

アルミ鍛造サスペンションアーム用 ピーリングレス casting ビレットの開発

Development of Peeling-less Casting Billet for Forged Aluminum Suspension Arm

秋 山 浩*
Hiroshi AKIYAMA

天 木 友 士**
Yushi AMAKI

當 間 清 孝**
Kiyotaka TOHMA

要 旨

アルミ鍛造サスペンションアームの製造において、従来の鍛造用素材である casting ビレットのピーリング工程廃止を可能にする、表面品質の優れたピーリングレス casting ビレットを開発した。ピーリング工程の廃止にはビレット表面の凹凸、チル層および成分偏析をそれぞれ抑制する必要がある、成分調整(Ca添加)と casting 時の直接水冷、および断熱鑄型構造とグラファイト鑄型の採用、鑄造条件の最適化によりこれらの課題を克服した。

本開発技術により従来必要とされていたピーリング工程が不要となり、設備償却等の低減もあわせ、鍛造素材コストを約20%低減し、アルミ鍛造サスペンションアームの低コスト化を実現した。

ABSTRACT

Change to the use of aluminum material is being promoted in order to achieve the important goal of weight reduction. However, the high cost of this material means that weight reduction by this method is currently not progressing. Here we focused on the material cost, which occupies 59% of the manufacturing cost of forged aluminum suspension arms, and developed a new continuous casting technology which does not need peeling. This is called the peeling-less casting billet. To eliminate the peeling process, it was necessary to control material segregation and surface unevenness. Therefore the material content was adjusted (adding Ca) and direct cooling during casting was used, together with adiabatic mold casting and a graphite casting mold, and those problems were overcome. This developed technology eliminated the need for peeling, and in combination with reduced costs due to equipment depreciation, it reduced the cost of forging materials approximately 20%, thus realizing a reduction in cost compared to conventional forged aluminum suspension arms.

1. まえがき

近年、自動車の車両重量は、快適装備の増加および衝突安全対応等により増加してきている。また、地球環境保護(CO₂, NO_x排出削減など)の観点から燃費向上が求められており、車体の軽量化の必要性は年々高まっている。その中でも乗り心地、操縦安定性の向上といった自動車の走りに寄与するサスペンション部品への軽量化要求は特に高い。

Honda では、Fig. 1 に示すスポーツ車および低燃費車にてサスペンションのアルミ化を進め、その中でも高強度、高じん性を要求されるサスペンションアームには製法として鍛造を選択してきた。しかし鍛造は多くの工程を要するため高コストとなり、量販車まで普及するに至っていない。そのため、アルミ鍛造部品の低コスト化が求められていた。

* Honda R&D Americas, Inc.

** 栃木研究所



Fig. 1 Applied examples of forged aluminum suspension arms

2. 従来技術と開発のねらい

2.1. アルミ鍛造部品のコスト構成

Fig. 2 にアルミ鍛造部品のコスト構成を示すが、鍛造コストに占める材料費の割合は59%と高く、その内の16%を鍛造用ビレットのピーリング費が占めている。通常、ビレットを铸造する際、冷却過程で生じる表面層のマクロ偏析や凝固収縮による表面の凹凸を取り除くため、ピーリングをおこなっている。

