

山陽のダイカスト金型用鋼シリーズ

Sanyo Special Steel's Tool Steels for Die Casting

1. はじめに

近年、自動車の燃費向上や電子機器部品の小型化、多機能化を目的に、軽さ、電磁波シールド性、放熱性、リサイクル性等に優れるアルミ合金やマグネシウム合金を車体や筐体に適用する事例が増えてきている^{1)~5)}。これらは主にダイカスト (Die Casting) と呼ばれる方法で製造されている。ダイカストとは、金型の中に熔融または半凝固状の金属を高速・高圧で注入し、迅速に凝固させ成形する、高い生産性を持った鋳造方法であり、より薄肉で複雑な形状をした製品、より均質で精密な製品を製造するため、様々な特殊ダイカスト法が開発されてきている⁶⁾。さらに、生産性向上を目的に部品成形ピッチの短縮化が進むなど、ダイカスト技術が進歩しているのに応じて、金型にかかる負荷は増大しており⁶⁾、汎用熱間工具鋼であるJIS-SKD61などの規格鋼では対応できないケースが出てきている。そのため、各材料メーカーにおいて、より高品位な鋼種開発が進められている。

また、金型が突発的に短寿命となったり、寿命までの期間が安定化せずばらついていると金型の作製計画が立てにくいことから、安定した特性が得られることも求められている。そのため製造工程での不純物濃度、非金属介在物および偏析の低減、圧鍛方法の改善を行うことで、韌性の向上、異方性の低減など品質の安定化も図られてきており、

汎用規格材であっても品質ばらつきは従前よりも大幅に低減しており、寿命の安定化に貢献している。

このような背景の中、海外ではダイカスト金型の安定した寿命を得るための受け入れ標準が作られており、良く知られているのは北米ダイカスト協会 (North American Die Casting Association) が定めている品質標準 (以下、NADCA規格と呼ぶ) である⁷⁾。ここでまず、NADCA規格について説明する。

2. NADCA規格について

NADCA規格では、化学成分および二次溶解の有無によって、表1に示すようにGrade AからGrade Fまでの6鋼種を規定している。また成分以外に、下記の材料品質についてそれぞれ基準が設定されている。

- (1) 焼なまし状態での硬さ (HBW)
- (2) 介在物清浄度 (ASTM E45, A法)
- (3) 超音波探傷試験 (ASTM A681 S1.1)
- (4) 結晶粒度 (ASTM E112)
- (5) 焼なまし組織状態
- (6) ミクロ偏析度合い
- (7) シャルピー衝撃試験 (2mm-Vノッチ)

その他、焼入焼戻し処理時の熱処理品質による項目や方法、焼入焼戻し後のミクロ組織状態についても規定や基準

表1 NADCA成分規格 (mass%)

Grade	Material Category	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V	溶解方法
A	H13-Premium (SKD61 相当)	0.37~ 0.42	0.80~ 1.20	0.20~ 0.50	Max 0.025	Max 0.005	5.00~ 5.50	1.20~ 1.75	0.80~ 1.20	脱ガス材
B	H13-Superior (SKD61 二次溶解材)	0.37~ 0.42	0.80~ 1.20	0.20~ 0.50	Max 0.015	Max 0.003	5.00~ 5.50	1.20~ 1.75	0.80~ 1.20	二次溶解 (ESR or VAR)
C	2367 & Modified	0.32~ 0.40	0.10~ 0.50	0.10~ 1.20	Max 0.020	Max 0.003	4.70~ 5.85	2.00~ 3.30	0.40~ 0.70	二次溶解 (ESR or VAR)
D	H11/2343	0.35~ 0.42	0.80~ 1.20	0.20~ 0.60	Max 0.025	Max 0.003	5.00~ 5.50	1.10~ 1.60	0.30~ 0.60	二次溶解 (ESR or VAR)
E	H11-Modified -Superior	0.32~ 0.43	0.10~ 0.55	0.10~ 0.70	Max 0.020	Max 0.003	4.70~ 5.70	1.10~ 2.10	0.30~ 0.80	二次溶解 (ESR or VAR)
F	H11-Modified -Premium	0.32~ 0.40	0.30~ 0.70	0.50~ 0.90	Max 0.020	Max 0.005	5.30~ 5.70	1.00~ 1.50	0.40~ 0.80	脱ガス材

