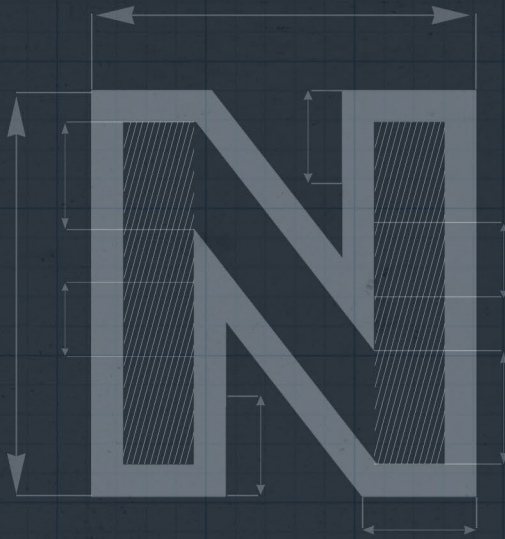




NORM FASTENERS
AR-GE MERKEZİ YAYINLARI
R&D CENTER PUBLICATIONS



— 2018 —

VOLUME 4

NORM
FASTENERS

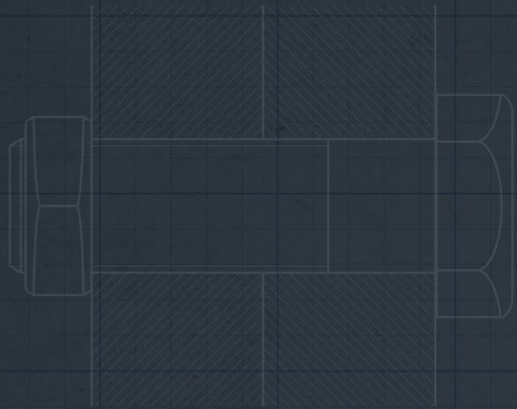
NORM FASTENERS

AR-GE MERKEZİ YAYINLARI

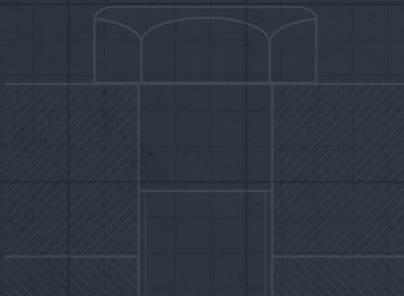
R&D CENTER PUBLICATIONS

Burada yer alan makale ve akademik yazıların tüm hakları yazarlara ve yayınların yapıldığı yayınevlerine ait olup, bu derlemeyi elinde bulunduranlara çoğaltma ve yayma hakkı tanılmaz. Bu hakların ihlali halinde Norm Fasteners'in ve yazarların yasal hakları saklıdır.

All rights to the articles and academic writings contained herein belong to the authors and the respective publisher, and those who hold this compilation do not have the right to reproduce and disseminate the content. In case of infringement of these rights, the legal rights of Norm Fasteners and the authors are reserved.



A COMPARATIVE STUDY OF METAL SHAPING PROCESSES BETWEEN FORGING AND MACHINING	6
A COMPARATIVE STUDY: ZINC PHOSPHATE-SOAP COATING VERSUS POLYMER BASED COATING IN COLD FORWARD EXTRUSION	20
EFFECT OF SOCKET DEPTH ON FAILURE TYPE OF FASTENERS	28
WEIGHT REDUCTION OF FASTENERS IN AUTOMOTIVE INDUSTRY	38
ALUMINUM BOLT FORGING FOR AUTOMOTIVE INDUSTRY.....	48
PRESS FORCE DETERMINATION OF SHRINK-FITTING PROCESS BASED ON NUMERICAL ANALYSES	66
ON THE COLD FORGING OF 6082 H13 AND T4 ALUMINUM ALLOY BUSHES	72



A COMPARATIVE STUDY OF METAL SHAPING PROCESSES BETWEEN FORGING AND MACHINING

Sezgin YURTDAS

M. Burak TOPARLI

Tayfun DAMLA

Baris TANRIKULU

N. Emrah KILINÇDEMİR

Umut İNCE

Levent AYDIN





A COMPARATIVE STUDY OF METAL SHAPING PROCESSES BETWEEN FORGING AND MACHINING

Sezgin YURTDAS¹
M. Burak TOPARLI¹
Tayfun DAMLA¹
Barış TANRIKULU¹
N. Emrah KILINÇDEMİR¹
Umut İNCE¹
Levent AYDIN^{2*}

Norm Civata San. ve Tic. A.Ş., Turkey (Norm Fasteners Co.)

* Sorumlu Yazar / Corresponding Author

¹Norm Civata San. ve Tic. A.Ş., 10007 Sok. No:1/1 A.O.S.B., Çiğli/İzmir, Turkey

^{2*} Department of Mechanical Engineering, İzmir Katip Çelebi University, Çiğli/İzmir, Turkey
leventaydinn@gmail.com

Manufacturing is one of the fundamental and broad process in the industry. The final products made of metallic materials, polymers or composites are obtained from simple geometries by various and complex steps. Two main processes of metal shaping industry are forging and machining. Forging involves changing the shape of the material by plastic deformation. On the other hand, machining is the process of removing material from the workpiece to bring the final shape of the product.

In this chapter, forging and machining processes are compared considering the crucial aspects, namely geometric complexity of the final product, cost, performance, materials to be processed and environment. The design and selection of the metal shaping route of a particular product can be tailored according to these parameters. For instance, forging generally offers cost reduction for mass production. In addition, forging allows a higher level of structural integrity. However, compared to forging, more complex-shaped products can be obtained by machining with better dimensional accuracy. Considering the environment, due to significant amounts of materials removed from the workpiece and the energy consumption, forging offers advantages compared to machining. Therefore, depending on the final products to be obtained, shaping process should be selected considering the parameters discussed in this chapter.

METAL SHAPING PROCESSES

Forging

Forging can be defined as the manufacturing process based on plastic deformation of materials by applying sufficient load through various dies and tools. There are various classification methods that can be applied to forging. In this chapter, forging is classified according to type of die set and temperature. Depending on the die type, forging can be examined in two classes, i.e. open die forging and closed die forging. Open die forging, which is the simplest forging operation, is carried out between flat dies or dies of simple shape. It is usually performed for multi-step forging operations to prepare the workpiece for the next production process. Due to the friction, barreling is observed during open die forging processes (Kalpakjian & Schmid, 2014). Due to the friction, barreling is observed during open die forging processes (Kalpakjian & Schmid, 2014). Compression testing can be considered as an example of open-die operation (See Figure 1).

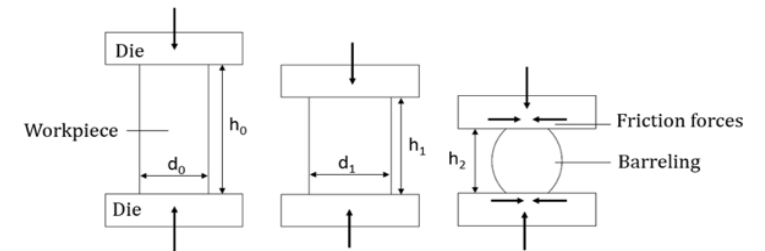


Fig. 1 Open die forging process; a) workpiece between two flat dies, b) compression test without friction effect, c) compression test with friction effect.

In closed die forging, the workpiece is deformed with dies, to have the final shape. The workpiece flows completely between the upper and lower dies and then takes the final shape. Closed die forging is used to obtain the highest dimensional accuracy of products in complex geometries. In this method, design of the dies becomes more crucial and directly affects production efficiency (Çapan, 2010). However, if the initial set-up or design of the dies are not accurate, the flash formation may occur in the process as a disadvantage. A schematic representation of flash formation in closed die forging is also given in Figure 2.

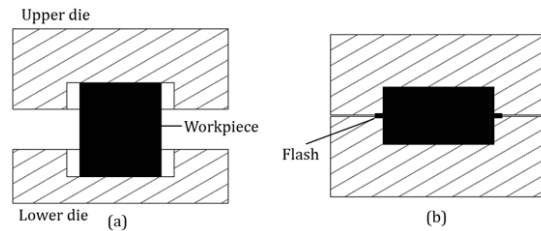


Fig. 2 Closed die forging with flash; a) before deformation, b) after deformation.

In addition to type of die, forging processes can be classified according to the working temperature as cold forging, warm forging and hot forging (See Figure 3).

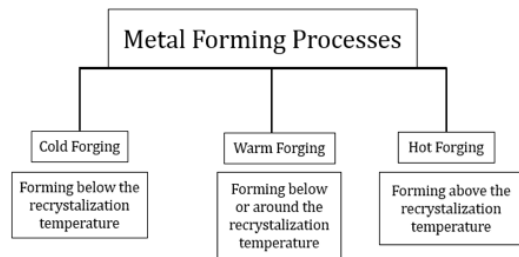


Fig. 3 Metal forming processes.

Cold Forging

Cold forging can be described as plastic forming under the recrystallization temperature of the materials to be forged. Compared to warm and hot forging, simpler geometries can be obtained by cold forging. The main reason for this limitation is the operation temperature. Since the plastic deformation takes place under recrystallization temperature, the microstructure will be changed, so that in most of the cases the material will strain hardened or work hardened leading to increase in hardness and the load required to induce plastic deformation. As a consequence, if the forgeability limit is exceeded, there will be crack formation leading to failure and fracture. On

the other hand, cold forging has also some advantages such as mass production compatibility, precise product tolerances and high mechanical properties (Aygen, 2006).

Warm Forging

Warm forging can be defined as the combination of hot and cold forging in a single production process. In this process, the billet is heated up to the recrystallization temperature which is lower than the conventional hot forging range. Warm forming necessitates lower forging loads compared to cold forming, and this is the main advantage of the process. By employing warm forging, a particular product can be produced with better tolerances and surface conditions compared to hot forging with less energy consumption (Saraç, 2007).

Hot Forging

Hot forging is performed above the recrystallization temperature of the material to be processed. Therefore, the workpiece experiences plastic deformation and recrystallization simultaneously, which prevents material to be strain hardened. In addition, owing to high temperatures, the forging loads are significantly lower compared to cold forging. On the other hand, the surface of a hot formed metal is covered with an oxide layer, however it can be reduced to a minimum by controlling the furnace atmosphere (Kılınçdemir, 2016). In addition, vast amount of energy is used during the process to reach the high recrystallization temperatures and the duration of the process is higher compared to cold forging. Regarding of these facts, it should be noted that the cost of hot forging is higher than the other forging operations.

Machining

Machining is the process of removing material from the workpiece, so that the final product geometry can be obtained. It is a complex process that takes place under various strain rates and temperatures. Although metal forming processes cause plastic deformation in all processes, the cutting mechanism varies greatly from material to material. There are different fracture mechanisms for ductile and brittle materials. In addition to these, surface roughness and tool wear estimations are very significant for this process (Dixit & Dixit, 2008). Turning, milling and drilling can be considered as the three main methods of machining. Besides these, broaching, reaming, and planing are also used in the industry.

Turning

Turning is the process of removing chip from the workpiece to form an axisymmetric surface. As the workpiece rotates on a shaft, the cutting tool moves perpendicular to this point. Turning is carried out on a machine called lathe. Cutting speed (v), feed (f) and depth (d) are critical parameters in this process (See Figure 4.)

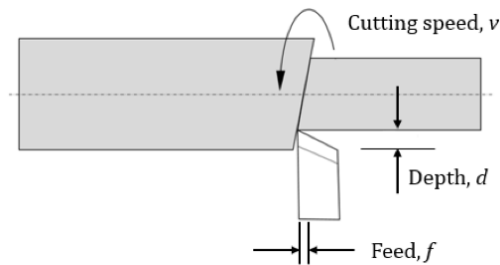


Fig.4 Turning process.

In order to carry out the machining operation, a relative movement between the tool and the workpiece is required. The primary movement is carried out with a certain cutting speed. Besides this, the tool must be moved on the workpiece. This movement is slower and it is called as feed. The distance between the first surface of the workpiece and the surface obtained after cutting is depth (Groover, 2010).

Milling

In the milling process, the rotating tool which has multiple cutter edges, moves on the workpiece to form a plane or straight surface. The direction of the feed motion is perpendicular to the rotation axis of the cutting tool. The primary movement and the cutting speed are provided by the rotating milling cutter. There are two main types of milling namely surface milling and lateral milling (See Figure 5).

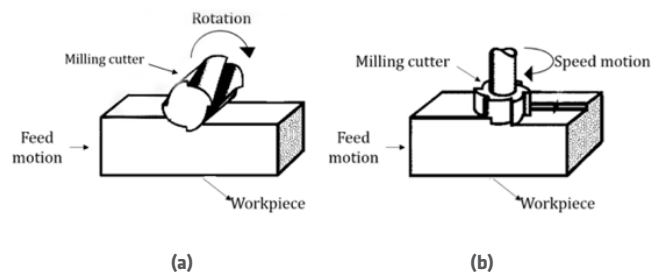


Fig.5 Milling process; (a) peripheral, (b) face.

Drilling

The drilling method is used to create a hole with a round cross-section. It is usually carried out with a rotating tool which has two cutting edges. The cutting tool is moved to the workpiece in a parallel direction to the axis of rotation to form a round hole. Machine used in the process is

called drilling machine. The schematic view of the process is shown in Figure 6.

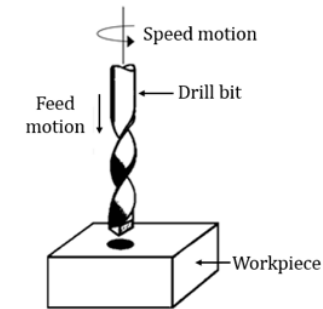


Fig.6 Schematic view of the drilling process.

Other Machining Methods

The broaching is carried out by using a multi-threaded cutting tool, moving the tool linearly towards the workpiece in the direction of the tool axis. It is a critical production process and can produce a good surface quality and dimensional accuracy of the parts. Reaming is a process that used to make the size of an existing hole more accurate and precise. Planing involves the use of a single-point cutting tool that moves linearly relative to the workpiece. A flat surface is obtained at the end of the process.

COMPARISON BETWEEN FORGING AND MACHINING Complexity

Determination of the suitable metal shaping process relies on critical factors such as size, tolerances, material, cost and geometry of the part. To produce simple parts with high precision and production rate, which are used in the major equipment of military, aerospace and automotive fields, forging is generally preferred. When designing complex parts, there are many key factors to take into account in order to obtain the final shape. Depending on the geometry and tolerances, the products are generally produced either by forging or by machining. However, in order to fabricate complex parts, forging generally requires a secondary operation like machining, which is complementary to obtain the final complex-shaped products. For example, considering the product shown in Figure 7, only rough preform of ball stud can be obtained by forging. In order to achieve precise final complex-shape of ball stud, forging process should be combined with machining.



Fig.7 (a) Preform by cold forging, (b) final form by machining.

Cost

There are many factors influencing the cost calculation of the forging and machining processes. Considering forging, the initial investment and tooling costs appear to be high, however, the cost per unit is reduced as the amount of production increases. As given in Figure 8, relative tooling cost decreases as the amount of pieces increase (Kalpakjian & Schmid, 2014). On the other hand, unit cost does not significantly change with the amount of production in machining process.

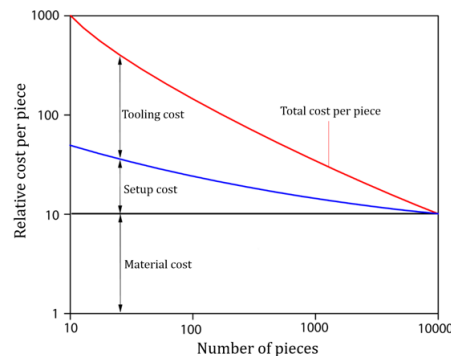


Fig. 8 Typical cost per piece in forging.

