

クランクシャフト用Pb-free非調質鋼について

Development of Lead Free Micro Alloyed Steel for Crank Shafts

橋村 雅之^{*(1)} 平田 浩^{*(2)} 蟹沢 秀雄^{*(3)} 内藤 賢一郎^{*(4)}
Masayuki HASHIMURA Hiroshi HIRATA Hideo KANISAWA Kenichiro NAITO

抄 録

環境問題の高まりとともに、鋼に被削性向上のために添加していたPbを廃することが指向されてきた。単に被削性を確保するだけであればPb以外の快削元素で代替可能であるが、それらは同時に機械的性質や需要家における各種製造技術において問題を生じることが多い。そのため被削性と機械的性質を両立させる技術開発が重要と考えられた。そこで被削性を阻害する元素を最小化し、Pbに代る被削性向上元素を添加するとともに、MnSを微細に分散させることで、良好な機械的性質を確保したクランク用鋼を開発した。

Abstract

With rising conscious for environmental problems, elimination of lead which is generally considered as an environmental loading element from free-machining steel is required. It is well-known that lead improves machinability of steel, minimizing the effect on the mechanical properties. It might be exchangeable with other elements in terms of machinability. However, these elements often give problems to mechanical properties and productivities at consumers. Therefore, new free-machining steel was developed by minimizing MnS size and distributing them isotropically and it was verified that the developed steel had good properties in not only machinability but also mechanical properties. The developed steel was useful in steel requiring high strength and machinability such as crank shafts of engines.

1. 緒 言

鋼に添加されたPbは鋼の被削性を向上させることが知られており、機械的性質への影響が小さいために被削性を必要とされる高強度鋼に多用されてきた。しかし近年、環境問題の高まりとともにPbは環境汚染物質の一つと目され¹⁾、鋼から除くことが指向されている²⁾。そのためPbを用いず被削性を確保した鋼の開発が要求されていた。被削性だけの問題であればPb以外の快削性元素、たとえばBiやS等の添加で解決可能であるが³⁾、それらの快削性元素は機械的性質への影響が大きく、疲労特性等の機械的性質や需要家での鍛造等の製造性においても問題を生じることが多い。

そこで鋼中MnSを従来よりも微細に分散させ、被削性と機械的性質を両立した高強度鋼を開発した。

2. 開発の考え方

これまでPb以外の快削元素としてSの効果が大きいことが知られている。しかしSを添加すると鋼中にMnSを多く生じ、圧延、鍛造等の加工によりMnSが鋼中で伸延することで、疲労特性等の機械的性質、特に異方性の点で性質を低下させる。この異方性は需要家に

おいては鍛造や高周波焼入れ時の割れ発生確率を増加させるなど、一般の機械試験では把握しにくい問題も多く引き起こすと考えられた。

この伸延したMnSの弊害を抑制するためにはMnSの変形能を抑制し、その形状を球状化することがよく指向される。それにはTe, Caなどが有効とされているが⁴⁾、たとえMnSを球状化してもMnSの寸法が大きければ、結局は機械的性質の低下につながると考えられた。さらに球状化元素の多量添加はクラスターの発生など、MnS以外の非金属介在物の発生を誘発したり、鋼マトリックスの延性を低下させるなど、MnS以上の弊害を誘発することもしばしばである。

図1に開発の基本的な考え方を示す。すなわち単純なS添加では

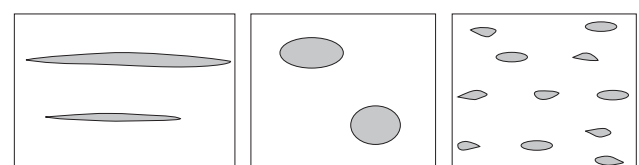


図1 MnSの寸法、分布の相違(イメージ図)

^{*(1)} 室蘭技術研究部 主任研究員 工博
北海道室蘭市仲町12 〒050-8550 TEL(0143)47-2301

^{*(2)} 室蘭技術研究部 主任研究員

^{*(3)} 室蘭技術研究部長 工博

^{*(4)} 棒線事業部 マネジャー

図1(a)のようにMnSが伸延し機械的性質を低下させる。従来の対策は図1(b)のようなMnS球状化であった。しかしMnSの寸法や球状化に伴う弊害を考慮し、図1(c)に示すようにMnSを微細化することでその弊害の最小化を指向した。