また、鍛造用素材としてピーリング工程を必要としない押出材の適用も考えられるが、ピーリング費以上に押出費は高く、大きなコスト増加を招く。

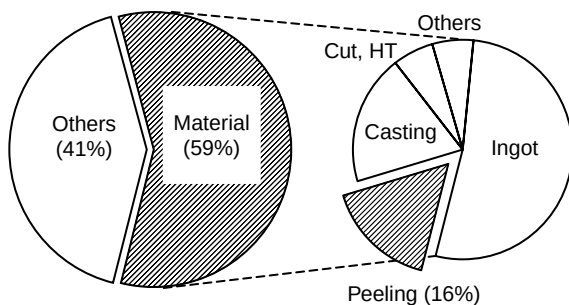


Fig. 2 Conventional cost composition of forged aluminum suspension arm

2.2. 従来技術における課題

代表的な連続铸造法であるDirect Chill Casting(DC 铸造)^{(1), (2)}を Fig. 3 に示す。これは铸型内のアルミ溶湯が水冷铸型の冷却(一次冷却)により凝固殻を形成し、铸型下端からの直接水冷(二次冷却)により残り大部分が凝固する二段冷却構造となっている。この铸造法では、Fig. 4に示すような、二段冷却の繰り返しのため発生する凝固収縮によりビレット表面に凹凸が生じ、また、表面層のマクロ偏析を生じ易く、これらは部品鍛造時の表面欠陥の発生、強度および耐食性低下の原因となるため、ピーリング工程にてビレット表面を除去している。DC 铸造の改良研究は铸型と溶湯の接触を最小化すること、つまり一次冷却力の低減に着目したものが多く、改良铸造法として Fig. 5 に示すようなホット

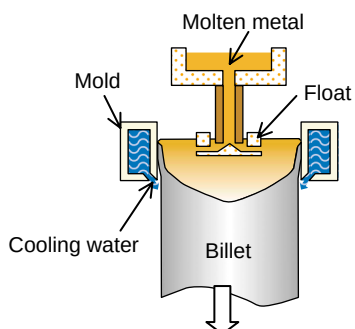


Fig. 3 Schematic of direct chill casting method

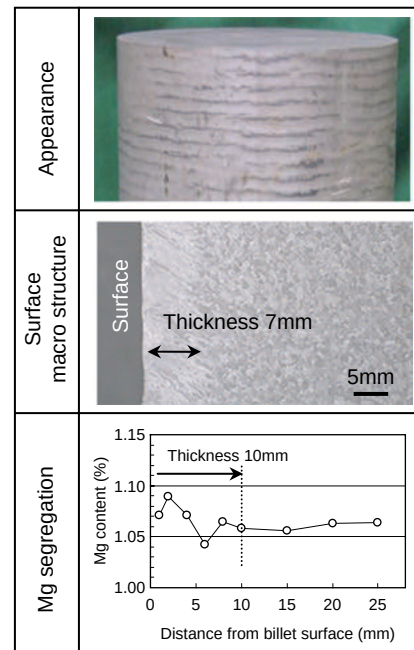


Fig. 4 Surface quality of direct chill casting billet

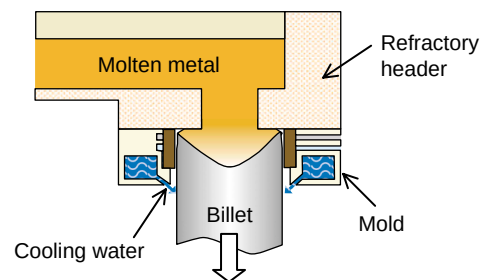


Fig. 5 Schematic of hot top casting method

トップ铸造^{(1), (3)}が考案された。しかし、この铸造法でもビレット表面の凹凸、表面層のマクロ偏析をなくすことはできず、ピーリングをおこなっている。

2.3. 開発のねらい

ビレット表面からの冷却方法を採用している铸造技術では、表面欠陥を完全になくすことは困難であるため、可能な限りこれらを少なくする铸造技術の確立に向け、

- (1) 二段冷却構造の回避(铸型材質と冷却方法)
- (2) 铸造条件の最適化(铸造速度と冷却水量)
- (3) 最表面凝固皮膜の強化(材料成分)

について取り組み、鍛造用素材となるビレット表面品質の向上を図り、ピーリング工程の廃止を可能にし、鍛造コストの低減を目標とした。

3. ピーリングレス铸造技術

3.1. 铸型材質と冷却方法

従来技術における二段冷却を抑制するため、铸型に冷却

機能を持たせず、直接水冷のみとする断熱鋳型構造^{(4), (5)}を採用した。Fig. 6に示すように、断熱性能を有す耐火物を鋳型ホルダーに使用するとともに、溶湯の内部と表面の温度勾配を小さくするため、鋳型材には熱伝導性に優れたグラファイトを採用した。またグラファイトは自己潤滑性能を有するため、アルミ溶湯が鋳型壁内をスムーズに通過できるという利点もあり、ビレット表面の平滑性向上に寄与している。なおグラファイトはアルミ凝固温度(鋳造温度)である700℃近傍での水蒸気との反応が著しく、鋳型寿命に影響するため、耐酸化性に優れたグラファイトを採用した。

