5056 合金切削における工具摩耗に及ぼす 材料特性の影響*

財満 鎮雄**・新井 浩三***・大塚 良達***
谷本 繁美***・佃 市三***

Effect of material property on tool wear in 5056 alloy cutting*

UDC: 669.715'721'74'26-12:621.9.02

Shigeo ZAIMA**, Kozo ARAI*** Ryotatsu OTSUKA***
Shigemi TANIMOTO*** and Ichizo TSUKUDA***

Dry cutting tests of 5056 alloy were carried out using test bars whose properties had been controlled in such a way that DC billets homogenized at different temperatures, extruded under different working ratios and cold drawn. The cutting tool wear of 5056 alloy is explained in terms of ultimate tensile strength and Charpy impact value. The tool wear is moderated for the test bars having lower ultimate tensile strength and Charpy impact value. The tool wear is also moderated when the alloy contains the Al-Mg non-equilibrium second phase which melts at cutting temperature and lowers friction resistance and tool wear.

(Received February 14, 1983)

1. 緒 言

一般にアルミニウム合金では Al-Si 系合金以外のものは切削の際の工具摩耗は問題とならないことが多い。しかし、最近のように高速、重切削が行われるようになってきて、Al-Si 系合金以外の材料でもしばしば工具摩耗、工具寿命が重要な問題として取りあげられるようになってきた。著者らは各種切削用アルミニウム合金についての切削特性を検討し、その中で工具摩耗は材料強度が高いほど大きい傾向にあることを報告した^{1), 2), 3)}。しかし、工具摩耗はその材料強度だけでは十分に説明することができず、ほかの材料要因も考慮すべきであると考えられる。すなわち、材料の最終特性は途中の加工履歴に大きく左右されるので、同一ビレットから製造された引拔材でも、加工途中のビレットの均質化処理温度および時間、中間熱処理温度および時間あるいは押出温度、押出率、引拔率などのちがいによつて得られた材料の組織は変化し、その最終特性にも差違が生ずるものと思われる。本報では供試材料として5056合金を対象とし、同

一ビレットから加工履歴を変化した引拔材の切削試験を実施し、工具摩耗に影響を及ぼす要因について材料組織の面から検討するのを目的とした。5056合金は耐食性を必要とする機械部品によく使用されるため、最近しばしば切削用材料として利用されており、前報で高速度鋼 (SKH4) 工具の場合の工具摩耗は快削材 2011 よりは大きい、高力合金材 2017 ほどは大きくない状況にあった²⁾。

2. 実験要項

Table 1 に示すような化学成分をもつ5056合金を連続鋳造して直径200 mm のビレットとした。その後 Fig. 1 に示す製造スケジュールに従つて、鋳造のままのものおよび均質化処理温度を4種類に変化させたものを450℃で直径18, 20および21 mmの丸棒に押出し、さらに引抜き上り直径18 mmの供試材として、試料の材料特性に種々の変化を与えた。そのときの各試料の引抜き減面率はそれぞれ0, 19および27%の3種類である。なお、図にも示すように均質化処理550℃の場合についてのみ押出

* 軽金属学会 No. 61 大会 (56-11-12) にて発表。

** 文化女子大学家政学部 (東京都)。Department of Domestic Science, Bunka Women's University (Tokyo.)

*** 昭和アルミニウム㈱ (堺市)。Showa Aluminum Corporation (Sakai).

Table 1 Chemical composition of specimens.

(wt %)

Al	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	B
Bal.	0.10	0.17	0.01	0.06	4.70	0.06	0.01	0.01	0.002

Fig. 1 Working line diagram.

後200°C, 350°Cそれぞれ2時間の熱処理を行った。

切削試験は刃先諸元 0-10-7-7-8-0-0 の高速度鋼 (SK H 4) 製片刃バイトを用いた乾式切削である。切削条件は削り速度 $v=200$ m/min, 送り $f=0.2$ mm/rev, 切込み $t=10$ mm とし, 切削抵抗, 切削温度, 工具摩耗状態などを測定した。ここで, 工具摩耗としては5分間切削した際の工具逃げ面の摩耗幅で求めた。

機械的性質の測定としては引張試験 (試験片形状: JIS 4号), シャルピー衝撃試験 (試験片形状: JIS 4号) およびせん断試験¹⁾ によった。また, 組織観察として均質化処理条件を変えたビレットおよび引抜き上り試料材について顕微鏡観察, EPMA 分析を行った。

3. 切削特性

Photo 1 は本報における工具横逃げ面摩耗の実例であるが, この横逃げ面平均摩耗幅をもって工具摩耗とした。各供試材について均質化処理温度と工具摩耗の関係を求めれば **Fig. 2** のようになる。図から均質化処理温度が500°Cまでは工具摩耗状態はほとんど変わらないが, 550°Cになると急に大きくなることがわかる。また, 引抜き減面率が大きくなると, 全体として工具摩耗が大きくなっている。押出後に200°C, 350°Cで熱処理を行ったものについてはわずかながら工具摩耗は減少している。