が設定されている。

3. 山陽のダイカスト金型用鋼シリーズの特長

当社ではSKD61をベースとした独自のダイカスト金型用鋼シリーズを開発しており、前項で紹介したNADCA規格と照らし合わせながら、各鋼種の特長について以下に紹介する。

山陽のダイカスト用鋼シリーズの位置付けを図1に示す。ダイカスト用鋼シリーズは、QD61、QD61-R、QDX-HARMOTEX[®]、QDN1-R、QDN、QDH、QHZの7種類からなる。シリーズの内、QD61、QD61-R、QDX-HARMOTEX[®]、QDN1-R、QDNは、NADCAに定められている成分範囲に適合若しくは類似する鋼種であり、また各鋼種とも、Grade毎に定められているマイクロ組織やシャルピー規格などの材料品質に関わる評価項目に適合する鋼種である。

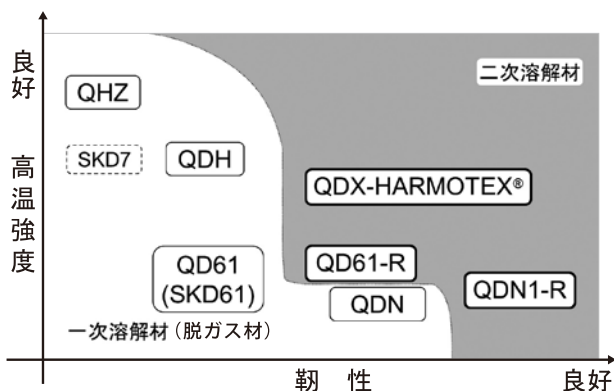


図1 ダイカスト金型用鋼の位置付け

①QD61 (プレミアムH13タイプ)

一般的なSKD61では、マイクロ偏析や焼なまし組織のバラツキにより安定した特性が得られないことがあった。QD61は、当社の有する高纯净度鋼製造技術に加え、熱処理技術を駆使することで、品質の高位安定化を達成している。(NADCA Grade A規格に相当)

②QD61-R (高品位H13タイプ、二次溶解材)

QD61-Rは、QD61に二次溶解プロセスであるESRを適用した鋼種であり、更に清浄度が向上し、偏析も低減するため、均質性が高く、またQD61よりも高い靱性を有する鋼種である。(NADCA Grade B規格に相当)

③QDX-HARMOTEX[®] (高強度高靱性タイプ、二次溶解材)

QDX-HARMOTEX[®]は、SKD61の靱性および高温強度の両方を改善させた鋼種であり、優れた耐ヒートチェック性を有している。またESR適用鋼種であるため、均質性に優れている。(NADCA Grade C規格に相当)

④QDN1-R (高靱性タイプ、二次溶解材)

QDN1-Rは、従来のSKD61を大きく上回る靱性と、同程度の高温強度を兼ね備えた高品位の熱間工具鋼である。ダイカスト金型や入れ子に適している。(NADCA Grade E登録)

⑤QDN (高靱性タイプ)

QDNは、SKD61に比べて焼入性が高く、更に靱性、耐ヒートチェック性および耐アルミ溶損性に優れた鋼種である。通常の金型はもちろん比較的大型の金型においても、安定した特性が得られる。(NADCA Grade F規格の類似成分鋼、特性はGrade F規格に適合)

⑥QDH (高強度タイプ)

QDHは、従来のSKD61クラスの優れた靱性に加え、3Cr-3Mo鋼 (SKD7) 並みの高温引張強さと優れた耐軟化抵抗性を兼ね備えた高性能熱間ダイス鋼である。ダイカスト鑄造中に非常に負荷がかかる、精密型や高Siアルミダイカスト型等に適している。

⑦QHZ (高強度・高靱性マトリックスハイス)

QHZは、SKH51クラスの高強度に加え、炭化物の微細化と基体組織 (マトリックス) の改善によって優れた靱性を兼ね備えたマトリックスハイスである。高温強度が高く、耐Al用損性にも優れるため、ダイカストスリーブや鑄抜きピン、高Siアルミダイカスト型等に適している。

