

## Analisa Cacat Dimensi pada Miniatur Produk hasil Proses *Cold Upset Forging*

Norman Iskandar<sup>1</sup>, Rusnaldy<sup>1</sup> dan Ismoyo Haryanto<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Diponegoro,  
Jl Prof Sudharto, Tembalang, Semarang 50275, Indonesia  
Email: norman.undip@gmail.com

### Abstrak

Dalam teknologi fabrikasi modern, kecenderungan miniaturisasi semakin meningkat. Hal ini karena miniaturisasi memiliki potensi besar yang seperti dalam aspek ekonomi proses ini bisa menghemat total biaya produksi meliputi biaya bahan baku, biaya produksi, biaya peralatan, biaya lahan, dan meminimalkan material sisa. Selain itu mobilitas manusia yang tinggi juga memerlukan alat bantu portable yang memiliki dimensi kecil namun handal dalam kinerjanya. Adanya permasalahan yang memerlukan alat bantu mikro seperti dalam dunia medis turut mendorong trend miniaturisasi makin meningkat. Lab Metrologi Industri Jurusan Teknik Mesin Undip saat ini ikut mencoba melakukan proses miniaturisasi melalui proses forging. Hasil yang diperoleh cukup baik namun masih ditemui adanya cacat yang timbul pada produk. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mencari penyebab utama terjadinya cacat produk. Metodologi yang dilakukan adalah melakukan analisa proses forging yang berhubungan dengan pencapaian dimensi produk. Melakukan simulasi proses forging yang hasilnya akan dibandingkan dengan hasil analisa. Dari hasil penelitian dapat disimpulkan penyebab cacat dimensi pada miniatur produk dari proses *cold upset forging* adalah adanya perubahan dimensi dan penampang pada cetakan. Perubahan dimensi juga mengakibatkan kurangnya volume material benda kerja untuk bisa mencukupi volume yang diperlukan oleh cetakan. Serta berpengaruh terhadap besarnya gaya *upsetting* yang bekerja pada material benda kerja.

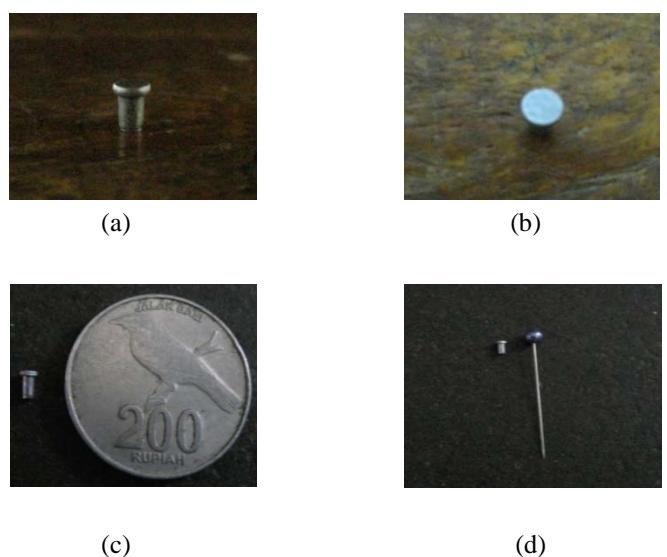
**Keywords:** *cold upset forging*, cacat dimensi, FEM, miniaturisasi

### Pendahuluan

Dalam teknologi fabrikasi modern, kecenderungan miniaturisasi semakin meningkat. Hal ini ditunjukkan dengan produk-produk, alat dan instrumen yang diproduksi saat ini mengarah ke dimensi yang semakin mengecil. Secara teknis dengan adanya miniaturisasi akan memberikan dampak pada peralatan produksi yang dibutuhkan yang juga semakin mengecil. Hal ini akan memberikan keuntungan dengan berkurangnya konsumsi energi yang digunakan, mengurangi lahan yang dibutuhkan baik untuk produksi maupun penyimpanan, mengurangi kebutuhan akan material bahan baku, mengurangi polusi, yang pada akhirnya berarti mengurangi biaya produksi secara total (Geiger dkk, 2001).