3. 実験方法

3.1 供試材

試作材の化学成分を表1に示す。基本鋼はS45Cとした非調質鋼にPbを添加したいわゆる快削鋼である。試験材は150kg真空溶解炉で溶製後80mm径に鍛造した。熱処理として900 × 30min後空冷(鍛

表1 評価鋼の化学成分 (mass%)

| 材料 | C | Si | Mn | P | S | V | Pb | 特殊元素 | HV |
|-------------|------|------|------|-------|-------|------|------|------|-----|
| 基本鋼(Base) | 0.45 | 0.26 | 0.80 | 0.019 | 0.023 | 0.10 | 0.16 | | 237 |
| 開発鋼-S2(DS2) | 0.45 | 0.25 | 0.92 | 0.018 | 0.097 | 0.10 | | 添加 | 248 |
| 開発鋼-S3(DS3) | 0.45 | 0.01 | 1.12 | 0.017 | 0.151 | 0.10 | | 添加 | 236 |

表2 通常ドリルによる工具寿命特性評価試験条件

| 切削条件 | ドリル | その他 |
|-----------------|----------|-----------|
| 切削速度 10~50m/min | 3mm径 | 穴深さ 9mm |
| 送り 0.25mm/rev | 先端角 118° | 工具寿命 折損まで |
| 切削油 水溶性切削油 | 材質 高速度鋼 | |

表3 ロングドリルによる深穴穿孔試験条件

| 切削条件 | ドリル | その他 |
|----------------|---------|------------|
| 切削速度 18.8m/min | 6mm径 | 穴深さ 75mmまで |
| 送り 0.1mm/rev | ロングドリル | 工具寿命 折損まで |
| 乾式 | 材質 高速度鋼 | |

表4 外周旋削試験条件

| 切削条件 | 工具 |
|---------------|----------------|
| 切削速度 200m/min | PSBNR2525-43 |
| 送り 0.25mm/rev | SNMG120408N-UZ |
| 乾式 | |

造前組織の均一化), 1200 × 1h後風冷(熱間鍛造シミュレート)を施した。表2に示すように硬さはほぼ同等レベルに調整した。

3.2 評価項目と条件

評価項目はミクロ組織、被削性および機械的性質である。ミクロ組織では特にMnSの分布と形状に注目し、画像処理装置によって統計的に処理した。すなわち光学顕微鏡で500倍×20視野で観察されるMnSを二値化し、(a)MnS数、(b)MnSの寸法(円相当径)および(c)アスペクト比を算出した。

被削性試験として、(a)通常ドリルによる工具寿命特性、(b)ドリルによる深穴穿孔特性、および(c)丸棒の長手外周旋削時の工具摩耗特性を評価した。その条件をそれぞれ表2~4に示す。

通常ドリルによる工具寿命特性ではドリル外周速度を変化させてドリル折損までの累積穴深さを測定した。さらに累積穴深さ1000mm穿孔可能な最大外周速度、いわゆるVL100Q(m/min)を被削性の指標とした。

表3にロングドリルによる深穴穿孔試験条件を示す。ロングドリルによる深穴穿孔特性では切り屑排出のためのステップ送りを実施せず、一定送りのままでドリル径の10倍以上の深穴を穿孔し、その累積穿孔深さを測定した。またその際生じる切削抵抗(トルク、スラスト)を圧電素子型動力計で測定した。

表4に外周旋削試験条件を示す。外周旋削試験では丸棒を外周長手旋削し、切削時間に対する横逃げ面摩耗量の変化を測定した。工具は外周旋削向けとして一般的な被覆超硬合金工具を用い、一般的な旋削条件とした。評価ではその工具摩耗量を光学顕微鏡を用いて