4. ダイカスト金型用鋼の材料特性

4.1. 焼入焼戻硬さ特性

図2に、各鋼種の焼入焼戻硬さ特性を示す。いずれの鋼種もダイカスト金型の代表的な硬さ域である45~48HRCを焼戻条件の調整で得ることができる。なお、高強度タイプのQHZは他よりも高い焼入温度が必要である。

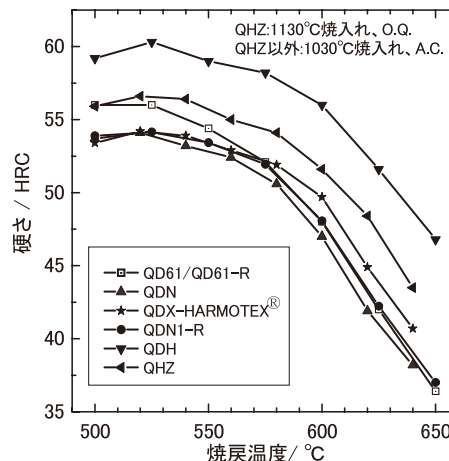


図2 焼入焼戻硬さ特性

4.2. 靱性

図3に、NADCA規格に基づくシャルピー衝撃試験(2mm-Vノッチ、45HRC、T方向L面ノッチ)の結果を示す。合金成分および製造条件の最適化により、各鋼種ともNADCA規格に規定されている平均値下限および最小値下限のいずれをも上回る靱性を有している。また、QDN、QDX-HARMOTEX[®]、QDN1-Rは、QD61-R(SKD61-ESR材)よりも更に優れた靱性を有している。図4に、QDH、QHZの衝撃特性を示す。QDHはQD61と同等の靱性を有している。靱性が高いことで、金型のコーナー割れや大割れの抑制が期待できる。

4.3. 高温引張強度

図5に、各鋼種の600℃における引張強さを示す。QD61に比べ、QDX-HARMOTEX[®]やQDHは高い引張強度を有しており、更にQHZは、硬さが違うものの優れた高温引張特性を有している。高温強度が高いことで、溶湯の圧力による金型の変形やヒートチェックの発生を抑制することができ、金型補修や金型交換により生産性を阻害する頻度を少なくすることが期待される。

