

討24 機械構造用快削非調質鋼の自動車部品への適用

(株) 本田技術研究所 ○大沢 恂 町田 功

1. 緒言

多くの機械構造用部品が、熱間型打鍛造-焼入れ焼もどし(調質)-切削加工の工程で製造されている。しかし省エネルギーの観点からこの調質処理を省略する技術が最近検討されはじめた⁽¹⁾。この技術の要点は機械構造用炭素鋼にVやNb等の元素を微量添加した鋼を熱間鍛造し、鍛造後の冷却を制御して所要強度を得ることにある。当社は鋼材メーカーと共同して多くの研究を重ねた結果、自動車部品へこの技術を適用することに成功した⁽²⁾。またこの研究の過程では各種の快削非調質鋼を試作し、その被削性及機械的性質に関する評価を行ない機械構造用非調質鋼の性能に及ぼす快削元素の効果について知見を得たので以下にその結果を報告する。

2. 被削性に及ぼす快削元素の影響

2.1 試験方法

供試材の化学成分を表1に示す。これらの鋼種を2tonアーク炉で溶製した後、90mm角のビレットに圧延した。この圧延材を図1に示す条件で直径50mmの丸棒に1ヒートで鍛造後そのまま空冷して切削試験用素材とした。

切削試験はハイスドリルによる穴あけ試験と超硬工具による旋削試験であり、それぞれの工具寿命を測定した。切削条件を表2に示す。

2.2 試験結果および考察

(1) ハイスドリルによる穴あけ試験

各鋼種の工具寿命曲線を図2と図3に示す。図2は足回り部品を試作するために溶製した鋼種についての結果であり、靱性への配慮から硫黄含有量0.04%以下に制限した鋼種を対象としている。また比較材として調質した炭素鋼S48CとS48CL(鉛快削鋼)についての結果ならびに鑄放しままの球状黒鉛鑄鉄FCD45についての結果も同時に示した。一方図3

はコネクティング・ロッドを試作するために溶製した鋼種についての結果であり、被削材の硫黄含有量はほぼ0.1%である。また比較材として調質した炭素鋼S48CLS₂(鉛-硫黄複合快削鋼)を用いている。

各非調質鋼の硬さは、含有炭素、バナジウムおよびニオブなどの量によって異なり、この硬さの差もまた被削性に影響を

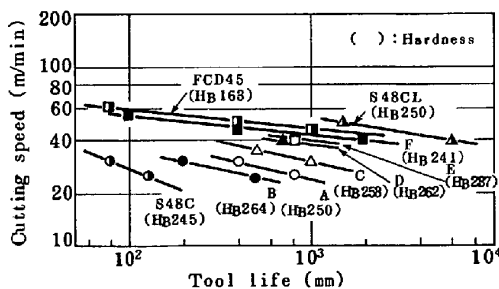


図2. ハイスドリルによる穴あけ試験結果(I)

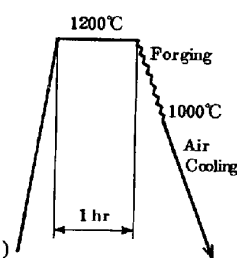


図1. 鍛造条件

Cutting conditions	Drilling test	Turning test
Tool material	SKH9	P10
Tool geometry	∅10mm	-5,-5.5,30,0.04 ^R
Feed	0.42mm/rev.	0.36mm/rev.
Depth of cut	2.0mm	2.0mm
Cutting fluid	Dry	Dry
Criterion of tool life	Tool failure	V _H =0.8mm

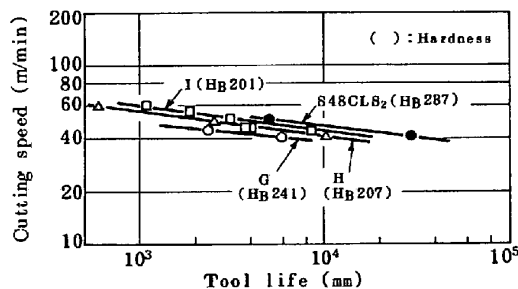


図3. ハイスドリルによる穴あけ試験結果(II)