Another factor that affects the cost of the forging process is the size of the product. Increasing in the part size require high die costs, thus extending the recycling time of the initial investment cost. Although the cost of the forging process depends on the part size, the most important criterion is the production amount. In the case of machining, process duration depends on the part size. Another factor that constitutes the cost in the forging process is the direct financial effects of the die service life during forging. This situation is proportional to the shape and

size of the product. Correct adjustment of the station designs and balanced distribution of the forging loads between the stations allows increase in the die life and better productivity with lower costs. Reduced tool consumption allows faster initial investment costs, thereby increasing profitability. Similarly, one of the most important factor affecting the cost item in the machining process is effective usage of metal cutting tools. Sometimes breaks occur early due to miscalculation of the amount of chips to be taken with the cutting inserts. This leads to increased costs per product.

Mechanical Performance

The formations of the material flow lines reveal a fundamental difference between forging and machining. Forging of the material provides continuous flow lines. On the other hand, during machining, the material flow lines turn into a cut-off form, which makes the parts more susceptible to weakening. In addition, the risk of crack formation is lower for forging owing the grain flow. Continuity of the material flow lines ensures the structural integrity of the material leading to longer fatigue and wear life. In Figure 9, material flow lines in the forging and machining processes are compared. It can be seen that there is a discrete flow in the machining process while the flow lines are continuous in the forging process.

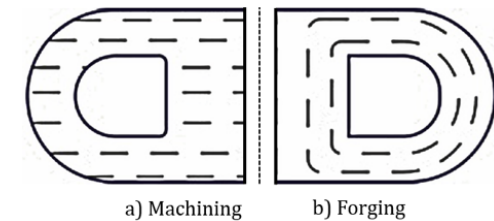


Fig. 9 Grain flow; (a) machining, (b) forging.

Material

Forgeability, known also as workability or formability is one of the important characteristic features of metallic materials to be produced by metal shaping processes. Forgeability can be defined as the ability of materials to flow, i.e. deform without cracking and fracture. The process conditions (such as temperature, rate of deformation, applied stresses and stress distribution) and metallurgical characteristics or history (such as defects, grain size and grain orientation) plays a critical role in terms of forgeability of a particular material. If a complex-shaped part is to be produced by forging, the material may be cracked before the final geometry is obtained, which makes impossible for that part to be produced by forging unless the material is changed. In addition to forgeability, the forging pressure, i.e. the load or pressure required to deform the material is also important. If the required forging pressure is too high to be obtained by conventional forging machines, that part cannot be produced by forging. As a conclusion, the

forgeability and forging pressure have to be considered together in terms of deciding the use of forging for a particular metal shaping operation. For instance, if a particular part to be produced has to be made from hastelloys, i.e. nickel based alloy used generally for marine applications (low forgeability and requiring high forging pressure), and have a complex shape, it may not be feasible or even impossible to obtain by forging, in which case machining has to be considered as a metal shaping process.

Environment

Due to increase in demand, consumption of fossil fuels has significantly increased the carbon dioxide concentration, which is the primary contributor of the global warming and climate change. With the increased consciousness, the carbon footprint is also becoming an increasingly important issue for manufacturing industries. Therefore, management of carbon-based resource draws attention in manufacturing methods. Energy consumption can be considered as a dominant resource for carbon emission. However, as also can be seen in Figure 10, not only emissions from electricity use, but also lubricant oil, cutting oil, disposal of waste material are important factors contributing carbon footprint in the production of part with machining (Li et al., 2015).

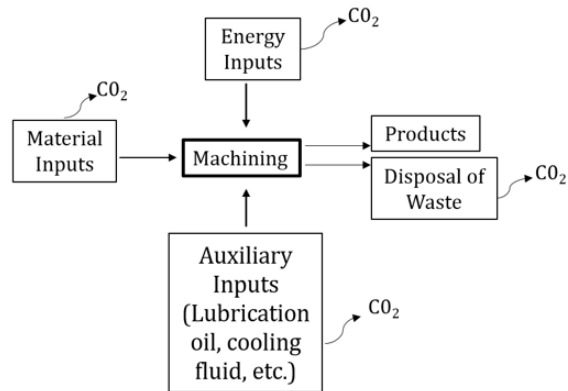


Fig. 10 Inputs and outputs in machining with the aspect of carbon emission.

Efficient material consumption and waste disposal are particularly critical issues on environmental impact of manufacturing methods. If a complex-shaped metallic component is not suitable to be produced by forging, machining is generally preferred method. However, significant amounts of waste materials can be produced due to nature of the process. For instance, considering the product shown in Figure 11, approximately 181 gr of material can be saved, if the product is to be produced by cold forging process. Therefore, carbon emissions occurred from disposal of chip and material processing system are less for forging compared to machining. Compared to forging, energy consumption per unit is higher for machining. (Sun & Zhang, 2012) states that,

unit energy consumption is nearly 50 % greater for numerical controlled machining process. In other words, the machining process requires more electricity generated from burning fossil fuels and other sources causing significant impact on the environment. Therefore, considering the energy required to produce a unit and produced waste, it can be concluded that machining has significantly higher effect on environment compared to forging.



Fig. 11 M6 bolt with 30 Ø head diameter.

Forging and machining are the two fundamental metal shaping processes having different advantages and limitations. As introduced in this chapter, it may not be possible to obtain very complex shapes by employing forging. On the other hand, in terms of overall structural integrity, forged parts offer better performance owing to continuous flow lines. In terms of cost, forging is more suitable for mass production due to high initial cost of punches and dies. Machining is not only consuming more energy but also creates more waste compared to forging. Based on the requirements from the final part and production line, the most suitable method has to be chosen after a thorough evaluation. Especially in the increasing global competition conditions, employing both processes is also a common practice in industry to get benefits of each production methods. Hence, it can be concluded that both processes offer different superiority and the design of the complete manufacturing route depends on material to be processed and requirements of the final products. For this reason, it is necessary to carry out a detailed examination considering the requirements and determine the metalworking process.

REFERENCES

- [1] C. Li, Y. Tang, L. Cui, P. Li, A Quantitative Approach to Analyze Carbon Emissions of CNC-Based Machining Systems, Journal of Intelligent Manufacturing, Volume 26, Issue 5, pp 911–922, October 2015.
- [2] L. Çapan, Metallerle Plastik Şekil Verme, Çağlayan Kitabevi, 5. Baskı, 2010.
- [3] M. Aygen, Die Stress and Friction Behaviour Analysis in Bolt Forming. M. Sc. Thesis, Thesis No:199256, Middle East Technical University, Ankara, 2006.
- [4] M. P. Groover, Fundamentals of Modern Manufacturing Materials, Process and Systems, Wiley 4th Edition, 2010.
- [5] N. E. Kılıncdemir, Yatay Soğuk Dövme Preslerinde Eksenden Kaçık Parçaların Soğuk Dövülebilmesi İçin Yeni Kalıp Sistemi Geliştirilmesi ve Prototip İmalatı, Yüksek Lisans Tezi, Tez No: 455654, Ege Üniversitesi, 2016.
- [6] P. M. Dixit, U. S. Dixit, Modeling of Metal Forming and Machining Processes by Finite Element and Soft Computing Methods, Springer London Ltd, 2008.
- [7] Q. Sun, W. Zhang, Carbon Footprint Analysis in Metal Cutting Process, Proceedings of International Conference on Mechanical Engineering and Material Science, 2012.
- [8] S. Kalpakjian, S. R. Schmid, Manufacturing Engineering and Technology, (SI Ed.), Pearson, 2014.
- [9] S. Saraç, Design and Thermo-Mechanical Analysis of Warm Forging Process and Dies, M. Sc. Thesis, Thesis No:201723, Middle East Technical University, Ankara, 2007.
- [10] T. Altan, G. Ngaile, G., Shen, Cold and Hot Forging Fundamentals and Applications, 2005, ASM International, 2005.

A COMPARATIVE STUDY: ZINC PHOSPHATE-SOAP COATING VERSUS POLYMER BASED COATING IN COLD FORWARD EXTRUSION

Suna GÜNEŞ

Barış TANRIKULU

Deniz C. ÖZUĞURLU

Cenk KILIÇASLAN

Umut İNCE





MANİSA CELAL BAYAR UNIVERSITY
II. INTERNATIONAL UNIVERSITY INDUSTRY COOPERATION,
R&D AND INNOVATION CONGRESS,
14-15 NOVEMBER 2018

A COMPARATIVE STUDY: ZINC PHOSPHATE-SOAP COATING VERSUS POLYMER BASED COATING IN COLD FORWARD EXTRUSION

Suna Güneş
Barış Tanrıkulu
Deniz C. Özüğurlu
Cenk Kılıçaslan*
Umut İnce

Norm Civata San. ve Tic. A.Ş., R&D Centre, Izmir, Turkey

**Corresponding author: cenk.kilicaslan@norm-fasteners.com.tr*

ABSTRACT

Cold forging process provides to produce high quality components with complex geometries and near net shapes. However, tools in cold forging operations are exposed to high mechanical stresses and extreme tribological conditions due to high normal stresses. The tribological condition of tool and material is so effective on the tool life and surface quality of the product. One of the parameters that affects the tribological conditions in cold forging is coating of the work-piece. The zinc phosphate-soap coating is mainly used in the cold forging industry however that coating includes heavy metals and leads to generation of hazardous waste. Polymer based coatings are designed to avoid of the above-mentioned disadvantages of zinc phosphate-soap coating. In this paper, 23MnB4 forging steel was coated with zinc phosphate-soap and polymer and flow behavior were compared by conducting cold forward extrusion tests. Numerical models of extrusion tests were also prepared in simufact.forming finite element software to determine the friction coefficient between the work-piece and tool. The results showed that the tribological performance of polymer coating is very close to traditional zinc phosphate-soap coating.

Keywords: Cold forging, Lubrication, Tribology, Friction, Friction Coefficient.

INTRODUCTION

Cold forging parts provide high mechanical properties like high fatigue strength and deformation resistance. Work-piece material in cold forging operations is subjected up to nearly 3000% expansion, 2500 MPa pressure and nearly 200 °C tool temperature (may be 600 °C locally) [1]. High expansion level, pressure and the temperature lead to extreme tribological condition. High friction increases wear on tools, forming force, energy consumption and decrease the tool life and surface quality of final products [2, 3]. In general, zinc phosphate-soap/oil coating is used to reduce friction to the range changing between 0.02-0.07 in cold forging process [4]. However, zinc phosphate-soap/oil lubrication has disadvantages huge water consumption and generation of hazardous wastes including heavy metals. Also, residual zinc phosphate may diffuse into the surface of the workpiece during heat treatment process and may cause surface embrittlement [5]. Several types of coatings like polymer based, wax based and molybdenum disulphide based are developed to avoid these kinds of disadvantages. In this paper, 23MnB4 forging steel was coated with zinc phosphate-soap and polymer coatings separately, and tribological performance of these coatings were revealed by terms of friction coefficient that occurs between work-piece and tool in cold forward extrusion. The samples were cut from coated work-pieces and extrusion tests were conducted at ram speed of 5 mm/min on a Zwick Z400 Red model test machine. The finite element models of extrusion tests were prepared in simufact.forming finite element software.

CONCLUSIONS

Coils of 23MnB4 forging steel were coated with zinc phosphate-soap and polymer coatings separately. The coating procedure starts with the cleaning the surface of steel coil with water. Then the coil is moved to acid bath which cleans the surface contaminants then neutralization is conducted in the following tank. After this stage polymer and phosphate-soap coating are separated. Figure 1 shows the coating procedure of coils. Extrusion test specimens were prepared from these coils. Extrusion tests were conducted at 5 mm/min with an extrusion die having 55% area reduction. To ensure reproducibility of the results, at least 3 tests were conducted. Numerical model of the extrusion test is shown in Figure 2. The model includes elastic WC-Co (G40) die and stress ring (made of H13 tool steel) and rigid punch. The specimen is modeled as elastic-plastic material.

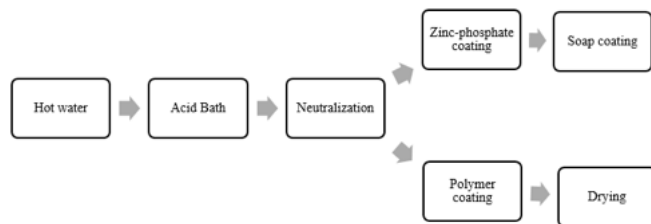


Figure 1. Coating procedure of coils of 23MnB4 forging steel.

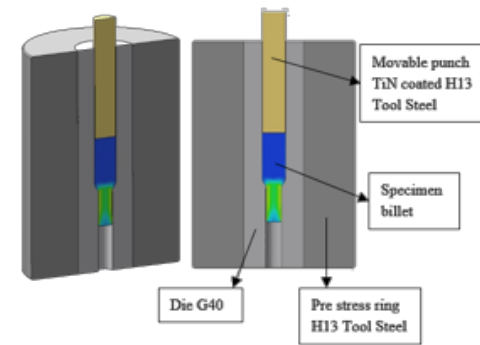


Figure 2. Simulation model of extrusion test.

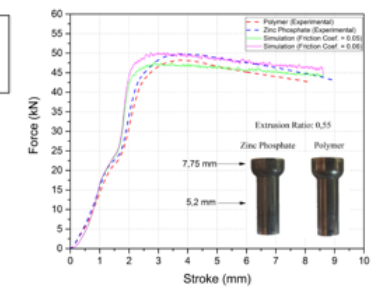
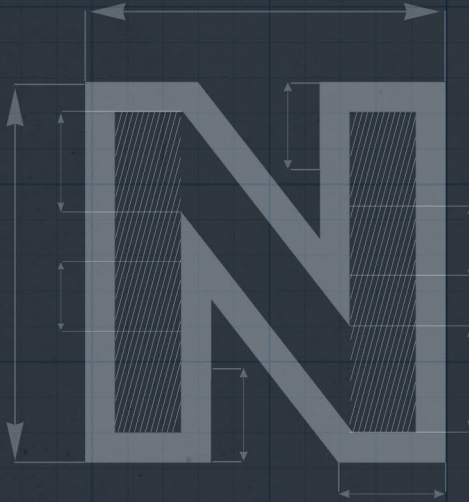
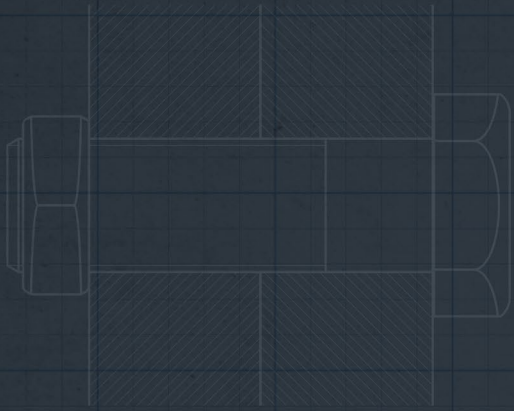


Figure 3. Experimental and numerical stroke-force curves of samples.

Coulomb friction model was defined as friction model and friction constant was determined with a parametric study for each test. Friction coefficient was varied to obtain the experimental curve in an error range of %5. The comparison of experimental/numerical curves of both zinc phosphate-soap and polymer coated work-pieces are given Figure 3. According to experimental and numerical findings, polymer-based coating offers similar lubrication performance between specimen and die. As seen in the figure, the coefficient of friction of both coatings (0.05 for polymer and 0.06 for zinc phosphate-soap) are very close to each other. The study showed that polymer-based coating can be an effective alternative to traditional zinc phosphate-soap coating in cold forging.

