

討25 量産機械加工における快削鋼の効果

トヨタ自動車工業(株)

桑原昌博

1. 緒言

自動車部品のように大量生産する場合、旋削、穴あけ、面削り、歯切りなどの加工設備を工程順に並べ、その間を搬送装置をつないだ、いわゆる生産ラインで加工することが多く、自動化が進んでいる。従って、被削性が生産性、品質、コストに大きく影響する。そのため、自動車部品では、鉛快削鋼、硫黄快削鋼が多く使用されている。被削性は、工具寿命、仕上面品位、切くず処理性、切削抵抗で評価されるが、それらの優先順位は、加工法、被削物形状により異なる。そこで、快削鋼と基本鋼と比較して、生産ラインでのこれらの状況を述べる。

2. 旋削における切くず処理性

SCr420相当材で、冷鍛加工により軸状に成形した後、旋削加工する場合がある。旋削加工において、切くず処理性が悪く、改善したい課題の一つとなっている。そこで、鋼材のS含有量を変化させ、切くず処理に対する効果を実験室的に調べた。

2.1 試験方法

表1に示す成分を有する供試材をつくり、図1に示す形状に冷鍛加工後焼ならしを行なった。その後、下記に示す条件で旋削を行い切くず形状を観察した。

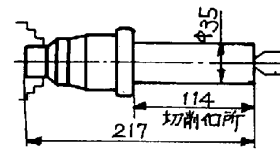


図1 切削箇所

切削速度：110 m/min

送り速度：0.1, 0.2, 0.3, 0.4 mm/rev

切込み：0.25, 0.50, 1.0, 1.5, 2.0, 3.0 mm

工具：SNGN432S, (チップブレーカなし)

(-5, -5, 5, 5, 45, 45, 0.8)

表1 供試材の成分

成分	No							
	1	2	3	4	5	6	7	8
C	0.18 ~ 0.23							
Si	0.022	0.014	0.015	0.16	0.19	0.25	0.24	0.15 ~ 0.35
Mn	0.60 ~ 0.85							
P	0.03以下							
S	0.054	0.089	0.084	0.083	0.081	0.058	0.091	<0.03
Cr	0.90 ~ 1.20							

2.2 結果および考察

図2に、切くずがカールして10cm以内で切断する範囲を、S, Siの成分グループごとに示す。JIS規格のSCr420該当材であるNo8が最も切くず処理性が悪い。S量が最も多く、Si量が最も少ないグループ(N02.3)が切くず処理性が良い。これらは、冷鍛加工性と逆の傾向となっている。Sは、通常MnSとして鋼中に存在し、切削時の切くずせん断域において、応力集中源として作用し、マイクロクラックの発生を助長し、切くずをカールさせ易いと考えられる。逆に、冷鍛時には、塑性変形能を低下させるため、割れなどの問題を起し易いと云われている。したがって、快削成分を増加させることには限界があり、工具側での対応(例えば最近のチップブレーカの適応)や加工設備側での対応が必要となる。

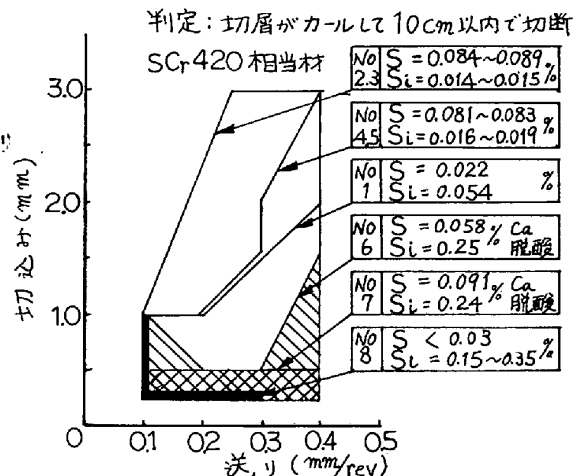
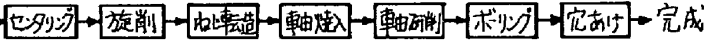


図2 S, Si 成分による切屑切断範囲

3. ナックルステアリングの生産ラインにおける快削鋼の効果

ナックルステアリングを図3に示す生産ラインで加工している。従来この部品はS48C鉛快削鋼(S48CLで表わす)であるが、基本鋼S48Cを同じラインにて800個加工し、両者の被削性を評価した。センタリング、ねじ転造、軸研削の工程では、両者に大きな差は見られなかった。旋削、ボーリング、穴あけに被削性に差が見られた。そこで、両者について、切くず処理性、工具寿命、ラインの稼働率を比較した。