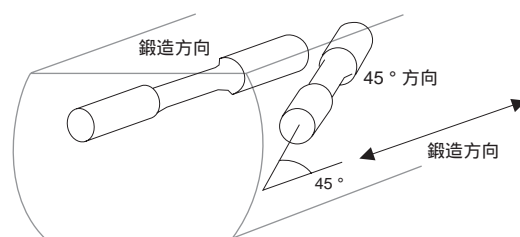


図2 素材からの試験片切り出し方法



図3 供試材の長手方向断面におけるMnS分布

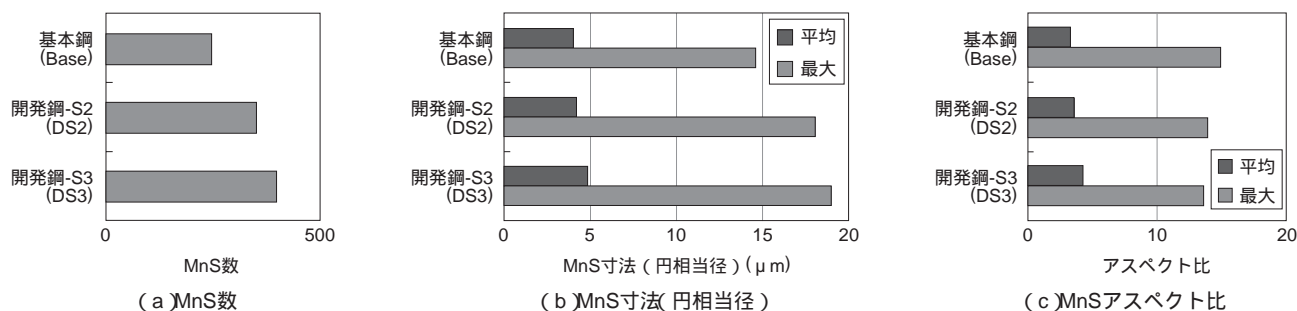


図4 鋼中MnSの数および形状の測定結果

観察，測定した。

また，機械的性質の指標として引張試験を実施した。引張試験はJISに準じて評価し，0.2%耐力，引張強度，伸びおよび絞りを実験項目とした。さらに疲労特性として小野式回転曲げ疲労試験を実施した。図2に材料に対する試験片の切り出し方法を示す。鍛造や圧延方向に対する異方性を評価できるように，本報告では45°方向の試験片も切り出した。

4. 実験結果

4.1 ミクロ組織評価

図3にMnS分布写真を，図4にその定量評価値を示す。MnSはS量に応じて数が増加した。円相当径は若干大きくなったが，アスペクト比はほとんど変化がなかった。この傾向は鍛造等による変形量によって異なることが予想されるが，本開発鋼はSを増加させたにもかかわらず，ほとんどが微細なMnSとして存在し，機械的性質や製造性に対する影響が小さいと考えられた。

4.2 ドリル寿命

通常ドリル試験における寿命の比較を図5に示す。基本鋼に対して，開発鋼DS2がほぼ同等，開発鋼DS3が若干良好の寿命を示した。さらに図6(a),(b)にその詳細を示す。1000mm穿孔可能な切

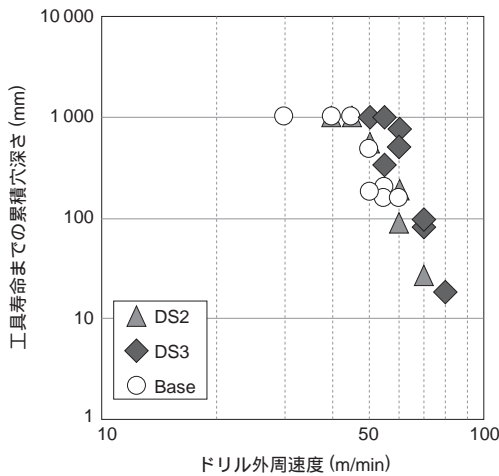
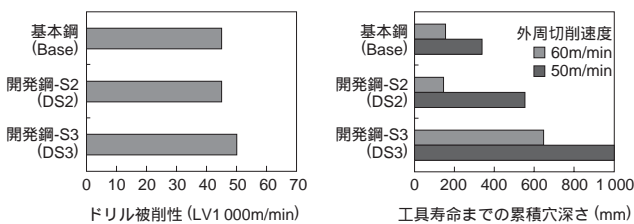
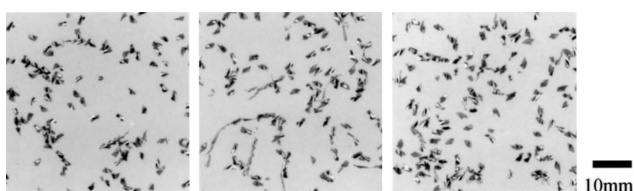