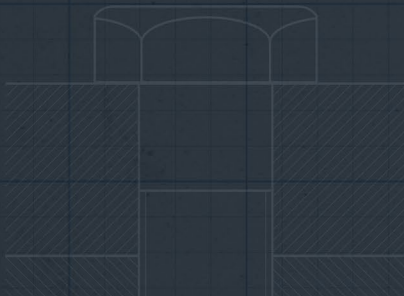
REFERENCES

- [1]** Bay, N. (1994). The state of the art in cold forging lubrication. *Journal of Materials Processing Technology*, 46, 19-40.
- [2]** Andreas, K., Merklein, M. (2014). Influence of surface integrity on the tribological performance of cold forging tools. *Procedia CIRP*, 13, 61-66.
- [3]** Hagenah, H., Merklein, M., Lorenz, R. Experimental evaluation of cold forging lubricants using double-cup-extrusion-test. *Scientific-Materials Science Forum-Trans. Tech. Publications*, 918, 65-70.
- [4]** Bay, N., Christiansen, P., Dubar, L., Groche, P., Hayakawa, L., Hu, C., Kitamura, K., Kramer, P., Moreau, P. (2018). Friction coefficient in cold forging: A global perspective. *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, 67, 261-264.
- [5]** Altan, T., Gariety, M., Ngaile, G., (2007). Evaluation of new cold forging lubricants without zinc phosphate precoat. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 47, 673-681.
- [6]** Donofrio, J. (2010). Zinc phosphating. *Metal Finishing*, 108, 40-56.
- [7]** Mahzun, A. A. B., (2017). The effect of different lubricating oil on billet in cold work extrusion process, Master of Science (Mechanical Engineering), Universiti Teknologi Malaysia.
- [8]** Komiyama, S., Osakada, K., Wang, Z. G., Yoshikawa, Y., Suzuki, T. (2015). Evaluation of lubricants without zinc phosphate in multi-stage cold forging. *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, 64, 285-288.
- [9]** Hu, C., Yin, Q., Zhao, Z. (2017). *Journal of Materials Processing Technology*, 249, 57-66.
- [10]** Groche, P., Müller, C., Rudel, L., Yalcin, D. (2014). Cold forging with lubricated tools. *Key Engineering Materials*, 611-612, 971-980.



EFFECT OF SOCKET DEPTH ON FAILURE TYPE OF FASTENERS

Barış TANRIKULU
M. Burak TOPARLI
Emrah KILINÇDEMİR
Sezgin YURTDAS
Umut İNCE





ECF22 - Loading and Environmental
Effects on Structural Integrity

EFFECT OF SOCKET DEPTH ON FAILURE TYPE OF FASTENERS

Bariş Tanrıkulu^{ab}
M. Burak Toparli^a
Emrah Kılınçdemir^a
Sezgin Yurtdaş^a
Umut İnce^a

^a*Norm Cıvata San. ve Tic. A.Ş., A.O.S.B., Izmir, Turkey*

^b*Dokuz Eylül University Mechanical Engineering Department, Izmir, Turkey*

ABSTRACT

In this study, the effect of socket depth on failure types of fasteners were investigated in detail. Socket depth plays a vital role in structural integrity of fasteners particularly in weight reduction studies. Therefore, experimental studies were carried out by cold forged bolts having various socket depths. Fatigue and torque-tension tests were conducted to examine the critical socket depths under different loading types. Finite element analysis were also performed using SIMUFACT FORMING software. According to experimental and numerical investigations, it was shown that the socket depth has significant influence on failure mechanism of fasteners. Depending on the depth of sockets, the locations of the failures were shifted from the threads to the head of fasteners. The main reason for this type of shift was associated with the higher stress levels due to decrease in cross-sectional area of fastener heads. Consequently, it was shown that the critical socket depth is very important parameter in terms of structural integrity of fasteners and it has to be taken into account in the design stage of the every fasteners.

Keywords: Fastener; socket depth; failure; weight reduction

I. INTRODUCTION

The importance of weight reduction in transportation industry has become very crucial considering the increase in crude oil prices and enforcement in CO₂ emission (95 g/km) in Europe, which will be implemented in 2020. One of the main components of automotive, fasteners have been also affected from this weight reduction efforts. Considering the structural integrity and strict standards defined for the thread region, most of the weight reduction studies are concentrating on the head region. There are various parameters investigated in the literature having effect on fatigue and failure behavior of fasteners. One of the parameters investigated in the literature is the thread pitch. According to the study of Majzoobi et al conducted to ISO fasteners having 10 and 24 mm diameters, the fatigue life of fasteners were affected from the thread pitch. It was shown that fasteners with coarse thread pitch had better fatigue life compared to fasteners with fine thread pitch. Another parameter investigated in the literature is the bolt length. M24x3 fasteners were employed with different length and it was revealed that increase in bolt length improved the fatigue resistance (Sandro Griza et). Grimsmo investigated the fracture behavior of bolts under axial loading and found that depending on the bolt length the failures were observed either at the thread region or at the head region leading to fracture. In this study, cold forging experimental studies and finite element simulations were carried out in order to determine the limit of the bolt socket depth. The critical socket depth is very important parameter since it is desired to be as deep as possible to have maximum weight reduction without any sacrifice from mechanical performance.

II. MATERIAL AND METHODS

2.1. Test sample specifications

In this study, half tread M8x1.25x50 DIN 912 fasteners were investigated in detail. The technical drawing of the fastener is introduced in Figure 1. 23MnB4, widely used steel material in cold forging, was used and the elemental composition is given in Table 1. In order to determine the critical socket depth at the head region, five different head configuration were determined and are presented in Table 2. After cold forging, all the samples were heat treated to obtain 10.9 quality.

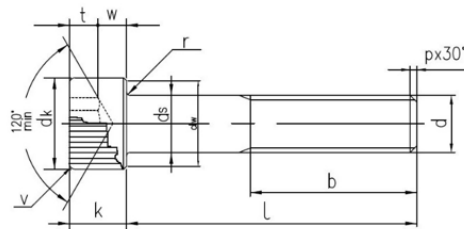


Figure 1. DIN 912 Bolt specification

Table 1

Chemical composition of 23MnB4 (EN10263-4:2003)

C%	Si%	Mn%	P%	S%	Cr%	Cu%	B%
0.20-0.25	0.30	0.90-1.20	0.025	0.025	0.30	0.25	0.0008

Table 2

Test sample specifications

Test samples	Fastener Standard	w value (mm)	k value (mm)	t value (mm)
1	M8x1.25x50 HT 10.9 DIN 912	1.90	7.8	5.85
2	M8x1.25x50 HT 10.9 DIN 912	2.05	7.8	5.75
3	M8x1.25x50 HT 10.9 DIN 912	2.25	7.8	5.55
4	M8x1.25x50 HT 10.9 DIN 912	2.35	7.8	5.45
5	M8x1.25x50 HT 10.9 DIN 912	2.65	7.8	5.15

2.2. Finite element analysis

Finite element numerical simulations were carried out by using Simufact Forming software. The simulations were conducted in three stages. First and second stages were modelled as axisymmetric and the final stages was built in 3D. All the dies were defined as rigid body, only workpieces were introduced as elastic-plastic. Hexahedral mesh type was used in all simulations. All the workpieces obtained after each stage are given in Figure 2. All the simulation stages were repeated for various socket depth. According to simulations, the critical depth was determined as w=1.90 mm, beyond which the flatness of the bottom edge was started to be out of tolerance, which is given in Figure 3. The simulation results were taken into account while determining the socket depths as given in Table 2.

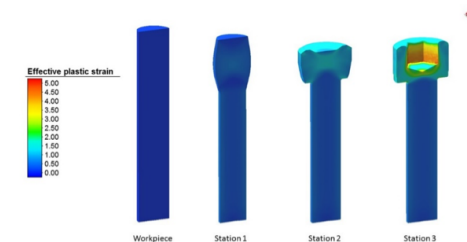


Figure 2. Cold forming simulation results (Effective plastic strain)

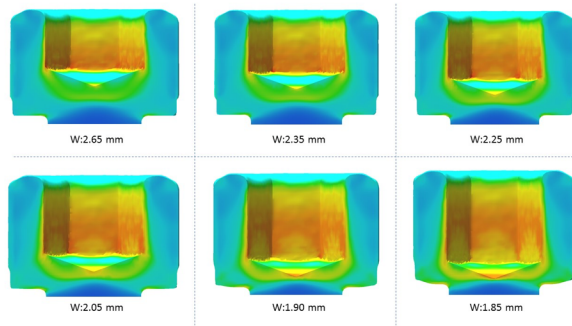


Figure 3. Cold forming simulation results with various socket depth (Effective Plastic Strain)

2.3. Experimental procedure and setups

Torque-tension and fatigue experiments were conducted for all the sample types. Axial fatigue tests were carried out by mounting fasteners on the test device with a locking length of 30 mm. The schematic representation of the test system is shown in Figure 4(b). The load applied during the tests were obtained with reference to the proof load value of the bolt M8 10.9 according to DIN 898-8. Accordingly, mean load values were taken as 70% of the fasteners proof loads and fasteners were subjected to an alternating stresses, corresponding to 10%, 15% and 20% of the proof load values which were 21,1 kN (proof load), 4 kN, 6 kN and 8 kN (alternating loads) respectively. Each set of experimental procedure was repeated five times. In the Torque-tension tests, instantaneous detection of the change in the clamp load occurring on the fasteners during the torquing operations were detected. The schematic representation of the torque-locking load test is given in Figure 4(a). During the experimental tests, 25 ± 2 Nm torque value was applied on the fasteners and the clamping force-torque graph was obtained as the result of the tightening operation. Three experiments were carried out for each socket depth value.

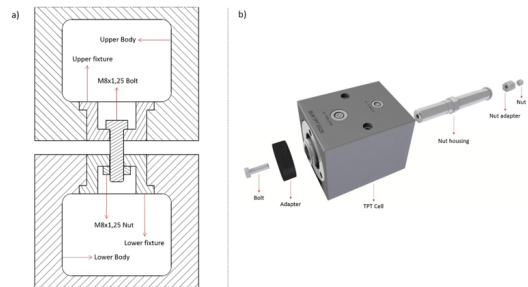


Figure 4. (a) Fatigue test setup; (b) Torque-Tension test setup

III. RESULTS AND DISCUSSION

The fatigue test results including number cycles were shown in Table 3 and the force amplitude-cycle curves for each sample are shown in Figure 5. As a result of the fatigue tests, no fracture was observed in the head region, where the material was removed for the sake of weight reduction. The main reason for this type of fracture behavior is that the tooth region is weaker in strength compared to the head region. The fatigue results indicated that the depth of the socket regions were not too deep to cause failures from the head region. Therefore, fasteners with all these socket depths can be used for weight reduction.

Table 1

Chemical composition of 23MnB4 (EN10263-4:2003)

Test samples	Mean Load (kN)	Alternating Load (kN)	Test 1 (Cycle)	Test 2 (Cycle)	Test 3 (Cycle)	Test 4 (Cycle)	Test 5 (Cycle)
1 (w:1.95)	21.1 kN	8	12760	13582	12471	15196	14741
2 (w:2.05)	21.1 kN	8	15141	14402	11092	13597	14981
3 (w:2.25)	21.1 kN	8	9667	13324	11462	12661	9365
4 (w:2.35)	21.1 kN	8	9877	9929	12421	9219	13483
5 (w:2.65)	21.1 kN	8	12326	12550	10762	13896	9145
1 (w:1.95)	21.1 kN	6	24035	33835	24324	24409	27621
2 (w:2.05)	21.1 kN	6	25571	29457	29907	27841	29547
3 (w:2.25)	21.1 kN	6	34196	33252	36923	32478	35689
4 (w:2.35)	21.1 kN	6	30925	32407	26632	22178	25041
5 (w:2.65)	21.1 kN	6	20266	26119	44138	35671	29345
1 (w:1.95)	21.1 kN	4	145632	127985	131274	98385	112631
2 (w:2.05)	21.1 kN	4	115019	90819	143778	97491	107562
3 (w:2.25)	21.1 kN	4	164811	128294	139943	157635	133875
4 (w:2.35)	21.1 kN	4	134020	113656	104244	130005	127953
5 (w:2.65)	21.1 kN	4	135673	212006	157548	175215	139814

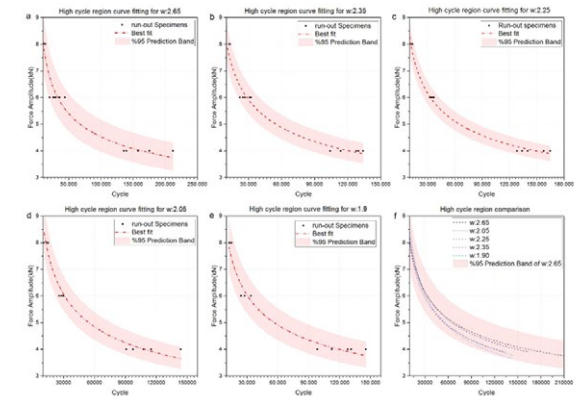


Figure 5. Torque versus clamp load curves.

As a result of the torque tension tests, all bolts were broken from the thread region and no fracture was observed in the head region. The thread region of the bolt still plays a critical role in fracture, although increasing the socket depth in the head region has reduced the strength of the head. The Torque-clamp loads obtained as a result of the tests are given in Figure 6 for each socket depth.

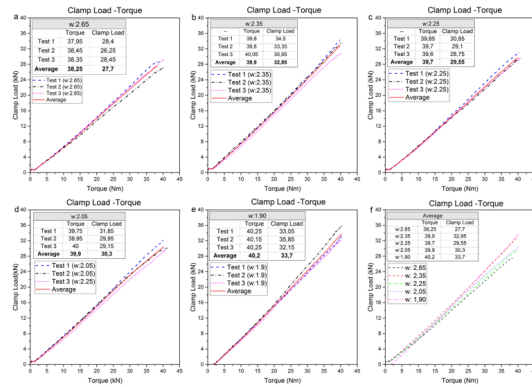


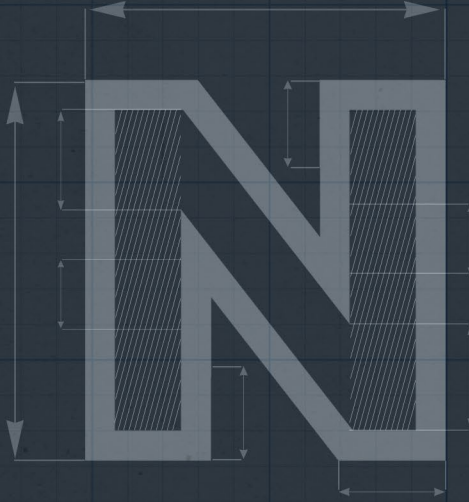
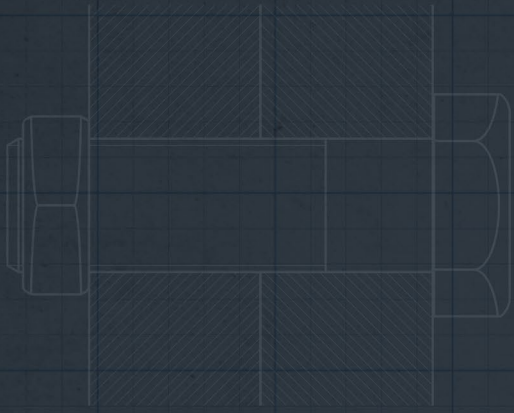
Figure 6. Torque-Clamp Load test results

IV. CONCLUSION

In this study, effect of socket depth at the head region of M8x1,25 10.9 DIN 912 fasteners was investigated for the sake of weight reduction. Finite element simulations as well as fatigue and torque-tension experiments were obtained. According to experimental tests, fasteners with socket depths determined according to simulations verified to meet the dimensional tolerances were failed from the thread region. Therefore, experimental results suggest that all the socket depths investigated in this study can be used in real applications for weight reduction. Further investigations will be carried out for different metric fasteners and qualities.

