技術資料

高圧鑄造用金型の寿命向上

鈴木育夫*

Die Life Improvement for Squeeze Casting

Ikuo Suzuki

Synopsis

It is very effective to increase the die material hardness by the heat treatment to improve the anti-heat checking characteristics of squeeze casting dies. Heat treatment procedures are very important for this. Because the harder dies, which is anti-heat checking, show sometimes the shorter life due to large cracks.

In this paper, some heat treatment technique is introduced to solve the above problems. Local Tempering Process shows the die life improvement without large cracks in the initial stage of the die usage.

1. ま え が き

現在アルミホイールについては自動車の軽量化ニーズとユーザーのファッション性志向が高まってきたことによりアルミホイール鑄造の重要度は増してきている。アルミホイールの鑄造法として、高圧鑄造法は生産性に優れ、高品質で信頼性も高く当社でのホイール生産の主力の一つである。しかしその金型はダイカスト法に比較して高温の溶湯、高圧の鑄造圧の厳しい条件で使用されるためにヒートチェックが生じ易く、さらに製品の特徴として、外観品質の要求レベルが高いため微細なヒートチェックが問題となる。

一般的に金型の耐ヒートチェック性を向上させるためには、型材の熱間強度を上げることが有効な方法であるが、靱性の低下によって金型構造が

複雑になると大割れを引き起こす場合がある。この問題を解決するにあたり、局部焼戻し法という新しい熱処理法を開発した。

今回高圧鑄造法で生産されるアルミホイール用金型に局部焼戻し法を適用した。高圧鑄造法の概要とヒートチェック発生のメカニズム、金型材の改良状況、局部焼戻し法開発など寿命向上に寄与した事例も含め実用結果について報告する。

2. 高圧鑄造法の概要と金型構造

2.1 高圧鑄造法について

高圧鑄造機の全体図を図1に示す。縦型の鑄造機で、溶湯の充填は下方から射出充填を行う。具体的には保温炉からラドルにより溶湯を汲みあげ射出スリーブに受湯後、スリーブが傾転上昇し金型とのドッキングを行い射出充填させる。

高圧鑄造法はスリーブ充填率が100%で空気の巻き込みが少なく溶湯流入速度が低速で層流充填であり、ガス抜け性も良く熱処理が可能である。また高圧で凝固させるために組織が緻密である。

1993年4月13日受付

*トヨタ自動車㈱第4生産技術部

図1 高圧鑄造機の全体図

表1 鑄造条件の比較

項目 \ 鑄造法	高圧鑄造	ダイカスト
1) スリーブ充填率	100% (空気の巻き込み少)	50～70% (空気の巻き込み多い)
2) 溶湯流入速度	0.04～0.12m/s 層流充填	10～40m/s 乱流充填
3) 注湯温度	760～800℃	640～680℃
4) 鑄造圧力	80～130MPa	70～120MPa
5) サイクルタイム	90～120sec	50～80sec

ダイカスト法との比較をふくめ鑄造条件を表1に示す。

2.2 金型構造について

アルミホイールの金型は上型、下型及び可動入子で構成される。可動入子はホイールのリム部に相当し円周方向に引抜くために、2分割あるいは4分割となる。概略の構成を図2に示す。

今回『局部焼戻し法』を対象とした金型入子は下型入子である。下型入子の上面は意匠面を形成し、中央にある円錐形状は湯口である(図3)。入子外径はφ450mmと比較的大きいものである。内部に水冷穴を数本設けており常時通水される。

また鑄造ごとに入子表面に水溶性黒鉛離型材をスプレーし離型性の向上と外冷効果をもたらしている。

製品外観を写真1に示す。この製品は当社の新型高級車(クラウンマジェスタ)に搭載されてい

図2 金型の構成

るものでホイールサイズは15×7Jである。意匠面は黒皮であるが光沢感が好まれるホイールであ

図3 下型入子

写真1 ホイール製品外観

る。光沢度を満足させるために粗材の面粗度を従来ランク3からランク2（約35％）に向上させている（図4）。このため微小のヒートクラックでも塗装後目立ちやすく、より一層の耐ヒートチェック性が必要となる。

