Osaka University Knowledge Archive

Title	Die Quenching of Age-Hardenable Aluminum Alloy Billet on Servo Press with Die Motion Control
Author(s)	田, 在烈
Citation	大阪大学, 2014, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/34436
rights	
Note	やむを得ない事由があると学位審査研究科が承認したため、全文に代えてその内容の要約を公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、大阪大学の博士論文についてをご参照ください。

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

Osaka University

Abstract of Thesis

Name	（Jae-Yeol Jeon（田 在烈））
Title	Die Quenching of Age-Hardenable Aluminum Alloy Billet on Servo Press with Die Motion Control (サーボプレスによる時効硬化型アルミニウム合金ビレットのダイクエンチング)

Abstract of Thesis

In automotive industries, there is a rapid growth in demand of lightweight components such as aluminum alloy parts to improve fuel consumption. At present, the required strength is achieved by precipitation hardening of age-hardenable alloys after forming, solution heat treatment and quenching. Therefore, the strengthening requires several processes and less productive. To solve this problem, hot stamping process has been studied for aluminum alloy sheets. In the hot stamping, first the aluminum alloy is heated to dissolve the precipitates within the primary α–Al matrix. Then, forming and quenching, i.e., die quenching is simultaneously performed with cold dies. Then, the processed aluminum alloy is artificially aged for precipitation hardening. Thus, this technique is possible to produce stronger products with less thermal distortion through less number of processes compared with the conventional T6 treatment. It has not been applied to billets though it is industrially important. Sufficient cooling rate without precipitation during die quenching may be realized using dies with higher thermal conductivity. In order to maximize effects of die quenching, it is necessary to understand fundamentally effects of the solution heat treatment (SHT) temperature, the die material, the size of specimen, the quenching duration and so on. In addition, a servo press could be an advantageous machine for die quenching rather than conventional press because press ram speed and motion can be controlled flexibly. Hence, it is useful to obtain the desired microstructure with super-saturated solid solution (SSSS) without precipitation. Therefore, in the present study, the die quenching of age-hardenable aluminum alloy billet has been carried out on a servo press under several viewpoints.

In chapter 1, the backgrounds, motivations and purposes of this research work are described.

In chapter 2, effects of solution heat treatment temperature of billet on die-quenchability with WC-20mass%Co dies are investigated after two different SHT temperatures of 773 K or 823 K using with a height of 8 mm (h_0). Based on billet temperature change, hardness and TG-DTA analysis, die quenching after SHT at 823 K is found to be feasible without precipitation hardening, while not successful after SHT at 773 K due to precipitation. For the successful die quenching, sandwiching duration of 4 s is needed for the billet compressed with 5% in height ($\Delta h/h_0$). The hardness distributions of die-quenched billets with $h_0 = 8$ mm are relatively uniform through the height. However, the reduction is limited less than 5% in height due to crack formation by intergranular fracture on bulged side surface of billet during the die quenching process. The fracture is due to partial melting at grain-boundary triple junctions. The precipitation behavior can be predicted with the measured cooling curve and a reported CCT diagram.

In chapter 3, effects of billet height on die quenchability after the SHT temperature at 823 K are investigated using two different heights of h_0 = 8 mm or 16 mm with the same diameter of 16 mm. Based on billet temperature change, hardness and TG-DTA analysis, die quenching of the billet with h_0 = 16 mm is not successfully carried out due to slower cooling rate. The hardness distributions of die-quenched billets with h_0 = 16 mm are slightly curved distribution. The reduction is also limited less than 5% in height due to crack formation by intergranular fracture on bulged side surface of billet due to partial melting at grain-boundary triple junctions. In order to reveal the height dependence and the maximum height for die quenching, a numerical analysis is performed with finite difference method (FDM) to calculate temperature changes during the process. Then the calculated and the experimental temperature changes are discussed to determine sufficient quenching duration. The maximum height is supposed to be 9 mm.

In chapter 4, in order to improve the low deformability of the billet with h_0 = 8 mm during the die quenching process after SHT at 823 K, die quenching by the two-step die motion is proposed. In the two-step process, straightly after the first compression with $\Delta h/h_0$ = 5%, further compression ($\Delta h/h_1$, h_1 = 7.6 mm) is applied after cooling without opening gab between the dies on the same machine. Based on billet temperature change and TG-DTA results, die quenching of the billet with h_0 = 8 mm processed by the two-step die motion is found to be successful without precipitation on a servo press. The hardness is higher near the center of the die-quenched billets by the two-step die motion. The distribution depends on work hardening introduced at the second step mainly concentrated near the center. The low deformability due to partial melting at grain-boundary triple junctions is improved using the two-step die motion. The total reduction increases from $\Delta h/h_0$ = 5% of the one-step die motion to $\Delta h/h_1$ = 10% by the two-step die motion.

