

技術資料

Technical Data

ダイカスト金型用鋼の衝撃値と耐ヒートチェック性

河野正道*, 樋口成起*

Impact Value and Anti-Heat-Checking Properties of Hot Work Die Steels for Die-Casting Dies

Masamichi KAWANO and Shigeki HIGUCHI

Synopsis

The impact value and anti-heat-checking properties of three hot work die steels were investigated for various quenching rates and hardness. Impact value decreases with increasing hardness and decreasing quenching rate. Steel C, with higher hardenability, exerts higher impact value even under the condition of high hardness with retarded quenching.

The hardness corresponding to an impact value of 45 J/cm² is 38 HRC, 43 HRC and 49 HRC for Steel A, Steel B and Steel C respectively. Increase of hardness improves anti-heat-checking properties. Crack initiation life on a heat checking test compared to 38 HRC of Steel A is approximately 5 times for 43 HRC of Steel B and at least 10 times for 49 HRC of Steel C. It is assumed that a remarkable improvement of anti-heat-checking properties can be attained without gross cracking due to decreasing impact value. The optimization of combination with hardenability of steel and tempered hardness is a matter of vital importance for die life maximization in die-casting.

1. 緒言

ダイカスト金型の表面は、600～700℃の溶融アルミ合金（以下、溶湯という）の射出で300～550℃へと急加熱され、鋳造品の取り出し後は、水溶性離型剤の多量塗布で100～250℃へと急冷却される。一方、金型の内部は150～300℃で推移する。鋳造サイクル中の金型表面は、内部に対して「射出では高温・離型剤塗布では低温」になるため、内部との温度差に起因した圧縮応力と引張応力が金型表面に周期的に作用する。この結果、500～10000ショットの鋳造を繰り返すうちに熱疲労亀裂（以下、ヒートチェックという）が金型表面に発生する。

ヒートチェックの開口部に溶湯が侵入すると、それが凸部として転写され鋳造品の表面品質が劣化する。また、ヒートチェック開口部への溶湯の侵入が楔効果を生み、鋳

造品が金型に張り付いて取り出せない原因ともなる。表面品質や取り出しの不具合を回避するため、ヒートチェックが顕著な金型は装置を停止して交換しなければならず、生産性の低下や型費の上昇を招く。以上の背景から、ダイカストにおいてはヒートチェック軽減のニーズが強い。

さらに、ダイカストでは金型を貫通する大割れの回避が必須である。経験的には、高衝撃値の金型は大割れしにくい¹⁾。このため、衝撃値の高い鋼材^{2), 3)}や衝撃値を高める焼入れ方法⁴⁾が開発されてきた。一方、近年のダイカスト金型の大型化においては、焼入れ速度が小さくなる金型内部の衝撃値が低下し、大割れの危険性が増加している。衝撃値の向上には低硬化化が有効であるが、この対策はヒートチェックの顕在化を招く。このように、大割れ回避とヒートチェック軽減の両立は難しさを増している。

そこで本報では、冷却速度の小さい大きなダイカスト

2017年8月28日 受付

* 大同特殊鋼(株)技術開発研究所 (Corporate Research & Development Center, Daido Steel Co., Ltd.)

金型を想定し、大割れの回避とヒートチェックの劇的な軽減の両立を検討した。

2. 実験方法

2. 1 供試材および熱処理条件

Table 1 に示すダイカスト金型用熱間ダイス鋼を用いた。Steel A は JIS SKD61 であり、Steel B と Steel C は焼入れ性や熱伝導率や高温強度を Steel A より高めた鋼である。これら 3 鋼種のプロックから、衝撃試験片用の角棒 (10.5 mm × 10.5 mm × 55 mm) と、ヒートチェック試験片用の円柱 (φ72 mm × 51 mm) を作製した。

Table 1. Chemical composition (mass%).