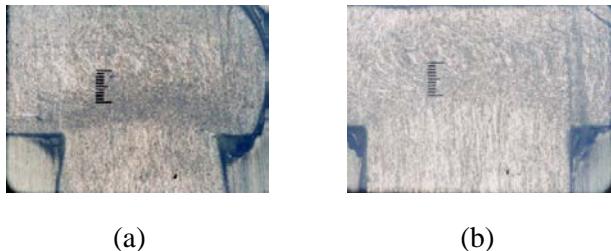
Untuk mengantisipasi kecenderungan miniaturisasi pada fabrikasi modern, Lab Metrologi Industri Jurusan Teknik Mesin Undip telah mengawali melakukan penelitian proses pembuatan miniatur komponen. Usaha ini sebagai langkah awal menuju pembuatan komponen mikro. Pada tahap pertama penelitian, telah berhasil mendesain dan membuat mesin *drop hammer forging*, mendesain dan menghasilkan cetakan tipe *closed die upset forging* serta melakukan eksperimen pembuatan miniatur komponen berbahan kawat

Aluminium murni memakai proses *cold* dan *hot upset forging*.



**Gambar 1.** Produk *Cold Upset Forging* tampak samping (a) tampak atas (b) produk miniatur dibandingkan dengan uang Rp 200,- (c) produk miniatur dibandingkan jarum pentul(d) (Rusnaldy dkk., 2010).

Dari hasil eksperimen telah dihasilkan produk yang cukup baik (gambar 1). Namun jika dianalisa lebih detail lagi maka akan terlihat ternyata dimensi produk belum sesuai dengan dimensi yang diinginkan. Hal ini dapat dilihat pada gambar 2a dan 2b. Kualitas dimensi produk belum memenuhi kriteria awal karena diameter *head* terlalu kecil yang mana mengindikasikan juga cetakan atas tidak terisi penuh.



**Gambar 2.** Profil produk yang dihasilkan dari proses *cold upset forging* (a) dari proses *hot upset forging* (b). (Rusnaldy dkk., 2010).

Dimensi terukur dari *head* hasil eksperimen dapat dilihat pada tabel 1.

**Tabel 1.** Hasil eksperimen pembuatan miniatur komponen proses upset forging (Rusnaldy dkk., 2010).

Parameter dimensi	Proses Upset forging		Target
	Cold Working	Hot Working	
Diameter head (mm)	2,35 – 2,51	2,28 – 2,50	2,86
Tebal head (mm)	0,69 – 0,71	0,72 – 0,84	0,6
Kekasaran permukaan ( $\mu\text{m}$ )	0,82 – 1,19	1,02 – 1,29	0,2

Sebagaimana dikemukakan oleh Lange, dkk (1985) bahwa pencapaian dimensi geometri yang akurat harus diutamakan, maka pada penelitian ini penulis memfokuskan kajiannya pada penyebab cacat dimensi produk (diameter dan tebal *head*) hasil proses *cold upset forging* yang dilakukan di Lab Metrologi Industri Teknik Mesin Undip.

Faktor yang perlu dikaji terkait permasalahan ini adalah kesesuaian volume benda kerja dengan volume ruang cetakan. Jika volume tersebut telah terpenuhi, pertanyaan selanjutnya apakah rasio diameter dan tinggi silinder benda kerja awal sudah tepat. Hal ini karena proses *upset forging* memerlukan parameter diameter awal minimal yang harus dipenuhi untuk mencapai dimensi akhir produk yang diinginkan. Kedua adalah apakah cetakan mengalami keausan/cacat sehingga merubah penampang cetakan dan ini bisa berarti perubahan volume cetakan serta profil penampang yang akan berpengaruh terhadap laju deformasi material.

Yang ketiga adalah faktor energi pembentukan apakah cukup untuk mendeformasi material secara optimal, atau bahkan cenderung berlebih sehingga berakibat memperpendek umur cetakan karena energi berlebih tersebut ditransfer ke cetakan sehingga cetakan akan mengalami kegagalan/cacat.

### Metodologi Penelitian

Untuk mengkaji hal ini, penulis menggunakan pendekatan metode elemen hingga dengan software *deform 2D v8.1*. Penggunaan pendekatan elemen hingga sebagai pendekatan dalam metal *forming* telah dikonstruksikan tahapannya oleh Kobayashi dkk (1989) dan Bathe (1996) serta telah diaplikasikan oleh Dixiet dkk (2002). Pengujian dimensi dengan menggunakan alat-alat ukur yang diperlukan seperti micrometer dan CMM serta mikroskop digital

Parameter input yang digunakan untuk proses simulasi dengan software *deform* tercantum pada tabel 2 sampai tabel 4.