In chapter 5, aging behavior of die-quenched billets is investigated. In the case of the billet with h_0 =8 mm after SHT at 823 K, the peak aging time and hardness of the WQed billet are 46.8 ks and 149, respectively. The peak aging time and hardness of the die-quenched billet with $\Delta h/h_0$ = 5% are 32.4 ks and 145, respectively. It is found that die quenching process accelerates the precipitation kinetics. In addition, the peak hardness of the die-quenched billets is comparable to that of the WQed billet. The peak aging time and hardness of the billet with $\Delta h/h_1$ = 10% processed by the two-step die motion are 21.6 ks and 150, respectively. It is found that the two-step die motion accelerates the precipitation kinetics and increases the peak hardness more rather than that of one-step die motion due to strain aging of higher strain introduced at the second step.

In chapter 6, applications of die quenching process are described.

In chapter 7, the results obtained in the present study are summarized.

様式７

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏　名　（田　在烈　）			
論文審査担当者		（職）	氏　名
	主 査	教授	宇都宮　裕
	副 査	教授	荒木　秀樹
	副 査	教授	安田　弘行
	副 査	講師	松本　良

論文審査の結果の要旨

自動車など輸送機器の燃費向上のため軽量高強度部材への要求がますます高まっている。工業用高強度アルミニウム合金の主たる強化機構は析出硬化であるため、一般に製造工程が多く生産性が低い。その問題を解決する一法として、溶体化処理後の高温の材料に対して成形と焼入れを同時に行うダイクエンチングが検討されてきた。しかしながら、高い冷却速度を要するため、対象は熱間板材成形、すなわちホットスタンピングに限られる。本研究は、アルミニウム合金ビレットに対して、金型材料に熱伝導性の高い超硬合金を用いるとともに、加工機械としてサーボプレスを使用し、金型で一定時間保持することで、ダイクエンチング鍛造のプロセスを検討したものである。

第１章は序論であり、従来の研究を概観し、本研究の背景と目的を述べている。

第２章では、高さ 8mm, 直径 16mm の A2024 合金の円柱状ビレットを用いて、溶体化処理温度の影響について調査している。そして溶体化処理温度 823K の場合にダイクエンチングが可能であることを、ビレットの温度変化、加工材の熱分析、硬さ変化から確認している。しかしながら、加工熱により粒界の部分融解を生じるため、付与できる圧縮率は 5%以下と極めて限られることも報告している。

第３章では、直径 16mm の A2024 合金円柱状ビレットを用い、823K で溶体化する場合について、ビレット高さの影響を調査している。そして、ダイクエンチングは高さ 16mm のビレットでは実現できないことを実証し、伝熱解析によりダイクエンチングが可能な最大高さは 9mm と予測している。

第４章では、ダイクエンチングの低加工性を改善するために、２段モーション加工を新たに提案している。その方法は、圧縮後ビレットを金型間で保持してダイクエンチングした後に、さらに室温付近で圧縮するものである。この方法では二段目の加工は低温でなされるため液相の出現を避けることができ、また時効処理の予ひずみとしての作用も期待できる。実験により２段目の加工後まで析出は生じず、付与できる加工度は 10%まで拡大されることを見出している。

第５章では、ダイクエンチングされた材料の時効硬化挙動を調査している。そして、ダイクエンチング材のピーク硬さは、水冷材とほぼ同等であるものの、ピーク硬さまでの時効時間がかなり短いことを報告している。そして、その効果は、２段モーション加工の場合により顕著であることを見出している。

第６章では、このプロセスに最適な材料ならびに応用について考察している。

第７章では、本研究の成果を総括している。

以上のように、本論文はサーボプレスと超硬合金製金型を用いることで、従来困難と考えられてきた時効硬化型アルミニウム合金のダイクエンチング加工が可能であることを、材料学的な手法で確認しており、学術的に重要な知見を含んでいる。また、ダイクエンチング加工を行えば、高強度部材が、省プロセス・省エネルギーで製造できることを示した点で工業的な意義も大きい。本論文は工業的な応用範囲が広く、材料工学の発展に寄与するところが大きい。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。