

高強度高靱性ハンマー金型用鋼 QTP-HARMOTEX[®]

1. はじめに

近年、カーボンニュートラルの実現に向けた社会的な環境変化から、自動車の燃費向上を目的とした軽量化に代表されるように、各種構造部品への高強度材の採用が進んでいる。また、歩留まり向上やリードタイム短縮を目的とした部品製造工程の簡素化のためのニアネットシェイプ成形化が進行している。強い衝撃を受けるハンマー金型分野の汎用鋼である JIS SKT4 は、熱間工具鋼の中で比較的低合金設計をもってハンマー鍛造用金型に欠かせない高い靱性を有することが特徴である。しかしながら、上述した背景による金型使用環境の急速な過酷化に伴い、高温強度の向上が求められている。当社では、そのニーズに適合した新たな高強度高靱性ハンマー金型用鋼である QTP-HARMOTEX[®] (図 1) を開発した。以下にその特徴を紹介する。

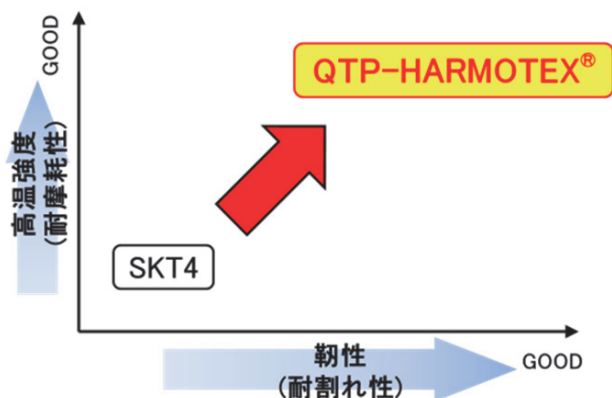


図1 QTP-HARMOTEX[®]の位置付け

2. 開発のポイント

QTP-HARMOTEX[®] の開発においては、優れた高温強度（軟化抵抗性）と靱性の両立を目指した。熱間金型は、高温環境下での使用時に、析出炭化物の粗大化と転位の回復により軟化が生じる。また、合金元素の偏析や不均一な炭化物の存在は靱性低下の要因となる。QTP-HARMOTEX[®] では、組織予測技術に基づく合金設計と熱処理プロセスの適正化により、析出炭化物の粗大化抑制と転位の回復抑制に効果的な組織設計を見出し、優れた高温強度を獲得した。さらに、優れた靱性を得るため、鋼材製造に関わるプロセス設計を最適化し、組織の均質化を図った。これらのキーテクノロジーの組み合わせにより、高温強度と靱性の高い

次元での兼備を可能とした。

上述の熱処理プロセスの適正化について解説する。この鋼種は工具鋼メーカーで焼入焼戻し調質して需要家に納入するプリハードン鋼であり、調質条件に関する検討を行った。図 2 に、焼入条件と軟化抵抗性及び靱性の関係を示す。焼入条件は次の関係式による焼入パラメーター P を用いて整理した。

$$P = T(24 + \log t) \times 10^{-3}$$

T: 焼入温度 (K), t: 保持時間 (h)

各種条件で焼入れ後、焼戻しにより 40HRC に調質した試験片を、620℃で 100h 加熱保持、空冷後の硬さを測定した。初期硬さからの硬度低下の抑制割合を軟化抵抗性指標として評価した。同様に、焼入パラメーターを変化させた各種熱処理材からシャルピー衝撃試験片を作製し、靱性を評価した。

