

Effect Of Heat Treatment and Lubrication on Pressure Force and Hardness Value in Upsetting Process of AA6061

Hairul Arsyad, Lukmanul Hakim Arma, Nursalam Syamsuri

Departemen Teknik Mesin Universitas Hasanuddin

*Corresponding author: arsyadhairul@yahoo.com

Abstract. In the process of upsetting the workpiece is pressed between two open molds using a press or forging machine. During the process of pressing the workpiece which is usually cylindrical will experience a reduction in height coupled with the addition of diameter. The ability to change the shape of the workpiece depends on the material properties, the amount of compressive force and the pressure conditions. This study tries to show the effect of applying lubrication on the compressive force and also the change of hardness value after the upsetting process. The material used in this research was the aluminum cylinder of AA6061 which has 20 mm height and 10 mm diameter. Before the upsetting process is carried out, heat treatment was applied to the aluminum cylinder at 440°C with a holding time of 30 and 120 minutes, respectively. The upsetting process is carried out until the aluminum cylinder deforms by, 10%, 20% and 30% at a constant compressing speed 2mm/minute. The results showed that specimen with heat-treated for 120 minutes holding time reduced hardness which also had an effect on reducing the compressive force for the same level of deformation, compared to the specimen with 30-minute holding time. Lubrication gives a positive influence on the deformation of 10% and 20% with a reduction in the compressive force on the contrary to 30% of deformation, lubrication actually increases the compressive force

Abstrak. Pada proses upsetting, benda kerja ditekan diantara dua cetakan terbuka menggunakan mesin press atau mesin tempa. Selama proses penekanan benda kerja yang biasanya berbentuk silinder akan mengalami pengurangan ketinggian yang dibarengi dengan penambahan diameter. Kemampuan perubahan bentuk dari benda kerja sangat tergantung pada sifat material, besar gaya tekan dan kondisi penekanan. Penelitian ini mencoba memperlihatkan efek dari pemberian lubrikasi pada proses upsetting terhadap gaya tekan dan kekerasan yang terjadi. Material yang digunakan adalah aluminium silinder dari jenis AA6061 dengan tinggi 20 mm dan diameter 10 mm. Sebelum proses upsetting dilakukan, perlakuan panas diberikan pada aluminium silinder pada suhu 440°C dengan waktu tahan masing-masing 30 dan 120 menit. Proses upsetting dilakukan hingga aluminium silinder mengalami deformasi sebesar, 10%, 20% dan 30% pada kecepatan penekanan konstan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan panas dengan waktu tahan 120 menit mengurangi kekerasan. Hal ini juga berdampak pada pengurangan gaya tekan untuk tingkat deformasi yang sama dibandingkan dengan waktu tahan 30 menit. Pemberian lubrikasi memberikan pengaruh positif pada deformasi 10% dan 20% yang terlihat dari pengurangan gaya tekan sebaliknya pada deformasi 30 % lubrikasi justru meningkatkan gaya tekan.

Kata kunci: Perlakuan panas, lubrikasi, *upsetting*, gaya tekan, kekerasan.

© 2019. BKSTM-Indonesia. All rights reserved

Pendahuluan

Dalam setiap proses pembuatan komponen dari logam maka pemilihan metode pabrikasi yang tepat menjadi salah satu faktor penting untuk mendapatkan kualitas komponen yang baik. Terdapat banyak metode manufaktur yang dapat dipilih dalam pembuatan sebuah komponen. Tentu saja pertimbangan terhadap kualitas produk dan kemudahan dalam pabrikasi menjadi perhatian penting. Pembentukan logam (metal forming)

adalah salah satu proses pabrikasi produk atau komponen logam yang banyak dipilih dan digunakan. Keunggulan pada kualitas sifat mekanik menjadi salah satu alasan pemilihan metode ini. Dalam proses pembuatan produk/komponen logam dengan metode *metal forming*, besar deformasi, besar gaya tekan, sifat bahan baku, sifat cetakan dan kondisi pada saat penekanan sangat menentukan kualitas produk yang dihasilkan.

