建産機用高強度高靱性鋼(SKAT)の開発

涌波喜幸^{*1)} 鎌田芳彦^{*2)} 外山和男^{*3)}
大川和英^{**} 田川富啓^{**}

1. はじめに

最近の建設機械の使用条件の苛酷化は、使用鋼材に対し厳しい性能を要求している。例えば、作業能力の向上を目的にしたブルドーザの大型化は、逆に自重の増大によるリンク踏面での早期剥離を発生させ、その結果として部品の取り替え頻度を増加させ、稼働率の低下を招く場合⁽¹⁾⁽²⁾がある。そのため、リンクはJIS-SNCM431鋼を調質処理し、さらに踏面を高周波焼入して耐摩耗性を付与して製造されてきた。し

かし、ブルドーザは必ずしも平地走行で使用される訳でなく、凹凸の激しい場所での使用となるため、リンクも偏荷重を受ける場合が多い。このため、偏荷重を想定した構造設計が必要であり、偏荷重時に部品に加わる応力分布に耐え得る材質設計が重要となってくる。

すなわち本報告は、実部品に加わる応力分布を解析し、その応力分布に耐え得る傾斜機能を鋼材に付与する材質設計を行い、耐剥離性に優れる建産機用高強度高靱性鋼 (SKAT) を開発し、大幅なリンクの寿命向上を図ったので、その内容を紹介する。

2. 開発の経緯

(1) 剥離の原因

剥離したリンクの外観を図1に示す。リンクはSNCM431鋼を熱間鍛造後、調質処理を行い、高周波焼入したものである。破面観察により、(1)剥離は疲労破壊による、(2)き裂は表面、高周波焼入境界のいずれか、あるいは両方より発生、(3)き裂の伝播は主に粒界、であることが明らかになった。

(2) 強度評価

(i) 接触応力分布の解析

ブルドーザ使用時にリンク踏面に生じる最大せん断応力 τ_{max} の深さ方向への分布はSmithの解析解⁽³⁾により求めた。この時、ローラとリンク間の荷重は78500 kgf、ローラ径300 mm、リンク幅70 mm、摩擦係数0.4である。計算結果を図2に示す。ここで通常荷重とはリンク幅全体で、偏荷重とは幅の1/3で荷重を支持したことを意味している。

(ii) 疲労強度の推定

金属材料研究所疲労データシート⁽⁴⁾による振り疲労強度と硬さの関係を片振りに換算し、

図1 剥離したリンクの外観写真。

* 住友金属工業株式会社
小倉製鉄所技術管理部：1) 副長 2) 担当課長
3) 鉄鋼技術研究所応用力学研究室室長

** 株式会社小松製作所建機・第1開発センタデザインマネージャ
Development of High-Strength High-Toughness Steel (SKAT) for Earth Moving Machines; Yoshiyuki Wakunami*, Yoshihiko Kamada*, Kazuo Toyama*, Kazuhide Ohkawa**, Tomihiro Tagawa** (*Sumitomo Metal Ind., Ltd. **KOMATU Ltd.)
1993年1月29日受理

図2 リンク踏面での接触応力分布.

$$\tau_w = 1.46 \text{ Hv}^{1.03} \quad (1)$$

により推定した. 現行リンクの硬度分布より推定した結果を
図2に示す.

(iii) 強度評価

図2より現行リンクでは, (a)通常荷重では剥離は発生しないが, (b)偏荷重になると部材の疲労強度以上の応力が作用すること, (c)特に高周波焼入境界でその傾向が著しいことがわかる. したがって, 耐剥離リンク用材料は図2の作用応力以上の疲労強度となる硬度分布を有するものでなければならない.

図3 開発鋼の硬度と破壊靱性のバランス.

図4 開発鋼の衝撃疲労特性.

図5 開発鋼の接触疲労特性.

3. 材質設計

(1) 材質設計の考え方

上述の破面観察と強度評価によって, 「大型建産機リンクの早期剥離は, 疲労き裂の発生・成長によること, そしてその抑制には偏荷重時のリンクに加わる応力分布に耐える傾斜機能を付与する必要があること」, が明らかになった.

