宇 赵玉民 王华君 张韶华
(武汉汽车工业大学材料科学与工程学院, 武汉 430070)

摘 要: 根据分析判定的汽车从动轴螺旋伞齿轮模锻成形齿型的金属流动趋势设计并制造了预制坯和封闭模具, 在万能拉伸试验机上做了铅试件塑性成形试验, 测绘出压力行程曲线, 用网格实验揭示出不同剖面上的金属流动和齿型充满规律, 论述了螺旋伞齿轮封闭模锻造成形的变形特性。

关键词: 螺旋伞齿轮; 模锻; 变形; 特性

中图分类号: U 463.218

文献标识码: A

汽车驱动桥主减速器上的主、从动螺旋伞齿轮历来都是切削加工生产的, 由于切断了金属纤维, 破坏了其连续性, 使其齿根弯曲强度、齿面接触疲劳强度与耐磨性都比较低, 失效早而寿命短, 成为汽车运行的主要易损件之一。若以塑性变形成形出齿, 不产生切削, 金属纤维沿齿型连续, 晶粒组织均匀细化, 齿轮各项强度指标提高^[1~2], 可以延长其使用寿命, 提高汽车的质量。目前, 已能用创成轧制和成形轧制^[1~3]、开式模锻^[4]和封闭模锻^[5~10]等方法塑性成形出直齿或斜齿圆柱齿轮、直齿伞齿轮和齿锥角 $> 60^\circ$ 的螺旋伞齿轮, 但齿锥角 $< 60^\circ$ 的螺旋伞齿轮的塑性成形尚处于初期研究阶段^[11~13]。本文将研究其后续的齿型近净形加工技术——汽车从动轴螺旋伞齿轮(齿锥角 $< 60^\circ$)精密塑性成形。

1 金属流动路线分析

汽车从动轴之螺旋伞齿轮(图1)齿锥角小

于 30° , 节点螺旋角 $\beta = 48^\circ$, 即齿啮合面为轴向侧旁曲面。塑性成形时, 金属由齿端沿轴向进入齿型腔的流动路线为曲线, 阻力大、流程长, 且模具与工件之间需要相对转动。因此, 压缩工件轴向两端处(图2(b)之A和B处)金属轴向流动而推动中心处金属沿外径方向流入齿型腔构成螺旋齿型体。金属充填凹模齿型腔的这种流动路线确定了成形齿型体的预制坯外型必须包容在齿根底锥面和以大端齿根圆为外轮廓的两个圆柱面所组成的几何形体内, 据此设计了预制坯外形(图2(a))。由于齿轮的轴柄部分不影响齿体成形, 为简化实验模具结构便于制造, 以降低实验经费, 将试验成形的螺旋伞齿轮试件设计成图2(b)所示之形状。

2 实验模具

根据上述金属流动路线与塑性成形方案, 设计并制造了实验模具如图3。工作前, 浮动凹模6在弹簧5作用下处在最高点, 将试件9的预制坯装入浮动凹模6后, 启动压力机滑块