**Tabel 2.** Parameter input sebagai variabel proses dalam simulasi Deform

Parameter proses	Keterangan
Temperatur lingkungan [ $^{\circ}\text{C}$ ]	20
Beban [N]	75,85,95,105,115,125
Blow Efficiency	(0,2) ~ (0,5)
Sistem Mesin forging	<i>Free/gravity Drop-Hammer</i>
Ketinggian jatuh beban [mm]	25, 50, 75
Pelumasan	Tidak ada
Koefisien gesek	0,12 ( <i>dry – steel die</i> )
Step Simulasi meshing	100 <i>Automatic by deform</i>
Benda kerja	<i>Plastic</i>
Cetakan	<i>Rigid</i>
Operasi	<i>One operation (single-stroke process)</i>

**Tabel 3.** Parameter input untuk benda kerja

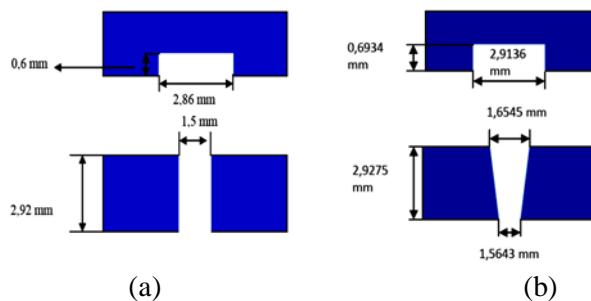
Parameter Benda Kerja	Keterangan
Material	Al-1100
Young's modulus [GPa]	69
Poisson's ratio	0,334
Thermal expansion [ $1/\text{ }^{\circ}\text{C}$ ]	$23,6 \cdot 10^{-6}$
Thermal conductivity [W/m.K]	180
Heat Capacity [ $\text{N/mm}^2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ]	2,433
Emissivity	0,05
Diameter [mm]	1,5
Tinggi [mm]	5,06

**Tabel 4.** Parameter input untuk cetakan

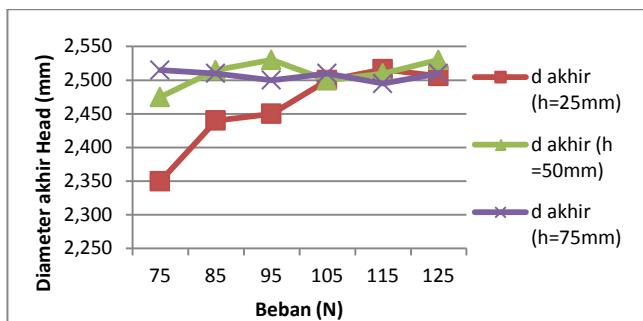
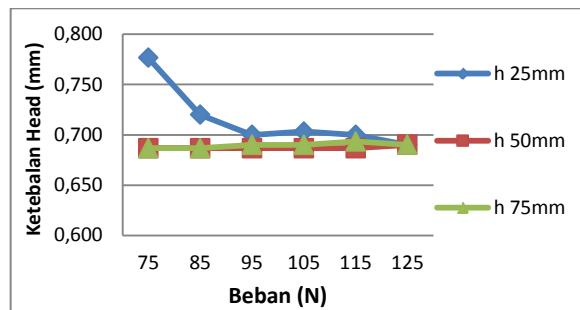
Parameter Cetakan	Keterangan ]
Material	JIS: SKD11, AISI: D2; DIN: 1.2379
Young's modulus [Gpa]	210
Poisson's ratio	0,30
Thermal expansion [1/°C]	$10,4 \cdot 10^{-6}$
Thermal conductivity[W/m.K]	20
Heat Capacity [N/mm² °C]	3,542
Emissivity	0,7
Diameter [mm]	2,86 (top die) 1,5 (bottom die)
Tinggi/kedalaman lubang [mm]	0,6 (top die) 2,92 (bottom die)
Temperatur [°C]	20