REFERENCES

- [1] Grismo, E. L., Aalberg, A., Langseth, M., Clausen, A.H., 2016. Failure modes of bolt and nut assemblies under tensile loading. *Journal of Constructional Steel Research*, 126, 15-25.
- [2] Griza, S., Silva, M.E.G.G., Santos, S.V.D., Pizzio, E., Strohaecker, T.R., 2013. The effect of bolt length in the fatigue strength of M24x3 bolt studs. *Engineering Failure Analysis*, 34, 397-406.
- [3] Majzoobi, G.H., Farrahi, G.H., Habibi, N., 2005. Experimental evaluation of the effect of thread pitch on fatigue life of bolts. *International Journal of Fatigue* 27,189-196.



OTOMOTİV SANAYİNDE KULLANILAN BAĞLANTI ELEMANLARINDA AĞIRLIK AZALTMA

WEIGHT REDUCTION OF
FASTENERS IN AUTOMOTIVE INDUSTRY

M. Burak TOPARLI

N. Emrah KILINÇDEMİR

Sezgin YURTDAS

Barış TANRIKULU

Umut İNCE





OTOMOTİV SANAYİNDE KULLANILAN BAĞLANTI ELEMANLARINDA AĞIRLIK AZALTMA

WEIGHT REDUCTION OF FASTENERS IN AUTOMOTIVE INDUSTRY

M. Burak Toparli^{1,2}
N. Emrah Kılıncdemir¹
Sezgin Yurtdaş¹
Bariş Tanrıkulu¹
Umut İnce¹

¹ NORM Cıvata San. ve Tic. A.Ş., A.O.S.B., İzmir, Turkey

² Sorumlu Yazar: M. Burak Toparli, NORM Cıvata, burak.toparli@norm-fastener.com.tr

ÖZET

Bu çalışma kapsamında otomotiv sanayinde kullanılan bağlantı elemanları için ağırlık azaltma yöntemleri ele alınmıştır. Bu kapsamda soğuk dövme yöntemiyle elde edilen metalik bağlantı elemanları ve bu ürünlerdeki hafifletme çalışmalarına yer verilmiş ve NORM Holding bünyesinde ortaya konulan çözümlerden örnekler sunulmuştur. Gerçekleştirilen çalışmalar, malzeme değişimi, tasarım güncellemesi ve özel bağlantı elemanı kullanımı gibi farklı yaklaşımlar olmak üzere üç ana başlık altında incelenmiştir. Verilen örneklerle de desteklendiği üzere farklı stratejiler uygulanarak bağlantı elemanlarında ağırlık azaltmanın mümkün olduğu bu çalışma kapsamında ortaya konmuştur. Özellikle 2020 yılından itibaren Avrupa'da geçerli olacak CO₂ misyon sınırlaması, ham petrol fiyatlarındaki artış ile müşterilerin yakıt ekonomisi yüksek olan araçlara eğilimi ve elektrikli araçlarda yaşanan menzil dar boğazı gibi otomotiv sanayini çok yakından ilgilendiren konular nedeniyle ağırlık azaltma çalışmaları son yıllarda ciddi önem kazanmıştır. Bu kapsamda otomotiv sanayinden kullanılan bağlantı elemanları için hafifletmeye yönelik çalışmaların önümüzdeki dönemde daha da önem kazanacağı öngörülmektedir.

Anahtar: Bağlantı elemanları, ağırlık azaltma, CO₂ emisyonu

ABSTRACT

In this study, the weight reduction methods employed for automotive industry were investigated. Within this scope, metallic fasteners obtained by cold forging method and weight reduction methods for these products are introduced and the applications from NORM Holding are presented. The examined weight reduction methods can be categorized under three main headings: change in materials, design update and special fastener solutions in the assembly strategy. As supported with the examples, it was shown that weight reduction in fasteners is possible owing to applied different strategies. Weight reduction efforts related to the automotive industry have gained importance in the recent years, particularly due to the CO₂ emission limitation that will be valid from 2020 in Europe, the increase in crude oil prices and the tendency of customers to vehicles with high fuel economy and the limited range of electric vehicles. Therefore, it is envisaged that efforts towards weight reduction for the fasteners used in the automotive industry will gain more importance.

Keywords: Fasteners, weight reduction, CO₂ emission

I. GİRİŞ

Bağlantı elemanları otomotiv sanayinde en yaygın kullanılan emniyet parçalarındandır. Uygulama alanına göre standartlarda belirlenmiş civata ve somun kullanılması yanında bijon, rotil ve burç gibi çok değişken geometriye sahip ürünler de bağlantı elemanı sınıfında değerlendirilmektedir. Bir binek araçta yaklaşık 3500 ile 7000 arasında bağlantı elemanı kullanıldığı bilinmektedir. Bu kadar yoğun kullanılan bileşenler için yapılabilecek her türlü iyileştirme araç bazında kayda değer etkiye yol açabilmektedir. Özellikle Avrupa genelinde 2020 yılından itibaren uygulanacak 95 gram CO₂/km'lik emisyon sınırlaması [1], ağırlık azaltma başta olmak üzere emisyonu etki edecek tüm alanlardaki mevcut çalışmalara öncelik verilmesine neden olmuştur. Bunun yanında ham petrol fiyatlarındaki yerel ve global artış, müşteri eğilimlerini ciddi oranda etkileyerek otomotiv üreticilerini daha hafif ve dolayısıyla yakıt tüketimi açısından daha ekonomik araç üretimine yönlendirmiştir [2]. Ayrıca, elektrikli araçlardaki mevcut menzil uzatma çalışmaları kapsamında pil teknolojisinde yapılan çalışmaların yanında daha hafif araçlar sayesinde daha uzun menzil elde edilmesi de ağırlık azaltma çalışmalarının hızlanmasını sağlamaktadır. Bu bağlamda, özellikle otomotiv ve havacılık sanayinde kullanılan bağlantı elemanlarında ağırlık azaltma çalışmaları son yıllarda global anlamda hız kazanmıştır.

Mevcut bağlantı elemanı çözümleri düşünüldüğünde, ağırlık azaltma temelde üç yöntemle yapılabilmektedir. Üründe kullanılan malzemenin tamamen veya kısmen yoğunluğu daha düşük bir malzeme ile değiştirilerek hafifletilmesi bu yöntemlerden bir tanesidir. Ancak bu durumda üretim maliyeti ve farklı malzeme kullanımından dolayı ortaya çıkabilecek galvanik korozyon riski ve arayüz varsa yapışma/tutunma gibi problemler değerlendirilmesi gereken konuların başında gelmektedir. Otomotiv ana sanayi firmalarının beklentileri doğrultusunda ele alınan bir diğer ağırlık azaltma yöntemi de bağlantı elemanı geometrisinde hafifletme temalı revizyonlar yapılmasıdır. Bu durumda hafifletilmiş bağlantı elemanının montaj koşullarında kendisinden beklenen yapısal bütünlüğün yanı sıra, mekanik ve fiziksel performans ölçütlerini sağlaması çok önemlidir. Ayrıca, tekil ürün bazında hafifletmenin yanı sıra montaj yöntemini değiştirerek hafifleme elde etmek de mümkündür. Farklı montaj çözümlerinin tercih edilmesiyle kullanılan parça âdetinde elde edilecek sayısal kazanımlar ve/veya ağırlık azalması nihai ağırlık olarak ciddi hafifleme sağlayabilecek niteliktedir.

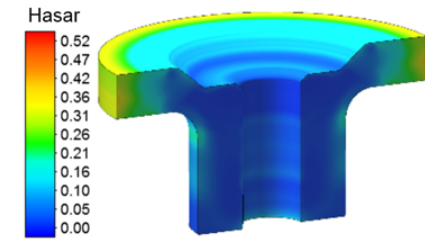
Bu yayında bağlantı elemanı çözümleri konusunda NORM Holding şirketlerinde yapılmakta olan ağırlık azaltma çalışmaları incelenmiştir. Üründe yapılabilecek malzeme değişimi, tasarımsal revizyonlar ve montaj çözümleri uygulamalarına yer verilmiştir.

II. BAĞLANTI ELEMANLARINDA AĞIRLIK AZALTMA ÇÖZÜMLERİ

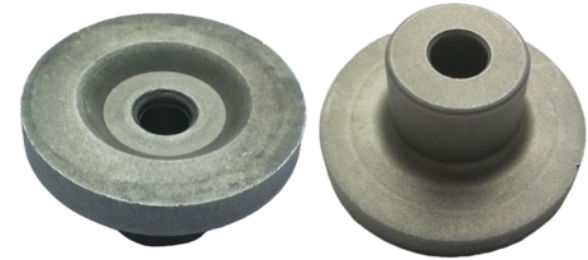
2.1. Malzeme Değişimi

Bağlantı elemanlarında kullanılan malzemenin tamamen veya kısmen değiştirilerek ağırlık azaltılması temel yöntemlerden bir tanesidir. Otomotiv sektöründe kullanılan bağlantı elemanları

büyük oranda değişik türde çelik malzemelerden üretilmektedir. Özellikle soğuk dövme yöntemiyle elde edilen bağlantı elemanları için istenen mekanik özellikler ve geometri göz önüne alındığında genelde borlu veya kromlu çelikler kullanılmaktadır. Hafifletme çalışmaları kapsamında çelik yerine kullanılması değerlendirilen malzemelerin başında alüminyum ve alaşımları gelmektedir [3]. Yoğunluk açısından alüminyumun çeliğe kıyasla yaklaşık 3 kat daha hafif olması sebebi ile tercih edilen malzemelerin başında gelmektedir. Ancak çeliklere göre daha düşük gerilim seviyelerinde plastik deformasyona maruz kalması, alüminyum alaşımlarının kullanım alanlarını sınırlamaktadır. Bu nedenle nispeten daha az yüke maruz bağlantı elemanlarında alüminyum alaşımları tercih edilebilmektedir. Otomotiv sanayinde yer alan bağlantı elemanlarının kullanım alanları incelenmiş ve Alüminyum bağlantı elemanı kullanılabilecek noktalar tespit edilmiştir. Bu bağlamda ilgili ürünlerin soğuk şekillendirme ile üretilebilirlikleri incelenmiş ve örnek bir burç ürünü için gerekli tasarım, simülasyon ve üretim faaliyetleri NORM Holding bünyesinde gerçekleştirilmiştir. Alüminyum malzeme ile üretim kapsamında sayısal simülasyon çalışmaları için gerekli malzeme akış eğrileri deneysel olarak tespit edilmiştir. Bu veriler kullanılarak simülasyon çalışmaları yapılmış ve elde edilen sonuçlara göre istasyon ve kalıp tasarımları belirlenmiştir. Simülasyon çalışmalarında özellikle Cockroft-Latham hasar oluşum değeri incelenmiş, nihai ürün formunda çatlak olup olmayacağı değerlendirilmiştir (Şekil 1). Kullanılan alüminyum alaşımın çeliğe göre farklı dövme karakteristiği olduğu hem simülasyon hem de üretim çalışmalarında tecrübe edilmiştir. Bu sebeple farklı kalıp kaplamaları ve soğutma sıvıları kullanılmıştır. Yapılan numerik ve deneysel çalışmalar sonucunda alüminyum alaşımdan soğuk dövme yöntemiyle burç elde edilebileceği ortaya konmuştur (Şekil 2).



Şekil 1 Simülasyon çalışmaları sonucu nihai ürün formunda Cockroft-Latham hasar oluşumu.

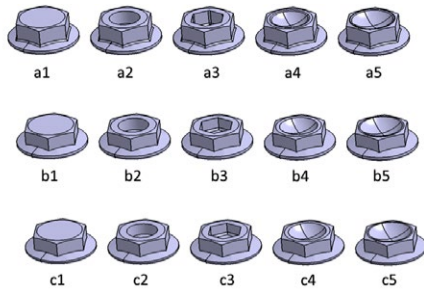


Şekil 2 Al6082-H13'den elde edilen alüminyum burç.

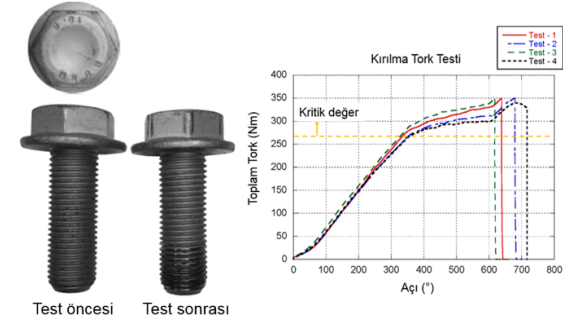
Alüminyum alaşımlarına ilave olarak titanyum ve magnezyum alaşımları ile kompozit malzemeler de bağlantı elemanlarında kullanılabilen alternatifler arasında yer almaktadır. Titanyumun yoğunluğu çeliğe oranla yaklaşık %58 civarındadır. Titanyum alaşımları ile soğuk dövmede kullanılan çelikler karşılaştırıldığında benzer akma değerlerine sahip oldukları görülmekle beraber kafes yapılarındaki farklılıktan dolayı yük altında daha az sünek davranış göstermektedir. Ayrıca, titanyum alaşımlarının maliyeti daha fazla olduğu için genelde havacılık ile savunma sanayinde kullanılmaktadır. Kompozit malzemeler de yine havacılık sanayinde kullanılan bağlantı elemanlarında tercih edilen malzemeler arasındadır. Ancak, özellikle yüksek yük altında yorulmaya maruz kalınan bağlantı elemanlarında kompozit daha düşük performans gösterebilmektedir.

2.2. Geometri Değişimi

Bağlantı elemanlarında hafifletme yöntemlerinin bir tanesi de kullanım alanında herhangi bir performans problemine sebebiyet vermeksiz ürün tasarımlarında revizyonlar yapılmasıdır. Bu kapsamda NORM Holding olarak otomotiv sanayinde kullanılan standart flanşlı cıvatalar ele alınmış ve ağırlık azaltma çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Şekil 3'te ilgili ürün için soğuk dövme prensipleri göz önünde bulundurulmaksızın oluşturulan alternatif tasarımlara yer verilmiştir. Bu kapsamda 15 farklı tasarım üretilebilirlik, kalıp ömürleri ve verimlilik gibi kriterler göz önünde bulundurularak değerlendirilmiş ve C4 (Şekil 3) geometrisi nihai tasarım olarak tespit edilmiştir. Simülasyon çalışmaları sonucu belirlenen kalıplara göre deneme üretimleri yapılmıştır. Yapılan prototip üretimlerde herhangi bir problem ile karşılaşılmamıştır. Üretim sonucunda elde edilen numunelerde mekanik özelliklerin tespitine yönelik testler gerçekleştirilmiştir. Yapılan mekanik testler ISO 898-1 ve ISO 898-7 şartnamelerine göre yapılmış ve standartlarda kalite sınıflarına göre istenilen değerlerin sağlandığı tespit edilmiştir (Şekil 4). Yapılan testler sonucunda ilgili cıvatanın kafa formunda herhangi bir deformasyona rastlanmamıştır. Bu ürün için standartlarda belirtilmiş olan 270 Nm minimum kırılma tork değerinin sağlandığı hatta 350 Nm mertebelerinde cıvatanın shaft kısmından kopduğu gözlemlenmiştir. Çalışma ile nominal ölçülere göre yaklaşık 45,7 gram gelmekte olan M14 şapkalı cıvatanın kafa ağırlığında yapılan tasarım değişikliği ile ortalama 35,4 grama düşürülmüş ve sonuç olarak %23'lük bir ağırlık azaltma sağlanmıştır.



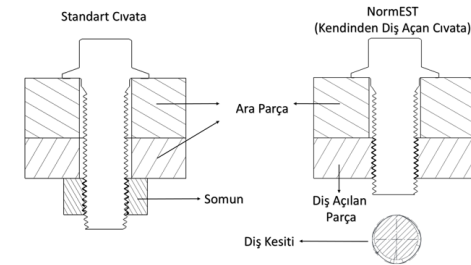
Şekil 3 M14 şapkalı cıvata hafifletme çalışmaları kapsamında değerlendirilen alternatifler.



Şekil 4 Ağırlığı azaltılmış Flanşlı cıvata (a) tork testi öncesi (b) tork testi sonrası.

