

第41回 日本金属学会技術開発賞受賞 高強度高靱性ダイカスト金型用鋼 QDX-HARMOTEXの開発

The 41th Technical Development Award (The Japan Institute of Metals and Materials)
Development of High strength and Toughness Die Steel for Die Casting 'QDX-HARMOTEX'

武藤 康政*¹ 館 幸生*² 島村 祐太*³

Yasumasa MUTO, Yukio TACHI, Yuta SHIMAMURA

1. はじめに

当社は、公益社団法人日本金属学会より、「高強度高靱性ダイカスト金型用鋼QDX-HARMOTEXの開発」に対して、第41回技術開発賞を受賞した。同賞は、創意あふれる開発研究を推奨する目的で、金属工学ならびにこれに関連する新技術・新製品などの独創的な技術開発に携わった技術者に対し、授与される賞である。以下では、その受賞技術について受賞対象となった著書¹⁾から技術情報を引用し、本技報用に加筆して紹介する。



日本金属学会技術開発賞牌

2. 開発の背景

近年、自動車の燃費向上を目的とした車体軽量化のために、アルミダイカスト部品の高強度化及び薄肉化が進んでいる。また、部品の生産性向上を目的に、成形加工ピッチの短縮化も進んでいる。これら背景より、部品製造の為に使われるダイカスト金型への機械的負荷や熱的負荷は増大

している。このように過酷化する使用環境から、金型には大割れやヒートチェックといった寿命を低下させる問題が生じやすくなっており、長寿命化に向けて一層高性能な金型材料が求められている。

ヒートチェックとは金型表面に発生する亀甲状あるいは直線状の細かいひび割れであり、その発生は製品の寸法精度や意匠性などの品質に悪影響をもたらす。また、ヒートチェックは、アルミダイカスト金型の寿命要因の中で最も割合が高いことから、特に対策が必要となっている。ヒートチェックは、被加工材からの熱影響による金型表面の軟化に伴い発生したき裂が、加熱・冷却の熱サイクルの繰り返しに伴う局所的な膨張・収縮によって進展することにより形成する²⁾。そのため、ヒートチェックの発生を抑制するには、き裂の発生及び進展の抑制という観点から高温強度（軟化抵抗性）と靱性の向上が効果的である³⁾。高温強度と靱性は相反する特性であるため、両立することが難しかったが、当社では、炭化物に着目し、適切な合金成分と工程を設計することで、JIS-SKD61に比べて優れた高温強度と靱性を兼備したダイカスト金型用鋼QDX-HARMOTEX（キューディーエックスハーモテックス）の開発に至った⁴⁾。

3. 開発のポイント

優れた高温強度と靱性を兼備する為の適切な合金成分を設計するにあたり、焼戻しにより析出する炭化物の種類と量に着目した。図1¹⁾に、Thermo-Calcで平衡計算した焼戻しにより析出する全炭化物量と軟化量（焼入焼戻し材の高温保持による硬さの変化量）の関係を示す。硬さ42～46 HRCに焼入れ・焼戻しにより調質した試験片を600℃で100 h加熱保持、空冷後、硬さ測定を実施し、調質まま硬さとの差を軟化量と定義した。全炭化物量が同じである

*1 研究・開発センター 新商品・技術開発室 商品開発2グループ（現：人事・労政部 人事グループ付 ピッツバーグ大学留学中）

*2 技術企画管理部 高合金鋼グループ

*3 研究・開発センター 新商品・技術開発室 商品開発1グループ

場合、 M_2C 炭化物の割合が大きくなるほど材料の軟化が抑制されることが分かる。これは、 M_2C の方が他の析出炭化物である M_6C や $M_{23}C_6$ に比べて高温保持中に軟化の原因となる炭化物の粗大化が進行しにくいことによると考える⁵⁾。

焼戻しにより析出する全炭化物に対する M_2C 炭化物の割合を大きくするには、 M_2C 炭化物の形成元素であるC, Mo, Vを増量することが有効である。一方、これら元素の増量は成分偏析や粗大な晶出炭化物の形成を促進し、靱性の低下を招く。そこで、QDX-HARMOTEXの成分設計として、高温強度と靱性を両立できるように、 M_2C 炭化物の割合に寄与するC, Mo, Vの添加量を最適化した。同時に、更なる靱性の向上を目指して工程設計を実施、適切な二次溶解・熱処理等条件を見出した。