① 塑性成形模拟及模具技术国家重点实验室开放课题(97-1)
张 猛(1940-), 男, 教授

收稿日期: 1998-08-01; 修回日期: 1998-12-05

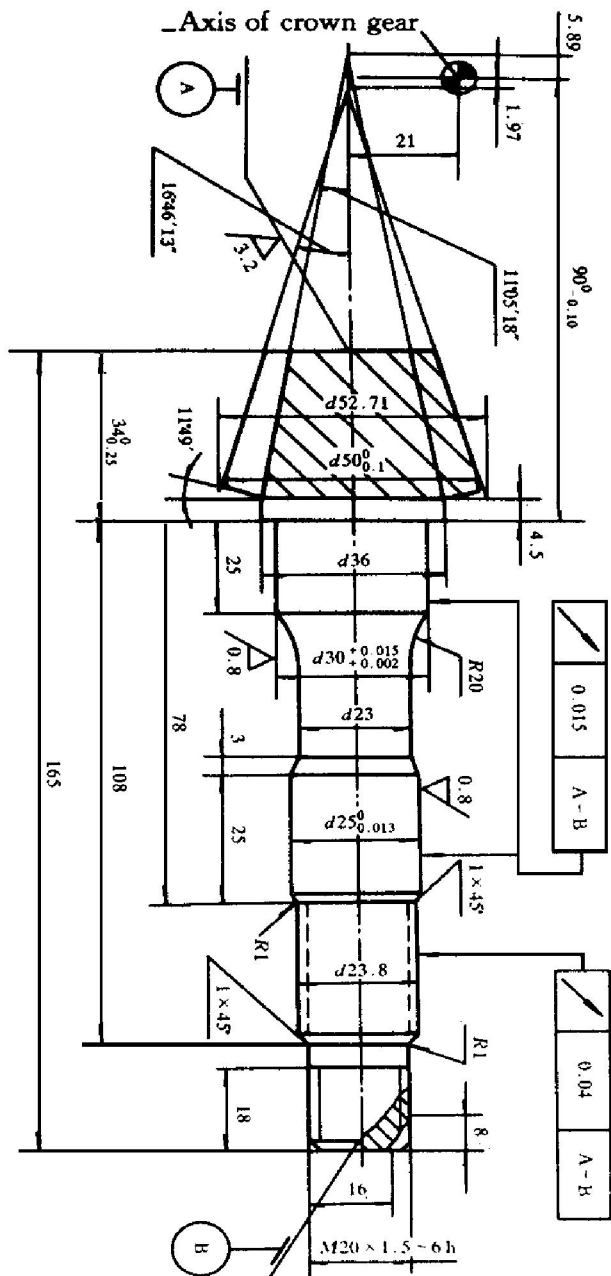


图1 汽车从动轴螺旋伞齿轮

Fig. 1 Bevel pinion of automotive output shaft

Tooth number: 7 Pressure angle: 22.5°;

Tooth depth: 7.995 mm; Node spiral angle: 48°

带动下垫板 11、导套 8 和上模 10 下行, 预制坯轴柄完全进入上模腔时上模 10 碰到浮动凹模 6 并推动它压缩弹簧 5。弹簧 5 被压缩的过程中冲头 4 挤压预制坯变形。直到浮动凹模 6 接触限位块 3, 预制坯变形结束, 压力机滑块回程, 工件留在浮动凹模中。在浮动凹模 6 的 C 处放上垫块(图中未画)后压力机滑块 2 次压下, 由顶杆(图中未画)将工件顶出浮动凹模 6, 压力机滑块回程, 取出垫块和工件, 完成一个工作循环。由此模具压制的齿轮试件如图 4 所

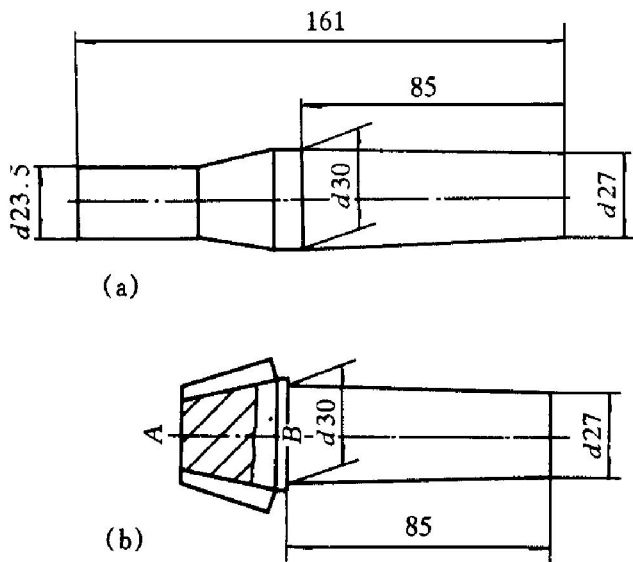


图2 汽车从动轴螺旋伞齿轮实验预制坯与试件

Fig. 2 Experimental preformed blank and workpiece of bevel pinion of automotive output shaft