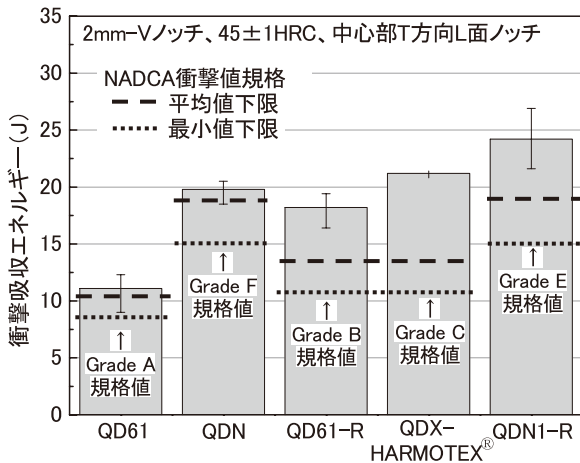


図3 NADCA規格に準じた衝撃特性

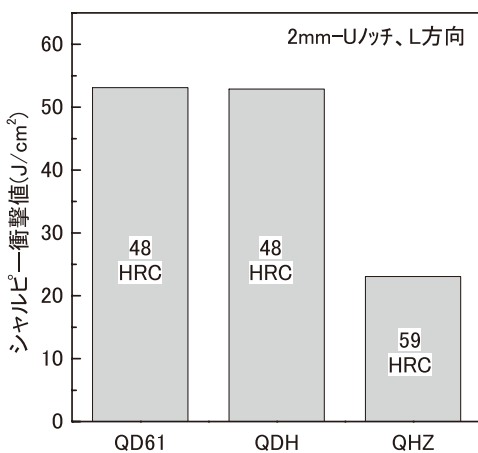


図4 衝撃特性

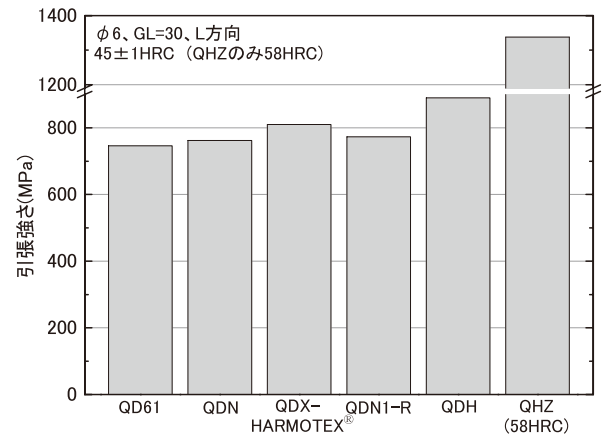


図5 高温引張強度 (600℃)

4.4. 軟化抵抗性

図6に、48HRCに調質した各鋼種を、金型使用時の熱影響を模して600℃に加熱保持したときの硬さ変化を示す。QDHやQHZは10h加熱後も硬さ低下が少なく、非常に優れた高温軟化抵抗性を有していることが分かる。このことから、金型として長時間使用しても、軟化による摩耗、ヘタリ、変形が起こりにくく、またヒートチェックが抑制されることにより、金型の長寿命化が期待できる。

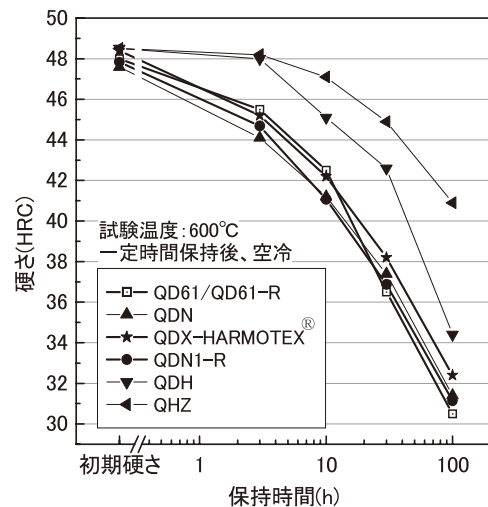


図6 軟化抵抗性

4.5. 熱伝導率

図7に、各鋼種の熱伝導率を示す。QDX-HARMOTEX[®]およびQDN1-Rは優れた熱伝導率を有しており、またQDN、QDHもQD61より高い熱伝導率を有している。熱伝導率は金型の冷却に関わる特性であり、高い熱伝導率であるほど金型の冷却が早くなり、金型にかかる熱負荷が抑えられる効果がある。

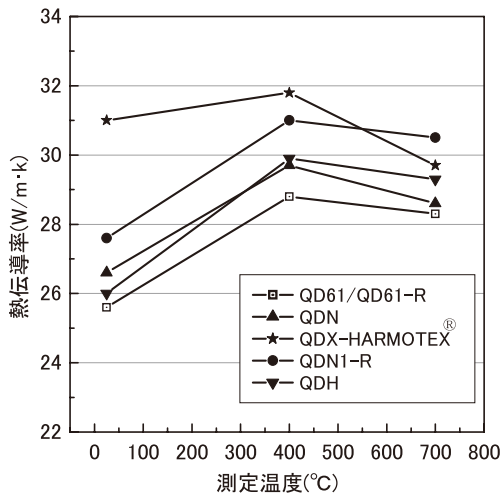


図7 熱伝導率

5. 耐ヒートチェック性評価

実際のダイカスト金型で起こる金型損傷は、ヒートチェックや溶損、焼付き等⁹⁾があるが、ヒートチェックによる損傷が金型寿命の最も多い原因となっている⁹⁾。ヒートチェックはダイカスト鑄造により金型の表面が溶湯で加熱され成型後冷却されることで、熱疲労および軟化が起り、金型表面に割れが発生する現象である。そこで、各鋼種に対してダイカスト金型に生じる熱疲労の模擬試験を行った。図8に、耐ヒートチェック性試験機の概要図を示す。試験片表面に高周波加熱（600℃×5sec保持）と水冷（50sec）を1000サイクル繰返すことにより、熱疲労によって試験片表面にヒートチェックが生じる。表面に生じたヒートチェックの最大深さおよび視野内の亀裂の平均深さを観察し、各鋼種の耐ヒートチェック性を評価した。