Steel	C	Si	Mn	Cr	Mo	V
A	0.38	1.0	0.4	5.2	1.2	0.9
B	0.34	0.4	0.6	5.0	3.0	0.6
C	0.34	0.3	1.1	5.5	2.5	0.6

角棒の焼入れでは、1030 °C における 60 min の保持後に 550 °C までの高温域を 100 °C /min で冷却し、以降は 150 °C までの低温域を 0.5 ~ 100 °C /min で焼入れた。冷却速度を広範に変化させた低温域では、マルテンサイトやベイナイトの相変態が起こる。焼戻しは、所要の硬さ 38 ~ 49 HRC に応じて 580 ~ 625 °C における 1 ~ 3.5 Hr の保持を 3 ~ 6 回繰り返した。

円柱の焼入れ条件は角棒の場合に準じたが、800 kg 程度の大きなダイカスト金型を想定し、低温域の焼入れ速度を 3 °C /min とした。焼戻し硬さは、Steel A が 38 HRC、Steel B と Steel C は Steel A と同じ衝撃値になる硬さを選定し、それぞれ焼戻し条件を調整した。

所定硬さへの調質後、角棒から 2 mmU ノッチの衝撃試験片 (10 mm × 10 mm × 55 mm) と、円柱からヒートチェック試験片 (φ72 mm × 50 mm) を作製した。

2. 2 衝撃試験とヒートチェック試験

衝撃試験は室温でおこない、かつての JIS 規格に制定されていた「吸収エネルギーを試験片の断面積で割った値 (J/cm²)」を衝撃値と扱う。この特性値は現在も工業的に用いられることが多く、鋼材と焼入れの健全性を計る重要な指標である。

耐ヒートチェック性は、円柱状試験片の上端面に対して高周波加熱と噴射水冷を繰り返して評価する。試験片端面に付与する温度サイクルを Fig. 1 に示す。7 秒で 580 °C へ高周波で加熱し、1.7 秒の放冷後に 3.1 秒間の噴射水冷をおこなう。その後は放冷とエアブローを経て次サイクルに移る。1 サイクルは 17.6 秒である。端面の

ヒートチェックを 5000 サイクルごとに浸透探傷法で目視評価し、累積で 25000 サイクルまで試験を継続する。

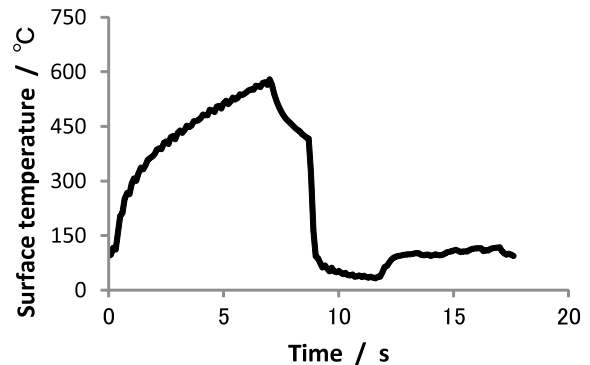


Fig. 1. One cycle of heat shock on heat checking test. Induction heating and forced water cooling is given. Number of repetitions is up to 25000 cycles.

3. 結果および考察

3. 1 衝撃値

(a) 焼入れ速度の影響

衝撃値におよぼす低温域焼入れ速度の影響を Fig. 2 に示す。試験片の焼戻し硬さは 43.1 ± 0.7 HRC である。衝撃値は、Steel A が 22 ~ 45 J/cm² で最も低く、Steel C が 47 ~ 60 J/cm² で最も高い。Steel B は 34 ~ 50 J/cm² で Steel A に近い。焼入れ速度が小さくなると衝撃値も低下する傾向は、3 °C /min 未満において顕著である。ただし、Steel C は緩冷による衝撃値の低下が少なく、焼入れ速度の低下が避けられない大きな金型の内部においても、高い衝撃値が期待できる。