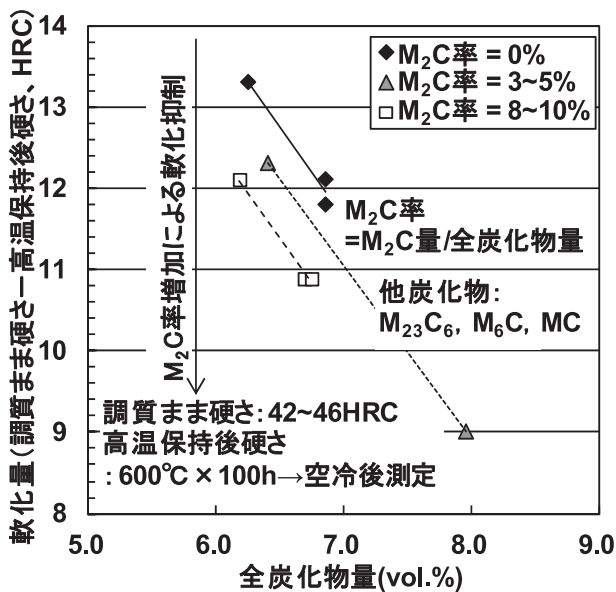


図1 Thermo-Calcで平衡計算した焼戻しにより析出する全炭化物量と軟化量との関係¹⁾

図2¹⁾に、QDX-HARMOTEXの焼なまし状態の組織を示す。QDX-HARMOTEXは、適切な合金成分と製造工程の設計により、偏析が抑制され、炭化物が微細均一分散した組織となっている。

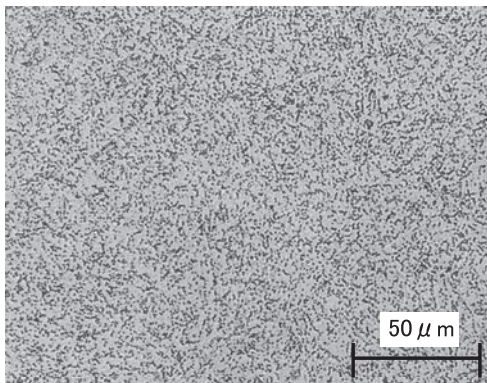


図2 QDX-HARMOTEXの焼なまし状態のミクロ組織¹⁾

4. QDX-HARMOTEXの特性

4.1 焼入焼戻し硬さ

図3¹⁾に、焼入焼戻し硬さを示す。QDX-HARMOTEXはJIS-SKD61と同様の熱処理で最高54 HRCの硬さを得ることができ、ダイカスト金型の一般的な使用硬さである43~48 HRCを焼戻し条件の調整により得ることができる。

