# 基于 Pro/E 二次开发的大棒材减定径孔型系统

贾尚武，秦建平，潘路
（太原科技大学 材料科学与工程学院，太原 030024）

**摘要：** 应用切线孔型设计出大棒材减定径孔型系统，并利用 Pro/E 进行二次开发设计出参数化设计系统。还通过 ANSYS 有限元对三辊减定径孔型中的金属流动规律和等效应力、应变场进行分析。为大棒材减定径工艺的研究提供了一种新的方法和手段。

**关键词：** 大棒材；减定径；Pro/E 二次开发；ANSYS 有限元
**中图分类号：** TP391.73　　**文献标识码：** A
**文章编号：** 1674-6457(2012)03-0019-03

## Secondary Development of Pro/E to the Roll Pass of Reducing and Sizing for Large Bars

*JIA Shang-wu*, *QIN Jian-ping*, *PAN Lu*
(School of Material Science & Engineering, Taiyuan University of Science & Technology, Taiyuan 030024, China)

**Abstract:** It is attempted to design the roll pass of reducing and sizing of large bars by using the tangent of the roll pass, and design the parametric system by using the secondary development of Pro/E. The metal flow pattern, equivalent stress and strain field analysis in the three-roll reducing and sizing groove were studied by the ANSYS finite element. A new method and means is provided for reducing and sizing of large bars.

**Key words:** large bars; reducing and sizing; secondary development of Pro/E; ANSYS finite element

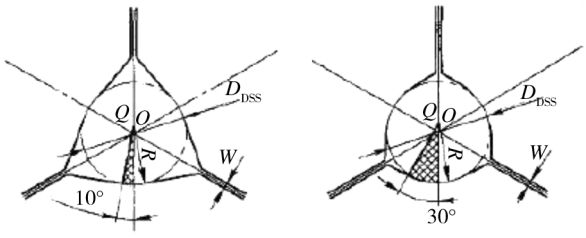
减定径机组可在线进行产品质量控制，尤其是在控制产品尺寸精度的过程中发挥着重要的作用。一方面，由于用户对小公差产品的要求越来越高，另一方面，减定径机组生产的成品可直接用作精度要求不高的成品。近年来，越来越多的生产厂家引进了减定径机组，如国外的新日铁和国内的宝钢、新澄特钢、石家庄钢厂等。文中采用切线孔型对大棒材减定径机组进行尝试性孔型设计，获得相关孔型参数后，通过 $VC^{++}$ 开发的参数控制界面，快速地得到孔型系统，并利用有限元仿真，研究孔型系统的可行性。

## 1　大棒材三辊减定径机组孔型设计

### 1.1　切线孔型

切线孔型轧槽主要由槽底圆弧段和槽口切线段构成。一般用于延伸的孔型取较小的扩张角 $\alpha_{PSI}$（即 10°～20°），其近似于弧形三角形，而用于规圆（也就是主要为提高产品圆度的）的孔型段选用较大的扩张角 $\alpha_{PSI}$（一般取 30°），使得孔型接近于圆[1]，如图 1 所示。

**收稿日期：** 2011-10-31
**作者简介：** 贾尚武（1987—），男，甘肃陇西人，硕士，主要研究方向为管、棒材生产工艺。




a 延伸孔　　b 精轧孔

图 1　切线孔型的结构

Fig. 1　The structure of the tangent pass

## 1.2　延伸系数的确定

减定径机组一般由 3～5 个机架构成，主要对预精轧机组轧出的圆形轧件进行减径和定径，机组的总变形量不大[2]。总延伸系数可通过来料和成品尺寸计算得到。各道次延伸系数可这样分配，首道次时组织相对疏松，压缩比不能过大，取较小的值。中间道次兼顾减径和成品前孔型的定径作用，取较大的延伸系数。最后一道次主要作用为定径，延伸系数不宜过大。