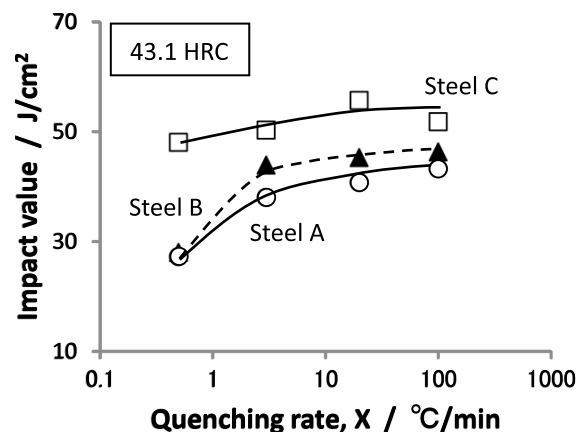


Fig. 2. Influence of cooling rate X on impact value. Steels were cooled from 1030 °C to 550 °C by 100 °C /min then quenched with rate X to martensitic or bainitic microstructure and tempered to 43 HRC.

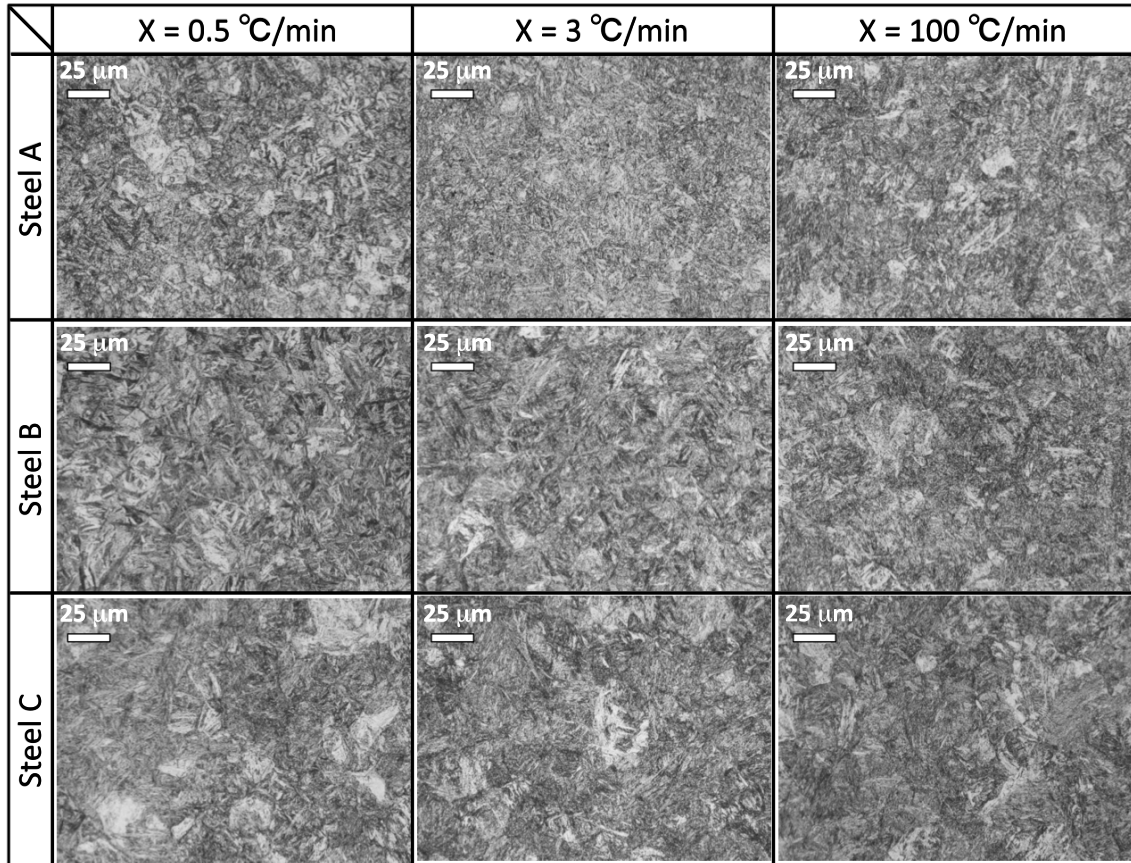


Fig. 3. Microstructure of specimens. Steels were quenched with rate X then tempered to 43 HRC.