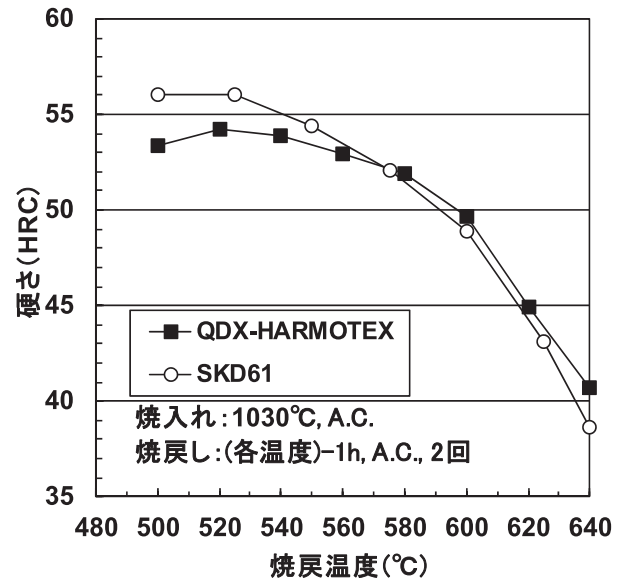


図3 焼入焼戻し硬さ¹⁾

4.2 靱性

図4¹⁾に、シャルピー衝撃特性を示す。鍛伸方向(L方向)とその垂直方向(T方向)をそれぞれ試験片の採取方向とし、焼入れ・焼戻しにより45±1 HRCに調質し、2mm-Uノッチ形状に仕上げた試験片を評価した。QDX-HARMOTEXはSKD61に比べて高い衝撃値が得られるとともに、試験片方向による衝撃値の差が小さい。これはQDX-HARMOTEXがSKD61に比べて偏析が抑制され、等方的に均質な組織を有していることによる。QDX-HARMOTEXは、この優れた衝撃特性から、金型使用中の割れの進展、大割れを抑制し、金型の長寿命化に貢献する。

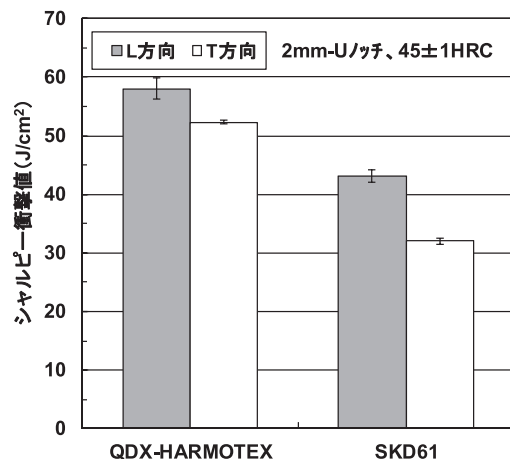


図4 シャルピー衝撃特性¹⁾

4.3 高温強度（軟化抵抗性）

軟化抵抗性は、600℃で一定時間加熱保持後、空冷した試験片を硬さ測定することにより評価した。この試験片には事前に硬さ約45 HRCが得られるように、焼入れ・焼戻しにより調質した。調質まま硬さと加熱・空冷後の硬さの差が軟化量であり、小さいほど軟化抵抗性に優れている。図5¹⁾に、軟化抵抗性の評価結果を示す。QDX-HARMOTEXは、SKD61に比べて軟化量が抑えられており、優れた軟化抵抗性を有している。そのため、QDX-HARMOTEXは、金型使用中の摩耗およびヒートチェックの発生が抑制されることにより、金型の長寿命化に貢献する。