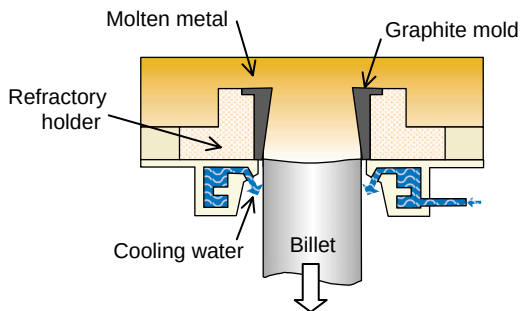


Fig. 6 Schematic of developed casting method

3.2. 鋳造速度と冷却水量

鋳造時の冷却を直接水冷のみとしたため、ビレット表面品質におよぼす冷却速度の影響が大きくなった。そのため、冷却速度を支配する冷却水量と鋳造速度をコントロールすることにより表面品質の改善を試みた。Fig. 7のように鋳造速度と冷却水量の最適化により表面品質の優れたビレットの製造条件を得ることができた。

Fig. 8 に冷却水量一定時の鋳造速度とビレット外観品質の関係を示すが、鋳造速度が遅くなるほど縦スジや表面突起物が生じ品質が低下する。なお、生産性の観点より溶湯漏れを起こさない範囲で可能な限り高い鋳造速度を設定する必要がある。

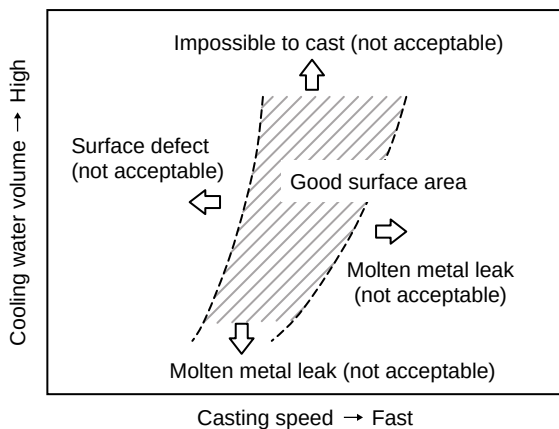


Fig. 7 Relationship between cooling speed and casting quality

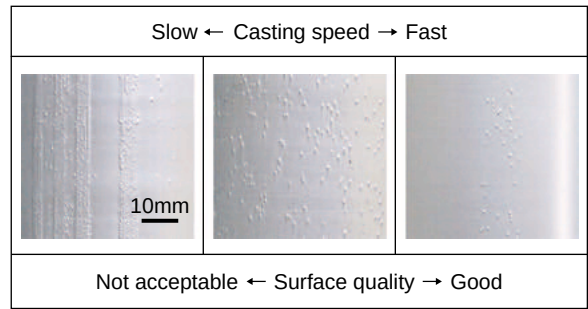


Fig. 8 Relationship between casting speed and casting quality

3.3. 材料成分

これまで鋳型材の最適選択および鋳造条件の設定によりビレット表面品質の向上を図ってきたが、平滑な表面を得るまでには至らず Fig. 8 に示すような表面突起物の発生が認められた。これは Fig. 9 に示すように、凝固界面近傍の凝固殻が鋳型との接触で生じる摩擦力によって破れる溶湯漏れと考え、凝固殻の強度および延性を高めることで、この突起物の抑制を図った。具体的には凝固時にビレット表面に酸化皮膜を優先的に生成させる Be^{(6), (7)}をはじめ、アルミ溶湯の表面張力を大きくする Sc, Ca, Sr⁽⁸⁾に注目し、ベース合金である 6061 合金にこれらの元素を添加し、開発した鋳造法によるビレットの表面品質向上に対する有効性を確認した。Fig. 10 に示すように Be および Ca 添加に表面突起物の消失効果が認められたが環境への配慮のため Be の採用を見送り、同様の効果が得られた Ca の添加量最適化を実施し、最適添加量範囲を 50ppm – 150ppm 設定した。Fig. 11 に Ca 添加量毎のビレット表面品質を示す。