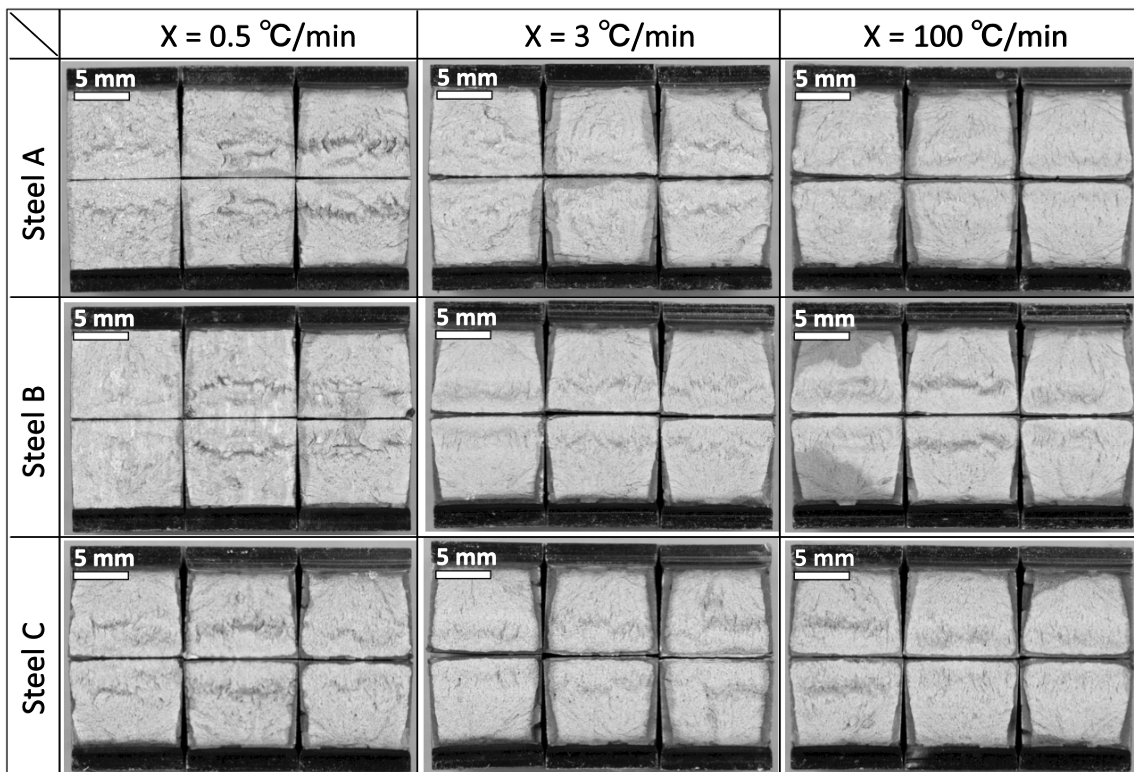


Fig. 4. Appearance of fracture surface. Steels were quenched with rate X then tempered to 43 HRC.

試験片の組織を Fig. 3 に示す。緩速焼入れ材ほど組織が粗大であり、冷却速度の低下によって変態温度は上昇したことが分かる。Steel C の組織は焼入れ速度の影響をあまり受けず微細であり、衝撃値が焼入れ速度によらず高位安定であることに対応した。いずれの鋼種も、0.5 °C /min では焼戻しベイナイト、100 °C /min では焼戻しマルテンサイトである。

破面の外観を Fig. 4 に示す。いずれの鋼種も、緩冷材ほどシェアリップは小さく破面は粗くなる。Steel C は焼入れ速度の影響を受けにくく、0.5 °C /min でもシェアリップが大きい。Fig. 2 ~ Fig. 4 から分かる通り、高 Mn の Steel C は焼入れ性が非常に高い。例えば、3 °C /min の焼入れにおける Bs 点は、Steel A の 378 °C に対して Steel C は 313 °C と 65 °C も低い。