図9に、耐ヒートチェック性試験結果を示す。いずれの鋼種もQD61よりもヒートチェックの平均深さおよび最大深さが浅くなっており、特にQDX-HARMOTEX®およびQHZはQD61の深さの半分以下となっている。このことから、特にヒートチェックが激しい金型にQDX-HARMOTEX®あるいはQHZを適用することでヒートチェックを抑制す

ることができると考えられる。

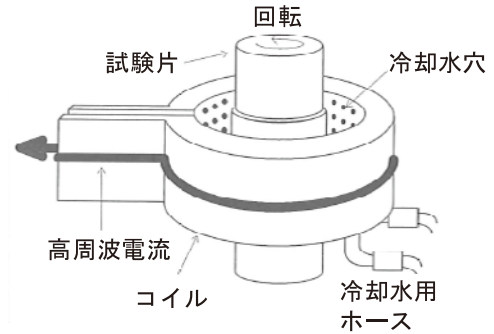


図8 ヒートチェック試験概略

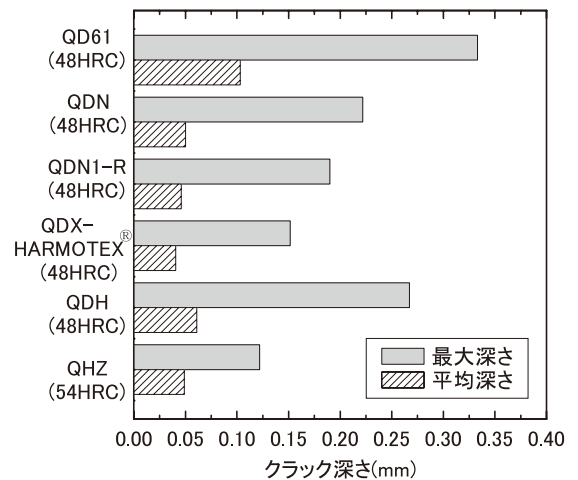


図9 各鋼種の耐ヒートチェック性

6. まとめ

山陽のダイカスト用鋼シリーズは、ダイカスト分野における金型への使用環境の苛酷化に対応すべく開発された鋼種群であり、表2に示すような用途での使用をターゲットとしている。さらに多くのユーザーの皆様のニーズにお応えして、より良い材料開発を行っていく所存である。

※HARMOTEXは山陽特殊製鋼(株)の登録商標である。

表2 ダイカスト用鋼シリーズの用途

鋼種	NADCA Grade	用途
QD61	A	汎用
QD61-R	B	汎用
QDX-HARMOTEX®	C	ダイカスト金型、入れ子等、高強度、高靱性が必要な金型
QDN1-R	E	ダイカスト金型、入れ子等、高靱性が必要な金型
QDN	(F)	大物型、スクイズ型
QDH	-	精密型、高 Si 系アルミ型
QHZ	-	高 Si 系アルミ型、ピン・スリーブ類

参考文献

- 1) 榎学:日本ロボット学会誌,Vol.27 (2009) No.1,
p.24-27.
- 2) 西直美:鑄造工学,Vol.76 (2004) No.4, p.266-271.
- 3) 牧野邦彦:表面技術,Vol.44,(1993) No.11, p.890-
894.
- 4) 佐藤健二,岡野良武,西直美,早野勇:鑄造工学,Vol.81
(2009) No.1, p.24-26.
- 5) 篠崎淳,武藤泉,小川洋,原信義:日本金属学会誌,Vol.73,
(2009) No.7, p.533-541.
- 6) 西直美:型技術,Vol.24 (2009) No.4, p.40-45.
- 7) Special Quality Die Steel & Heat Treatment
Acceptance Criteria for Die Casting Dies, NADCA
#207-2011.
- 8) 西直美:型技術,vol.27 (2012) No.3, p.18-25.
- 9) 日原政彦:ダイカスト金型の寿命向上と対策,軽金属通
信ある社, (2006) .