与える。そこで硬さが $H_B 235 \sim 255$ の範囲にある鋼種を選んで、工具寿命に及ぼす (Pb+S) 含有量の影響をみたのが図4である。図4の縦軸は切削速度 40 m/min の場合の工具寿命であり、この寿命の対数值は (Pb+S) 含有量に対して右上りの直線ではほぼ近似される。さらに非調質鋼も調質鋼も同一直線上にあり、本試験条件では両鋼の被削性に差がないことがわかる。なお鋼Eの被削性は他の鋼種に比べてやや優れているが、これは微量のテルル添加の影響であると考えられる⁽³⁾

(2) 超硬工具による旋削試験

足回り部品用に溶製した非調質鋼 A, B, C および F と比較材 S48CL (調質), FCD45 (鑄放しまま) の工具寿命曲線を図5に示す。含有鉛量の影響はあまりはっきりせず、むしろ非調質鋼の被削性が調質材に比べて優れている点が注目される。FCD45の被削性は、高速側では調質鋼に近く一方低速側では非調質鋼に近い傾向を示した。

3. 機械的性質に及ぼす快削元素の影響

3.1 試験方法

供試材は表1に示した鋼種であり、 90 mm 角ビレットから 50 mm 角の素材を切り出した後、図1に示した条件で直径 25 mm の丸棒に1ヒートで鍛造した。また一部の鋼種については同一条件で厚さ $20 \text{ mm} \times$ 巾 60 mm の平板に鍛造した。丸棒からは鍛伸方向に平行にまた平板からは鍛伸方向に平行および直角に、引張試験片 (JIS4号) とシャルピー衝撃試験片 (JIS3号) を切り出して試験に供した。

3.2 試験結果および考察

(1) 鍛伸方向に平行な方向の機械的性質

各鋼種の機械的性質を表3に示す。機械構造用非調質鋼の硬さに及ぼす成分の影響については下記の回帰式が既に提案されている⁽²⁾

$$\begin{aligned} Heq = & -4.70 + 3.25 (\%C) + 1.04 (\%Si) \\ & + 4.14 (\%Mn) + 1.54 (\%Cr) + 66.6 (\%V) \\ & + 1.08 (\%Nb) + 1.83 (\%N) \end{aligned}$$

Heq は硬さ当量で、図1に示した条件で直径 25 mm の丸棒に鍛造後空冷した場合の硬さを意味する。この回帰式から推定される硬さと本研究に用いた鋼種の実測硬さとの相関性を図6に示す。両者はよく一致しており、快削鋼の場合でも上記の回帰式が使用できることが示された。

機械構造用非調質鋼の機械的性質は硬さとよい相関性があることが知られている。0.2%耐力、引張強さおよびシャルピー衝撃値に及ぼす硬さの影響を図7と図8に示す。図には同時に