(b) 焼戻し硬さの影響

衝撃値におよぼす硬さの影響を Fig. 5 に示す。低温域の焼入れ速度は、800 kg 程度の大きなダイカスト金型を想定した 3 °C /min である。鋼種や硬さの範囲にもよるが、衝撃値は 1 HRC の硬さ上昇で 0.6 ~ 2.8 J/cm² 低下する。Steel A は衝撃値が低く、高硬度域で硬さの影響を大きく受ける。最も高位の Steel C は、高硬度化しても衝撃値の低下がわずかである。

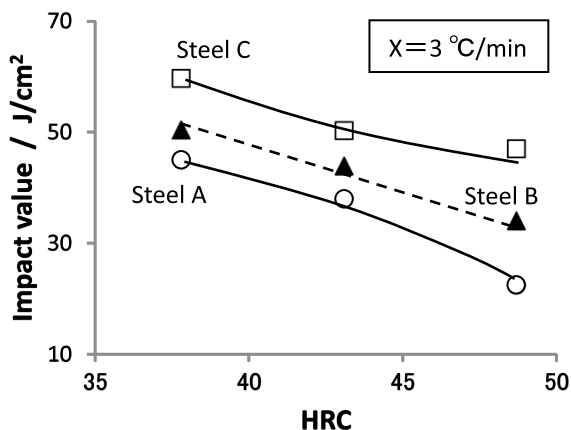


Fig. 5. Influence of hardness on impact value. Steels were quenched with a rate of 3 °C/min then tempered to various hardness.

衝撃値が 44 ~ 47 J/cm² となる水準の破面を Fig. 6 に示す。硬さは、Steel A が 38 HRC、Steel B が 43 HRC、Steel C は 49 HRC である。鋼種によって 11 HRC の大差があるにもかかわらず、破面には顕著な差異が認められない。鋼種や硬さが異なっても、衝撃値が同じであれば破面の状態も同等であることが分かる。

ここで、Steel A の金型が 45 J/cm² の 38 HRC では大割れしないと仮定すれば、同じく 45 J/cm² 程度である Steel B の 43 HRC と Steel C の 49 HRC でも大割れ回避は可能と考えられる。そこで以下では、3 °C /min で焼入れた 3 鋼種の耐ヒートチェック性を「衝撃値が約 45 J/cm² となる硬さ」で比較する。

3. 2 耐ヒートチェック性

サイクル数の増加に対するヒートチェックの状況を Fig. 7 に示す。いずれの水準も、衝撃値は約 45 J/cm² である。38 HRC の Steel A では、5000 サイクルの時点で既に亀裂が確認され、ヒートチェック発生までの寿命は 2500 サイクル程度と考えられる。Steel A に対して 5 HRC 高硬度化した Steel B は、12500 サイクル程度でヒートチェックが発生したと推測される。Steel A より 11 HRC 硬い Steel C では、25000 サイクルでも損傷は発生しなかった。

以上より、Steel A の 38 HRC と比較しての耐ヒートチェック性は、43 HRC の Steel B が約 5 倍、49 HRC の Steel C は 10 倍以上、と見積られる。Steel C は Steel B に対しても 2 倍以上の長寿命である。このように、鋼種と硬さの組合せを適正化すれば、焼入れ速度が小さくなる大きな金型であっても、大割れの回避と耐ヒートチェック性の劇的な改善を両立可能と考えられる。

4. 寿命最大化の検討

上記で示した手順を以下の①~⑤にまとめる。①対象となる大きな金型の焼入れ速度 X を見積る。X の対象は、衝撃値への影響が大きい低温域である⁴⁾。本報では、実測や数値解析の経験から X = 3 °C /min とした。②速