4.4 耐ヒートチェック性

耐ヒートチェック性は、図6に示すヒートチェック試験機を使って評価した。試験では、高周波誘導加熱による急

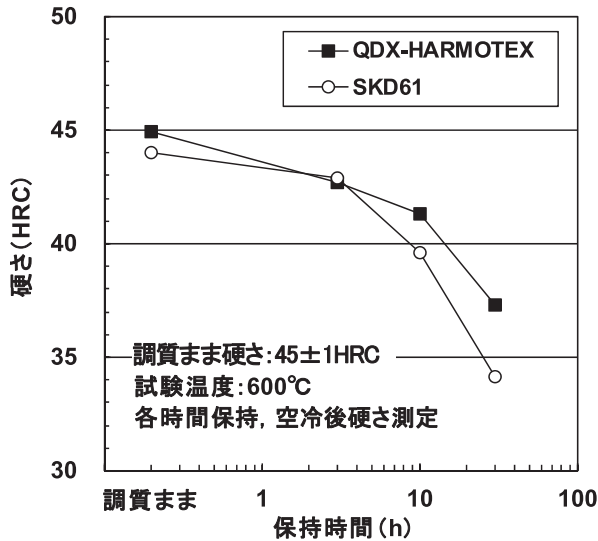


図5 軟化抵抗性¹⁾

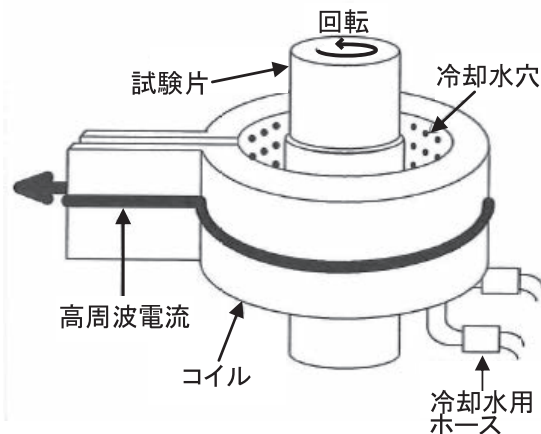


図6 ヒートチェック試験機概略図

速加熱と冷却水噴霧による急速冷却を繰り返して試験片表面に熱的負荷を与えた。図7¹⁾に、試験後の試験片の断面を示す。QDX-HARMOTEX、SKD61ともに試験片表面にヒートチェックが確認された。QDX-HARMOTEXはSKD61に比べ、比較的浅い割れが主体であり、最大の割れ深さも小さい。QDX-HARMOTEXは高温強度と靱性が両立しているため、SKD61に比べ優れた耐ヒートチェック特性を有していると考えられる。

4.5 耐アルミ溶損性

耐アルミ溶損性は、図8に示すアルミ溶損試験機を使って評価した。硬さ約45 HRCに焼入れ・焼戻しにより調質した試験片を高温保持したアルミ溶湯に浸漬、回転させ、溶損量を測定した。図9¹⁾に、耐アルミ溶損性の評価結果を示す。QDX-HARMOTEXは、SKD61よりもアルミ溶損

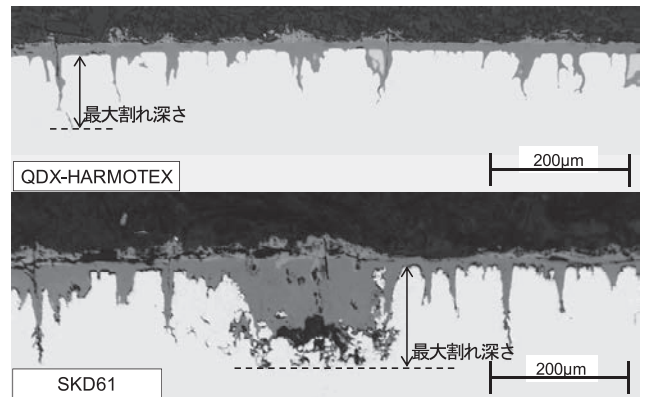


図7 ヒートチェック試験後の試験片断面
600℃保持(5 s)→水冷(50 s)を1000サイクル実施¹⁾

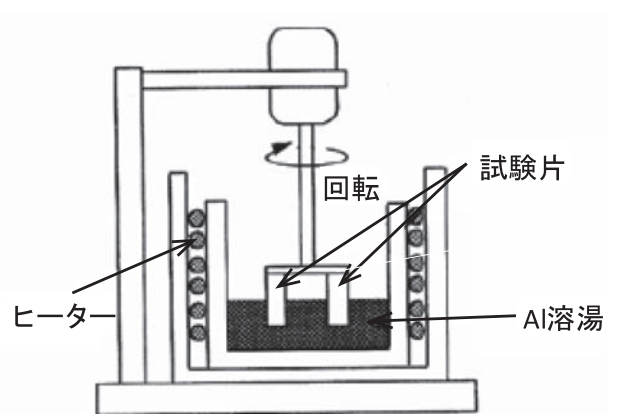


図8 アルミ溶損試験機概略図

量が抑制された。QDX-HARMOTEXは、比較的アルミ溶湯との親和性が低い成分系となっているため、SKD61よりも優れた耐アルミ溶損性を有すると考えられる。そのため、QDX-HARMOTEXは高温での金型使用時の焼きや溶損を抑えることができ、金型の長寿命化に貢献する。