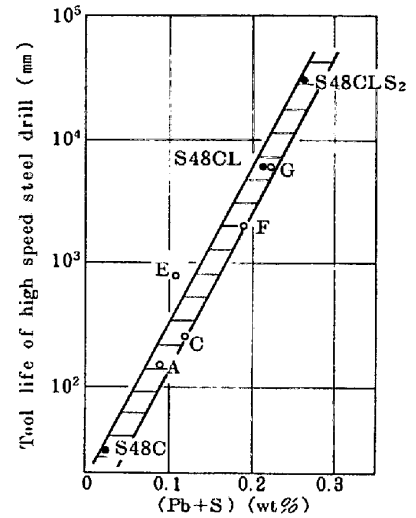


図4. ハイスドリルの工具寿命に及ぼす (Pb+S) 含有量の影響

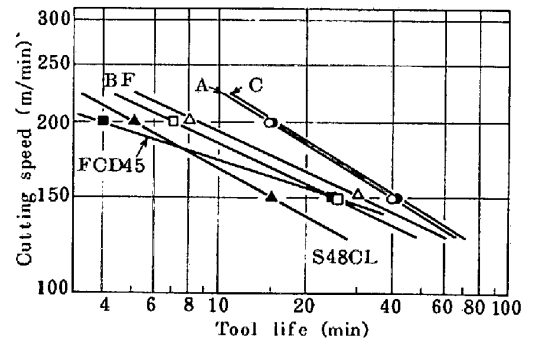


図5. 超硬工具による旋削試験結果

表3. 機械的性質

Steel	0.2% Proof stress (kgf/cm ²)	Tensile strength (kgf/cm ²)	Elongation (%)	Reduction in area (%)	Charpy value (kgf-m/cm ²)	Hardness (HnC)
A	55	87	2.2	4.7	4.6	2.2
B	67	100	1.8	3.5	2.9	2.8
C	59	89	2.2	4.0	5.4	2.3
D	62	92	2.1	4.6	4.2	2.6
E	58	88	2.3	4.8	4.0	2.3
F	61	93	2.2	4.4	5.1	2.4
G	60	89	2.2	4.3	3.9	2.6
H	54	80	2.3	4.5	5.8	1.9
I	52	79	2.4	4.7	7.2	1.8

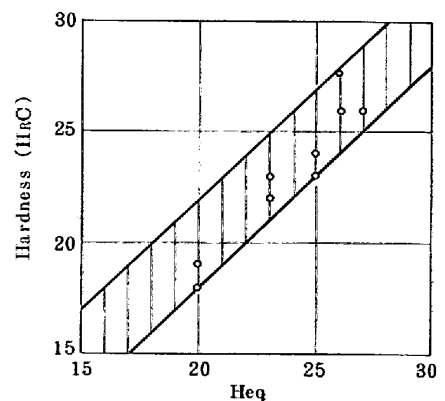


図6. 非調質鋼の硬さの実測値と推定値との相関性

調質した炭素鋼 S45C のデータも示した。非調質鋼の引張強さは同一硬さの調質鋼と比較するとやや高く、0.2%耐力はやや低い。またシャルピー衝撃値は調質鋼に比べて低いのが特徴である。本研究に用いた快削非調質鋼の各機械的性質を、これらの図にプロットするとベースの非調質鋼のバンド内にあり快削元素の影響は小さいといえる。

次に衝撃値に及ぼす試験温度の影響を調査した結果を図9に示す。鉛を添加した非調質鋼の衝撃値は、鉛無添加鋼とはほぼ等しく調質した炭素鋼と球状黒鉛鋳鉄とのほぼ中間的な性能を示すといえる。

(2) 鍛伸方向に直角な方向の機械的性質

快削鋼特に硫黄快削鋼の場合、熱間加工方向に直角な方向の靱延性が低いことはよく知られている。非調質鋼におけるこの傾向を確認すると共に、最近開発された微量テルルによる硫化物球状化技術⁽⁴⁾の効果を調べるため実験を行なった。

鉛快削鋼の機械的性質に及ぼす試験片採取方向の影響を図10に示す。0.03%程度の硫黄を含有するテルル無添加の非調質鋼Dと調質鋼 S45CL の場合、鍛伸直角方向の伸び、絞り、衝撃値は平行方向に比べて約 1/2 に低下する。一方テルル添加非調質鋼Eの場合、その機械的性質に異方性がほとんど認められない。鋼Eにおける硫化物の形態を写真1に示す。

鉛-硫黄複合快削鋼の場合も同様な傾向が認められテルル無添加の場合 1/3 ~ 1/4 に低下した直角方向の靱延性は、テルルの添加により 2/3 ~ 1/2 に回復することが確認された。

4. 自動車部品への適用

非調質鋼を適用して試作した自動車部品を写真2に示す。a) はコネクティング・ロッドで現用鋼種としては S48C ベースの炭素鋼に、鉛または硫黄を単独もしくは複合添加した快削鋼を使用している。一方 b) および c) は足回り部品でいずれも S43 ~ 48C ベースの炭素鋼をそのまま、もしくは鉛