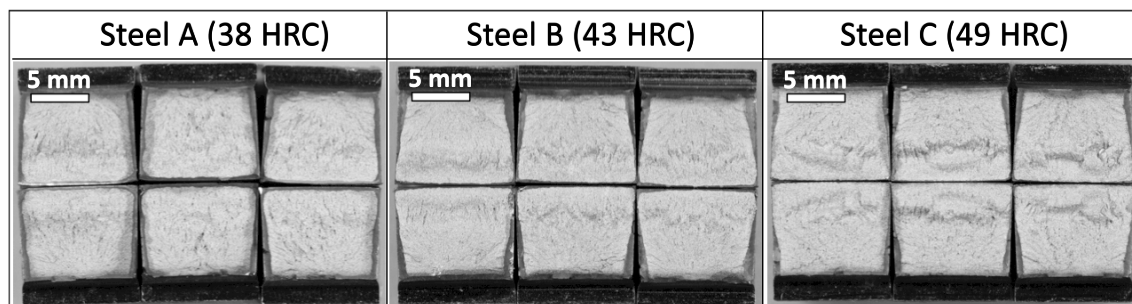


Fig. 6. Appearance of fracture surface. Steels were quenched with a rate of 3 °C/min then tempered to various hardness. Reference back to Fig. 5, impact value is approximately 45 J/cm² for all steels.

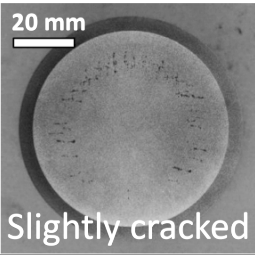
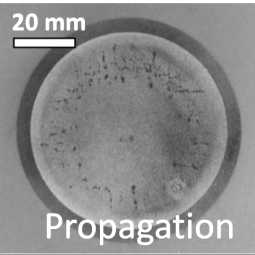
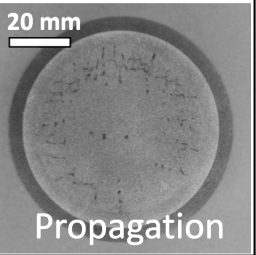
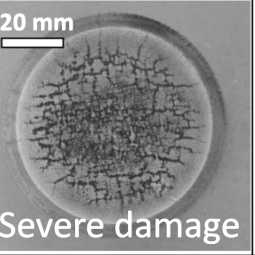
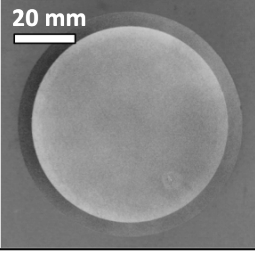
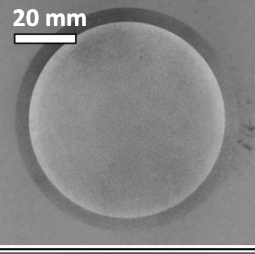
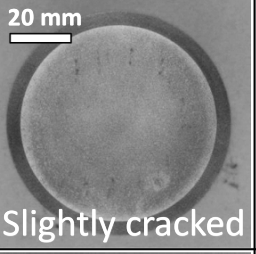
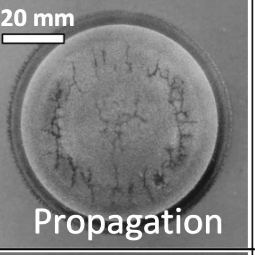
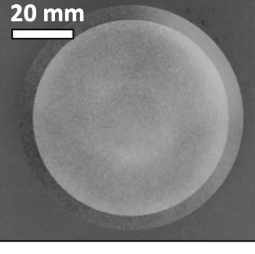
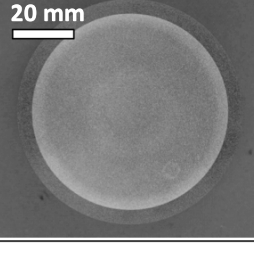
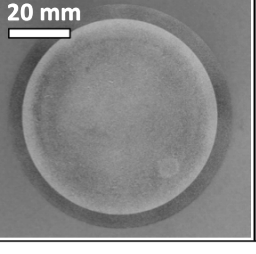
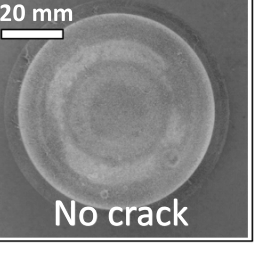
	5000 cycles	10000 cycles	15000 cycles	25000 cycles
Steel A (38 HRC)	 20 mm Slightly cracked	 20 mm Propagation	 20 mm Propagation	 20 mm Severe damage
Steel B (43 HRC)	 20 mm	 20 mm	 20 mm Slightly cracked	 20 mm Propagation
Steel C (49 HRC)	 20 mm	 20 mm	 20 mm	 20 mm No crack

Fig. 7. Comparison of heat checking between steels with different hardness. Reference back to Fig. 5, impact value is approximately 45 J/cm² for all steels.