また Fig. 12 に 開発鋳造法にて鋳造した Ca 添加ビレットの断面組織を示す。従来技術のマクロ偏析層の厚さが 7 mm, Mg の濃度偏析が厚さ方向に 10mm あるのに対し、開発した鋳造法ではマクロ的な偏析層はなく、150μm 程度の非常に薄い微細組織層(以下チル層と記す)となった。また, Mg の濃度偏析はほとんど存在しない。さらに直接水冷による急冷のため内部組織も微細なマクロ組織となっている。

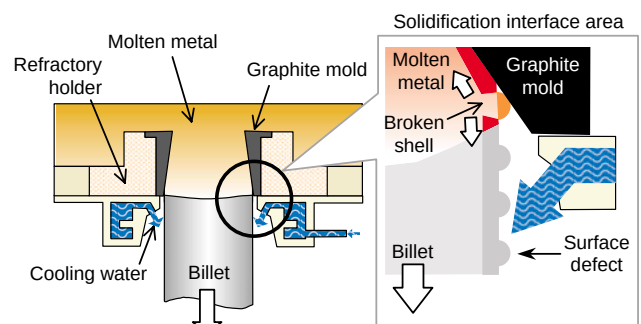


Fig. 9 Generating mechanism of surface defect

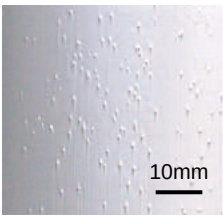
	Base metal	Base metal + Be	Base metal + Sc	Base metal + Ca	Base metal + Sr
Appearance					
Surface quality	Not acceptable	Good	Not acceptable	Good	Not acceptable

Fig. 10 Influence of additional element

	10ppm	50ppm	75ppm	150ppm	200ppm
Appearance					
Surface quality	Not acceptable	Good	Good	Good	Not acceptable

Fig. 11 Influence of Ca quantity to surface quality

以上、断熱鋳型材の採用、鋳造条件の設定に加え、Caを微量添加することにより、ビレット表層の平滑化とともに組織の不均一さを最小限に抑制し、ピーリング工程を必要としない鋳造ビレットを得ることができた。

4. 機械的性質・部品特性

ピーリングレス鋳造ビレットを鍛造アームに適用するにあたり、残存チル層および Ca 添加の影響を確認した。

4.1. 残存チル層の影響

ピーリングをおこなわず鍛造することで、部品表面に鋳造時の急冷によりに生じたチル層が残存する。この影響を確認するため、従来材と開発材にてビレット軸方向に水平に鍛錬比80%の熱間平つぶし鍛造を実施し、残存チル層の影響を調査した。

Fig. 13 に平つぶし鍛造品より切り出した試験片による機械的性質を示す。強度・シャルピー衝撃値はチル層の有無に関わらず同等の値を示したが、疲労強度は、破損確率 $P=0.1$ のデータで見ると、チル層のない従来技術と比較して約20%向上する結果となった。これは開発した鋳造法の急冷作用により、組織が微細となっていることと、表層チル層が存在することによる強化の効果と見られる。

4.2. Ca 添加の影響

Fig. 14に開発材と従来材の鍛造アーム内部から切り出した試験片による機械的性質を示す。一般に Al 中の Ca 原子は、Si 原子と結合して金属間化合物を形成し、6061合金の強度に寄与する Mg_2Si の量を減少させ強度を低下させる