この知見をもとに検討した材質設計の考え方を, 表1にまとめる. すなわち, リンクの剥離が疲労破壊であることより, き裂発生抑制の観点から(a)表面硬度確保と(b)高周波焼入深度確保, 伝播の抑制の観点から(c)粒界強化, さらに実用化の観点より(d)コストアップ低減, が材料開発の上で重要となる.

(2) 基礎検討

表2に開発の基礎検討で用いた供試鋼の化学成分を示す. Z1, Z2鋼が開発鋼であり, 図3に硬度と破壊靱性のバランス, 図4に衝撃疲労特性, 図5に接触疲労特性を従来鋼(SNCM431)と比較して示す. いずれの特性も表1に示す材

表1 材質設計の考え方.

材質設計ポイント	具体的手段
(1)表面硬度確保($HRC \geq 52$)	最適C値の設定
(2)高周波焼入深度確保($J15 \text{ mm} \geq HRC45$)	最適 D_1 値の設定
(3)粒界強化	Nb添加(細粒化) Mn, P, S低減(粒界偏析低減) Cr, Mo増加(高温焼戻)
(4)コストアップ低減	Niフリー, B添加

表2 供試鋼の化学成分(mass%).

Steels	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Ti	B	Nb
Z1	0.33	0.15	0.46	0.006	0.006	0.02	0.98	0.54	0.020	0.0030	0.027
Z2	0.41	0.23	0.45	0.006	0.006	0.02	1.00	0.49	0.020	0.0022	0.030
SNCM431	0.30	0.26	0.78	0.010	0.016	1.61	0.75	0.16	—	—	—

図6 試作リンクの硬度分布.

図7 フィールドテスト状況.

質設計の考え方を反映して、従来鋼より優れた特性を示している。なかでもC含有量の高いZ2鋼は、最も優れた特性を示しており、リンクの早期剥離を抑制可能な鋼と考えることができる。

(3) 実体評価

上記の結果より、フィールドテストを実施するため、Z2鋼を用いて実体リンクを製造した。図6に試作リンクの表面からの硬度分布を示すが、踏面の1/3で全荷重を支持する偏荷重時にも耐え得る硬度分布が得られている。図7にフィールドテストの状況を示す。図8, 9に示すように、Z2鋼のリンクは3000時間を経過しても剥離を生じておらず、かつ摩耗量も従来鋼より低減できることが明らかになった。この結果、リンクの取り替え作業を延長することができ、大幅な作業効率の改善が図れ、かつリンクの在庫管理の適正化が図れた。特に、海外の鉱山での在庫管理の適正化に対する効果は大きい。

4. 製造実績

この建産機用高強度高靱性鋼は、大型ブルドーザ(D375機種)に適用している。1988年から量産を開始し、現在500トン/月の鋼材が使用されており、さらに適用機種の拡大が

図8 本開発リンクの耐剥離特性.

図9 本開発リンクの耐摩耗特性.

進められている。

本開発鋼は、その優れた強度と靱性のバランスより、建産機用機械のみならず、一般機械構造物の軽量化に貢献するものである。現在、他の建産機用部品であるリッパポイントやシューボルトへの適用展開を行っているが、今後はさらに自動車用ドライブシャフト、高応力ばね等への適用展開が期待される。

5. 特許

本開発鋼は、その組成と製造方法(熱処理方法も含む)、さらに他の部品への適用における製造技術に関する特許を出願済みである。

文 献

- (1) 外山和男, 涌波喜幸, 大川和英, 田川富啓: CAMP-ISIJ, 5(1992), 1899.
- (2) 佐藤武史, 鎌田芳彦, 外山和男, 大川和英, 田川富啓: CAMP-ISIJ, 5(1992), 1900.
- (3) J. O. Smith and C. K. Liu: J. of Applied Mechanics, June (1953), 157.
- (4) 西島 敏: 日本機械学会講演論文集, No. 790-9 (1979), 61.