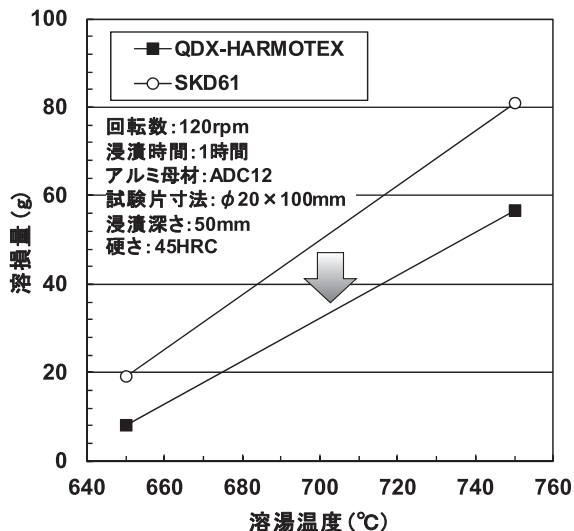


図9 耐アルミ溶損性¹⁾

4.6 被削性

被削性は、焼きなまし状態の試験片を用いて、穴あけ加工におけるドリル寿命により評価した。図10¹⁾に、被削性の評価結果を示す。QDX-HARMOTEXはSKD61よりもドリル寿命が長い。QDX-HARMOTEXは切削抵抗となる炭化物の微細分散化により優れた被削性を有していると考えられる⁶⁾。そのため、QDX-HARMOTEXは金型製作コストの低減に貢献することが期待される。

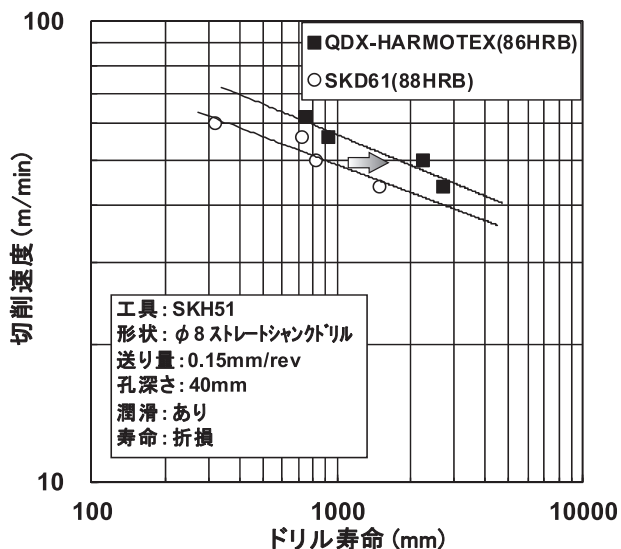


図10 被削性¹⁾

5. これまでの実績

QDX-HARMOTEXは、国内外の複数ユーザーにてダイカスト金型用材料として既に適用されている。耐ヒートチェック特性に優れることから、ヒートクラックを抑制、金型の長寿命化やメンテナンスフリーを達成し、ユーザーより高評価を得ている。

QDX-HARMOTEXは、北米ダイカスト協会NADCAの高品質鋼種リストに、高強度タイプ・二次溶解材限定に分類されるGrade Cに該当する鋼種として登録されている⁷⁾。

6. まとめ

QDX-HARMOTEXは、適切な合金成分と工程の設計によりSKD61の靱性および高温強度の両方を改善した鋼種であり、優れた耐ヒートチェック特性を有している。ダイカスト金型の使用環境の過酷化に伴い改善ニーズとして顕在化している金型の大割れ、欠けおよびヒートチェックの抑制にQDX-HARMOTEXが特に好適である。QDX-HARMOTEXは、生産阻害要因の低減と金型寿命の向上を実現し、ユーザーのトータルコスト低減に貢献することが期待される。

参考文献

- 1) 武藤康政, 舘幸生, 島村祐太: あたりあ, 57, 1 (2018), 11-13.
- 2) 辻井信博, 阿部源隆: 山陽特殊製鋼技報, 2 (1995) 1, 35-40.
- 3) 辻井信博: 山陽特殊製鋼技報, 7 (2000) 1, 65-71.
- 4) 島村祐太, 舘幸生, 中間一夫: 山陽特殊製鋼技報, 23 (2016) 1, 68-73.
- 5) 神谷久夫, 上原紀興: 電気製鋼, 50 (1979) 3, 173-180.
- 6) 清水崇行, 尾崎公造: 電気製鋼, 76 (2005) 4, 229-240.
- 7) NADCA: Product # 207 (2016).