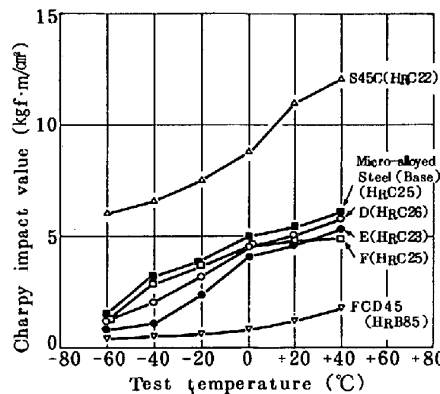


図9. シャルピー衝撃値に及ぼす試験温度の影響

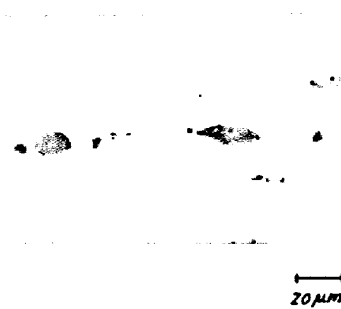


写真1. 鋼Eの硫化物の形態

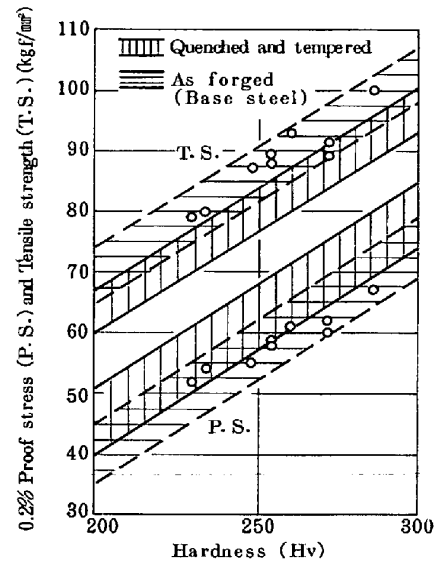


図7. 機械的性質に及ぼす硬さの影響 (I)

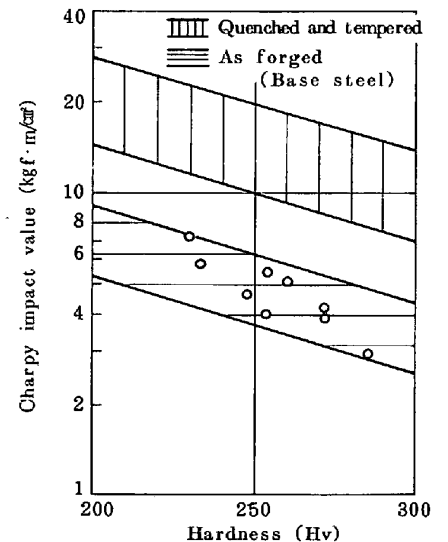


図8. 機械的性質に及ぼす硬さの影響 (II)

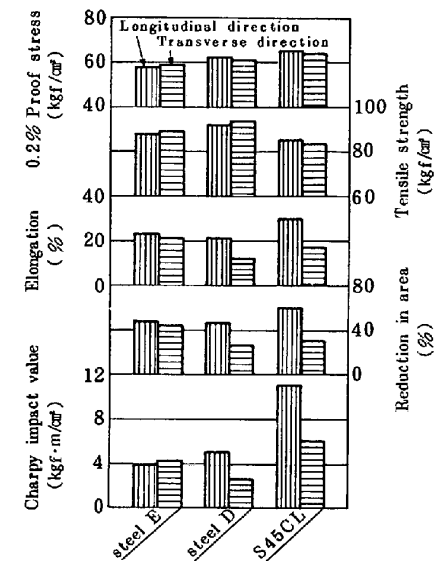


図10. 機械的性質に及ぼす試験片採取方向の影響

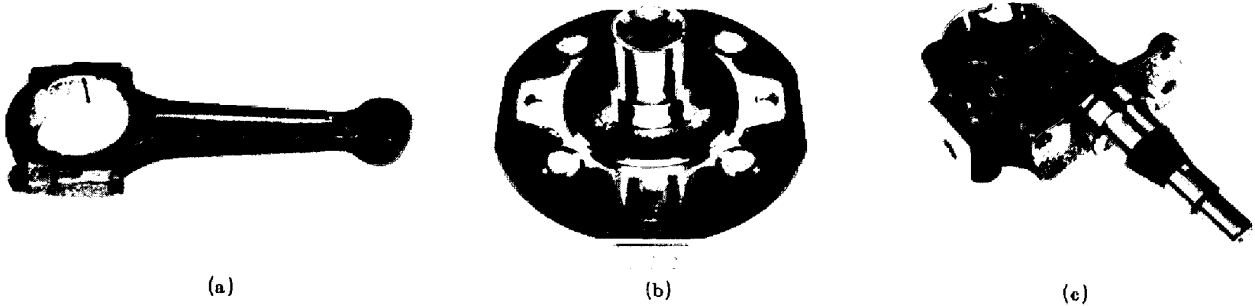


写真2. 試作した自動車部品

単独添加の快削鋼として使用している。

これらの自動車部品へ非調質鋼を適用するため、型打鍛造から機械加工完成までの全工程を量産ラインの中で確認し適合性全般の見極めを行なった。ここではこれらの応用テストの中で最も生産効率の高いコネクティング・ロッドの被削性試験結果について述べる。