2.3. Özel Bağlantı Elemanlarının Kullanımı

Bağlantı elemanları çok geniş kullanım alanına sahip bir makine elemanıdır. Herhangi bir montaj noktası için bir çok farklı çözüm ile paketleme gerçekleştirilebilir. Konvansiyonel bağlantılar genel olarak ele alındığında cıvata-somun veya cıvata-dişi parça olmak üzere ikiye ayrılabilir. Gelişen ve değişen beklentiler, artan rekabet koşulları ışığında bağlantı elemanları çok farklı noktalarda, farklı amaçlar göz önünde bulundurularak kullanılabilir. Bu özel bağlantı elemanlarına örnek olarak pres yardımı ile montajı yapılan cıvatalar ve somunlar ile kendinden dış açan cıvatalar verilebilir. Standart bağlantı elemanlarının kullanım alanları doğru olarak analiz edildikten sonra bu tip özel ürünler kullanılarak paketlenen sistemde ağırlık kazançları sağlanabilmektedir. Bu kapsamda belirlenmiş uygun montaj noktalarında kendinden dış açan cıvatalar kullanılarak somun ihtiyacı ortadan kaldırılabilir ve shaft boyu daha kısa bir ürün ile montaj tamamlanabilir. Şekil 5'te konvansiyonel olarak montajı tamamlanmış bağlantı ile NORM Holding patentli ürünü olan NormEST (kendinden dış açan cıvata) ile montajlanmış bağlantı karşılaştırılmıştır. Bu yöntem ile paketleme için kullanılacak bağlantı elemanı sayısında, boyunda ve ağırlığında büyük kazançlar sağlanabilmektedir.



Şekil 5 Konvansiyonel bağlantı (solda) ve kendinden dış açan cıvata (sağda) ile montajı tamamlanmış bağlantı.

III. DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

Bu çalışma kapsamında, bağlantı elemanlarında uygulanabilecek hafifletme yöntemleri ele alınmıştır. Ağırlık azaltma çalışmaları üç ana başlık altında incelenmiş ve NORM Holding bünyesinde yapılan çalışmalardan örnekler yer verilmiştir. Bu örnekler neticesinde, malzeme değişimi, geometrik iyileştirme ve özel bağlantı elemanı kullanımı ile ağırlıkta hafifleme sağlanabileceği gösterilmiştir.

Bağlantı elemanında malzeme değiştirilerek ağırlık azaltma elde edilebileceği burç üretimi ile kanıtlanmıştır. Konvansiyonel çelikler dışındaki malzemelerden bağlantı elemanı tercih edilmesi durumunda montaj koşulları iyi değerlendirilmelidir. Farklı malzemeler arasındaki elektro-kimyasal potansiyel farkından dolayı galvanik korozyon olma ihtimali bulunmaktadır. Tasarımcıların, montaj koşullarında farklı malzeme kullanırken bu gibi etkenleri göz önünde bulundurmaları gerekmektedir. Bağlantı elemanı ve montaj noktası tasarımında güncelleme yapılırken dikkat edilmesi gereken kritik noktalardan birisi de herhangi bir performans kaybının yaşanmamasıdır. Özellikle yorulma ve tork testleri ile yapılan tasarım değişikliği incelenmeli erken çevrimde kırılma veya çözülmenin olmayacağı tespit edilmelidir. Sonuç olarak, Avrupa çapında uygulamaya girecek CO₂ emisyon sınırlaması, ham petrol fiyatındaki artış ve elektrikli araçlarda menzil problemi gibi konulardan dolayı hızla önem kazanan ağırlık azaltma çalışmalarının bağlantı elemanı özelinde artarak devam edeceği öngörülmektedir.

IV. REFERANSLAR

- [1] EU Parliament and Council (2009), “Regulation (EC) No 443/2009: Setting Emission Performance Standards for New Passenger Cars as Part of the Community’s Integrated Approach to Reduce CO₂ Emissions from Light-Duty Vehicles”.
- [2] Schipper L. (2014) “Automobile use, fuel economy and CO₂ emissions in industrialized countries: Encouraging trends through 2008?”, Transport Policy, 18, 2, pp. 358-372.
- [3] Hirsch, J. (2014) “Recent development in aluminium for automotive applications”, Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 24, 7 pp. 1995-2002.

OTOMOTIV SEKTÖRÜNE YÖNELİK ALÜMİNYUM CİVATA ÜRETİMİ ALUMINUM BOLT FORGING FOR AUTOMOTIVE INDUSTRY

Cenk KILIÇASLAN
Buğra KARAHAN
Sezgin YURTDAS
Umut İNCE





OTOMOTİV SEKTÖRÜNE YÖNELİK ALÜMİNYUM CIVATA ÜRETİMİ

ALUMINUM BOLT FORGING FOR AUTOMOTIVE INDUSTRY

Cenk Kılıçaslan*
Buğra Karahan
Sezgin Yurtdaş
Umut İnce

Norm Cıvata San. ve Tic. A.Ş., ArGe Merkezi, İzmir, Türkiye

** İletişim Yazarı: Cenk Kılıçaslan, cenk.kilicaslan@norm-fasteners.com.tr*

ÖZET

Hibrit ve elektrikli araçların popüler olması ile birlikte otomotiv sektöründe önemi hızla artan mühendislik konularından biri araçların hafifletilmesidir. Buna paralel olarak otomotiv yan sanayi firmaları ürettikleri her ürün grubunda hafifletme çalışmalarına önem vermeye başlamıştır. Bu makalede çalışma yükleri düşük olan bölgelerde kullanılmak üzere alüminyum cıvata üretimi irdelenmiştir. Prototip ürün olarak M10 x 25 E14 DIN34801 tipi cıvata seçilmiştir. Cıvata üretimi Al6082 alaşımı kullanılarak soğuk dövme yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Üretim aşamasından önce proses sonlu elemanlar yöntemi ile modellenerek dövme yükleri, dövme sırasında oluşması muhtemel olan alüminyumun kalıplara yapışma durumu ve çatlak oluşum riski incelenmiştir. Simülasyonlar simufact.forming sonlu elemanlar programı kullanılarak oluşturulmuştur. Soğuk dövme öncesinde yapılan ekstrüzyon testleri ve simülasyonları ile WC-Co kalıp malzemesi ile alüminyum alaşımı arasındaki sürtünme katsayısı tespiti yapılmış ve yapışma hadisesi hidrostatik gerilme dağılımının belirlenmesi ile incelenmiştir. Simülasyonlardan elde edilen şekillenme, üretim denemeleri ile karşılaştırılmıştır. Üretim denemesi sonunda simülasyonlarda da tahmin edildiği üzere çatlak oluşumu ve yapışma hadisesi gözlenmemiştir. Seri üretime geçilmesi ile 10.000 adet alüminyum cıvata başarı ile üretilmiştir.

Anahtar Kelime: Alüminyum, cıvata, simülasyon, hafifletme, soğuk dövme.

ABSTRACT

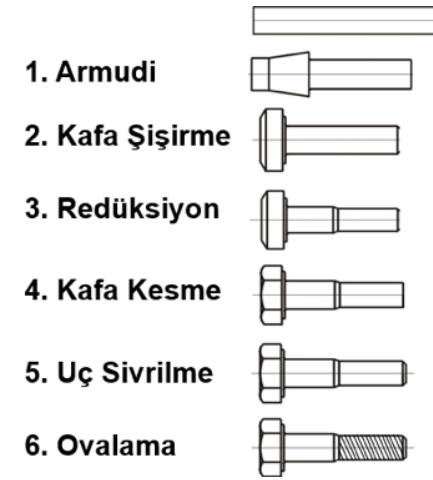
Light-weighting efforts in automotive industry became extremely important with the increasing popularity of hybrid and electric vehicles. This leads to increase the number of light-weighting studies in all components used in vehicle production not for just OEMs but also sub-suppliers. In this paper, aluminum bolt manufacturing was examined experimentally and numerically for producing aluminum alloy bolts to use them in joints where working forces are not high. M10 x 25 E14 DIN34801 bolts were selected for the investigation. Finite element simulations were conducted to predict forging forces, sticking of aluminum alloy to cold forging dies and crack evolution before manufacturing stage. All simulations were prepared in simufact.forming finite element software. In laboratory experiments, extrusion tests were conducted with aluminum alloy workpieces and WC-Co dies to determine friction coefficient and sticking phenomenon in terms of distribution of hydrostatic stress. Forming of the alloy in each forging stage was compared to results of forging trials. Bolt production was completed without experiencing any crack evolution and sticking as predicted in simulations. In serial production, 10,000 number of aluminum bolts were successfully forged.

Keywords: Aluminum, bolt, simulation, light-weighting, cold forging.

I. GİRİŞ

CO₂ emisyon miktarındaki yasal limitlerin her geçen yıl düşürülmesi ve hibrit/elektrikli araçlara olan talebin artması ile araçların hafifletilmesi zaruri hale gelmiştir. Bunlara ek olarak artan rekabet koşullarında daha düşük yakıt tüketimi sağlama amacı da hafifletme çalışmalarının nedenlerinden biridir. Hafifletme ile yukarıda bahsedilen durumlarda iyileşme sağlanırken sürüş konforu ve güvenliğinde artış sağlanmaktadır. Otomobil üreticileri hafifletme çalışmaları kapsamında ortaklaştırma, kompozit malzeme kullanımı, değişken kalınlıkta sac kullanımı v.b. gibi yöntemleri kullanmaktadırlar. Ayrıca OEM'ler otomotiv yan sanayi firmalarına üretmiş olduğu bileşenlerde ağırlık azaltılması için yoğun baskı uygulamaktadır. Bağlantı elemanları da ağırlık azaltılması konusunda önem arz etmektedir. Uygun ölçülerde ve özel bağlantı elemanlarının standart ürünler yerine kullanılması ile binek araçlarda 0,9-1,0 kg arasında hafifletme sağlanabilmektedir. Çelik bağlantı elemanları için ağırlığı azaltılmış özel tasarımlar bulunmaktadır. Ancak bazı bağlantılardaki çalışma yükleri düşük olmasına rağmen bu kısımlarda çelik bağlantı elemanları kullanılmaktadır. Düşük yüke maruz kalan bağlantılarda alüminyum alaşımı bağlantı elemanlarının kullanımı önem arz etmektedir. Alüminyum bağlantı elemanları, hafif olması, yüksek elektrik iletkenliği ve galvanik korozyona olan dayanımından dolayı çelik bağlantı elemanları yerine tercih edilebilmektedir. Özellikle soğuk dövme sonrasında alüminyum alaşıma uygulanan çökeltme sertleşmesi işlemi ile mekanik değerler oldukça arttırılabilir.

Bağlantı elemanı üretiminde kullanılan yöntemlerden biri soğuk dövme prosesidir. Soğuk dövme işlemi yatay preslerde oda sıcaklığında bulunan hammaddenin kalıplar arasında deforme edilmesiyle gerçekleştirilmektedir. Sıcak dövmeye kıyasla soğuk dövme operasyonlarında final parçanın elde edilmesi için hammaddenin kademe kademe şekillendirilmesi gerekmektedir. Kademelerin her biri istasyon (ST) olarak adlandırılmaktadır. Standart bağlantı elemanlarının üretimi malzemenin 3, 4, 5 ve 6 istasyonda şekillendirilmesi ile gerçekleştirilmektedir. Standart altı köşe civatanın istasyon adımları Şekil 1'de gösterilmektedir. Dövme işlemi, hammaddenin pres içerisinde koparılması ile başlamaktadır. Kesilen parça taşıyıcı parmaklar ile 1. istasyona verilmektedir. Birinci istasyonda civata kafası armudi şekil ile hazırlanmakta, ST2'de kafa şişirme ile kafa kesmeden önceki son haline getirilmektedir. Üçüncü istasyonda şaftta bulunan redüksiyon yapılmakta ve 4. istasyonda kafa kesme işlemi ile altı köşe oluşturulmaktadır. Dövme presi dışında özel kalıplar ile uç sivrilme işlemi gerçekleştirilmekte ve son olarak civata dişleri ovalama işlemi ile açılmaktadır. Bazı bağlantı elemanlarında ise dövme işlemi ekstrüzyon işlemi ile başlamakta, kafa şişirme ve redüksiyon işlemleri ile devam etmektedir.



Şekil 1 Standart altı köşe civatanın soğuk dövme istasyon adımları.

Çeliklerin soğuk dövme prosesi üzerine oldukça fazla çalışma olmasına rağmen alüminyumun soğuk dövülmesi halen incelenmekte olan karmaşık bir işlemdir. Alüminyum oda sıcaklığında yüksek sünekliğe sahiptir ve süneklik dövme sırasında ortaya çıkan sıcaklık ile artmaktadır. Bu durum dövme sırasında malzemenin kalıplara yapışma eğilimini arttırmaktadır. Özellikle ekstrüzyon gibi yüksek basınç altında gerçekleştirilen işlemlerde malzemenin yapışma eğilimi yükselmektedir. Alüminyum alaşımlarının soğuk dövülmesi ile ilgili detaylı bilgiye Bay (1997) 'ın yapmış olduğu çalışmadan ulaşılabilir. Burada bahsedildiği şekilde 1000, 2000, 3000, 5000, 6000 ve 7000 serisi alüminyum alaşımları soğuk dövmeye uygundur (Bay, 1997). Alüminyumun soğuk dövülmesi üzerine yapılan çalışmalar 1960'larda başlamıştır. Austin ve diğerleri (Austin continued, 1967) alüminyum ve bakır alaşımlarında yaptıkları çalışmalarda dövme hızının ileri ve geri soğuk ekstrüzyon işlemine olan etkisini belirlemişlerdir. Düşük ekstrüzyon oranlarında deformasyona giden enerjinin miktarında önemli bir değişim olmazken yüksek ekstrüzyon oranlarında artan dövme hızı ile deformasyona giden enerjinin arttığı görülmüştür. Ayrıca ekstrüzyona tabi tutulmuş alüminyum parçalarda yapılan sertlik ölçümlerinde 38 m/s dövme hızından büyük hızlarda sertliğin düştüğü görülmüştür. Bu durum yüksek deformasyon hızı ile ortaya çıkan ısı yumuşamaya bağlanmıştır. Wagener ve Wolf (Wagener and Wolf, 1994) ileri bar ekstrüzyon, ileri tüp ekstrüzyon ve bardak akıtma işlemlerinde sürtünme katsayısının değişimini incelemişlerdir. Elde edilen sonuçlara göre ekstrüzyon sonundaki kalıp boyunun artması ile sürtünmenin arttığı ve ekstrüzyon kuvvetinin yükseldiği belirlenmiştir. Ayrıca yükselen normal gerilme ile sürtünme katsayısının azaldığı görülmüştür. Gouveia ve diğerleri (Gouveia continued, 1999) ileri soğuk ekstrüzyon işlemi için lagranj ve kombine euler-lagranj metodlarını kullanarak sonlu elemanlar simülasyonları oluşturmuşlardır. Simülasyonlardan elde edilen kuvvet-ilerleme eğrileri deneyler ile karşılaştırılmıştır. Deneylerde kullanılan malzeme tavllanmış çeliktir ve ekstrüzyon oranları %30'dan %60'a kadar değişmektedir. Çalışma sonunda her iki yönteminde deneysel