Biasanya dalam proses pembuatan komponen dengan metode pembentukan logam melewati serangkaian tahapan deformasi sebelum menjadi komponen yang diinginkan. Salah satu metode pembentukan logam dengan serangkaian tahapan deformasi adalah penempaan. Penempaan dapat dilakukan lebih dari satu kali bila membutuhkan perubahan geometri yang signifikan dari bahan baku awal menjadi geometri komponen akhir [1]. Umumnya upsetting merupakan tahapan deformasi awal yang dilalui benda kerja sebelum akhirnya memiliki bentuk akhir yang diinginkan. Krishna dkk meneliti perubahan kekerasan dan efek lubrikasi pada penempaan upsetting AA2014-T6 berbentuk silinder dengan tinggi 24 mm dan diameter 24 mm. Hasil penenlitianya menunjukkan bahwa telah terjadi perubahan tingkat heterogenitas kekerasan. Tingkat heterogenitas kekerasan menjadi lebih tinggi setelah penempaan dengan pemakaian lubrikasi terlihat dari distribusi kekerasan [2]. Peningkatan nilai kekerasan menjadi salah satu efek dari proses penempaan dimana benda kerja memiliki tahanan deformasi yang menjadi lebih besar setelah penempaan

Penelitian lainnya dilakukan oleh Karunathilaka dkk yang melihat pengaruh kekasaran permukaan, tegangan sisa, dan besar deformasi pada penempaan upsetting paduan SKH51. Dengan menggunakan cetakan yang telah dipolish, dia memperoleh hasil bahwa terdapat korelasi positif pada kekasaran permukaan, tegangan sisa dan deformasi specimen terhadap jumlah siklus penempaan. Namun demikian, nilai kekasaran permukaan, tegangan sisa dan deformasi menjadi cenderung konstan pada batas siklus tertentu. Pada bagian tengah benda kerja diperoleh nilai tegangan sisa tertinggi dan juga kekasaran permukaan tertinggi [3]. Penggunaan gaya tekan yang besar selama deformasi atau perubahan bentuk pada benda kerja meninggalkan tegangan sisa yang besar pula pada permukaan benda kerja.

Homogenitas sifat mekanik kadang menjadi persyaratan produk pada pembentukan logam sehingga deformasi yang terjadi harus betul-betul terkontrol jumlah dan arahnya sehingga menjadi sangat penting diperhatikan. Pada tulisan yang lain Krishna dkk juga melakukan penelitian berkaitan dengan optimasi parameter pada proses upsetting AA2014 agar diperoleh tingkat homogenitas kekerasan dan mengurangi perilaku barreling. Hasil penenlitianya menunjukkan nilai kekerasan yang tidak seragam sepanjang bilet dan bervariasi dengan penggunaan lubrikasi, rasio benda kerja dan perlakuan panas [4].

Pengaruh pemberian perlakuan panas pada benda kerja terhadap perilaku penekanan pada

proses penempaan paduan A356 dilakukan oleh Manickam dkk. Dengan memberikan variasi waktu penahanan dan temperature aging dia menemukan bahwa penahanan selama satu jam pada solutioning temperature memberikan kekuatan tekan yang lebih baik, pemberian natural aging mengurangi keuletan dan memperbaiki kekuatan [5]. Perubahan yang signifikan pada nilai kekuatan tekan diperoleh pada perlakuan panas artificial aging. Modifikasi kondisi gesekan antara *tool* dan benda kerja aluminum dengan memodifikasi permukaan *tool* dilakukan oleh Teller dkk tanpa penggunaan lubrikasi. Menggunakan pendekatan konsep *conical tube tool* dia menemukan tingkat homogenitas displacement yang lebih baik [6].