度 X で焼入れたさまざまな鋼種の衝撃値を硬さに対して評価する。③大きな金型でも大割れが発生しない衝撃値 Y を見極める。本報では Y = 45 J/cm² とした。④さまざまな鋼種に対して、衝撃値 Y となる硬さ H が判明する。⑤鋼種に応じた硬さ H で耐ヒートチェック性を評価し、亀裂発生までの寿命を現行材の何倍にできるか見積る。

一連の手順の中で、最も難易度が高い項目は③である。本報で Y = 45 J/cm² と扱った根拠は、衝撃値が 64 J/cm² となる 33 HRC まで金型内部を軟化させると大割れしなかった⁵⁾ という例がある一方、38 J/cm² の 43 HRC (Fig. 5) では大割れの報告例が皆無ではない、ことである。非常に限られた情報に基づいているため、45 J/cm² の妥当性には議論の余地がある。

また、手順③に関しては「大割れが全く発生しない Y」の見極めは現実的でない。本来は統計処理によって、例えば「 casting が 100000 ショットの長期におよんでも、大割れの発生確率はわずか 1% である衝撃値」を Y と扱う手法が推奨される。

なお、ヒートチェック軽減のための高硬度化においては、金型を仕上げ加工する際の被削性の劣化を考慮する

必要がある。硬さと被削性の相関を手順⑥として調査しておけば、手順⑤と併せ、費用対効果の判断がしやすい。耐ヒートチェック性と被削性のバランスから、製造コストが最小となる硬さの選定も可能である。

5. 結 言

ダイカスト金型用熱間ダイス鋼の衝撃値と耐ヒートチェック性におよぼす焼入れ速度と焼戻し硬さの影響を調査し、以下の知見を得た。

1. 焼入れ速度が小さくなると、組織が粗大化し衝撃値は低下する。焼入れ性の高い鋼種は、緩速焼入れにおいても低温で変態するため、組織が比較的的微細で高い衝撃値を示した。
2. 大きなダイカスト金型を想定した 3℃ /min の焼入れにおいて、1 HRC の硬さ上昇に対する衝撃値の低下は 0.6~2.8 J/cm² である。
3. 3℃ /min で焼入れた場合の衝撃値が約 45 J/cm² となる硬さには、鋼種によって 11 HRC の大差を生じた。焼入れ性の高い鋼は、衝撃値を維持したまま大幅な高硬度化が可能である。

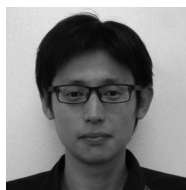
4. 衝撃値が約 45 J/cm^2 となる硬さで耐ヒートチェック性を比較すると, 38 HRCの Steel Aに対して 49 HRCの Steel Cでは, 亀裂の発生寿命が10倍以上に改善された.
5. 鋼種と硬さの組合せ適正化によって, 大きなダイカスト金型であっても高衝撃値を維持したまま, すなわち大割れの危険性を増すことなく, 耐ヒートチェック性の劇的な改善が可能と考えられる.

(文 献)

- 1) 井上幸一郎, 大藤孝, 市岡雄二, 荒木利彦: 電気製鋼, 76(2005), 287.
- 2) 田部博輔: 型技術, 19(2004), 100.
- 3) 河野正道, 並木邦夫, 瓜田龍実, 越川典弘, 柳澤民樹: 素形材, 54(2013), 30.
- 4) 渡辺憲一, 北川利博, 河野正道, 大藤孝: 型技術, 26(2011), 112.
- 5) 金川淳, 栢原芳郎, 岡島琢磨: 型技術, 20(2005), 86.



河野正道



樋口成起