3. 型寿命向上対策

3.1 ヒートチェック発生メカニズム

ヒートチェックは金型の最表層と内部の温度差により発生する熱応力により最表層が疲労破壊するもので、具体的には加熱時の圧縮応力により塑性変形し、冷却に伴う引張応力の繰り返しにより亀裂が発生する（図5）。発生する応力の大きさは簡易的に次式で表される。

$$\sigma = E\alpha (\Delta T)/k (1-\mu)$$

σ : 発生応力 E : 弾性係数

α : 熱膨張係数 ΔT : 温度差

k : 熱伝導率 μ : ポアソン比

このため材料の耐ヒートチェック性を向上させるには、 σ に打ち勝つように材料強度（圧縮耐力

図4 粗材面粗度と光沢度

(a) 加熱時の金型表面の状態

(b) 冷却時の金型表面の状態

(c) 金型表面の割れ部形状

図5 ヒートチェック発生メカニズム¹⁾

～硬さ)を高めるか、 E 、 α 、 μ を小さく、 k を大きくして σ を小さくすることが考えられる。実際には E 、 α 、 μ 、 k については鉄鋼材料の範囲で大きく変えることは難しい。従って新しい鋼種の開発では材料強度の向上が主体となる。

次にダイカスト金型の寿命が数万ショットから数十万ショットであるのに対して、高圧铸造金型の寿命は、その1/10程度しかない事実について考察する。

高圧铸造金型とダイカスト用金型とでは、表面残留応力に大きな差がみられた。すなわち使用過程で飽和した表面残留応力の値は、ダイカストの

場合引張の大きな値をもっているが、高圧鑄造法の場合には零に近い値しかもっていない。図6に金型最表面部分を対象とした場合の応力—ひずみ線図を示す。高圧鑄造法の方が溶湯温度が高く圧力も高いため、金型と溶湯の密着度があがり金型の表面温度がより高くなる。

その結果表面に生じる圧縮ひずみはダイカストより大きくなる。次に外冷及び内冷により高温まで加熱されていた金型の表面層及び冷却穴付近が冷却される。温度振幅の大きい高圧鑄造法ではさらにより大きな引張応力が作用する。そして、最表面と内部の温度が等しくなったあとでは、表面の残留応力は零付近になる。

このようにひずみ振幅の大きい高圧鑄造金型は使用条件として過酷であり、寿命が短くなる。

図6 金型表面の応力—ひずみ関係模式図²⁾

3.2 耐ヒートチェック対策方法

耐ヒートチェックの向上対策として材料強度の向上を図ることが必要である。耐ヒートチェック性の向上には、マクロ的なアプローチとミクロ的なアプローチの2つがある。マクロ的なアプローチとして、硬さを上げることによるヒートチェックの減少の例を図7に示す。このように熱処理により初期硬度を高めることが有効である。また軟

試験条件：20℃⇒700℃、1000回

図7 硬さとヒートチェック

写真2 ヒートチェック発生部位のミクロ組織³⁾

化抵抗を高めて使用中の硬さの低下を抑えることが有効である。

ミクロ的なアプローチとは、ヒートチェックの起点をミクロ組織的に明らかにしてその発生を低減するものである。ミクロ組織の中でヒートチェックの起点となるのは、写真2に示すように、縞状偏析、結晶粒界、未溶解炭化物である。縞状偏析は、均熱処理や、P量の低減により抑えることができる。結晶粒界もP、S量の低減により強化することができ未溶解炭化物の低減にはSi量を低くすることが有効である。

3.3 対策・第1ステップ 硬度アップによる効果

(1) オーナメントの入子の寿命向上

初期ヒートチェック発生を抑制をねらい金型硬度を種々変更し寿命評価した。

適用した金型は、高圧鑄造法においてヒートチェックが最も生じやすい湯口真上に位置する入子で、外径が $\phi 155$ と小さく構造も比較的単純なものである(図8)。鋼種としてはDH 21を使用した。結果を図9に示すが、硬度を上げることに

り引張強さが向上し耐ヒートチェック性が改善される。その値は硬さが43→50 HRCで寿命が約40%向上する。なお寿命と判断したヒートチェックは図8に示すくびれ部に発生した。このように比較的形狀が単純なものについては、硬度を上げることにより寿命向上が図れる。

(2) 下型入子への適用

オーナメント入子で寿命向上が確認できた硬度上昇を旧型高級車(旧タイプ クラウン)の下型入子に適用してみた。鋼種としてはDH 21を採用し、焼入硬度を50 HRCとして数型製作し、量産を試みた。

結果はいずれも干ショット以下で大割れが生じた(写真3)。破面を観察すると大割れの起点は縦の水穴と横の水穴が交差する部分により生じており、亀裂伝播の進展が早いことをうかがわれた。一般に高硬度では延性が少ないため、亀裂伝播速度が大きくなり、大割れを生じさせるといわれている。従って硬度を下げると延性が増し亀裂伝播速度が低下すると考えられる。

このために金型構造が複雑なものについては大

図8 金型入子形状

写真3 大割れした下型入子

図9 金型寿命と硬さの関係

割れを防止するために、やむを得ず耐ヒートチェック性を犠牲にして硬度を43 HRC程度にする必要が生じた。

3.4 対策・第2ステップ 金型材の改良—DH 33について

DH 33は耐ヒートチェック性及び靱性の向上を図るために、P, Sなどの有害成分を極限まで低減し、主要成分を最適化して焼入性や耐軟化抵抗を向上させたものであり、主な特長として(1)~(4)があげられる。