(a) —Preformed blank; (b) —Workpiece

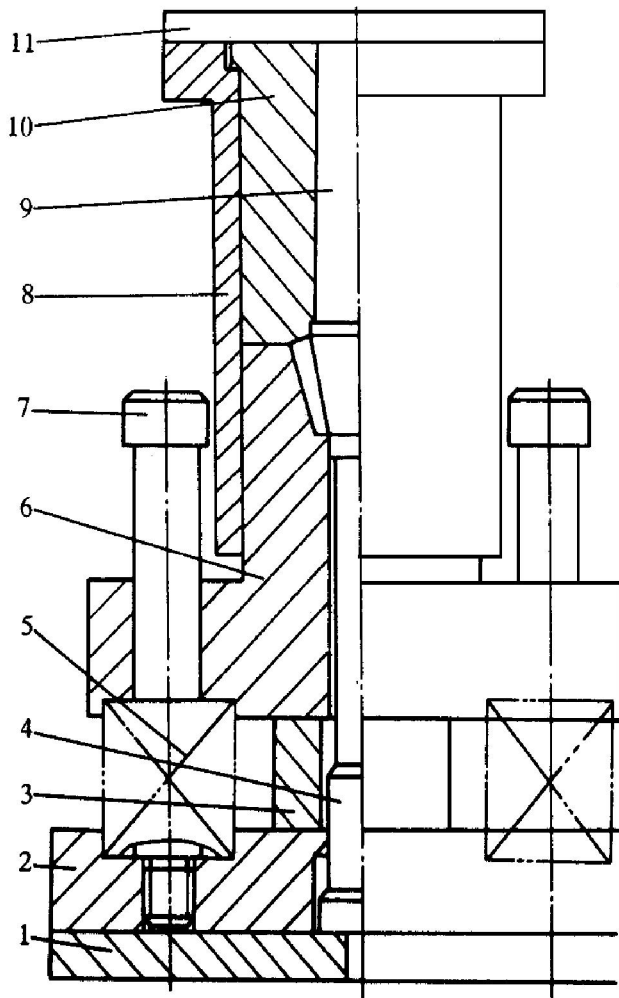


图3 实验模具

Fig. 3 Experimental tool

- 1—Lower bolster; 2—Die shoe; 3—Limited block; 4—Punch;
- 5—Spring; 6—Floating die; 7—Screw; 8—Guide bush;
- 9—Workpiece; 10—Upper die; 11—Upper bolster

示。

此模具的特点是模腔封闭后再压缩工件变形。卸件机构不完善,有待改进。

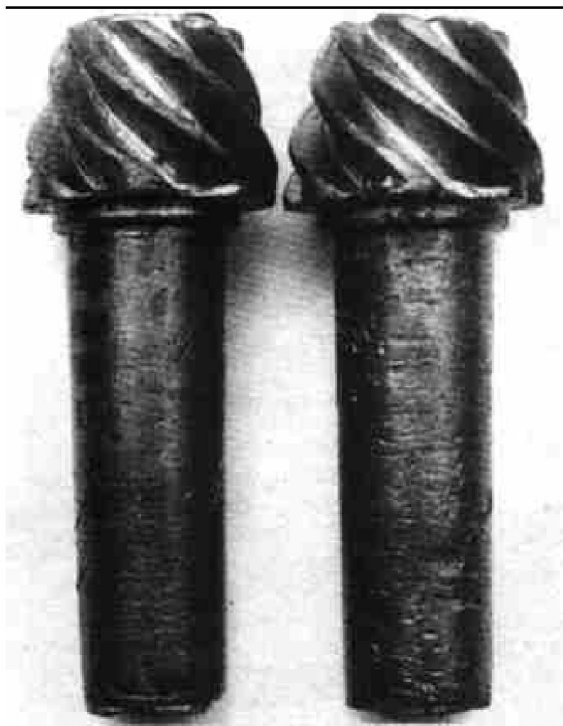


图4 螺旋伞齿轮铅试件照片

Fig. 4 Photograph of lead spiral pinion

3 网格试验与行程压力曲线

3.1 网格试验

为探索试件内部金属质点流动情况,进行了网格试验。按照所需测试的截面位置将预制坯剖开,在其剖分面上画出网格,再用低熔点合金粘合起来使预制坯恢复原状,用此预制坯经模具成形后再加热使低熔点合金熔化,则试件又从原剖面分开。剖分试件如图5,其对数应变为:

$$\text{径向应变: } \varepsilon_r = \ln \frac{\Delta r}{\Delta r_0} \quad (1)$$

$$\text{轴向应变: } \varepsilon_z = \ln \frac{\Delta z}{\Delta z_0} \quad (2)$$

用工具显微镜测量铅试件剖分面上网格变形后的尺寸,所得数据分别代入式(1)和(2),将计算结果绘成图6、图7所示曲线。

3.2 压力行程曲线

在万能拉伸试验机上用实验模具压制汽车从动轴螺旋伞齿轮铅试件的行程压力曲线如图8。由图可知,模压成形的 $p \sim S$ 曲线在纵坐标

$p \approx 6 \sim 7 t$ 处出现拐点,曲线斜率由 > 0 变为 < 0 ,接着又急剧上升。其原因是上模10通过工件9预制坯推动浮动凹模6下行的过程中,冲头4顶挤工件9预制坯使之镦粗变形,金属流动从齿轮小端开始充满齿腔,随着滑块的继续下行,金属流动充满齿腔的位置向齿轮大端移动,即塑性变形区的轴向投影面积逐渐增大,所需的塑性变形力增加,曲线斜率 > 0 。在冲头4上端面接近浮动凹模6下底部的过程中,流动金属与凹模齿小端以外的筒壁接触面积逐渐减小至消失,使总压力减小,曲线斜率接近零。浮动凹模6继续下行接触到限程块3,受其阻挡导致总压力急剧增加。

设定计算伞齿轮模压成形压力公式为:

$$p = Fk\sigma_s^* \quad (3)$$

式中, F 为工件在垂直于施压方向平面上的投影面积, mm^2 ; k 为与变形状态有关的系数,由实验确定; σ_s^* 为材料流动极限, 10 N/mm^2 。用同一批铅制成 $d 34.6 \text{ mm} \times 40 \text{ mm}$ 的圆柱体试件,进行镦粗实验,得图8(c)所示 $p \sim S$ 曲线,据此可推算出该铅件的单向压缩应变 $\varepsilon = \ln(h/h_0) = -0.3 \sim -0.1$ 时, $\sigma_s^* = 24 \sim 28 \text{ N/mm}^2$ 。

试验成形的螺旋伞齿轮轴向投影面积为:
 $F = \pi \times 50^2 / 4 = 1963.5 \text{ mm}^2$ 。

将 $\sigma_s^* = 24 \sim 28 \text{ N/mm}^2$ 、 $F = 1963.5 \text{ mm}^2$ 和 $p = 60\,000 \sim 70\,000 \text{ kPa}$ 代入(3)式得 $k = 1.175 \sim 1.371$,由此得封闭模压制螺旋伞齿轮成形压力计算公式为:

$$p = (1.175 \sim 1.371) F\sigma_s^*$$

4 讨论

实验结果表明,根据分析判定的金属流动路线所设置并采用的封闭模具压制汽车从动轴螺旋伞齿轮的塑性成形方案是成功的,可以锻造成形螺旋伞齿轮(图4,试件照片)。螺旋伞齿轮塑性成形的变形特性为:

(1) 压缩预制坯变形,金属流动充填齿形腔由齿轮小端开始,顺序发展到大端(图5网

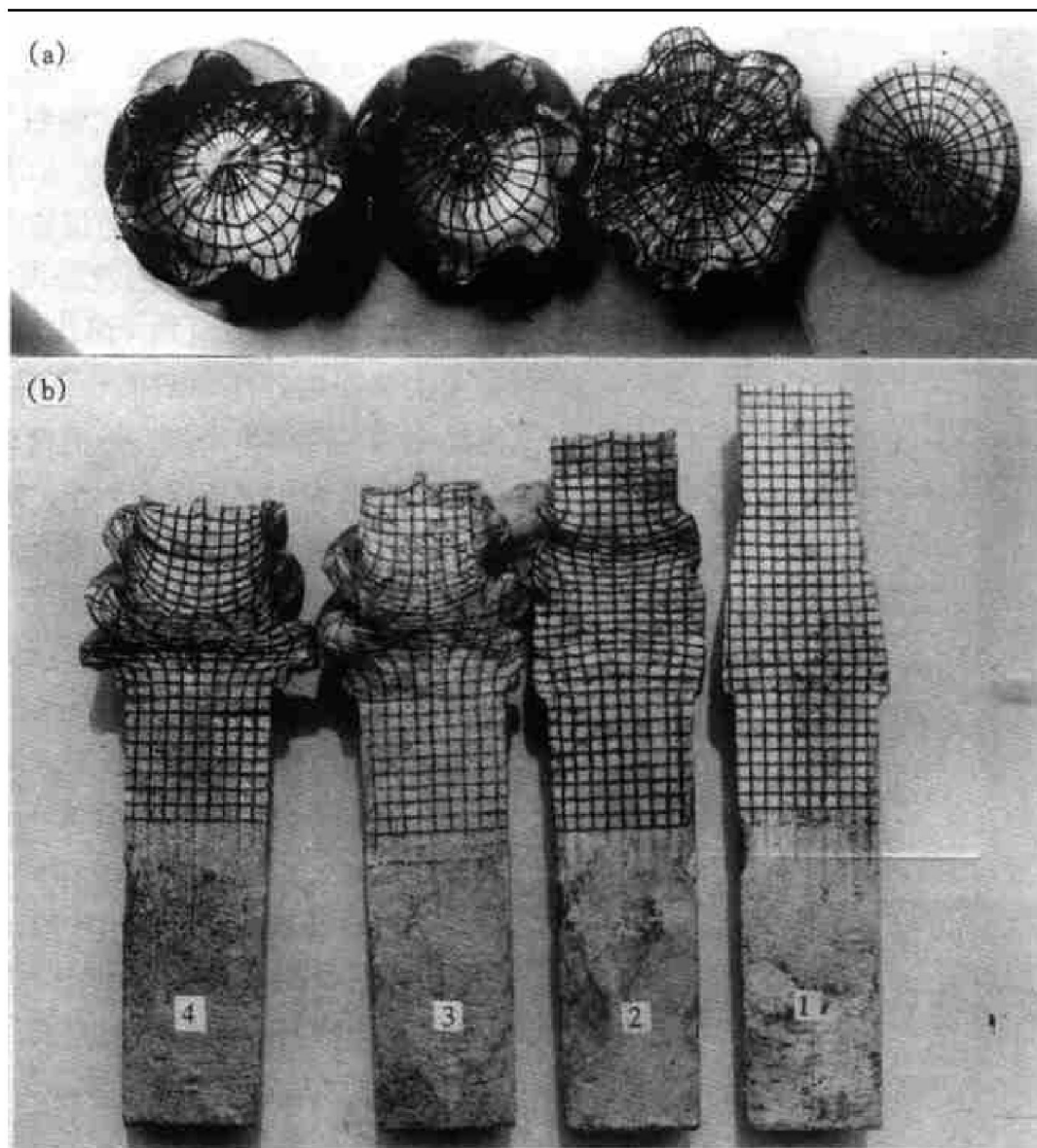


图5 铅试件剖面上网格

Fig. 5 Network on sections of lead workpiece

a) —Network on cross section, original dimension is 3 mm in radial direction with 540/ in circumference

b) —Network on axial section, original dimension is 3 mm in radial direction with 3mm in axial direction

1 —11 mm reduction; 2 —21 mm reduction; 3 —28 mm reduction; 4 —40 mm reduction

格变形试件照片);

(2) 网格试验表明, 试件成形过程中发生轴向压缩($\epsilon_z < 0$)、径向和切向延伸($\epsilon_r > 0$, $\epsilon_\theta > 0$), 变形。图 5(a) 横剖面网格形状, 由初始圆形随齿的分布变为梅花形, 自内而外越来越明显, 边沿上几乎与齿形轮廓一致; 图 5(b) 纵剖面网格形状由原来的正方形变为长条, 即纵向缩短横向拉长, 呈弯曲状, 在边沿处纵向线条走势趋于齿型轮廓, 即齿根处纵、横剖面上的网格线弯曲变密而仍保持连续, 没有被模具切断的痕迹。这说明塑性加工的齿轮, 金属纤

维未被切断而保持连续, 其分布与应变分布相对应。纤维走向与工件形状有关, 自内而外逐渐与工件外形趋向一致, 齿根处密度增高。齿轮内部的这种组织结构, 可改善质量, 提高各项强度指标, 延长其服役期;

(3) 图 7 所示为不同压缩量(或变形程度)条件下, 试件轴心处轴向应变的分布情况。由图可知, 金属塑性流动区域随冲头压下而由小端向大端移动, 因而齿型充填也是自小端开始依次向大端发展。这就要求模具型腔内工件大端横断面积始终保持大于塑性流动区域的横断