これにより、焼入パラメーターが 28.5 ~ 30.1 となる範囲で焼入れを行うことで、優れた高温強度と靱性が兼備可能となることを見出した。

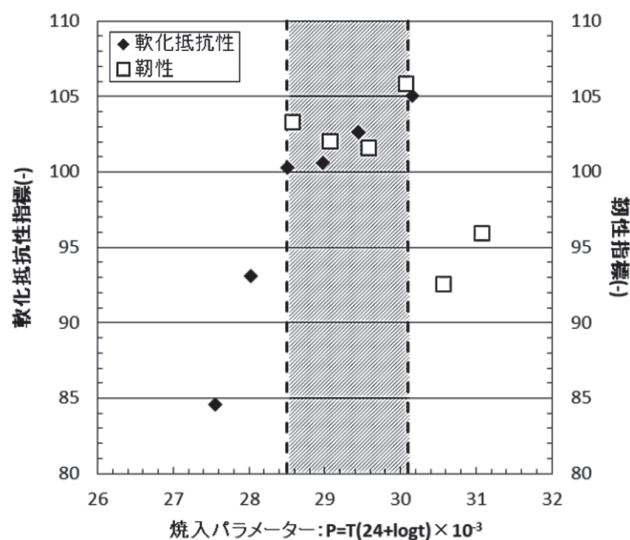


図2 焼入条件と軟化抵抗性及び靱性の関係

3. QTP-HARMOTEX®の特徴

3.1 ミクロ組織

図3に、QTP-HARMOTEX®の代表的な焼入焼戻しミクロ組織を示す。QTP-HARMOTEX®は、炭化物が微細に析出した焼入焼戻し組織を呈する。

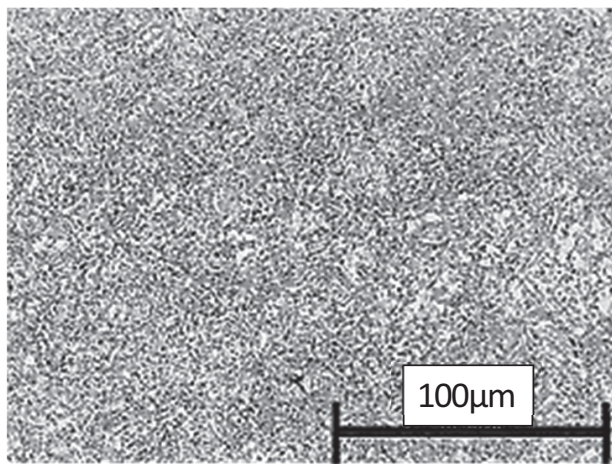


図3 焼入焼戻しミクロ組織
(ピクリン酸アルコール腐食)

3.2 焼入焼戻し硬さ特性

図4に、QTP-HARMOTEX®の焼入焼戻し硬さ特性を示す。QTP-HARMOTEX®はSKT4相当鋼と比較して、高温での焼戻しでも高硬さを示す。

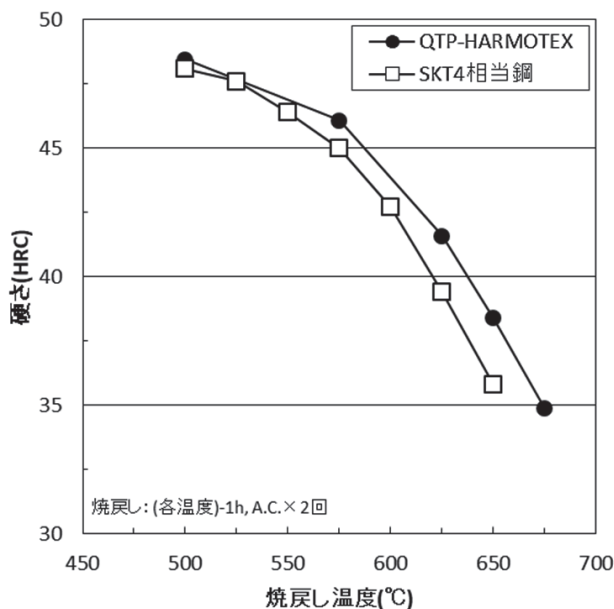


図4 焼入焼戻し硬さ

3.3 軟化抵抗性

図5に、QTP-HARMOTEX®の軟化抵抗性を示す。試験は、40HRCに調質した試験片を、600°Cに所定時間加熱

保持し、空冷後の硬さを測定した。QTP-HARMOTEX®は、析出炭化物の粗大化抑制と、転位の回復抑制によりSKT4相当鋼を大きく上回る軟化抵抗性を有している。これにより、金型使用時の軟化を抑え、摩耗やへたりが抑制されることで、金型の長寿命化が期待できる。