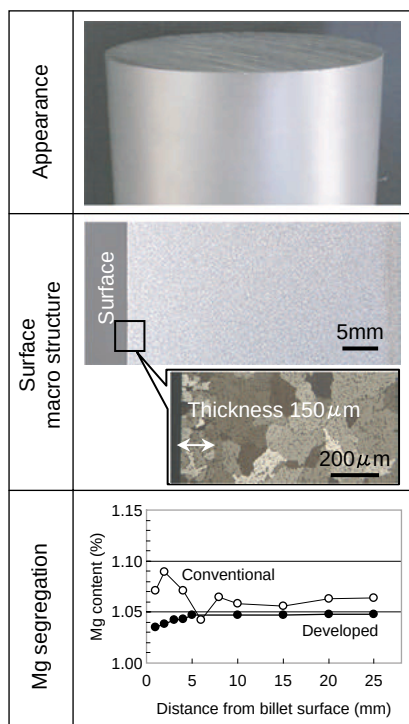


Fig. 12 Surface quality of developed billet

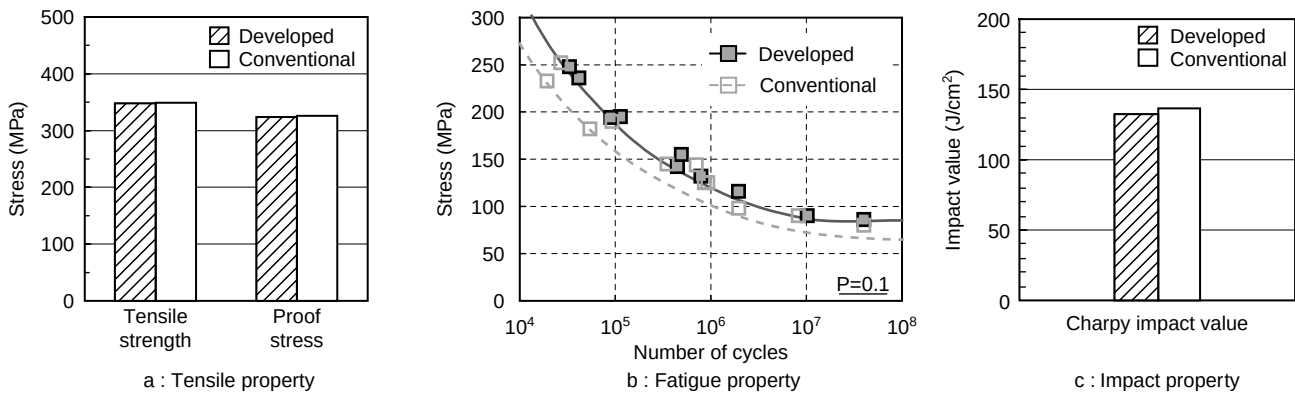


Fig. 13 Influence of residual chilled layer in flat forging

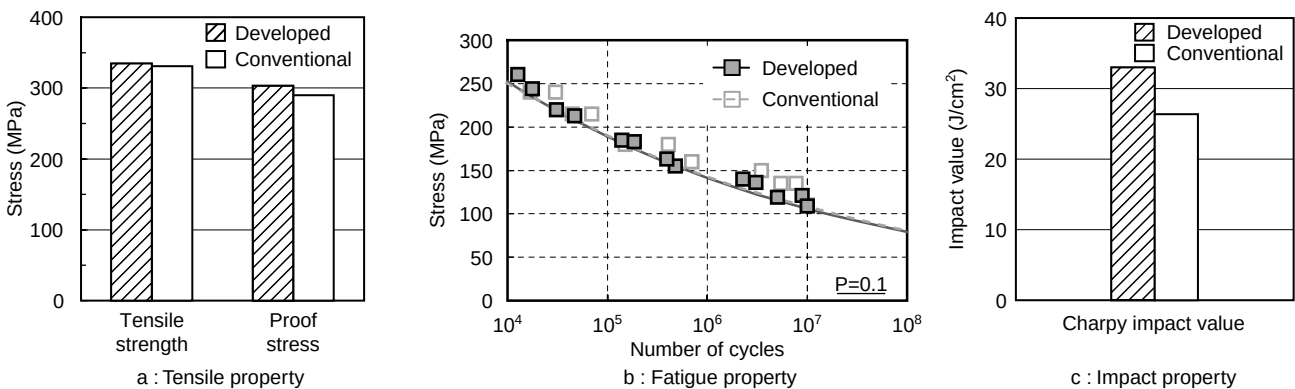


Fig. 14 Influence of Ca addition in forged arm

とされているが⁽⁹⁾, 50 – 150ppmの添加範囲では, Ca を添加しないものと同等以上の値を示した. 特に衝撃値は, 開発した鍛造法による組織微細化の効果により, 従来材よりも約 25%向上する結果となった.

以上, ピーリングレス鍛造ビレットを用いた鍛造品は, 従来技術より優れた機械的性質を有することがわかった. なお, 部品特性であるアーム単体の強度, 耐久性および耐食性についても問題がないことを確認した.

5. 実用例

本開発技術により従来必要であったピーリング工程を廃止することが可能となり, またピーリング工程廃止による鍛造棒の矯正廃止, 設備償却費等の削減により, 従来技術に比べ約20%の材料費低減を可能とした. そして, 200年モデル LEGEND のフロントロアアームに量産適用し, 鋳鉄アームに比べ約 43%の軽量化を達成した. Fig. 15 に LEGEND のフロントサスペンションおよび Fig. 16 にフロントロアアームを示す.



Fig. 15 External view of front suspension



Fig. 16 Front lower arm

6. まとめ

アルミ鍛造サスペンションアームの製造において、従来必要とされていたピーリング工程の廃止を可能とする表面品質の優れた鍛造ビレットの研究・開発をおこない、以下の結果を得た。

- (1) Ca添加, グラファイト鑄型の採用および鑄造条件の最適化により, ピーリングレス鍛造ビレットを開発した。
- (2) 従来のピーリング鍛造ビレットに比べ, 鍛造コストに占める材料費を 20%低減することができた。