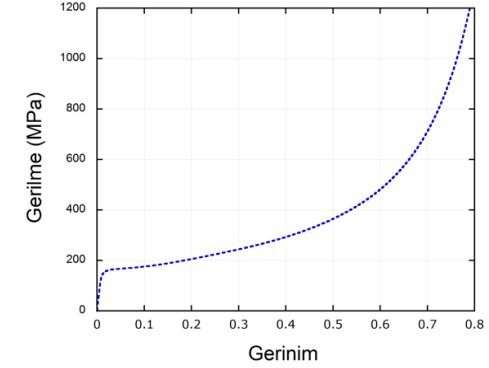
kuvvetleri %13-%15 arasında sapma ile tahmin ettiği belirlenmiştir. Kombine euler-lagranj metodunda kuvvet değerlerindeki osilasyonun daha az olduğu ve toplam hesaplama süresinin %80 daha az olduğu görülmüştür. Tan ve diğerleri (Tan continued, 2003) AA6082 alüminyum, W.No. 1.0303 orta karbonlu çelik ve W.No. 1.4301 paslanmaz çeliklerin ileri soğuk ekstrüzyon işlemlerini gerçekleştirerek elde edilen sonuçların Coulomb sürtünme modeli ile uygunluğunu incelemiştir. Yaptıkları deneylerden elde ettikleri kuvvet-ilerleme eğrilerini incelediklerinde prosesin 4 ana aşamadan oluştuğunu tespit etmişlerdir; i) elastik deformasyon, ii) kalıp içerisinde malzeme tarafından doldurulması, iii) plastik deformasyon (ekstrüzyon kuvvetinin maksimum değere ulaşması) ve iv) homojen olmayan deformasyon. Yapılan hesaplamalar Coulomb sürtünme modelinin işleme ait sürtünme hadisesini gerçeğe oldukça yakın olarak modelleyebildiği sonucuna ulaşılmıştır. Azad ve diğerleri (Azad continued, 2005) yapmış oldukları çalışmada Al 5154 alaşımının ekstrüzyon işleminde kullanılan konik ve kavisli kalıp geometrilerinin ekstrüzyon kuvvetine olan etkilerini incelemiştir. Ayrıca farklı ekstrüzyon açıları deneyerek optimum ekstrüzyon açısı bulunmuştur. Yapılan sonlu elemanlar analizleri sonucunda optimum ekstrüzyon açısı 30° olarak belirlenmiştir. Kavisli kalıpların konik kalıplara göre yapınının daha zor olmasına karşın, kavisli kalıplar ile yapılan ekstrüzyon işleminde meydana gelen kuvvet değerlerinin konik kalıplar ile yapılan işlemde meydana gelen kuvvete göre %12 civarında daha düşük olduğu görülmüştür. Benzer bir şekilde Sadollah ve Bahreininejad'ın (Sadollah and Bahreininejad, 2011) çalışmasında optimum ekstrüzyon açısı 30.3° olarak bulunmuştur. Ma ve diğerleri (Ma continued, 2010) alüminyum ekstrüzyon işleminde kalıp yüzey durumunun akış sırasında meydana gelen kayma ve yapışma alanlarına olan etkilerini incelemiştir. Kalıbın yüzeyi pürüzlülüğü 0.2 µm olduğu durumda malzemenin kalıp içerisinde akış boyunca kaydığı tespit edilmiştir. Yüzeyin pürüzlü hale gelmesi ve ekstrüzyon açısının azalması ile sürtünmenin arttığı, kayma alanının azalarak yapışma alanının arttığı tespit edilmiştir. Jin ve diğerleri (Jin continued 2012) ile Kim ve diğerleri (Kim continued, 2012) alüminyum cıvata dövme prosesine ECAP (Equal channel angular pressing) gibi yüksek deformasyon ile malzemenin sertleşmesini sağlayan bir prosesi ekleyerek yüksek mukavemetli cıvata dövme işlemini incelemiştir. Bu yöntemin eklenmesi ile dövülen malzemede sertlik değerlerinin oldukça arttığı gözlemlenmiştir. Ancak ECAP proses adeti uygun ayarlanmadığı takdirde dövme sırasında cıvatada çatlak oluşumu görülmüştür. Bu nedenle alüminyumun birden fazla ECAP işlemine tabi tutulması gerekebilmektedir.

Bu çalışmada ilk olarak Al 6082-H13 alaşımının soğuk ileri ekstrüzyon testleri ve simülasyonları yapılarak yapışma durumu ve WC-Co kalıp malzemesi ile arasında meydana gelen sürtünme katsayısı tespit edilmiştir. Simülasyonlar simufact.forming yazılımı kullanılarak oluşturulmuştur. Daha sonra M10 x 25 E14 DIN34801 cıvatanın istasyon tasarımları modellenerek dövme sırasında meydana gelebilecek yapışma ve çatlama durumları incelenmiştir. Simülasyonlardan elde edilen bilgiler ışığında alüminyum alaşımı ile üretim denemesi gerçekleştirilmiştir.

II. MALZEMELER VE DENEYLER

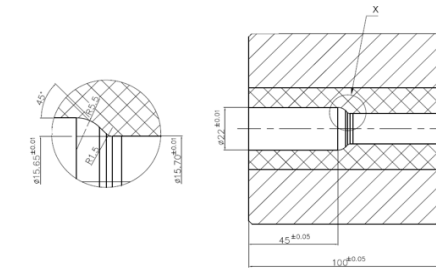
Al 6082-H13 alaşımının akış eğrilerinin belirlenmesi için ASTM E9-09 standardında (ASTM, 2018) silindirik basma numuneleri hazırlanmıştır. Basma testi numuneleri 8 mm çapında ve 12 mm yüksekliğindedir. Testler 20°C, 100°C ve 200°C sıcaklıklarında 0,002 s⁻¹ gerinim hızında

gerçekleştirilmiştir. Farklı hızlarda yapılan basma testlerinde gerilme-gerinim değerlerinin deformasyon hızından etkilenmediği görülmüştür. Alaşıma ait oda sıcaklığındaki mühendislik gerilmesi-gerinim grafiği Şekil 2'de gösterilmektedir. Alaşımın akma gerilmesi 118 MPa, elastik modülü ise 69 GPa olarak tespit edilmiştir. Deneylerden elde edilen akış eğrileri sonlu elemanlar programına tanımlanarak malzeme davranışı modellenmiştir.



Şekil 2 Al 6082-H13 alaşımının gerilme-gerinim eğrisi.

Alüminyum alaşımı ile WC-Co kalıp malzemesi arasında meydana gelen sürtünme katsayısının tespiti için ileri ekstrüzyon testleri yapılmıştır. İleri ekstrüzyon testlerinde kullanılan kalıp Şekil 2'de verilmektedir. Bu kalıbın ekstrüzyon oranı 0,494, ekstrüzyon açısı ise tek taraflı olarak 45°'dir. Testler Norm Cıvata ArGe merkezinde bulunan Zwick mekanik test cihazında gerçekleştirilmiştir. Deneylerde gerçek işlem koşullarını yansıtmayı amacıyla preslerde kullanılan dövme yağı kullanılmıştır. Testler 5 mm/dak hızında yapılmıştır. Hazırda bulunan hammadde çapları 24 mm olup tel çekme işlemi ile malzeme çapı 21,65 mm'ye indirilmiştir. Tel çekme işleminden sonra hammadde testler için 40 mm boyunda kesilmiştir.



Şekil 3 İleri ekstrüzyon testlerinde kullanılan kalıba ait teknik resim.

Alüminyum cıvatanın üretim denemeleri Norm Cıvata San. ve Tic. A.Ş. üretim tesislerinde 4 istasyonlu dövme presinde gerçekleştirilmiştir. Hammadde, Şekil 4'de gösterildiği gibi sarılmış durumdadır (Kangal). Aynı şekilde gösterildiği üzere hammadde makine içerisine makaralardan geçerek girmektedir.



Şekil 4 Al6082 hammadmesine ait kangal ve prese girme makaraları.

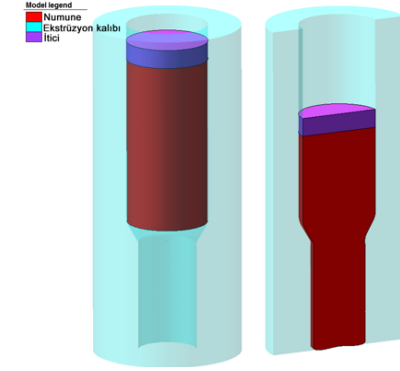
III. SONLU ELEMENLAR MODELLERİ VE KALIP TASARIMI

Sonlu elemanlar simülasyonları simufact.forming yazılımı kullanılarak oluşturulmuştur. Şekil 5'de ekstrüzyon testine ait sonlu elemanlar modeli gösterilmektedir. Model, alüminyum numune, ekstrüzyon kalıbı ve iticiden oluşmaktadır. İtici ve ekstrüzyon kalıpları rijit gövde olarak tanımlanmıştır. Numune plastik malzeme modeli ile tanımlanmıştır (Elastik deformasyonlar göz ardı edilmiştir). Malzeme ile kalıplar arasında Coulomb sürtünme modeli tanımlanmıştır. İtme hızı 5 mm/dak olmasından dolayı ekstrüzyonda yüksek sıcaklık oluşması beklenmemektedir. Bu nedenle toplam CPU zamanının azaltılması için kalıplar ile malzeme arasında ısı transferi tanımlanmamıştır. Alüminyum alaşımın sonlu elemanlar ağında dört kenarlı 2D elemanlar kullanılmış ve eksenel simetrik koşullarda modellenmiştir. Malzeme yüzeyinde görülen yapışma oluşumunu incelemek amacıyla bu duruma etkili olabilecek değişkenler simülasyon yardımı ile incelenmiştir. Malzeme yüzeyinde oluşan deformasyon miktarının ve sünekliği etkileyen değerlerin tespit edilerek yorumlanması gerekmektedir. Bu amaçla ekstrüzyon bölgesinde oluşan hidrostatik gerilme dağılımları incelenmiştir. Hidrostatik gerilme şu şekilde formülize edilmektedir;

$$\sigma_m = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{3}$$

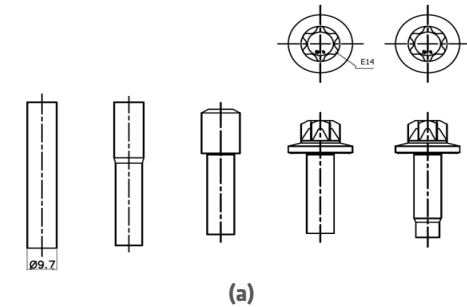
Burada σ_i asal gerilmelerdir. Hidrostatik gerilme malzemenin sünekliğini etkilemekte ve çekme yönünde olduğunda (pozitif) çatlak oluşumuna neden olmaktadır. Hidrostatik gerilme pozitif değere geçtiğinde malzemenin sünekliği artacağından yapışma tahmininde kullanılabilir. Dövme sırasında alüminyum alaşımında çatlama/kırılma oluşumunun tespit edilmesi için Cockroft-

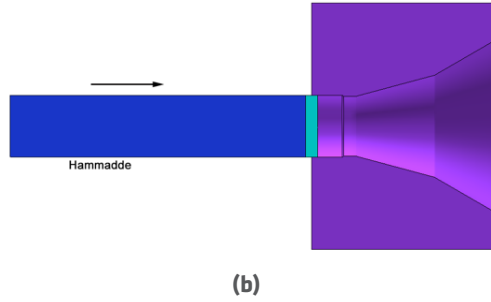
Latham hasar modeli (Cockroft and Latham, 1968) kullanılmıştır. Bu modelde hasar maksimum asal gerilme ve plastik gerinim ile doğru orantılıdır.



Şekil 5 Ekstrüzyon işlemine ait sonlu elemanlar modeli.

M10 x 25 E14 DIN34801 cıvataya ait dövme istasyonu tasarımları Şekil 6(a)'da verilmektedir. Cıvata 4 istasyonda dövülmektedir. İlk istasyonda ekstrüzyon işlemi gerçekleştirilmekte, ikinci istasyonda kafa hazırlık yapılmakta ve üçüncü istasyonda final kafa formu ve flanş oluşturulmaktadır. Son istasyonda ise şaftta bulunan kademe oluşturulmaktadır. Her bir istasyonun 3B kalıp modelleri hazırlanarak simülasyon programına eklenmiştir. Bu şekilde bir istasyonda dövülen malzeme, sırası ile diğer istasyona girmektedir. Simülasyon doğruluğunu arttırmak amacıyla dövme işleminden önce gerçekleştirilen tel çekme işlemi de ayrıca modellenmiştir. Tel çekme işlemi dövmeden önce hammaddelere uygulanarak kesitte olabilen ovalliğin giderilmesi için yapılmaktadır. Bu işlem hammadde yüzeyinde kalıcı deformasyona neden olduğundan simülasyonlara dahil edilmelidir. Tel çekme operasyonunun sonlu elemanlar modeli Şekil 6(b)'de gösterilmektedir. Model hammadde, tel çekme kalıbı ve iticiden oluşmaktadır. İtici hammaddeyi 24 mm/dak hızında çekmektedir. 10 mm olan hammadde çapı Şekil 6(a)'da ki tasarımda gösterildiği şekilde 9,7 mm'ye indirilmektedir.



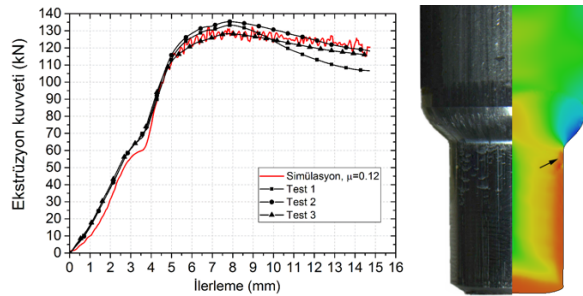


(b)

Şekil 6 (a) Ürüne ait istasyon tasarımı, (b) ekstrüzyon işlemine ait sonlu elemanlar modeli

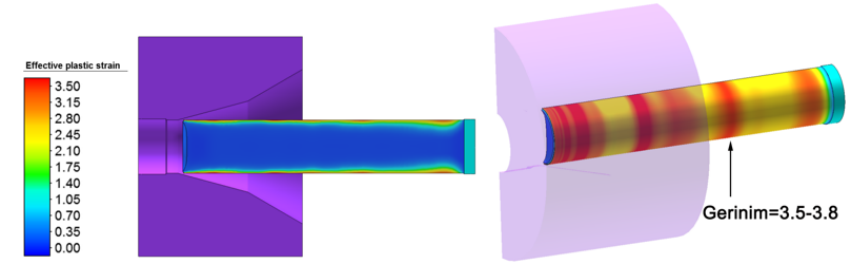
IV. SİMÜLASYON VE TEST SONUÇLARI

Ekstrüzyon test sonuçları ile sonlu elemanlar sonucu Şekil 7'de karşılaştırılmaktadır. Şekilde görüldüğü üzere 3 adet test gerçekleştirilmiştir. Deneylerden elde edilen kuvvet-ilerleme eğrisi ile simülasyonlardan elde edilen kuvvet-ilerleme eğrileri karşılaştırılarak gerçek durumu en doğru şekilde yansıtan sürtünme katsayısı tespiti yapılmıştır. Ekstrüzyon testi dövme hızından daha düşük hızda gerçekleştirildiğinden malzeme ile kalıp arasında efektif bir yağ filmi oluşmamaktadır. Ancak simülasyonlarda soğuk dövme koşullarına oldukça yakın olarak 0,12 sürtünme katsayısı tespit edilmiştir. Bu sürtünme katsayısı ile yapılan simülasyon sonucunda malzemede oluşan hidrostatik gerilme dağılımı ile deneysel hammadde yüzeyi aynı şekilde karşılaştırılmaktadır. Şekilden görüleceği üzere şaft başlangıcında yapışma meydana gelmiş ve yüzeyde dalgalanmalar oluşmuştur. Yapışmanın oluştuğu noktada (ok ile gösterilmektedir) oluşan maksimum hidrostatik gerilme değeri belirlenmiş ve bu değer yapışmanın tahmin edilmesi için sınır olarak kabul edilmiştir.