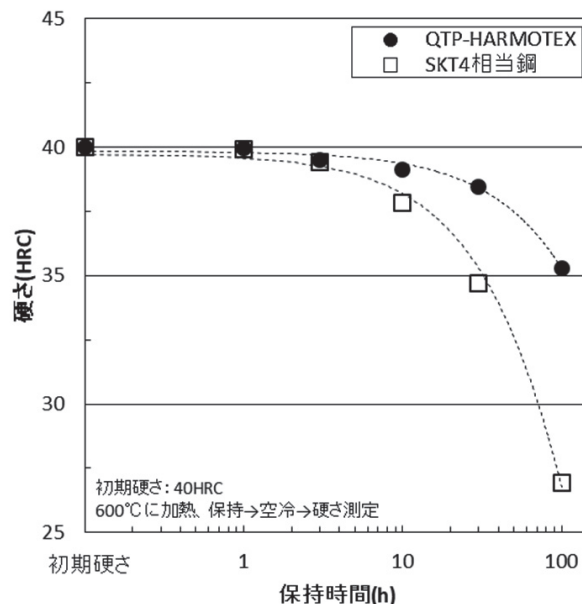


図5 軟化抵抗性

3.4 靱性

図6に、QTP-HARMOTEX®の室温におけるシャルピー衝撃特性を示す。実用大断面寸法の焼入焼戻し材を用い、組織の均質性の影響を強く受ける鍛伸直交方向より試験片を採取した。QTP-HARMOTEX®は組織を均質化したことで、外周から中心まで高位で安定しており、SKT4相当鋼と比較して優れた靱性が得られる。これにより、金型使用時の微小な欠けや大割れが抑制される。

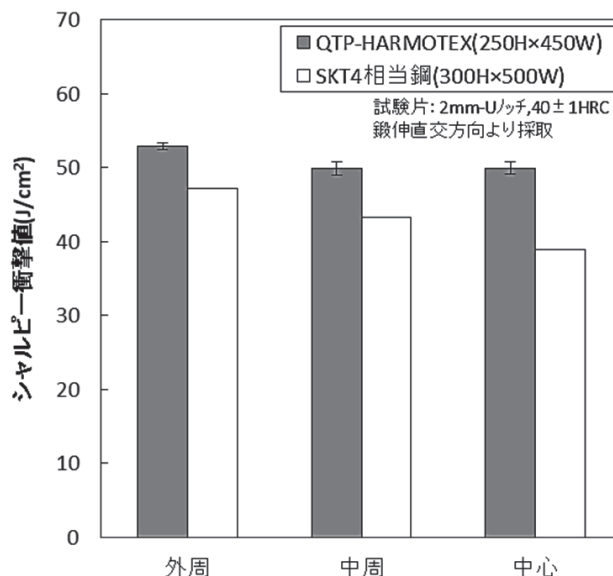


図6 靱性(実用寸法焼入焼戻し材より割出し)

3.5 耐ヒートチェック性

図7に、QTP-HARMOTEX®の耐ヒートチェック性を示す。試験は高周波加熱装置(図8)を用い、600℃まで加熱し、5秒保持後、室温まで水冷するパターンを1サイクルとし、それを1000サイクル繰り返した。クラックの平均深さ及び合計深さともに、SKT4相当鋼よりも抑えられている。ヒートチェックは、加熱と冷却が繰り返されることで、表層の膨張と収縮に起因した応力が働くことで発生する(図9)。QTP-HARMOTEX®は高い軟化抵抗性と優れた韌性を有することから、表面き裂の発生と進展が抑制されることで高い耐ヒートチェック性を発現している。