7. 謝辞

最後に本技術・部品開発にあたり、御協力を頂きました富山合金株式会社、ティエフオー株式会社に対し紙面を借りて厚く御礼申し上げます。

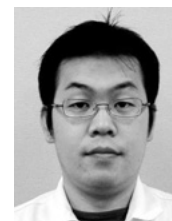
参考文献

- (1) 軽金属協会編: アルミニウム技術便覧, p.334-343(1996)
- (2) 松尾守: アルミニウムの連続鑄造, 軽金属, 第 44 巻, 第 9 号, p.510-525(1994)
- (3) Schneider, W., Lossack, E.: Improvement of Billet Quality by Use of a Hot Top Mold with a Two Phase Lubrication, Light Metals, p.763-768(1987)
- (4) Yamashita, T.: Characteristics of a vertical semi-continuous casting process using a heat insulating mould for aluminum alloys, International Journal of CAST METALS RESEARCH, Vol.9, No.4, p.241-247(1996)
- (5) 山下友一: 断熱鑄型を用いた堅型半連続鑄造法によるアルミニウムビレットの凝固位置と表面状態, 軽金属, 第 46 巻, 第 10 号, p.494-499(1996)
- (6) 潮田豊治, 吉村修, 増山章一郎: Al-Mg 合金に及ぼす微量ベリリウムの効果について, 軽金属, 第 7 巻, 第 6 号, p.29-33(1957)
- (7) 軽金属協会編: アルミニウム技術便覧, p.122(1996)
- (8) 中江秀雄: アルミニウム溶湯と非金属の濡れ, 軽金属, 第 39 巻, 第 2 号, p.136-146(1989)
- (9) 根村亮善, 大野猛, 鎌土重晴, 小島陽, 増田隆平, 大隈研治: 6061アルミニウム合金の組織および諸特性に及ぼす残留カルシウムの影響, 軽金属, 第 46 巻, 第 11 号, p.576-581(1996)

■ 著 者 ■



秋山 浩



天木 友士



當間 清孝