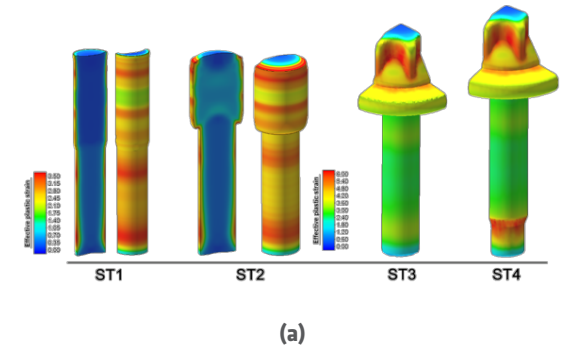
Şekil 7 Deneysel ve nümerik ekstrüzyon kuvveti-ilerleme eğrileri ve hidrostatik gerilme dağılımı.

Şekil 8'de gösterildiği gibi 10 mm çapındaki malzeme 9,7 mm çapa düşürülmüştür. Haddeme işleminde dövme girecek hammadde üzerinde 3,5 ile 3,8 arasında değişen artık plastik gerilim oluşmuştur. Ayrıca gerilimin parça yüzeyinde homojen olarak dağılmadığı görülmektedir. Özellikle iş parçası uçlarında gerilim değerlerinin yüksek olduğu tespit edilmiştir. Oluşan bu değerler dövme sırasında oluşabilecek çatlama riskini etkileyeceğinden dövme işlemine tel çekilmiş parça ile devam edilmiştir.

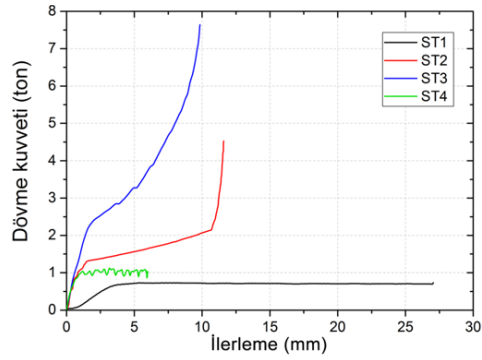


Şekil 8 Tel çekme işlemi sonunda malzeme yüzeyinde meydana gelen efektif plastik gerilim dağılımı.

Şekil 8(a)'da istasyonlarda ara ürünlerde meydana gelen efektif plastik gerilim dağılımları verilmektedir. İlk iki istasyonda kafadaki gerilim değerlerinde önemli bir artış olmadığı görülmektedir. ST3'de torx oluşumu sırasında redüksiyon bölgesinde gerilim değerleri 6,0 civarına çıkmaktadır. ST4'de ise kademe kısmında gerilim değerinin 5,8-6,0 civarında olduğu görülmüştür. İstasyonlarda meydana gelen dövme kuvveti-ilerleme değişimleri Şekil 9(b)'de gösterilmektedir. Toplam dövme yükü 13,85 ton'dur.



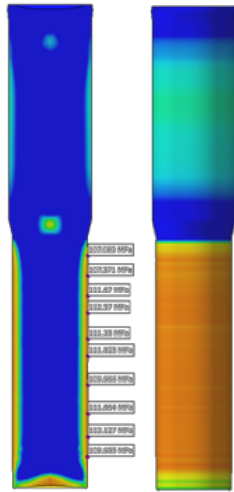
(a)



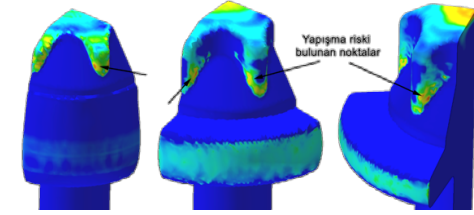
(b)

Şekil 9 İstasyonlarda meydana gelen (a) efektif plastik gerinim dağılımları ve (b) dövme kuvvetleri.

Şekil 10(a)'da gösterildiği üzere şaft yüzeyinde meydana gelen en yüksek hidrostatik gerilme tespit edilen sınır değerinden düşüktür. Bu nedenle malzemenin şekillendirilmesi esnasında yapışma olmayacağı tahmin edilmektedir. ST3'de torx oluşumu sırasında sıvanan bölgelerde maksimum hidrostatik gerilme değerlerine rastlanmıştır. Düşük bir ihtimal olmasına rağmen bu istasyondaki akış sırasında malzeme yapışması görülebilir.



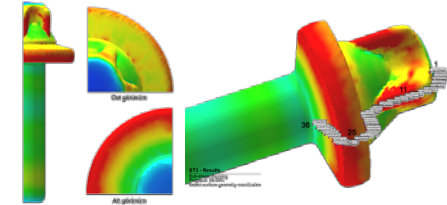
(a)



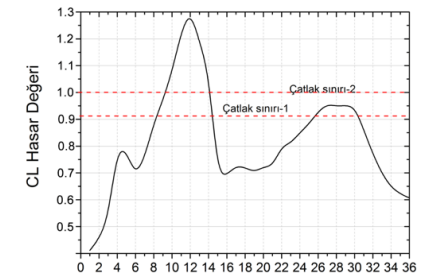
(b)

Şekil 10 (a) ST1'de meydana gelen hidrostatik gerilme dağılımı ve (b) ST3'de redüksiyon sırasında meydana gelen hidrostatik gerilme değişimi.

Şekil 11(a)'da ST3'deki dövme işlemi sonunda üründe meydana gelen Cockcroft-Latham hasar parametresi dağılımı gösterilmektedir. Alüminyum malzeme için kritik çatlak başlama sınırı 0,9 ile 1,0 arasındadır. Bu değer aralığı sınır kabul edildiğinde en yüksek değerlerin torx köşelerinde ve flaşın kafa altına doğru olan kısımlarında olduğu görülmüştür. Tam dağılımın ortaya çıkarılması için civata tepesinden başlayarak kafa altına kadar olan rotada hasar değerleri okunarak Şekil 10 (b)'de gösterilen grafik oluşturulmuştur. Grafikten görüleceği üzere değerlerin torx köşeleri hariç diğer bölgelerde hasar değerlerinin sınırlarda olduğu tespit edilmiştir. Sıvama işleminden kaynaklı olarak torx kısmında hasar değerleri yüksek çıkmıştır ancak bu bölgede çatlama olması olası değildir.



(a)



(c)

Şekil 11 (a) ST3 işlem sonunda meydana gelen hasar dağılımı, (b) hasar değeri örneklenen rota.

Simülasyonlarda tespit edilen risklerden sonra üretim denemesine geçilmiştir. Şekil 12’de her bir istasyondaki malzeme şekillenmesi gösterilmektedir. Ekstrüzyonun yapıldığı ST1’de simülasyonda tahmin edildiği üzere yapışma hadisesi gerçekleşmemiştir. Torx kenarlarında da efektif yağlama nedeniyle yapışma meydana gelmemiştir. ST4’de ürün kafası son şekline getirilmiştir.

Şekil 11(b)’de gösterildiği şekilde flanş kısmında çatlak riski yüksektir. Flanş yüzeyi yakından incelendiğinde yüzeyin portakal kabuğu görünümüne geldiği görülmektedir. Bu durum malzemenin çatlama sınırlarına geldiğine işaret etmektedir. Ancak simülasyonlar ile yapılan uygun tasarım sayesinde alüminyum malzemede görülmesi beklenen yapışma ve çatlama riskleri ortadan kaldırılmıştır.



Şekil 12 Üretim denemesi sonucunda meydana gelen malzeme akışları.

Literatürde yapılan çalışmalarda alüminyum ekstrüzyon ve soğuk dövme sırasında meydana gelen sürtünme katsayısının tespiti, proses sırasında ortaya çıkabilecek problemlerin önceden tespit edilmesinde kritik önem taşımaktadır. Literatürde bu amaçla içi delik silindir basma ve geriye bardak akıtma yöntemleri ile sürtünme katsayıları tespiti yapılmaktadır (Velu and Cecil, 2012) (Wang continued, 2012). Bu çalışmada da basma test cihazında yapılan ekstrüzyon testleri ve sonlu elemanlar simülasyonları ile soğuk dövme prosesinde kullanılmak üzere uygun sürtünme katsayısının tespit edilebileceği görülmüştür.

V. SONUÇLAR

Bu çalışmada ilk olarak Al 6082-H13 alaşımının soğuk ileri ekstrüzyon testleri ve simülasyonları yapılmış, yapışma durumu ve alaşım ile WC-Co kalıp malzemesi arasında meydana gelen sürtünme katsayısı tespit edilmiştir. Daha sonra M10 x 25 E14 DIN34801 cıvatanın istasyon tasarımları modellenerek dövme sırasında meydana gelebilecek yapışma ve çatlama durumları incelenmiştir. Yapılan çalışmalar kapsamında elde edilen kritik sonuçlar şu şekilde sıralanabilir;

- Alüminyum ile WC-Co kalıp arasındaki Coulomb sürtünme katsayısının 0,12 civarında olacağı belirlenmiştir.
- Bu katsayı ile yapılan cıvata dövme simülasyonlarında, olası yapışma ve çatlama bölgelerinin cıvatanın torx ve kademe kısmı olduğu sonucuna ulaşılmıştır.
- DIN34801 cıvatanın üretimi sonunda flanşta oluşan portakal kabuğu görünümünden bu

bölgenin çatlak oluşum sınırına yakın olduğu görülmüştür.

- Üretim denemesinde 10.000 adet alüminyum cıvata hasarsız olarak üretilmiştir. Elde edilen bu tecrübe ile farklı tipteki bağlantı elemanlarının alüminyum ile dövülmesine devam edilecektir.

TEŞEKKÜR

Bu makalede paylaşılan çalışmaların bir kısmı 3160586 numaralı TEYDEB projesi kapsamında TÜBİTAK tarafından mali olarak desteklenmiştir. Yazarlar TÜBİTAK’a ve Norm Cıvata San. ve Tic. A.Ş. üretim ekiplerine teşekkürlerini sunmaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] Bay N. (1997) "Cold forming of aluminium-state of the art," Journal of Materials Processing Technology, 71, pp. 76-90.
- [2] Austin E. R., Davies R., and Bakhtar F. (1967) "Extrusion of Aluminum and Copper," Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, 182-187, no. 9, p. 175.
- [3] W. H.W. and Wolf J. (1994) "Coefficient of Friction in Cold Extrusion," Journal of Materials Processing Technology, 44, pp. 283-291.
- [4] Gouveiaa B. P. P. A., R. J.M.C., Bayb N., and Martinsa P. A. F. (1999) "Finite-element modelling of cold forward extrusion," Journal of Materials Processing Technology, 94, pp. 85-93.
- [5] Tan X., Bay N., and Zhang W. (2003) "Friction measurement and modelling in forward rod extrusion tests," Journal of Engineering Tribology, 217, pp. 71-82.
- [6] Noorani-Azad M., Bakhshi-Jooybari M., Hosseinipour S. J., and Gorji A. (2005) "Experimental and numerical study of optimal die profile in cold forward rod extrusion of aluminum," Journal of Materials Processing Technology, 164-165, pp. 1572-1577.
- [7] Sadollah A. and Bahreininejad A. (2011) "Optimization of die design using metaheuristic methods in cold forward extrusion process," Neural Computing and Applications, 21, no. 8, pp. 2071-2076.
- [8] Ma X., De Rooij M. B., and Schipper D. J. (2010) "Modelling of contact and friction in aluminium extrusion," Tribology International, 43, no. 5-6, pp. 1138-1144.
- [9] Jin Y. G., Baek H. M., Hwang S. K., Im Y.-T., and Jeon B. C. (2012) "Continuous high strength aluminum bolt manufacturing by the spring-loaded ECAP system," Journal of Materials Processing Technology, 212, no. 4, pp. 848-855.
- [10] Kim J. H., Hwang S. K., Im Y.-T., Son I.-H., and Bae C. M. (2012) "High-strength bolt-forming of fine-grained aluminum alloy 6061 with a continuous hybrid process," Materials Science and Engineering: A, 552, pp. 316-322.
- [11] ASTM E9-09 Standard Test Methods of Compression Testing of Metallic Materials at Room Temperature (2018).
- [12] Cockroft M. G. and Latham D. J., (1968) "Ductile and workability of metals," Journal of the Institute of Metals, 96, pp. 33-39.

[13] Velu R. and Cecil M. R. (2012) "Quantifying Interfacial Friction in Cold Forming using Forward Rod Backward Cup Extrusion Test," Journal of The Institution of Engineers (India): Series C, 93, no. 2, pp. 157-161.

[14] Wang L., Zhou J., Duszczek J., and Katgerman L. (2012) "Friction in aluminium extrusion-Part 1: A review of friction testing techniques for aluminium extrusion," Tribology International, 6, pp. 89-98.

PRESS FORCE DETERMINATION OF SHRINK-FITTING PROCESS BASED ON NUMERICAL ANALYSES

B. TANRIKULU

S. YURTDAS

T. DAMLA

M. B. TOPARLI





MANİSA CELAL BAYAR UNIVERSITY
II. INTERNATIONAL UNIVERSITY INDUSTRY COOPERATION,
R&D AND INNOVATION CONGRESS,
14-15 NOVEMBER 2018

PRESS FORCE DETERMINATION OF SHRINK-FITTING PROCESS BASED ON NUMERICAL ANALYSES

B. Tanrikulu^{1,*}
S. Yurtdas¹
T. Damla¹
M. B. Toparli¹

**Norm Cıvata San. ve Tic. A.Ş., 10007 Sok., A.O.S.B., Çiğli, İzmir, Turkey
baris.tanrikulu@norm-fasteners.com.tr*

ABSTRACT

Shrink-fitting process of forging dies has a key role on forging die life. In the production of cold forging dies, used in manufacturing of fasteners, shrink-fit method is applied under a press force. A typical cold forging die consists of insert and stress ring. Inserts and stress rings of cold forging dies are assembled to each other by shrink-fitting method. The aim of the shrink-fit method is to create compressive stresses on the insert surface which will act against applied tensile loads to increase fatigue life resistance. In this study, required pressing operation force for the shrink-fitting process was determined. Considering shrink-fitting process, many factors have an influence on final die life, such as outer and inner diameter, die length, shrink-fit ratio etc. Therefore, shrink-fitting simulations were conducted with different conditions and based on the results. As a result of simulations a general graph was obtained so that the required pressing force can be determined before the process

Keywords: Shrink fit, cold forging die, cold forging, press force.

I. INTRODUCTION

This study focuses on the press force estimation for the shrink-fitting operation during die manufacturing process. As known from the literature that die service life depends on many factors [1-4]. Within the scope of the research, the effects of 5 different outer diameter (50mm, 38mm, 32mm, 22mm, 18mm) and 7 different shrink-fitting ratios (%2, %3, %4, %5, %6, %7, %8) with ratio of core inner diameter to core outer diameter as 0.474, were examined. Numerical simulations were carried out to determine required press forces for each combination. The dimensions which are critical for shrink-fitting operations can be listed as; d, inner diameter of insert (mm); di, outer diameter of insert (mm); ds, outer diameter of stress ring (mm); l, die length (mm); R, shrink-fit ratio (%); z, distance of shrink-fit (mm) which are given in Figure 1. Numerical simulations were carried out by employing Simufact Forming software. The material of inner core was chosen as G55 (Tungsten carbide with %27 Cobalt) and outer diameter material was used as 1.2344 material according to DIN standards. The steps of shrink-fitting operation is shown in Figure 2. The results obtained from the simulations were given in Figure 3.

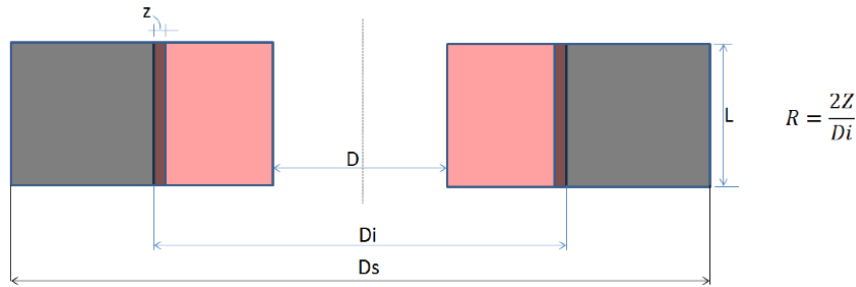


Figure 1 Schematic representation of cold forging die with shrink-fit.