3.1 比較した工程のツーリング 

上記の差違が出た工程のツーリングをまとめて図4に示す。旋削3工程、ボーリング3工程、穴あけ1工程である。切削条件および使用工具を表2に示す。

図3. ナックルステアリングの生産ライン

表2 切削条件および使用工具

工程	条件	切削速度	送り	切込み	使用工具
端面削り	1,2,3	60~120% _{min}	0.25% _{min}	6~0.5"	SNMN432S ₂
軸削り	1,2,3	80~150	0.30	3~0.5	TNJC332S ₁
ボーリング	1,2,3	50	0.30	3~1.5	SNMN432S ₂
穴あけ		10	0.13	—	φ10.8SKH9

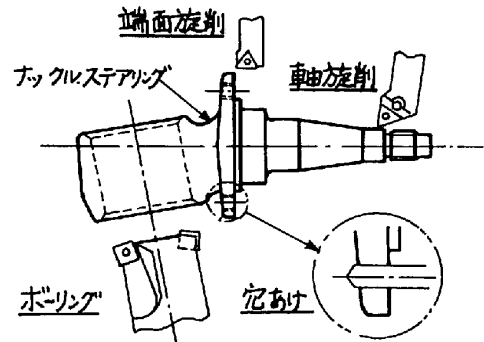


図4. ナックルステアリングのTooling

3.2 結果および考察

切くず処理性と工具寿命の比較を表3に示す。S48CがS48CLに比べ、全般に、切くず処理性が大巾に悪くなっていることがわかる。端面削り1、軸削り1、ボーリング1では、S48Cの切くず処理性が、それ程悪くなっていないのは、切込みが、3~6mmと大きいため、切くずのカーブ径が小さくなり、切断し易いためである。工具の逃げ面摩耗がらみだ工具寿命に関しては、端面削り、軸削り、ボーリングにおいて、S48CとS48CLとほとんど同じである。これは、いづれの工程も、使用工具の工具材が超硬合金を使用しているためである。超硬合金の場合、逃げ面摩耗は被削材とのすきとりが主因であるため、快削成分の影響が少ないと考えられる。他方、高速度鋼を使っているドリルは工具寿命が悪くなっている。S48CとS48CLをそれぞれ800個連続して加工したときの稼働率を表4に示す。S48Cの方が、5~7%稼働率が悪い。これは、前述した切くず処理性が悪いためである。

表3 切屑処理と工具寿命比較

加工工程	切屑処理性		工具寿命(分)	
	S48CL	S48C	S48CL	S48C
端面削り1	○	△	300	250
" 2	○	X	250	250
" 3	△	X	200	200
軸削り1	○	○	250	250
" 2	○	X	250	250
" 3	○	X	300	300
ボーリング1	○	○	150	150
" 2	○	X	150	150
" 3	○	X	250	250
穴あけ	○	△	250	150

切屑処理性
 ○…規則的にカール10cm以下で切断。
 △…規則的にカールするが延びる。
 X…不規則なカールで延びる。

表4 稼働率比較

工程	S48CL	S48C
旋削	93%	86%
ボーリング	84%	79%

4. 歯切りにおける硫黄快削鋼の効果

歯車用鋼としてSCr420相当材が一般的であるが、一部SCr420S相当材が使われることもある。ピニオンカッタによる歯切り加工において両者を比較した。同じ歯車で両者を加工したことがないので、切削長さとしピニオンカッタの逃げ面摩耗の関係を求めた。ここで、切削長さは次式で求めた。

$$\text{切削長さ} = \text{歯巾} \times \text{歯数} \times \text{切削個数} / \cos(\text{ねじれ角})$$

4.1 歯車諸元と切削条件

比較したピオン歯切り工程の歯車諸元および切削条件を表5に示す。

4.2 結果および考察

切削長さに対するピオンカッタの逃げ面摩耗量を図5に示す。比較した歯車諸元および切削条件が少しづつ異なるので、はっきりしたことは云えないが、SCr420 S₁相当材の方が、同じ逃げ面摩耗に達するまでに、切削長さが長いと思われる。