図5 ドリル外周速度と累積穴深さの関係



(a)ドリル被削性VL1000 (b)各切削速度における累積穴深さ
図6 ドリルによる工具寿命特性評価結果



(a)基本鋼 (Base) (b)開発鋼-S2 (DS2) (c)開発鋼-S3 (DS3)
図7 ドリル穿孔における切り屑形状

削速度VL1000は50m/min以上で開発鋼DS3がもっとも大きかった。50m/minおよび60m/minにおける工具寿命までの穿孔深さでも同様の傾向を示し，開発鋼DS3がもっとも寿命が長かった。

図7に切り屑形状を示す。基本鋼に対し開発鋼DS2は若干長いですが，開発鋼DS3は同等レベルであった。

4.3 ドリル深孔穿孔試験結果

図8に深孔穿孔試験におけるドリル寿命を示す。開発鋼DS2およびDS3は深孔穿孔にて良好な工具寿命を示した。

図9に切り屑観察結果を示す。基本鋼と開発鋼DS3は類似した切り屑形状に見え，DS2は長く細く伸びた切り屑も認められる。深孔穿孔試験は切削条件の影響を大きく受け，本結果はその一例にすぎないが，少なくとも実用に近い条件で従来材と同等以上の深穴穿孔が可能と考えられる。

図10にトルク，スラストの比較を示す。開発鋼DS2は他の試験材に比べ若干切削抵抗が高くなる傾向にあった。

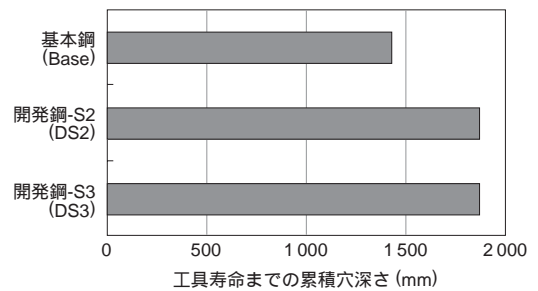
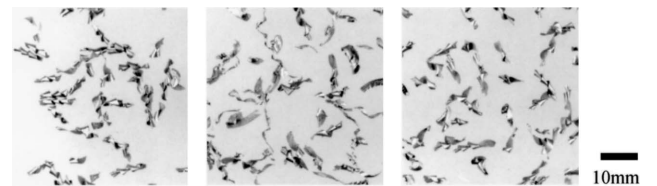