Fig. 3 は工具摩耗試験と同じ切削条件で切削抵抗 (主分力および送り分力), 切削温度を求めたものである。この場合, 送りは $f=0.1, 0.2$ および 0.4 mm/rev と変化

Photo 1 Flank wear after turning. Tool SKH4
Dimension 0-10-7-7-8-0-0. Cutting speed
200 m/min. Feed 0.2 mm/rev. Depth of cut 1 mm.

Fig. 2 Flank wear after turning of specimens.

Fig. 3 Cutting force and temperature. Drawing red. (%) Δ 0 ○ 19 × 27 Heat-treatment (°C) A 200 B 350

させた。図からみれば, 切削抵抗, 切削温度ともに供試材による差はほとんど認められず, 今回の試験方法では切削抵抗, 切削温度によつて工具摩耗を予測することはできないことになる。

4. 材料特性

供試材の機械的性質に及ぼす均質化処理温度の影響を求めればFig. 4 になる。図にみるように、均質化

処理温度は供試材の引張強さ、耐力、伸びおよびせん断強さにはあまり影響を及ぼしていないようであるが、シャルピー衝撃値については均質化処理温度が550℃になると急に大きくなっている。そして引拔減面率が大きくなると引張強さ、耐力、せん断強さは大きくなり、伸び、シャルピー衝撃値は小さくなる傾向を示している。また、押出後の熱処理については、引張強さ、シャルピー衝撃値を低下させていることがわかる。Fig. 2 でも示したように工具摩耗は引拔減面率が高く、均質化処理温度が550℃と高くなった場合に大きくなった。いま、工具摩耗を供試材の引張強さとシャルピー衝撃値との関係で示すとFig. 5 のようになる(図中の数字はFig. 2 中の逃げ面摩耗幅である)。これから引張強さが小さいほ

Fig. 4 Mechanical property of specimens. Drawing red. (%) Δ 0 $\circ$ 19x27 Heat-treatment (°C) A 200 B 350

Fig. 5 Relation between flank wear, tensile strength and Charpy impact value.

Photo 2 Microstructure of ingot homogenized at each temperature for 4 h. Etched with 5% H_3PO_4 .

Photo 3 SEM micrographs and EDX results of ingot homogenized at each temperature for 4 h.

ど、またシャルピー衝撃値が小さいほど工具摩耗は少ない傾向にあることがわかる。ただし、押出後 350°C で熱処理した供試材 B については図にみるように、引張強さとシャルピー衝撃値から予想される工具摩耗量より大きくなっているが、その原因については明らかではない。

5. 組織観察

5.1 鑄塊組織

以上述べたように、均質化処理温度が 500°C から 550°C になると工具摩耗が大きくなることがわかったので、次に鑄塊の均質化処理による組織変化について詳細な検討を行った。Photo 2 は各温度で均質化処理をした鑄塊のリン酸腐食の組織を示したが、写真から均質化処理温度が上昇するにつれて、晶出物がしだいに固溶していくことが認められる。また、Photo 3 は鑄塊の各均質化処理温度における晶出物の EPMA 分析結果である。鑄造のままの場合に Al-Fe 系化合物、 Mg_2Si 、 Mg_2Al_3 (以下 β 相と呼ぶ) の晶出物が認められる。すなわち、写真中白く見えるのが Al-Fe 系化合物であり、黒く見えて比較的細長いのが Mg_2Si 、黒く見えて丸いのが β 相である。Al-Fe 系化合物、 Mg_2Si 晶出物は均質化処理温度が 550°C まで鑄造のままの組織とほとんど変化がないが、 β 相は処理温度が上昇するにつれて固溶されていくのがわかる。ただし、粗大な β 相は比較的高温でも固溶されに

Photo 4 Microstructure of specimens homogenized at each temp. for 4 h. Drawing red., 19%.

Photo 5 SEM micrographs and EDX results of specimens homogenized at each temperature for 4 h.