Perilaku lubrikasi padat diteliti oleh Nakamura dkk pada proses upsetting terhadap karakteristik gesekan dan tegangan geser luluh. Peningkatan tekanan oleh penekan memberikan efek pada peningkatan geseran friksi secara linier demikian pula dengan tegangan geser luluh. Penggunaan lubrikasi padat efektif dalam meniadakan kontak *metal to metal* [7]. Dari uraian diatas terlihat peran lubrikasi pada proses upsetting dan perlakuan panas yang dilakukan pada benda kerja sebelum upsetting masih perlu untuk dikaji.

Metode Penelitian

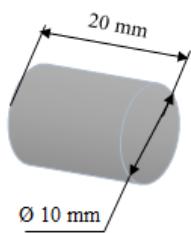
Penelitian ini menggunakan AA6061 sebagai material uji dengan dimensi seperti pada gambar 1a. Proses upsetting dilakukan pada mesin uji tekan menggunakan penekan dan cetakan datar seperti pada gambar 1b. Oli SAE 20W-50 digunakan sebagai lubrikasi untuk kondisi pengujian lubrikasi. Untuk melihat pengaruh perlakuan panas maka specimen AA6061 dipanaskan dalam tungku listrik hingga temperature 440°C dengan variasi waktu penahanan 30 menit (S_{30}) dan 120 menit (S_{120}) dan hasilnya akan dibandingkan dengan specimen tanpa perlakuan panas (S_0). Upsetting dilakukan hingga deformasi yang terjadi masing-masing sebesar 10%, 20% dan 30%. Laju penekanan diset konstan pada kecepatan 2mm/menit. Pengujian kekerasan dilakukan dengan metode Rockwell (HRF).

Hasil dan Pembahasan

Gambar.2 memperlihatkan besar gaya maksimum rata-rata setiap specimen untuk setiap besar deformasi dan kondisi penekanan. Dari gambar 2 terlihat bahwa besar gaya maksimum rata-rata meningkat dengan naiknya deformasi untuk setiap spesimen uji. Spesimen S_{120} memiliki gaya tekan maksimum rata-rata yang terendah dan specimen S_0 tertinggi.

Besar gaya tekan maksimum rata-rata terendah terjadi pada specimen S_{120} , 10 %