表5 歯車諸元とピオンカッタ磨耗量

項目	A	B	C	D	E	F
材質	SCr420 S ₁ 相当		SCr420 相当			
歯数	29	23	19	22	28	23
モジュール	2	2	1.85	2.5	2.04	2.08
圧力角	20°	14.5°	14.5°	18°	16°	18°
ねじれ角	35°	35.54°	33.30°	31.43°	35°	36.12°
歯巾	12.5	13	15	16	14.2	14
切削速度 (m/min)	39	39	28	28	44	44
送り (mm/rev)	0.46	0.40	0.30	0.35	0.35	0.35

注 被削材硬さ Hb163~207

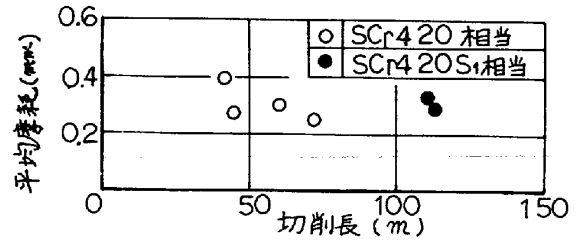


図5 ピオンカッタ磨耗量比較

5. フランクシャフト生産ラインにおけるV添加鋼の効果

鋼製フランクシャフトは、従来、熱間鍛造後、焼入、焼もどしされている。最近、熱間鍛造後放冷することにより、必要硬さの得られるV添加鋼が実用化された。従来のフランクシャフトとV添加鋼で鍛造放冷したそれとを生産ラインにて加工し、工具寿命を比較した。

5.1 供試材の成分、熱処理条件、組織および断面硬さ分布

供試材の成分を表6に、熱処理条件を表7に、組織を写真1に、フランクシャフトオージェーナル部の断面硬さ分布を図6に示す。

表6 供試材の成分 (wt%)

S50C	C	Si	Mn	P	S	Cr	V
S ₁ 鋼	0.49	0.25	0.90	0.01	0.054	0.16	—
V添加鋼	0.47	0.25	0.92	0.021	0.061	0.13	0.10

表7 熱処理条件

鋼種	熱処理条件
S50C V 放冷	鍛造後(約1000°C)→放冷(冷却速度-30°C/min)
S50C S ₁ 油焼入	880°C X 1H → 油焼入 → 560°C X 1.5H 焼もどし
S50C S ₁ 水焼入	850°C X 1H → 水焼入 → 570°C X 1.5H 焼もどし

注 ※印は別型式のフランクシャフトの場合を示す

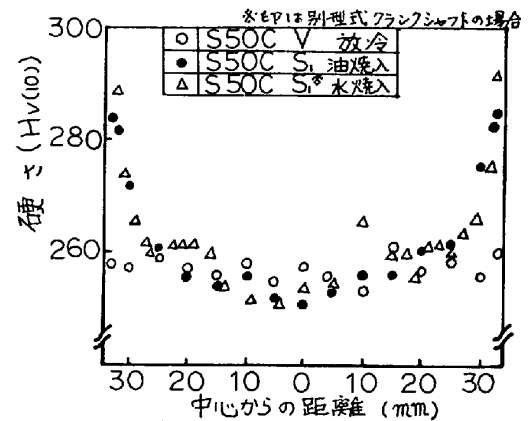
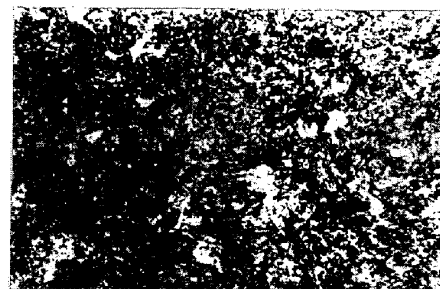
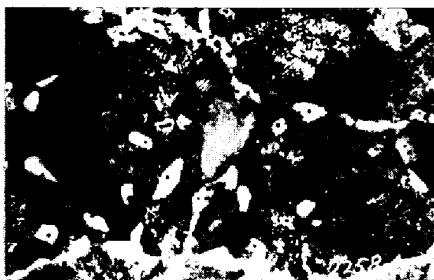