## 1.3　轧辊直径的确定

### 1.3.1　名义直径

通过最大咬入角确定名义直径时，根据得到的延伸率，确定出最大的咬入角。为满足咬入角，设计出各个截面的最大辊径，再根据式(1)计算名义辊径的大小。如图 2 所示。

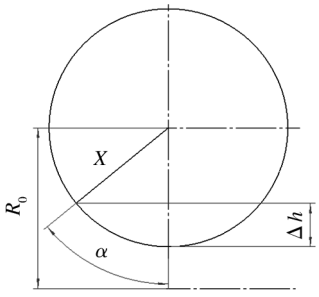



图 2　轧辊名义直径

Fig. 2　The nominal diameter of roll

$$R_0 - X\cos\theta \geqslant R_0 - X + \Delta h \tag{1}$$

即 $X \geqslant \dfrac{\Delta h}{1-\cos\theta}$

式中：$X$ 为轧辊半径；$\alpha$ 为最大咬入角；$R_0$ 为轧辊名义直径的一半；$\Delta h$ 为压下量。

以最大值取为轧辊的名义直径，所以 $\phi$350 mm 为轧辊的名义直径(这里提出经典的 KOCKS 机组采用的是 $\phi$360，$\phi$370 mm 等 2 种类型)。

### 1.3.2　工作直径

由用重心法确定轧辊的工作直径，如图 3 所示。

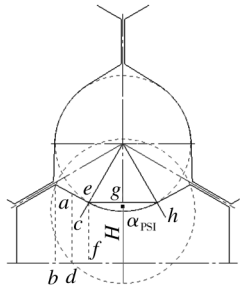



图 3　工作直径辊径计算

Fig. 3　The diagram of the work roll diameter calculation

图 3 中：$a$，$c$，$e$ 为切线弧切线上的 3 个点；$g$ 为圆弧上的点；$b$，$d$，$f$ 分别为 $a$，$c$，$e$ 在轧辊轴线上的投影；$H$ 为轧辊圆弧段重心到轧辊中心的长度。

由重心法得到轧辊工作直径公式：

$$D_w = \frac{2\times cd\times ae\times 2+\overset{\frown}{egh}\times 2\times H}{2\times ag+\overset{\frown}{egh}} \tag{2}$$

式中：$D_w$ 为轧辊的工作直径；$\overset{\frown}{egh}$为轧槽圆弧段弧长。

## 1.4　减定径机组轧辊转速的确定

由于连轧工艺要求各连轧机架的金属流量相等，有公式：

$$\mu_i = \frac{F_i}{F_{i+1}} = \frac{D_{w(i+1)}n_{i+1}}{D_{w\,i}n_i} \tag{3}$$

式中：$\mu_i$ 为连轧机第 $i$ 道次孔型的延伸系数；$F_i$，$F_{i+1}$分别为第 $i$ 道次和第 $i+1$ 道次后轧件的面积；$n_i$，$n_{i+1}$分别为第 $i$ 道次和第 $i+1$ 道次的轧辊转速；$D_{w\,i}$，$D_{w(i+1)}$分别为第 $i$ 道次和第 $i+1$ 道次的轧辊的工作直径。