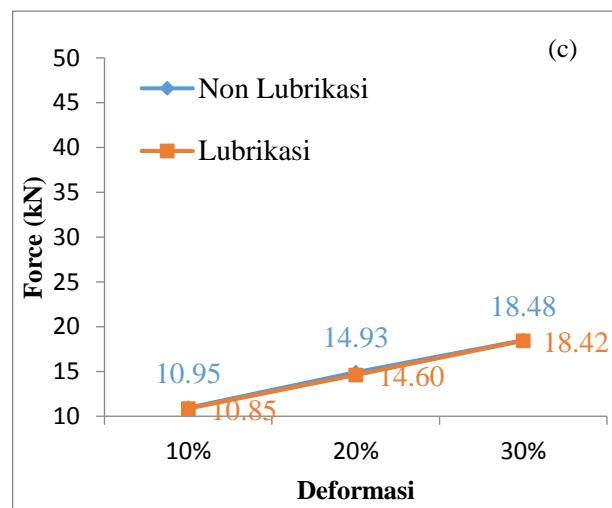
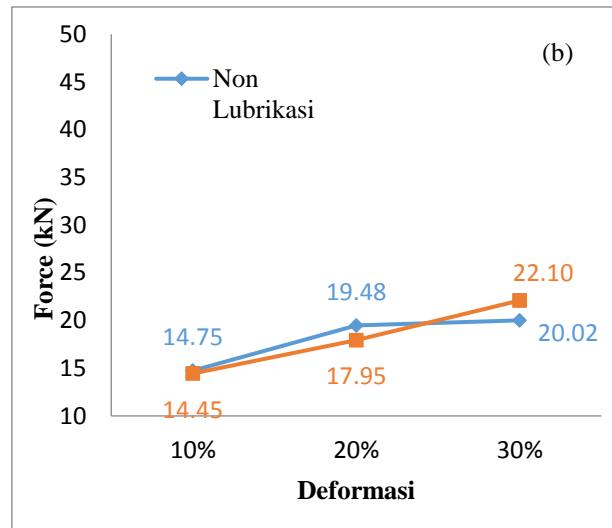
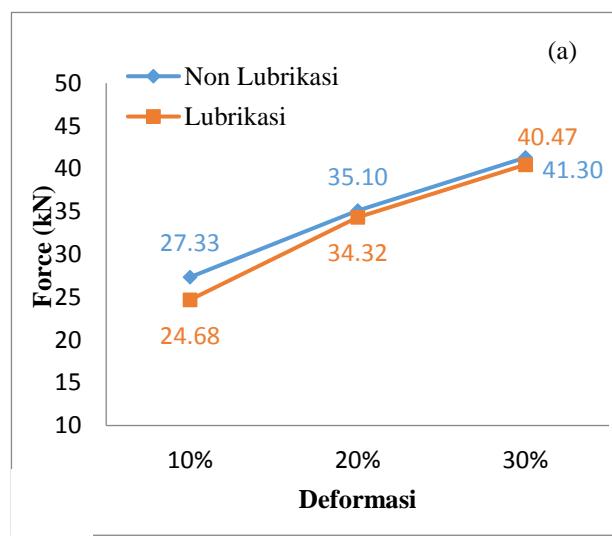
deformasi dengan kondisi lubrikasi yaitu sebesar 10.85 kN. Gaya tekan maksimum rata-rata terbesar yaitu 41.30 kN terjadi pada specimen S_0 deformasi sebesar 30% dengan kondisi tanpa lubrikasi. Secara umum kondisi tanpa lubrikasi memiliki besar gaya tekan maksimum rata-rata lebih tinggi dibanding kondisi lubrikasi pada besar deformasi yang sama. Pada deformasi 30% untuk specimen S_{30} , kondisi lubrikasi justru memberikan gaya tekan maksimum rata-rata yang lebih tinggi dibanding kondisi tanpa lubrikasi.



Gambar 1. (a) Alat uji tekan yang digunakan,
(b) Dimensi aluminium silinder AA6061
sebagai specimen uji

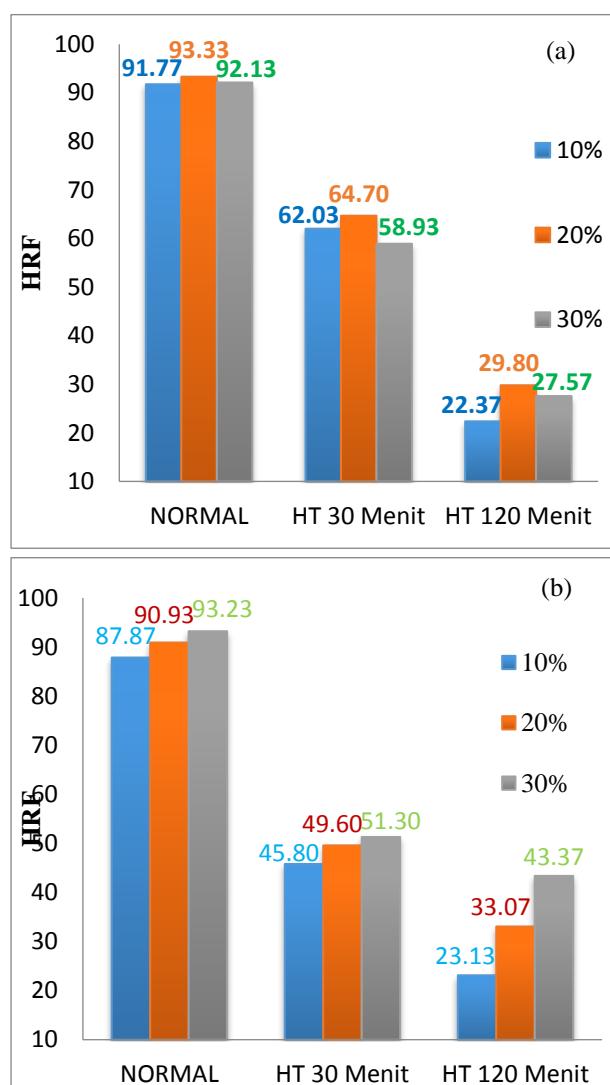
Efektifitas lubrikasi terlihat berkurang dengan naiknya deformasi yang terjadi pada spesimen tanpa perlakuan panas (S_0) dimana perbedaan gaya tekan menjadi tidak terlalu berbeda. Pengurangan gaya tekan hanya terjadi pada deformasi 10% yaitu sebesar 2.65 kN. Pada gambar 2b terlihat bahwa pada spesimen S_{30} , lubrikasi tidak efektif pada deformasi 10% dimana perbedaan gaya tekan tidak signifikan akan tetapi pada deformasi 20% lubrikasi memberikan pengaruh pada pengurangan gaya tekan sebesar 1.53kN. Pada deformasi 30% untuk spesimen S_{30} , pemberian lubrikasi justru meningkatkan gaya tekan sebesar 2.08 kN. Adanya peningkatan gaya tekan pada kondisi lubrikasi kemungkinan disebabkan adanya