## Hasil dan Pembahasan

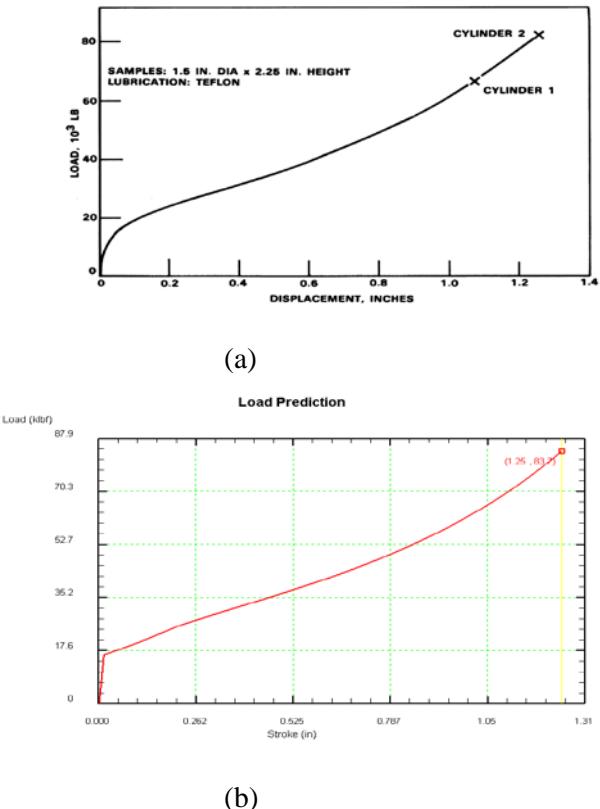
Dari hasil pengukuran didapatkan data cetakan dan produk hasil proses *cold upset forging* seperti berikut:

**Gambar 3.** Desain cetakan ideal (a) cetakan real (b)

Dari hasil eksperimen dengan divariasikannya beban dan tinggi jatuh *hammer* didapatkan variasi dari dimensi diameter *head* dan tebal *head* yang dihasilkan seperti terlihat pada gambar 4 dan gambar 5.

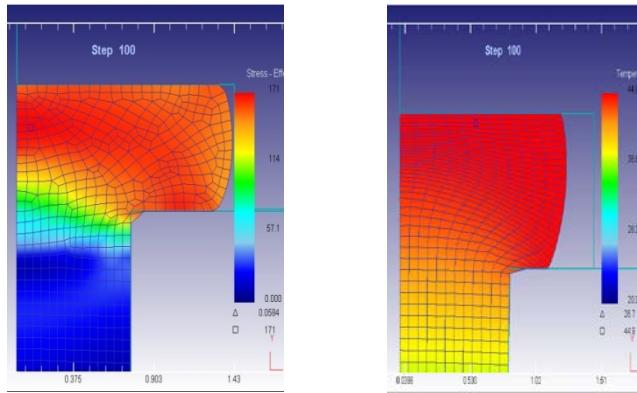
**Gambar 4.** Grafik diameter *head* produk hasil *cold upset forging***Gambar 5.** Grafik ketebalan *head* produk hasil *cold upset forging*

Validasi penggunaan software deform untuk proses simulasi penelitian dengan menggunakan data hasil eksperimen Lee, dkk (1972) tentang *cylinder Upset* AL 1100 dimana hasilnya adalah :

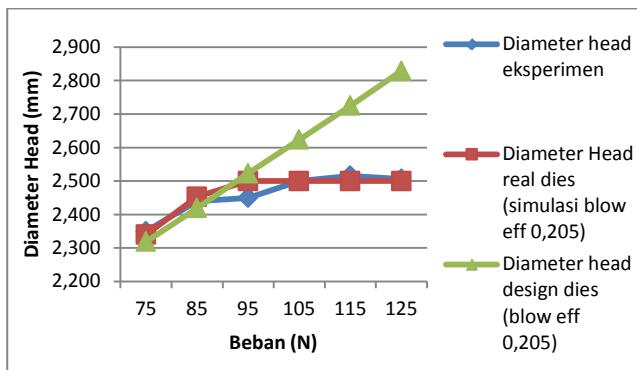
**Gambar 5.** Hasil validasi, eksperimen Lee, 1972 (a), Hasil simulasi FEM (b).

Dari hasil validasi didapatkan nilai *blow effisiensi* adalah 20,5%. Selanjutnya parameter proses dari hasil validasi digunakan dalam proses simulasi pada kondisi cetakan yang masih ideal, dimana hasilnya target dimensi produk ternyata sudah bisa dicapai pada set up beban 125 N dan  $h = 25$  mm. Hal ini secara trend sesuai dengan kondisi eksperimen dimana diameter produk sebesar 2,51 mm dan tebal head 0,69 mm mulai dicapai pada titik ini. Ini mengindikasikan bahwa gaya pembentukan yang diperlukan bisa

dipenuhi oleh variasi beban dan ketinggian jatuh *hammer* dalam desain proses yang diberikan.