図6 断面硬さ分布



10μm

a) S50C V添加鋼

b) S50C S₁鋼

写真1 V添加鋼とS₁鋼の組織

5.2 比較した加工工程のツーリング

工具寿命を比較した工程のツーリングをまとめて図7に、それぞれの切削条件、使用工具を表8に示す。

表8 切削条件および使用工具

工程	条件	切削速度	送り	クラント	使用工具
センタリング		19 m/min	0.16 mm/rev	エマルジョン	センタドリルSKH9
旋削 A	10	0.15		エマルジョン	ホルドバイトSKH55
旋削 B	10	0.15		エマルジョン	ホルドバイトSKH55
油穴あけ	15	0.05		油	ツイストドリルSKH9
穴あけ	13	0.40		油	ツイストドリルSKH9

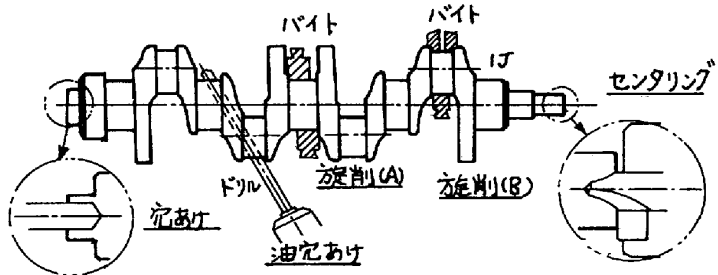


図7 クランクシャフト加工箇所

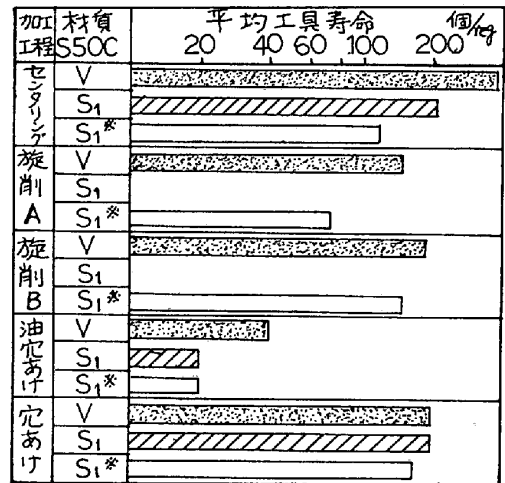
5.3 結果および考察

それぞれの工程の工具寿命の比較を図8に示す。センタリングと油穴あけは、V添加鋼の方が工具寿命が大幅に長い。穴あけはほとんど差がない。旋削A, Bは、同じ型式での比較データはないが、別型式のもの類似工程と比較すると、V添加鋼の方が工具寿命が長い。別型式の場合、使用クラントが油であることも考慮すると、V添加鋼の方が大幅に工具寿命が長いと推定できる。

各工程の工具寿命の比較結果から、クランクシャフトの外周から加工する工程、即ち、センタリング、旋削A, B, 油穴あけにおいて、V添加鋼の工具寿命が、S50Cのそれらに比べ長いことがわかる。他方、中心部の加工、即ち、穴あけ(図7には省略してあるが前工程にセンタリングがあり、外周部は加工されている)では、両者の工具寿命は変わらない。これらの1つの理由として、両者の断面硬さ分布(前掲図6)の差が考えられる。V添加鋼は、断面硬さ分布がフラットであるのに対し、S鋼はUカーブとなっている。V添加鋼の方が、S鋼に比べ、表層部の硬さが低いことが、上記工具寿命の差となって表われていると考えられる。

6. 結言

自動車部品の大量生産ラインの事例を中心に、快削鋼の効果と述べてきた。硫黄快削鋼、鉛快削鋼は、加工法、部品形状により、被削性改善の程度は異なるが、平均的にみて、切くす処理性、工具寿命は良くなる。これらの快削鋼は、快削成分の分布状態、形状により、基本鋼に比べ、強度上の問題があり、使用上の制約がある。したがって、快削成分の分布状態や形状の改善による強度に影響の少ない快削鋼の開発が望まれる。他方、ツーリングや加工法の工夫により、基本鋼でも、生産性、コスト、工具寿命が、現状の快削鋼並の生産ラインにすることが大きな課題の一つでもある。また、最後の事例で述べたV添加鋼のように、部品の持つべき機能から出発して、粗形材のつくり方から、最終機械加工まで含めたトータルな観点から、被削性の良い新鋼材の開発、実用化が重要と思われる。



注 *印は別型式クランクシャフトの場合を示す
図8 V添加鋼とS快削鋼の工具寿命比較