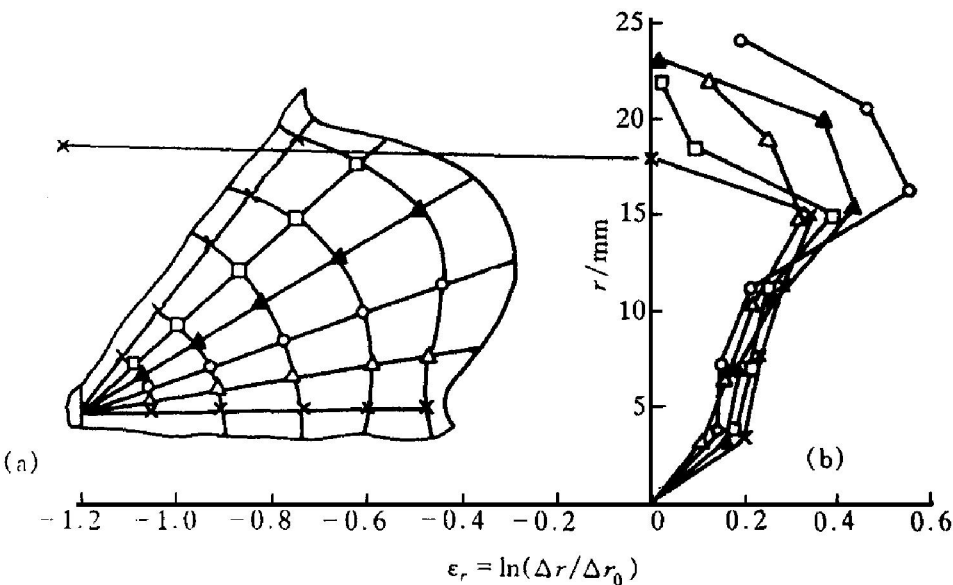


图 6 齿大端横截面径向应变分布

Fig. 6 Radial strain distribution on cross section at pinion's big end
 Δr_0 and Δr are radial length of network before or after deformation respectively

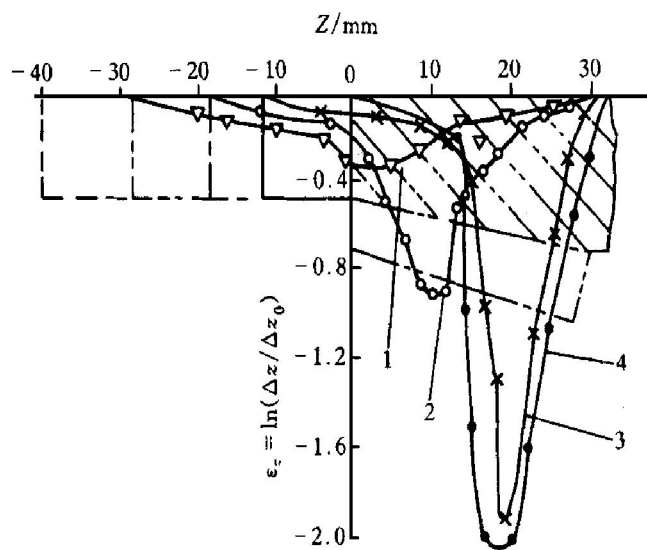


图 7 齿轮轴心处轴向应变分布

Fig. 7 Axial strain distribution at axis of pinion
▽—11 mm reduction; ○—21 mm reduction;
× —28 mm reduction; ●—40 mm reduction

面积, 为此将预制坯设计成图 2(a) 所示形状, 实验证明, 预制坯小端 $d23.5\text{ mm}$ 圆柱体积大于齿型体积的一半以上才能实现小端齿型充满, 否则, 在变形过程中凹模需转动, 并且易出现小端齿形缺肉。一旦出现小端齿形缺肉, 则预制坯上的多余金属都流到齿轮大端的飞边上, 无论增加多大的压力, 也不能再充满齿形。因此, 在开式模锻造生产直齿伞齿轮的过