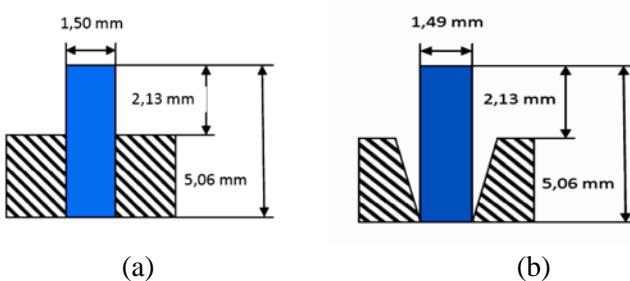


**Gambar 6.** Deformasi pada  $h = 25$  mm beban 125N cetakan desain (a) cetakan real (b)



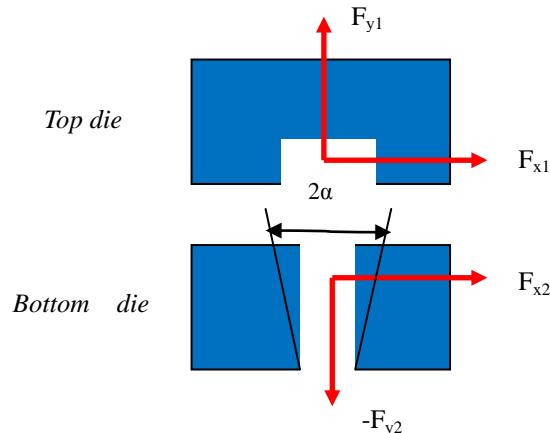
**Gambar 7.** Grafik diameter *head* pada  $h = 25$  mm

Dari hasil simulasi terlihat bahwa jika dalam kondisi cetakan ideal maka diameter benda kerja yang ada mampu memenuhi kriteria toleransi untuk dimensi minimal dari diameter *head*. Sedangkan pada kondisi cetakan yang ada sekarang, sebagaimana hasil eksperimen dan simulasi, ternyata dimensi minimal diameter tidak terpenuhi. Volume benda kerja tidak mampu memenuhi kebutuhan volume minimal cetakan karena selisih volume cetakan desain dan cetakan yang ada sekarang sebesar  $1,3 \text{ mm}^3$  atau 14,4%.



**Gambar 7.** Ilustrasi posisi benda kerja di dalam cetakan sesuai desain (a) di dalam cetakan real (b).

Pengaruh perubahan dimensi cetakan juga berakibat perubahan pola distribusi gaya yang terjadi selama proses deformasi.



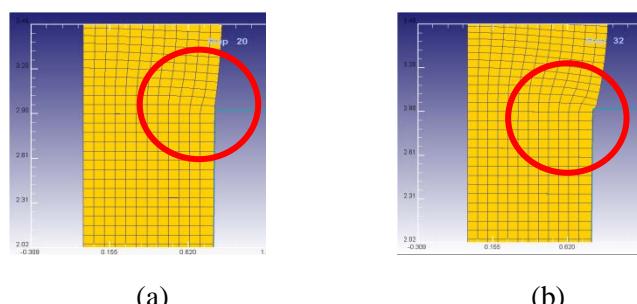
**Gambar 8.** Ilustrasi distribusi *Load Upsetting* pada cetakan

Untuk gaya *upsetting*, dari hasil simulasi terlihat bahwa dengan semakin besarnya nilai sudut  $\alpha$  maka berakibat gaya pembentukan akan lebih dominan meningkat di cetakan bawah (*bottom die*) bukan pada cetakan atas.

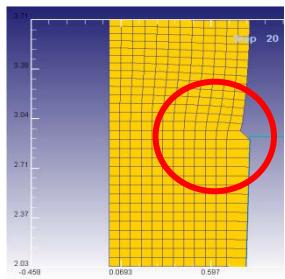
**Tabel 5.** Karakteristik distribusi gaya *upsetting* pada cetakan .

Parameter	Besar Gaya Upsetting			
	$F_{y1}$	$F_{x1}$	$F_{y2}$	$F_{x2}$
Energi sama besar, $\alpha$ makin besar	Turun	Turun	Turun	Naik
Energi makin besar, $\alpha$ sama besar	Naik	Naik	Naik	Naik

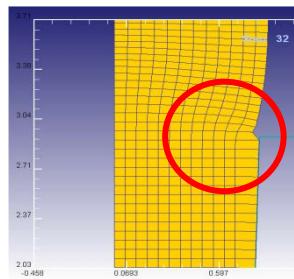
Ini berarti dengan adanya perubahan penampang cetakan maka akan berakibat gaya pembentukan untuk *head* menjadi berkurang. Dengan kata lain akibat perubahan penampang cetakan berakibat, volume benda kerja tidak bisa memenuhi kebutuhan cetakan, gaya pembentukan *head* juga berkurang.