- (1) 低偏析で均一なミクロ組織 (写真4)
- (2) 優れた耐軟化抵抗性 (図10)
- (3) 横方向の靱性が高く、高硬度で使用が可能 (図11)

写真4 ミクロ組織 ($\times 100 \times \frac{5}{9}$)

図10 耐軟化抵抗

- (4) 飛躍的に向上した耐ヒートチェック性 (図12)

3.5 対策・第3ステップ 局部焼戻し法の開発

(1) 開発の経緯

耐ヒートチェック性向上と大割れ防止は相反する課題である。最近の動向として金型の大型化、構造の複雑化が進む傾向にあり、高圧铸造用下型入子では耐ヒートチェックと大割れ防止を両立させ金型寿命を向上させる技術が必要となった。

ヒートチェックは形状の因子に大きく左右され意匠面側の同一箇所に発生し、また大割れは水冷穴を起点に発生することから、これら要求される機能に対して、鋼種の特性を最大限に引き出すために意匠面側を高硬度で高温強度を確保し、水冷穴付近を低硬度で靱性を確保することにした。

(2) 事前検討

同一金型に複数の性能を付与するための熱処理技術として、まず全体を高硬度に熱処理後部分的に焼戻す方法と、全体を低硬度に熱処理後、部分的に高硬度化する方法が考えられる。

実用化にあたって、今回開発した『局部焼戻し

図11 硬さと衝撃値 (中心部)
焼入冷却: $\phi 150$ 空冷相当

図12 ヒートチェック試験結果（中心部）

法』と平行して低炭素熱間ダイス鋼にプラズマ浸炭で表層部を高硬度化する方法を試みた。後者は浸炭層が耐ヒートチェック性に劣ることと、浸炭ムラが生じることが判明したので開発を中止した。局部焼戻し法は従来の熱処理方法に追加工程としてソルトバスで局部的に戻す方法で、水冷穴にソルト液が残りやすいことが予想されたが、処理後湯洗で十分に除去することが確認できた。

(3) 下型入子への適用

鋼種としては、耐ヒートチェック性の最も良い結果の得られている DH 33を採用した。焼入硬度は、50 HRC をねらい特殊熱処理 HIT 法（急速冷却熱処理法）を行い、局部焼戻しはソルトバスにより水冷穴付近が43 HRC 程度になるような条件設定を行った。具体的にはソルト液を入子下面より水冷穴付近まで浸しソルト温度、焼戻し時間については要求する硬さに適合する条件を見出した。

量産テストは耐ヒートチェック条件の最も厳しい新型車のアルミホイール用下型入子で行った。その結果、金型寿命は従来の焼入硬度43 HRC のものと比較し3倍の寿命延長を図ることができた（写真5）。寿命はヒートチェックによるもので冷却穴からの大割れはなかった。なお使用後の金型断面の硬さは50 HRC レベルを確保しており、大割れで問題になる水冷近傍は41～45 HRC で当初の狙い硬さを確認することができた。同時に部位別のシャルピー衝撃値を示す。特に水冷近傍のシャルピー衝撃値は45J/cm²レベルと高いため、大割れには至らなかった。使用後のヒートチェック

写真5 下型入子外観（寿命後）

写真6 ヒートチェックの一例

図13 局部焼戻しの考え方

図14 使用後の硬さと衝撃値

状況を写真6に示し、ヒートチェック部のマイクロ組織を写真7に示す。ヒートチェック深さは約1mm程度であった。

4. ま と め

局部焼戻し法の開発を行い高圧铸造用下型入子に適用した結果、従来の入子に比較し金型寿命は約3倍と飛躍的に向上した。

これは耐ヒートチェック性向上に対する金型材の改良(DH 33)及び、局部焼戻し法の開発により耐ヒートチェックの要求される型表面は50~51 HRC程度を確保し、大割れの発生が予測される水穴付近は40~45 HRCに硬さをコントロールすることを可能としたことによるものである。

最後に本開発・実用化は、大同特殊鋼(株)技術サービス部水野氏、福田氏及び大同テクノメタル(株)の絶大なる協力の賜であり書面をかりて厚く御礼を申し上げます。

(文 献)

- 1) 上原：アルトピア, 17 (1987) 12,
- 2) 岩堀ら：豊田中研業務報告書番号9106-101
高圧铸造アルミホイール用金型の破損原因解析 (1991. 6)
- 3) 松田, 須藤：電気製鋼, 57 (1986) 3, 161

写真7 ヒートチェック部マイクロ組織