indikasi terjadinya perubahan gesekan pada permukaan kontak menjadi tidak seragam dan terus berubah dengan perubahan ketinggian [8].



Gambar 2. Pengaruh besar persentase terhadap gaya tekan spesimen: a. Spesimen tanpa perlakuan panas (S_0), b) Spesimen S_{30} dan c) Spesimen S_{120}

Pada gambar 2c yaitu pada spesimen S₁₂₀, terlihat bahwa lubrikasi tidak diperlukan karena tidak mengurangi gaya tekan secara signifikan. Selisih gaya tekan pada deformasi 10 % sebesar 0.1kN, pada deformasi 20% sebesar 0.33kN dan pada tingkat deformasi 30% selisih gaya tekan berkurang jauh menjadi 0.06 kN. Kemudahan aliran deformasi pada spesimen yang mengalami perlakuan panas memberikan pengaruh pada penurunan kinerja lubrikasi bila dibandingkan terhadap kinerja lubrikasi pada spesimen tanpa perlakuan panas. Bahkan pada spesimen S₃₀ pada tingkat deformasi 30%, lubrikasi memberikan efek negatif dengan naiknya gaya tekan yang dibutuhkan.



Gambar 3. Nilai rata-rata kekerasan: a) tanpa lubrikasi, b) dengan lubrikasi

Perlakuan panas menyebabkan perubahan struktur mikro dari spesimen uji AA6061, perbedaan waktu tahan pada temperatur 440°C juga memberikan pengaruh pada perilaku aliran deformasi dari AA6061. Perilaku aliran deformasi bergerak lebih mudah pada spesimen S₁₂₀

dibandingkan dengan S₃₀ dan S₀ yang ditandai dengan berkurangnya secara signifikan gaya tekan. Hal ini berkaitan dengan hilangnya resistansi aliran yang mencegah pergerakan dislokasi pada spesimen S₁₂₀. Hilangnya resistansi atau tahanan aliran dapat disebabkan oleh berkurangnya batas butir yang bertindak sebagai *dislocation barrier*.

Gambar 3 memperlihatkan hasil uji kekerasan setelah deformasi dengan dan tanpa pemberian lubrikasi untuk setiap spesimen uji. Nilai kekerasan tertinggi sebesar 93.33 HRF kondisi tanpa lubrikasi dan tanpa perlakuan panas dengan level deformasi 20%. Sedangkan untuk kondisi lubrikasi, nilai kekerasan tertinggi sebesar 93.23 HRF pada spesimen tanpa perlakuan panas dengan besar deformasi 30%.