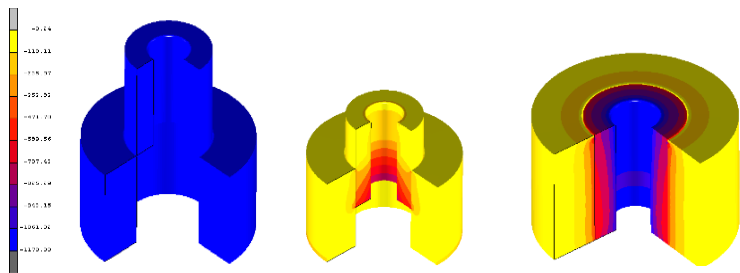


Figure 2 Minimum principal stresses of shrink-fitting process obtained from different process steps.

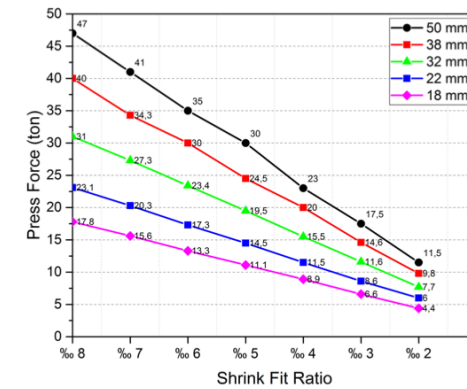


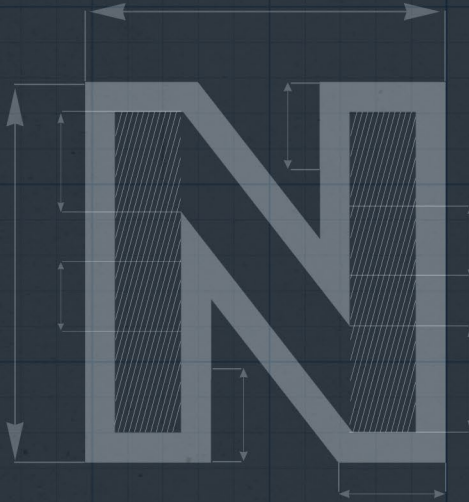
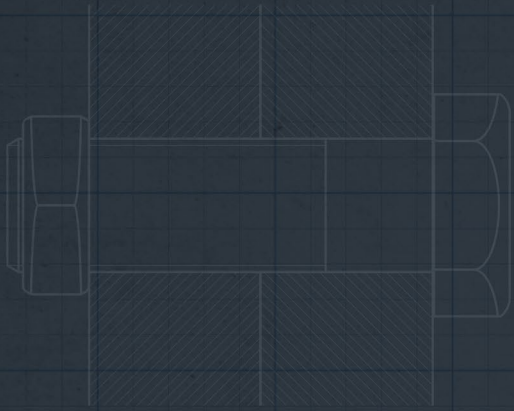
Figure 3 Press force results obtained by numerical simulations with different process parameters.

CONCLUSIONS

A generalized equation to estimate press force on shrink-fitting processes was obtained by using numerical simulations and regression analysis. According to obtained results, the most dominant factor for shrink-fitting operation was found as the shrink-fitting ratio, as can be seen from the results. The other important shrink-fitting process parameters were obtained as die length, inner diameter of insert and outer diameter of insert.

REFERENCES

- [1] M. Aygen, "Die Stress and Friction Behaviour Analysis in Bolt Forming," Master Thesis, Middle East Technical University, (2006).
- [2] M.S. Joun, M.C. Lee, J.M. Park, "Finite element analysis of prestressed die set in cold forging" International Journal of Machine Tools & Manufacture, 42 (2002), 12013-1222.
- [3] Peder Skov-Hansena, Niels Bayb, Jens Grønbnk, Povl Bründstedt, "Finite element analysis of Fatigue in cold-forging dies: tool life analysis" Journal of Materials Processing Technology 95 (1999) 40-48.
- [4] M.A. Saroosh, H.-C. Lee, Y.-T. Ima, S.-W. Choi, D.-L. Lee, "High cycle fatigue life prediction of cold forging tools based on workpiece material property" Journal of Materials Processing Technology 191 (2007) 178-181.



RESIDUAL STRESSES IN FORGING: FRIEND OR FOE

M. Burak TOPARLI

Sezgin YURTDAS

Emrah KILINÇDEMİR

Barış TANRIKULU





The International Journal of
Forging Business & Technology

PRESS FORCE DETERMINATION OF SHRINK-FITTING PROCESS BASED ON NUMERICAL ANALYSES

M. Burak Toparli^{1,*}
Sezgin Yurtdaş
Emrah Kılınçdemir
Bariş Tanrikulu

¹NORM Group, IAOSB, Çiğli, Izmir, Turkey

*Corresponding author: Email address: burak.toparli@norm-fasteners.com.tr

I. INTRODUCTION

Forging is one of the most-widely preferred production technique based on significant and non-homogenous plastic deformation. As a consequence, residual stresses are inherently introduced to forged products, which influence structural integrity of load-carrying parts. Therefore, it is very important to characterize and handle the residual stress fields in forged products.

II. WHAT IS RESIDUAL STRESS?

According to continuum mechanics, when an external force is applied to a continuous body, internal forces are induced and distributed through this medium. "The magnitudes of such forces are defined by their intensity, i.e. by the amount of force per unit area of the surface on which they act. In discussing internal forces this intensity is called stress" [1]. Having said that, continuous bodies or engineering materials may experience internal stresses, even there is no external applied forces. So-called residual stresses are self-balanced and locked-in stresses present in materials without any external forces. Residual stresses may superimpose with applied loads so that they have direct impact on performance and service life. Therefore, residual stresses play a vital role particularly for structural integrity of engineering products and they have to be taken into account for all manufacturing methods including forging.

Residual stresses can be induced into materials inherently as in forging or can be deliberately introduced as in mechanical surface treatments such as shot peening and laser peening. The main mechanism of residual stress generation is the any source of "misfit" in the material. One of the sources of misfit is the non-uniform plastic deformation as observed in forging. Assume a material in 2D with square shape. If it is plastically deformed by upsetting and made rectangular then there will be no macroscopic residual stresses as long as the deformation is introduced uniformly. Therefore, it must be kept in mind that in order to generate residual stresses, there should be a misfit in the material. In addition to plastic deformation after processes such as forging, the source of misfit can also be originated from the difference in thermal expansion coefficient, yield strength and stiffness inside a material [2], which is the case for almost all engineering materials including more than one constituent. Temperature gradient due to welding, phase transformations and grain boundaries are also the other sources of misfits for residual stresses to be generated. Schematic representation of most commonly observed residual stress generation mechanisms can be seen in Figure 1.

The most common classification of the residual stresses is according to the length scale. Type I residual stresses are the self-balanced stresses across a large distance and they can occupy the whole or part of the component. Type II residual stresses can be described across grains and the cause for these stresses are the anisotropy and heterogeneity of grains in polycrystalline materials. Type III residual stresses are atomic level stresses formed due to crystalline defects like vacancies, interstitial atoms. Type I residual stresses are also called macrostresses and the combination of Type II and Type III is called microstresses.

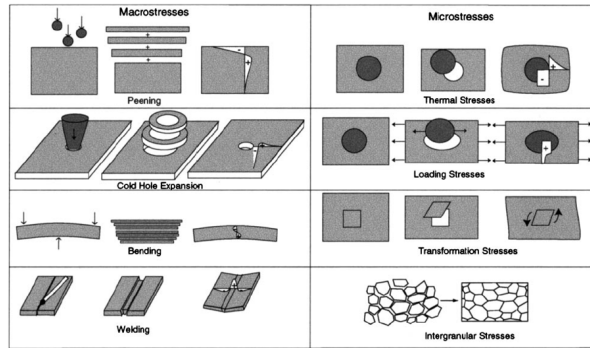


Figure 1. Most commonly seen residual stress generation mechanisms [3]

Residual stresses can be obtained by numerical and experimental techniques. For instance, there are FE-based simulation programs particularly developed for forging operations. However, use of such software requires substantial expertise, since it is very easy to obtain misleading results, if the assumptions and parameters are not realistic. As NORM Group, we are employing numerical simulations of forging since early 2000s and an example of the forging-induced residual stresses of a special nut is presented in Figure 2. Considering the experimental techniques, on the other hand, they are classified generally, based on the nature of their damage to the material during the measurement, as destructive and non-destructive techniques. All destructive techniques are based on the elastic relaxation when a layer of material from a stressed sample is removed and hence residual stresses are elastically relaxed. The resultant displacements are obtained and converted to strains from which residual stresses are back-calculated. Hole drilling, slitting and contour methods are the most-widely used destructive measurement methods in academia and industry. For non-destructive techniques, one of the material characteristic features such as atomic d-spacing, the distance between crystallographic planes, or material response to magnetism or sound are employed. The residual stress determination with these techniques usually requires measurement of the characteristic features for unstressed and stressed material. X-ray diffraction, synchrotron x-ray diffraction, neutron diffraction and Barkhausen are the preferred non-destructive residual stress measurement methods. The destructive and non-destructive measurement techniques have different resolution and penetration depth up to which residual stresses can be obtained (Figure 3). Furthermore, each technique has its own advantages and limitations, therefore, choosing suitable methods for a particular application is very crucial. It is a very good practice to compare experimental residual stresses obtained from two different methods and numerical results to achieve reliable and accurate results. Detailed information regarding the residual stress measurement methods can be found in [4].

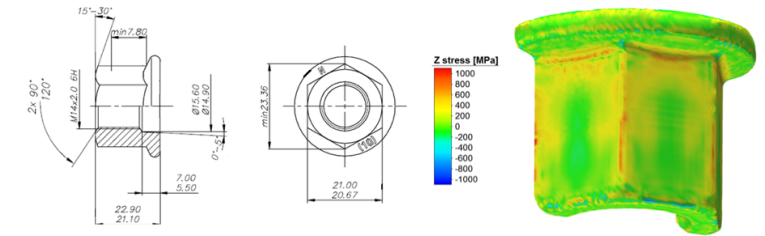


Figure 2. Special nut (left) and the residual stresses obtained by numerical methods (right)

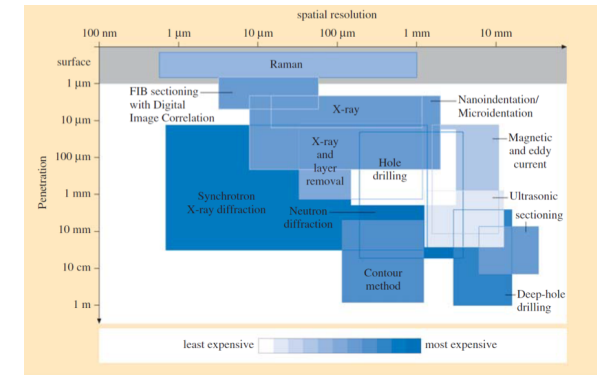


Figure 3. Measurement penetration vs. spatial resolution for various residual stress measurement methods. Courtesy of Michael E. Fitzpatrick, Coventry University, UK

Another key factor about macroscopic residual stresses is that material has to be deformed plastically in order to generate residual stresses. In this respect, a clarification has to be made between residual stresses and pre-stressing by shrink-fit, particularly applied for the dies of cold forging operations. Pre-stressing by shrink-fit is employed with minimum two dies without any plastic deformation. The main intention of the shrink-fit is to induce a compressive stress field into the dies which will superimpose with applied tensile loads. When the final stress levels are less tensile, the service life of the dies will be improved. However, as soon as the die assembly for shrink-fit is separated, i.e. external forces are removed, there will be no stresses in the dies. On the other hand, residual stresses are permanent, even there are no external applied loads.

III. RESIDUAL STRESSES: FRIEND OR FOE?

Owing to nature of forging, significant amount of non-uniform plastic deformation is inevitably introduced into products. For hot forging, the operation temperature has to be above the recrystallization temperature of the material to be forged. Therefore, plastic deformation-

induced-misfit required for residual stress generation is minimized owing to reformed grains. For cold forging, on the other hand, macro and micro residual stresses has to be taken into account. The residual stress distribution is crucial for the products used in as-forged stage and characterization of the residual stresses is important to estimate the service life particularly under fatigue loads. Any significant tensile residual stress field will accelerate crack formation resulting early failure under operating conditions. Therefore, application of stress-relieving heat treatment can be considered for this type of products. There are well-defined standards for stress-relieving procedure depending on material type and properties.

Most of the cold-forged products has to be heat-treated in order to meet the mechanical requirements (ductility, hardness, yield strength and ultimate tensile strength) defined by the standards or users. Considering steel as the raw material, the most commonly preferred heat treatment procedure will include quenching and tempering. The austenite phase transforms into highly-stressed metastable martensite phase during quenching, followed by tempering during which the microstructure of martensite is modified. Owing to tempering, in which the products are held at elevated temperatures, misfit required for macroscopic residual stresses are minimized. Similar to steel products, aluminium, titanium and nickel-based superalloys are generally heat treated after forging not only to obtain isotropic and desired mechanical properties but also to minimize residual stresses.

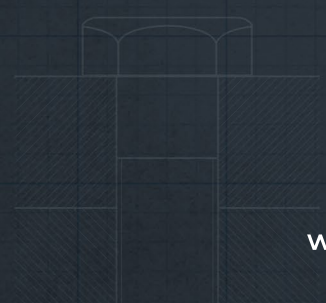
In addition to inherently-induced and mostly detrimental residual stresses, they can also be introduced in-purpose. For instance, mechanical surface treatments like shot peening and laser peening are used to induce beneficial compressive residual stresses to increase the fatigue life of engineering products. In the open literature, there are studies exploring the effect of shot peening to service life of hot and cold forging dies. It was reported that the fatigue life of shot peened dies used in hot and cold forging were increased by 2 and more than 3 times, respectively [5]. Furthermore, such surface treatments can also be applied to forged products to increase service performance [6]. According to a study conducted for hot-forged connecting rods used in automotive industry, the fatigue strength was increased about 50%, which was associated with the induced beneficial compressive residual stresses after shot peening. Application of shot peening and laser peening for prolonged service life and higher fatigue strength is a common practice particularly for safety-critical applications in aerospace, automotive and defence industries.

IV. CONCLUSION

Residual stress is one of the most important concept of structural integrity. The effect of residual stresses depends on their nature (tensile or compressive), location and magnitude. Therefore, tensile residual stresses threatening the structural integrity can be very detrimental, particularly products used in as-forged condition. On the other hand, compressive residual stresses can serve as a lifesaver, if tailored accordingly. Hence, numerical and experimental methods should be carried out to characterize the residual stresses and they should be taken into account for forged products to prevent premature failure and to improve service life.

REFERENCES

- [1] Timoshenko, S. and J.N. Goodier, Theory of elasticity. 1969: McGraw-Hill.
- [2] Withers, P.J. and K.D. Bhadeshia, Residual stress. Part 2 – Nature and origins. Materials Science and Technology, 2001. 17: p. 366-374.
- [3] Withers, P.J. and K.D. Bhadeshia, Residual stress. Part 1 – Measurement techniques. Materials Science and Technology, 2001. 17: p. 355-365.
- [4] Schajer, G., Practical Residual Stress Measurement Methods. 2013: John Wiley & Sons, Ltd. 310.
- [5] Chang, S.-H., S.-C. Lee, and T.-P. Tang, Effect of Shot Peening Treatment on Forging Die Life. MATERIALS TRANSACTIONS, 2008. 49(3): p. 619-623.
- [6] Gerin, B., et al., Influence of surface integrity on the fatigue behaviour of a hot-forged and shot-peened C70 steel component. Materials Science and Engineering: A, 2017. 686(Supplement C): p. 121-133.



NORM FASTENERS

www.normfasteners.com