忽略前滑的影响，假设初速度为 $v_0$，从而得到各个轧辊转速的公式：

$$v_{i+1} = v_i \cdot \mu_{i+1} \tag{4}$$

式中：$v_i$，$v_{i+1}$分别为第 $i$ 道次和第 $i+1$ 道次孔型轧制后轧件的出口速度。

最后利用式(5)计算出各道次轧辊转速。

$$n_i = \frac{60 \times 1\ 000 v_i}{D_{wi}\pi} \tag{5}$$

## 2　大棒材减定径孔型系统的参数化设计

利用 VC++ 对 Pro/E 进行二次开发，实现大棒材减定径孔型系统的参数化设计，实现了快速建模[3]。利用 VC++ 设计的界面如图 4 所示。

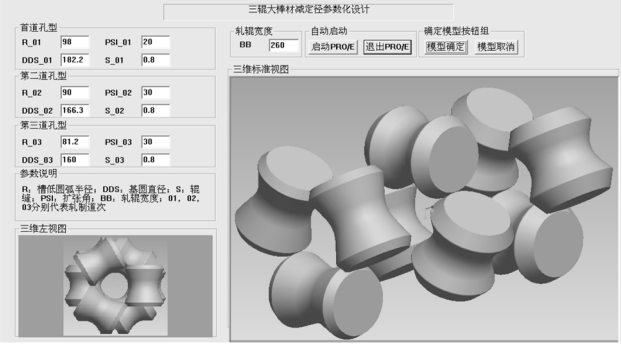



图 4　大棒材减定径系统的参数化

Fig. 4　Parameters of reducing & sizing of the large bars

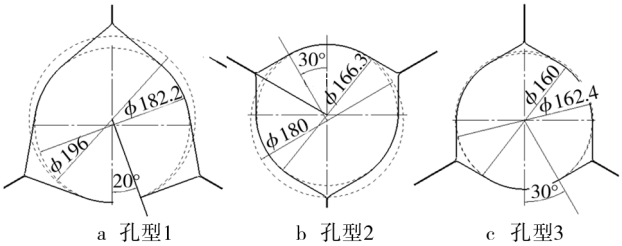
典型的减定径切线孔型如图 5 所示。通过对各道次孔型槽底圆弧半径 $R$、基圆直径 $D_{DSS}$、辊缝 $S$、扩张角 $\alpha_{PSI}$、轧辊宽度等 13 个参数控制 3 机架减定径孔型快速实现。

## 3　减定径过程的有限元仿真模拟

根据以上设计 ϕ160 mm 圆钢的减定径孔型系统，应用 ANSYS/LS-DYNA 大变形弹塑性显示分析动力学模块，进行有限元模拟，观察轧件在孔型中的流动规律和等效应力、应变场[4]。

### 3.1　减定径孔型

采用切线法设计的三辊减定径孔型如图 5 所示，孔型系统的参数见表 1。




a 孔型1　　b 孔型2　　c 孔型3

图 5　孔型

Fig. 5　Groove

表 1　孔型系统的参数

Table 1　Parameters of pass system

| | 基圆直径 $D_{DSS}$/mm | 外切圆直径 $D$/mm | 扩张角 $\alpha_{PSI}$/(°) |
|---|---|---|---|
| 孔型 1 | 182.2 | 196 | 20 |
| 孔型 2 | 166.3 | 180 | 30 |
| 孔型 3 | 160 | 162.4 | 30 |

### 3.2　有限元模型建立

根据上述孔型及轧辊直径建立有限元模型，轧辊按刚性辊建模，不考虑弹性变形。坯料采用 SOLID164 单元进行网格划分。机架间的轧辊间距为 400 mm，考虑到轧件在连轧机组中至少要比轧辊间距长才能够稳定轧制，故坯料长度取为 500 mm，轧辊定义为 shell163 壳单元。在建立的轧件有限元模型中共采用了 9 894 个节点和 8 750 个单元。有限元模型如图 6 所示。

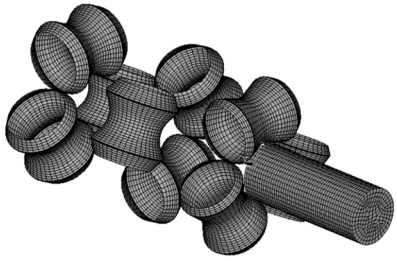
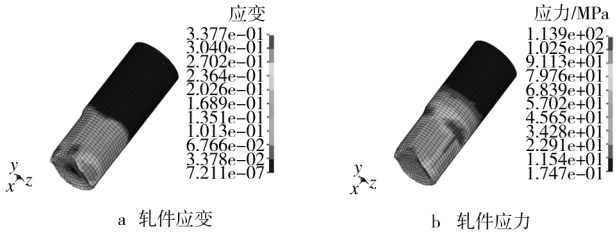