Untuk nilai kekerasan terendah sebesar 10.95 HRF tanpa lubrikasi diperoleh pada kondisi spesimen S₁₂₀ pada deformasi 10%. Sedangkan untuk kondisi lubrikasi, nilai kekerasan terendah sebesar 10.85 HRF terjadi pada spesimen S₁₂₀ dengan besar deformasi 10%. Terdapat perbedaan yang jelas antara kondisi tanpa lubrikasi dan dengan lubrikasi pada nilai kekerasan setelah deformasi. Pada kondisi lubrikasi, nilai kekerasan naik dengan naiknya persentase deformasi untuk setiap jenis spesimen. Sebaliknya pada kondisi non lubrikasi, kekerasan tertinggi justru terjadi pada deformasi 20% bukan pada deformasi 30%.

Dari hasil pengujian diperoleh bahwa untuk spesimen S₁₂₀, pemberian lubrikasi ternyata menyebabkan kekerasan lebih tinggi pada setiap besar deformasi dibandingkan non lubrikasi. Untuk spesimen S₀, perbedaan nilai kekerasan setelah deformasi dengan dan tanpa lubrikasi tampak tidak terlalu jauh berbeda untuk setiap level deformasi.

Dari gambar 3 juga diperoleh adanya pengaruh pemberian perlakuan panas dengan waktu tahan yang berbeda (30 menit dan 120 menit) terhadap nilai kekerasan setelah deformasi. Perlakuan panas memberikan efek pada penurunan nilai kekerasan sehingga specimen menjadi lebih lunak. Waktu tahan yang lebih lama ternyata menghasilkan nilai kekerasan yang paling rendah. Penurunan nilai kekerasan ini dijumpai pada dua kondisi proses upsetting yaitu tanpa lubrikasi maupun dengan lubrikasi. Perbedaan kondisi upsetting (tanpa lubrikasi dan dengan lubrikasi) terlihat pada nilai kekerasan maksimum. Untuk kondisi tanpa lubrikasi, nilai kekerasan maksimum diperoleh pada level deformasi 20 % sedangkan pada kondisi lubrikasi nilai kekerasan maksimum terjadi pada level 30 %. Hal ini menjadi menarik untuk kondisi tanpa lubrikasi dimana seharusnya kekerasan maksimum terjadi pada level deformasi tertinggi. Hasil ini mengindikasikan adanya peran lubrikasi dalam mendistribusikan deformasi menjadi lebih

baik seiring dengan naiknya level deformasi. Namun demikian ternyata pada level deformasi 30 %, pemberian lubrikasi untuk specimen S_{120} menyebabkan kekerasan menjadi lebih tinggi dibandingkan pada specimen S_{120} tanpa lubrikasi. Naiknya kekerasan dengan adanya lubrikasi dapat disebabkan oleh terjadinya pengerasan permukaan akibat pelumas yang terjebak antar alat dan benda kerja [9]. Peran lubrikasi pada specimen yang mengalami perlakuan panas (S_{120}) dengan gaya tekan yang hampir sama dengan specimen tanpa lubrikasi memberikan efek kekerasan yang jauh lebih tinggi yaitu sebesar 43.37 HRF. Hadirnya kantong-kantong lubrikasi yang terjebak memberikan tekanan hidrostatis pada permukaan kontak dan kemungkinan menyebabkan terjadinya pengerasan permukaan [10].

Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan dapat ditarik kesimpulanm sebagai berikut:

1. Efek perlakuan panas yang diberikan pada specimen AA6061 memberikan penurunan gaya tekan selama proses upsetting. Penurunan gaya tekan terendah dijumpai pada specimen dengan waktu tahan 120 menit (S_{120}).
2. Pemberian lubrikasi pada proses upsetting memberikan efek yang berbeda-beda pada setiap level deformasi. Untuk specimen tanpa perlakuan panas, lubrikasi menurunkan gaya tekan secara efektif pada level deformasi rendah namun menjadi tidak efektif pada level deformasi yang lebih tinggi.
3. Pada specimen perlakuan panas dengan waktu tahan 30 menit (S_{30}), lubrikasi hanya memberikan efek penurunan gaya tekan pada level deformasi 20 %. Pada level deformasi 30 %, lubrikasi justru meningkatkan gaya tekan. Lubrikasi menjadi tidak berguna untuk menurunkan gaya tekan pada specimen perlakuan panas dengan waktu tahan 120 menit (S_{120}).
4. Pemberian perlakuan panas juga memberikan pengaruh pada penurunan nilai kekerasan untuk setiap level deformasi. Nilai kekerasan terendah dijumpai pada specimen dengan perlakuan panas waktu tahan 120 menit.
5. Perilaku deformasi selama upsetting bergantung pada level deformasi, perlakuan panas yang diberikan dan peran lubrikasi

Daftar Pustaka

1. Masatoshi Hirose, Zhi Gang Wang, Shinobu Komiya, An Upsetting - Ironing Type Tribometer for Evaluating Tribological Performance of Lubrication Coatings for Cold Forging, Key

- Engineering Materials (Volumes 535-536) p243, 2013.
2. Ch. Hari Krishna, M. J. Davidson, Ch. Nagaraju, A. V. RatnaPrasad, Effect of Lubrication and Anisotropy on Hardness in the Upsetting Test, Transactions of the Indian Institute of Metals September 2016, Volume 69, Issue 7, pp 1449–1457.
 3. Nuwan Karunathilaka, Naoya Tada, Takeshi Uemori, Ryota Hanamitsu, Masahiro Fujii, Yuya Omiya, Masahiro Kawano "Effect of Lubrication and Forging Load on Surface Roughness, Residual Stress, and Deformation of Cold Forging Tools", *Metals* 2019, 9(7), 783
 4. Ch. Hari Krishna, M. J. Davidson, Ch. Nagaraju, Optimum Process Parameters for Enhanced Uniform Hardness Distribution and Barreling Behavior in Upsetting, Transactions of the Indian Institute of Metals, April 2015, Volume 68, Issue 2, pp 219–228.
 5. Dhanashekhar Manickam, Senthil Kumar Velukkudi Santhanam, Effect of Solution Heat Treatment and Artificial Aging on Compression Behaviour of A356 Alloy, METALS, ALLOYS, COATINGS, vol 25 no 3, 2019.
 6. Marco Teller, Ingo Ross, André Temmler, Reinhart Poprawe, Stephan Prünte, Jochen M. Schneider, Gerhard Hirt, Investigation of Friction Conditions in Dry Metal Forming of Aluminum by Extended Conical Tube-Upsetting Tests, *Tribology in Manufacturing Processes and Joining by Plastic Deformation II* Vol. 767
 7. Tamotsu Nakamura, Shigekazu Tanaka , Kunio Hayakawa , Yoshiaki Fukai, A Study of the Lubrication Behavior of Solid Lubricants in the Upsetting Process, *Journal of Tribology, ASME*, vol 122, issue 4, 2000
 8. Akira Azushima, Shigeki Yoneyama, Hiroshi Utsunomiya, Coefficient of friction at interface of lubricated upsetting process, Wear Volumes 286–287, 15 May 2012, Pages 3-7.
 9. A. Azushima, S.Yoneyama, T.Yamaguchi H.Kudo, Direct Observation of Microcontact Behavior at the Interface between Tool and Workpiece in Lubricated Upsetting, CIRP Annals Volume 45, Issue 1, 1996, Pages 205-210.
 10. Akira Azushima, Akira Yanagida, Shojiro Tani, Permeation of Lubricant Trapped Within Pocket Into Real Contact Area on the End Surface of Cylinder, *Journal of tribology, ASME*, 2010