くく残っているようである。

5.2 供試材組織

引抜減面率19%の場合の供試材の顕微鏡組織を示せばPhoto 4 になる。写真左側は研磨仕上げのみの場合、右側はリン酸腐食の場合を示すが、両組織とも鑄塊の場合と同様に均質化処理温度が高くなると、晶出物が少なくなる傾向を示している。いま、研磨仕上げのみの組織で各均質化処理温度について晶出物の面積率を求めればFig. 6 になる。これから晶出物の面積率は500℃付近まではゆるやかに減少するが、550℃では比較的急激に小さくなることわかる。Photo 5 は引抜減面率19%の場合の供試材の晶出物をEPMA分析した結果を示すが、晶出物は押し出しによって加工方向に伸ばされ、破断した状態となっている。晶出物の分析結果は鑄塊の場合とほとんど変化はないが、鑄造のままのものと400℃の場合の β 相では押し出しによってわずかに固溶している。前述のFig. 2 と Fig. 6 をあわせ考えると、工具摩耗は供試材の晶出物面積率が大きくなると少なくなっている。一般に晶出物（硬い第2相）が存在すると引抜き摩耗の原因になり工具摩耗が増大する⁶⁾が、本合金組成の場合にも次のように考えることができる。すなわち、均質化処理温度によって晶出物面積率を変化させているものは主として β 相である。Fig. 3 より切削温度（この場合、 $f=0.2$ mm/rev）は約500℃であり、 β 相の溶

Fig. 6 Effect of homogenization temp on fraction of particles area in specimens.

融温度（451℃⁶⁾を超えていることは確実であると思われる。快削鋼における硫黄ないし鉛の役割と同様にこの場合 β 相は被削材と工具の摩擦抵抗を緩和するとか、切屑流れの拘束を緩和するものと考えられる。従って、 β 相の存在が減少してくればMg₂Siなどの硬質粒子の引抜き作用が直接的になって、工具摩耗の増大につながるこ

Photo 6 Microstructure of specimens heat-treated at each temperature for 2 h after extrusion. Etched with 5% H_3PO_4 .

となる。また、 β 相は引裂き試験におけるき裂伝播応力、引裂き強度などは低下する⁷⁾といわれており、 β 相が多く存在すると供試材の衝撃値が低下することもうなずけることになり、間接的に衝撃値が低くなれば工具摩耗も減少する Fig. 5 の関係が得られたものと思われる。

Photo 6 は均質化処理温度 550°C で押出し後、各温度で熱処理を行つたときのリン酸腐食組織である。これからみれば、200°C で粒界が腐食され、また 350°C から 400°C で粒内がわずかに腐食されている。Al-Mg 系合金の場合、200°C 付近で粒界が腐食されているのは β 相の析出または粒界への Mg 偏析であると推定され⁷⁾、また 350°C 付近で粒内が腐食されるのは微量けい素の存在により Mg_2Si が析出するためと考えられる。このように、これら硬い微粒子 Mg_2Si あるいは Al-Fe 系化合物の存在が、本合金切削における工具摩耗の大きな原因と考え

られるが、 β 相の存在がこれを緩和するものと思われる。

6. 結 言

5056 合金切削における工具摩耗に及ぼす影響を材料の製造条件から検討し、工具摩耗に及ぼす材料組織の効果を求めた。得られた結果を要約すれば次のようになる。

(1) 5056 合金切削における工具摩耗は供試材の引張強さとシャルピー衝撃値から予測することができる。すなわち、引張強さとシャルピー衝撃値が小さい材料ほど工具摩耗は少ない。

(2) 5056 合金における工具摩耗は供試材の均質化処理温度が 550°C になると急に大きくなる。均質化処理温度による組織の変化をみれば、硬質相 Al-Fe 系化合物、 Mg_2Si などの変化はほとんどないが、 β 相は均質化処理温度が高くなるに伴い減少し、とくに 550°C では著しく減少した。

(3) 5056 合金の切削温度は β 相の熔融温度を超えており、 β 相が存在すれば被削材と工具の摩擦抵抗を減少させる効果があり、硬質相の引掻きによる工具摩耗を軽減させるといえる。また、 β 相が多く存在すれば供試材の衝撃値を低下させる。従つて、 β 相が多く存在すれば 5056 合金切削における工具摩耗を少なくすることができる。

参 考 文 献

- 1) 財満鎮雄, 飯尾政次, 黄盈智, 新井浩三, 佃市三: 軽金属, **31**, 12 (1981), 787.
- 2) 財満鎮雄, 飯尾政次, 黄盈智, 新井浩三, 佃市三: 軽金属, **32**, 1 (1982), 3.
- 3) 財満鎮雄, 飯尾政次, 黄盈智, 新井浩三, 佃市三: 軽金属, **32**, 12 (1982), 661.
- 4) 財満鎮雄, 丹下隆雄: 軽金属, **24**, 6 (1974), 271.
- 5) 財満鎮雄, 高辻雄三, 山田茂, 奥島裕樹: 日本金属学会誌, **46**, 1 (1982), 108.
- 6) M. Hansen: *Constitution of Binary Alloys*, (McGraw-Hill, Inc., 1958), 106.
- 7) 岡本秀仁, 浅野和彦, 藤原明: 軽金属, **25**, 12 (1975), 451.