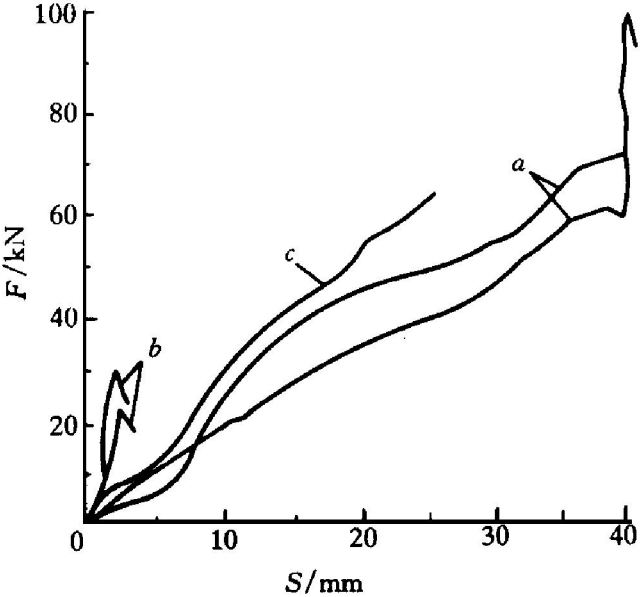


图 8 螺旋伞齿轮铅试件封闭模压成形的压力行程曲线

Fig. 8 Force-displacement curves of lead spiral pinion during no-flash die forging process
(a) —During no-flash die forging process;
(b) —Using knockout post;
(c) — $d34.6\text{ mm} \times 40\text{ mm}$ lead cylinder during free compression

程中, 总是要冲切掉初锻所产生的飞边, 再以冲头冲挤齿轮的轴心部分, 使之以金属的径向流动充填齿型而达到精整齿型的目的;

(4) 塑性流动区域位置由小端向大端移

动, 塑性变形区的截面积也由小变大, 因而塑性变形抗力由小变大(见图 8(a)), 即最大力对应最大的截面积。在伞齿轮塑性成形中, 只用小端齿根圆面积为截面积的冲头压挤成形时, 冲头单位面积上的平均压力大, 其使用寿命短, 易早期失效。所以, 在可能条件下, 尽量以大端齿根圆面积为冲头截面积, 压挤大端的金属进入齿轮中心迫使其径向流动而充填齿型。因此, 锻造汽车驱动桥主动螺旋伞齿轮钢制件时, 采取局部加热预制坯需要变形的头部, 使低温的轴柄部分在冲挤过程中充当冲头的作用, 实现压挤大端金属进入型腔而形成径向流动充填齿型腔, 这也许是改进模具结构、提高模具寿命的有效措施。

REFERENCES

- 1 Sen N. Gear, 1966, 9: 3671.
- 2 Sen N. Gear, 1966, 9: 3709.
- 3 Danno A. Journal of the JSTP, 1989, 30(345): 1374~ 1380.
- 4 Su Qifu(舒其复), Liu Shuwen(刘书文), Zhang Fengwu(张枫梧) *et al.* Metalforming Machinery(锻压机械), 1988, (2): 23~ 25.
- 5 Kurt Lange. Journal of Material Processing Technology, 1997, 71(1): 2~ 3.
- 6 Moriguchi I. Journal of Material Processing Technology, 1992, 35: 439~ 450.
- 7 Doege E, Thalemann J and Weber F. Journal of Material Processing Technology, 1992, 35: 469~ 481.
- 8 Doege E and Thalemann J. Annals of CIRP, 1989, 38(2): 606~ 616.
- 9 Takashi N. Press Technology, 1998, 36(2): 28~ 33.
- 10 Anihik B M, Simonv E B, Shmanai I A *et al.* Kuznechno Shtampovochnoe Proizvod, 1992, (3): 23~ 25.
- 11 Zhang Meng(张猛). Automotive Engineering(汽车工程), 1994, 16(2): 111~ 115.
- 12 Huang Shangyu(黄尚宇), Zhu Chundong(朱春东), Chang Zhihua(常志华) *et al.* The Chinese Journal of Nonferrous Metals(中国有色金属学报), 1998, 8(2): 214~ 217.
- 13 Zhang Meng(张猛). Machinist Metal Forming(机械工人), 1998, (5, 6, 7): 30~ 31, 29~ 30, 30~ 31.

Deformation characteristics of bevel pinion of automotive output shaft by no-flash die forging

Zhang Meng, Huang Shangyu, Zhao Yumin, Wang Huajun and Zhang Shaohua
School of Material Science & Engineering,
Wuhan Automotive Polytechnic University, Wuhan 430070, P. R. China

Abstract: According to the metal flow trend which is deduced from die forging process of bevel pinion of automotive output shaft, the preformed blanks and die have been designed and manufactured. Then, the force-displacement curves have been obtained by some plastic forming experiments of lead workpiece. The metal flow law and the tooth filling process at different sections have been described using network test. Finally, the deformation characteristics of spiral bevel gears during no-flash die forming have been discussed.

Key words: spiral pinion; die forging; deformation; characteristics

(编辑 朱忠国)