まず小端穴あけについて量産設備と同じガンドリルを用いて切削シミュレーションテストを行ない非調質鋼の被削性を予備評価した。非調質鋼Hおよび現用鋼S48CLS₂をそれぞれコネクティング・ロッド小端部の厚さと同じ平板に鍛伸加工し鍛造まままたは調質によりHRC20~25の範囲に硬さを調整した。図11にその結果を示すが、超硬工具を用いたガンドリルでは工具摩耗比較において非調質鋼が約1/2以下と優れている。

次にコネクティング・ロッド6000セットを試作し量産設備での被削性流動テストを行なった。表4に各主要工程での工具寿命を基準とした被削性の評価結果を示す。非調質鋼の被削性は全加工工程で、調質鋼と同等もしくはそれ以上であることを確認した。特に超硬工具を使用している工程で非調質鋼の優位性が認められ基礎試験の結果と一致した。

最後に非調質鋼を適用した部品実体での疲労試験を実施し、現用品と同等の強度が得られることを確認した。一例としてコネクティング・ロッドについての試験結果を図12に示す。

参考文献

- 1) たとえば H. Brandis et al. : Thyssen Edelst. Tech. Ber., 4 (1978), 3.
- 2) S. Niwa, I. Machida, T. Kato, N. Uyehara and T. Tanaka : SAE Technical Paper 810426 (1981).
- 3) 加藤哲男, 阿部山尚三, 木村篤良, 中村貞行 : 鉄と鋼, 66 (1980), S526, S527
- 4) 加藤哲男, 阿部山尚三, 齊藤誠, 中村貞行 : 鉄と鋼, 66 (1980), S528, S531.

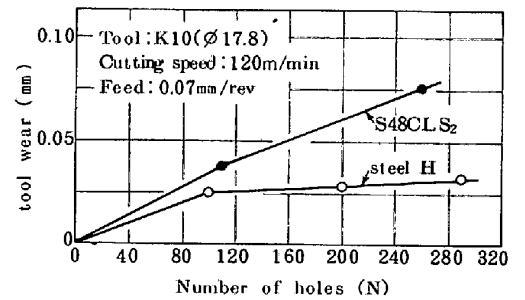


図11. ガンドリルシミュレーションテスト結果

表4. 量産設備による被削性テスト結果

No.	Cutting position	Cutting method	Tool material	Cutting oil	Tool life (%)
1	Hole of large end	Facing	HSS (Motype)	Wet	100
2	Sheet for bolt	Milling	Microalloy	Wet	100
3	Hole for bolt	Drilling	Microalloy	Wet	110
4	Hole for oil	Drilling	HSS (SKH9)	Wet	100
5	Hole of small end	Drilling	Carbide (K10)	Wet	130
6	Hole of small end	Fine Boring	Cermet	Dry	110
7	Hole of large end	Fine Boring	Cermet	Dry	110

Note: Tool life (%) = Tool life for microalloyed steel/quenched and tempered steel × 100

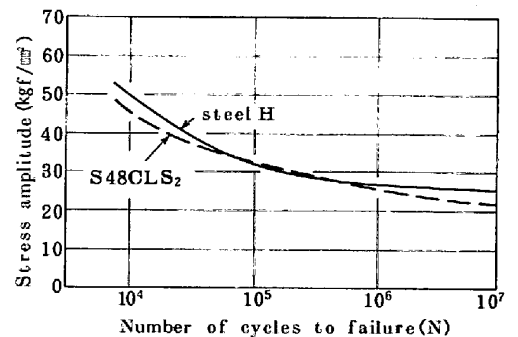


図12. コネクティング・ロッドの疲労試験結果