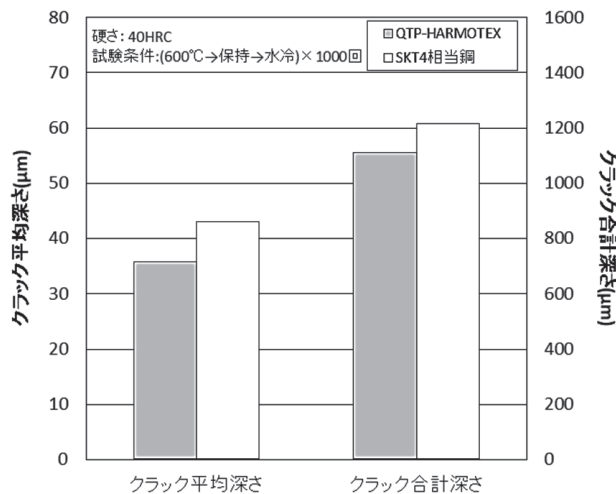


図7 耐ヒートチェック性

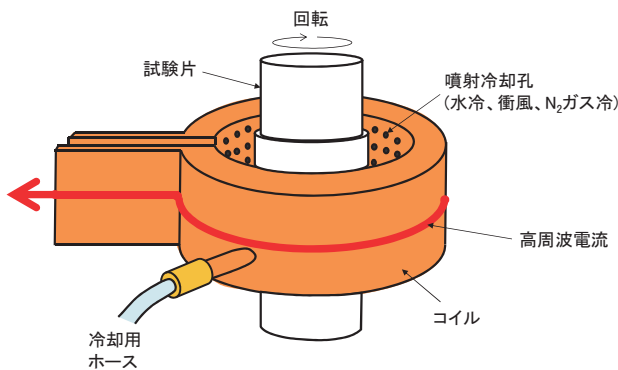


図8 ヒートチェック試験機概略

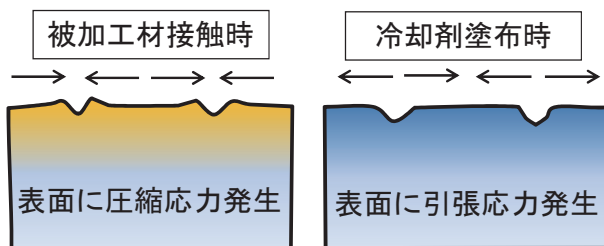


図9 金型使用時に表面に発生する応力

4. QTP-HARMOTEX®の適用事例

SKT4相当鋼を使用していたハンマー鍛造用金型にQTP-HARMOTEX®を適用した結果を表1に示す。高温強度及び韌性の向上により、摩耗、割れ、ヒートチェックが抑制されたことで金型交換に至るまでの生産数が増加し、型寿命が向上した。また、鍛造製品の検査においては、金型の微細割れやヒートチェックが軽減されたことで、製品への転写が抑えられ、特に肌不良が減少することで不良率の改善にも貢献した。

表1 使用結果

	QTP-HARMOTEX®	現行材	評価結果
型寿命 (ショット数)	19,759	17,227	15% 向上
鍛造製品の不良率	0.47%	0.76%	38% 改善

5. おわりに

QTP-HARMOTEX®はSKT4を凌駕する高温強度と韌性を兼ねさせた鋼種であり、ハンマー金型用鋼として優れた特性を有している。

QTP-HARMOTEX®を金型として適用することで、摩耗、割れ、ヒートチェックの抑制による長寿命化だけでなく、製造部品の品質安定による素材ロス低減や、金型交換頻度の削減によるエネルギーロス低減に大きく貢献することが期待される。