図8 深穴ドリル穿孔による工具寿命特性評価結果



(a)基本鋼 (Base) (b)開発鋼-S2 (DS2) (c)開発鋼-S3 (DS3)
図9 深穴ドリル穿孔における切り屑形状

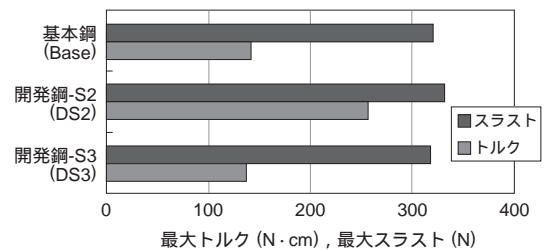


図10 深穴ドリル穿孔における切削抵抗

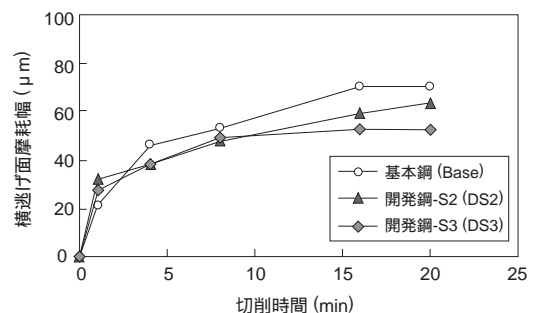


図11 外周旋削における切削時間と工具摩耗量の関係

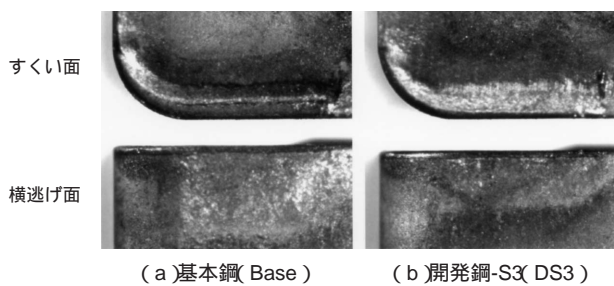
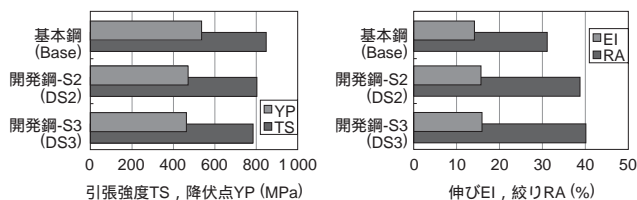


図12 工具切れ刃の摩耗状況



(a) 引張強度TS, 降伏点YP (b) 伸びEI, 絞りRA

図13 引張試験における諸特性

4.4 旋削試験結果

図11に旋削試験における逃げ面工具摩耗測定結果を示す。各試験材とも20分程度の切削時間では大きな差異は認められなかった。図12に工具摩耗観察結果例を示す。両者ともほとんど損傷していないように見えるが、開発鋼DS3にはすくい面に付着物が認められ、ペラーク(いわゆる保護膜)と考えられる。

4.5 引張特性

図13に引張特性を示す。開発鋼は基本鋼に比べ、降伏点、引張強度、伸びはほぼ同等であり、絞りは大きく、良好であった。

4.5 小野式回転曲げ疲労試験結果

図14に、長手方向に45°方向から切出した試験片のS-N曲線を示す。10⁷を疲労限として評価したが、いずれの試験材にも大きな違いはなく、45°方向で開発鋼DS2およびDS3は基本鋼とほぼ同等の特性を示した。

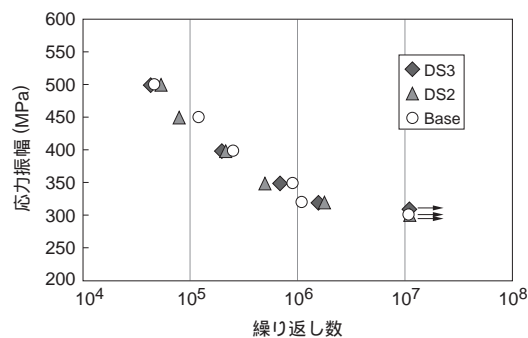


図14 鍛造方向に対し45°方向の試験片による疲労特性

5. まとめ

クランク用非調質鋼にPbを添加した非調質快削鋼(基本鋼)とそれをPb-free化した快削鋼(開発鋼)の被削性と基本的な機械的性質を比較評価した結果をまとめると、以下のとおりである。

- (1) MnS微細分散技術によりSの添加量に応じてMnS数は増加し、円相当径、アスペクト比など増加する傾向にあった。
- (2) Pb-free化においてもS添加による被削性確保が可能と考えられた。
- (3) 引張特性において開発鋼は基本鋼に比べ、降伏点、引張強度、伸びはほぼ同等であり、絞りは大きかった。
- (4) 硬度、45°方向の疲労試験において、MnSを增量した開発鋼は基本鋼とほぼ同等の性能を示し、S增量の影響は顕著ではなかった。

参考文献

- 1) 日経エコロジー. 5, (11), 98(1999)
- 2) 日刊工業新聞. (1998-3-4), 18(1998)
- 3) 赤澤正久: 96, 97回西山記念講座, 1984, p.99
- 4) 中村貞行: 96, 97回西山記念講座, 1984, p.187