图 6　有限元模型

Fig. 6　Finite element model

### 3.3　模拟结果与分析

1）咬入阶段。在轧制开始阶段，轧件与轧辊接触，通过摩擦力将轧件咬入轧辊。在咬入过程中，轧件因受到切线部分轧辊的挤压，金属向轧辊辊缝流动。首道次机架咬入阶段的轧件应力、应变如图 7 所示。




a 轧件应变　　b 轧件应力

图 7　机架咬入阶段的轧件应力、应变

Fig. 7　The diagram of the stress and strain of the first biting pass

（下转第 38 页）

图 11 产品

Fig. 11 Product

基本一样。有限元模拟与实测的结果基本一致。通过试验可以指导大型 U 形槽板的生产，提供回弹量的预测值。

**表 3 模拟的回弹角与试验回弹角对比**

**Table 3 Contrast of springback angle between FEM and experiment**

| 折弯位置 | 模拟的回弹角 | 实测的回弹角 |
|---|---|---|
| 1 | 6.28° | 6.33° |
| 2 | 4.24° | 4.43° |
| 3 | 4.24° | 4.43° |
| 4 | 6.31° | 6.37° |

## 5 结语

多工步折弯成形便于预测和控制回弹量，对压机的压力要求相对较低，同时模具的通用性好，经济效益高。笔者确定了折弯顺序，并通过对板料多工步折弯回弹的有限元模拟，对折弯角度的回弹量进行预测。通过相应的物理试验测量了每个角度的回弹量。有限元模拟与物理试验的结果基本一致，为企业的实际生产提供了参考。

**参考文献：**

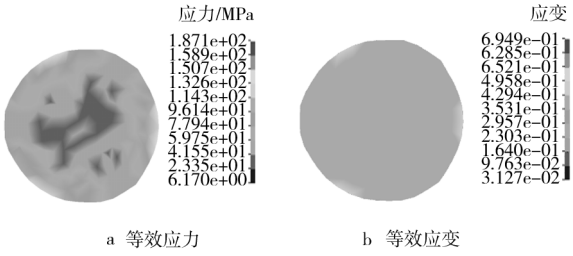

[1] 夏琴香. 冲压成形工艺及模具设计[M]. 广州：华南理工大学出版社，2004.

[2] 万敏. 板料成形计算机分析技术[M]. 北京：北京航空航天大学出版社，2008.

[3] 邓兆虎. 板料多次弯曲成形回弹的数值模拟研究[J]. 模具工业，2009，35(9)：36－40.


（上接第 21 页）

2）轧制阶段。在轧制过程中，上一道次往辊缝处挤压凸起的轧件，在下一道次中首先接触轧辊，轧制时轧辊圆弧段对轧件进行规圆。末道次轧件横截面上的等效应力和等效应变分布如图 8 所示。




a 等效应力 b 等效应变

图 8 孔型轧后轧件断面的等效应力和等效应变

Fig. 8 The stress and strain diagram in the cross-section of workpiece after the last rolling pass

## 4 结语

1）通过切线孔型设计得到的三辊大棒材减定径孔型系统，经过理论计算和有限元分析，得到了理想的成品，为大棒材减定径生产及工艺研究提供了新的思路。

2）采用 VC$^{++}$ 对 Pro/E 二次开发，设计出减定径孔型参数化设计系统，实现减定径孔型系统的快速设计。

3）通过有限元模拟，发现新孔型系统咬入情况比较稳定，轧制结果规圆效果良好，应力分布均匀。

**参考文献：**


[1] 李民，张安平. 三辊棒材减定径机组孔型设计及力能参数计算[J]. 轧钢，2007(5)：27－31.

[2] 徐春，王全胜，张弛. 型钢孔型设计[M]. 北京：化学工业出版社，2008.

[3] 艾妮，艾自勤. 用 VC$^{++}$ 开发 Pro/E 三维标准件库[J]. 机械与电子，2005(1)：70－73.

[4] 张小勇，陈果，周家林. 热连轧圆钢成品孔型的有限元分析[J]. 武汉科技大学学报，2010(4)：37－41.