**Gambar 9.** *Upset forging* pada diameter lubang atas *bottom die* 1,55 mm (3,3% lebih dari diameter ideal) step 20 (a), step 32 (b).



(a)



(b)

**Gambar 10.** *Upset forging* pada diameter lubang atas *bottom die* 1,65 mm (10% lebih dari diameter ideal) *step 20* (a), *step 32* (b).

Dengan adanya perubahan distribusi gaya pembentukan, berakibat adanya cacat yang terjadi selama proses deformasi. Cacat lipatan terjadi karena distribusi gaya yang besar di area bawah yang kurang bisa diimbangi pada area atas, sehingga muncul cacat tersebut. Akibat yang terjadi adalah laju proses deformasi untuk pembentukan *head* produk terganggu dengan adanya fenomena tersebut.

## Kesimpulan

Kesimpulan Dari hasil penelitian dapat disimpulkan penyebab cacat dimensi pada miniatur produk dari proses *cold upset forging* adalah adanya perubahan dimensi dan penampang pada cetakan yang telah melebihi batas toleransi yang disyaratkan. Perubahan dimensi dan penampang cetakan menimbulkan efek lanjutan yang juga berpengaruh pada pencapaian dimensi *head*, diantaranya:

1. Kurangnya volume material benda kerja untuk bisa mencukupi volume cetakan.
2. Gaya *upsetting* yang bekerja pada material untuk pembentukan *head* (pada area *top die*) menjadi berkurang.
3. Laju proses deformasi terhambat karena timbulnya cacat lipatan selama proses.

## Ucapan Terima kasih

Terimakasih kepada semua pihak yang telah berkontribusi dalam penelitian ini.

## Referensi

Geiger, M., Kleiner, M., Eckstein, R., Tiesler, N., Engel, U., *Microforming*, Proceeding of 51<sup>st</sup> General Assembly of CIRP, Nancy, 445-462, (2001)

Qin, Y., *Micro-forming and miniature manufacturing systems-development needs and perspectives*, Journal of Materials Processing Technology 177, 8-18. (2006)

Ehmann, K.F., *Benefits of Miniaturization*, Slide Presentation, Northwestern University, USA, (2002)

Vollertsen, F., *Size effects in Manufacturing*, 1st Colloquium Processscaling, Bremer Institut für angewandte Strahltechnik GmbH, Bremen, 28./29.10. (2003)

Vollertsen, F., Hu, Z., Niehoff, H.S., Theiler, C., *State of the art in micro forming and investigations in micro deep drawing*, Journal of Materials Processing Technology Vol. 151, Issue 1-3, 70-70, (2004)

Pan, W., Qin, Y., *FE analysis of multi-cycle micro-forming through using closed-die upsetting models and forward extrusion models*, Journal of Materials Processing Technology 201, 220-225. (2008)

Kals, T.A., Eckstein, R., *Miniaturization in sheet metal working*, Journal of Materials Processing Technology 103, 95-101. (2000)

Shirgaokar, M., Ngaile, G., Shen, G., *Process modeling in impression-die forging using finite-element analysis*, ASM international, Cold and hot forging fundamentals and application 05104G. (2005)

Shirgaokar, M., *Forging Processes : Variables and Descriptions*, ASM international, Cold and hot forging fundamentals and application 05104G. (2005)

Shirgaokar, M., *Flow stress and forgeability*, ASM international, Cold and hot forging fundamentals and application 05104G. (2005)

Shirgaokar, M., *Presses and Hammers for Cold and Hot Forging*, ASM international, Cold and hot forging fundamentals and application 05104G. (2005)

Mangukia, P., *Cold and Warm Forging*, ASM international, Cold and hot forging fundamentals and application 05104G. (2005)

Mangukia, P., *Process Modelling in Cold Forging Using Finite Element Analysis*, ASM international, Cold and hot forging fundamentals and application 05104G. (2005)

Tschaetsch, H., *Upset Forging*, Springer, Metal Forming Practice : Processs-Machines-Tools 2006926219. (2006).