

討19 快削鋼研究開発の展望

金属材料技術研究所 荒木透

1. 各種快削鋼の発展

快削鋼発展の歴史的な経過とのかえりみると、第一次大戦時、鋼の大量生産にともなって産出されたP、Sなど不純物の異常に多い軟鋼材の高い破削性の経験から生まれ、規格化し実用化に至っている¹⁾

この場合、快削性含有元素として決定的に有効なのはSであり、熱間脆性と防ぐため添加されるMnと化合してMnSと主体とする顕微鏡オーダの延伸型非金属介在物として存在し、切削局部のせん断変形と破断を容易にして鋼に快削性能を付与する。Sの同族元素であるSe、Te等も類似の化合物として鋼中に非金属介在物分散の形をとり、それぞれ特色ある快削性添加物となることが認められている²⁾

鋼に不溶のPb、Bi等の元素は、鋼中に金属性介在物として分散含有させることができる。黄銅中のPbの快削効果については古くから知られていたが、工業的に鋼に添加分散させる技術が米国において1937年に開発されて以来、含鉛系快削鋼も重要な快削鋼の一分野を占めるようになった。とくに昇温脆化に由来する切くず処理性向上に大きな利益が認められてきている^{3) 4)}

過去の快削鋼発展の主流は、上記S系ならびにPb系を中心として改良を重ねられ、各種の性能を向上したものが得られた。これらは主として高速度鋼工具による比較的 low speed 切削作業の高効率化に偉力を発揮してきたが、さらに超硬合金工具を用いる高速切削速度において工具摩耗抑制効果と発揮する快削鋼の発展が、酸化物系介在物の生成分散制御によって得られるようになった。これは、1963年独乙において発見され、最近わが国においても盛んに実用化研究がなされてきたCu処理系快削鋼である³⁾ この種の脱酸調整鋼は工具の接触面上に堆積する酸化物膜の保護効果に特色があり、新しい型の快削鋼と目される。Tiによる脱酸制御鋼もこの系統に含まれる。

近年、わが国において生産され使用される快削鋼は、図1に示されるように著しい量的な進展をたどってきたが、その約5割は自動車部品材料として用いられている。昭和32年、まずオートバイ部品用材料として鉛快削鋼が量的に用いられたのを契機として、昭和38年からは乗用車への量的採用へと発展拡大した。日本の乗用車の生産量が西ドイツを抜いて世界二位となった昭和47年には快削鋼の生産量は年間50万トンに達し、その後も増加している

先ず著しい伸びとみた特殊鋼の用途ではスプラインドシャフトなどの軸類、ピン類、トランスミッション関係のギヤ類等に当初は鉛系快削鋼が主体に使われたが、硫黄系も漸次拡大し、図に示すような発展経過を示した。さらにカメラ、時計などの細物精密機械部品あるいは電気・通信機器部品など古くから用いられてきた用途にも伸びがみられる。

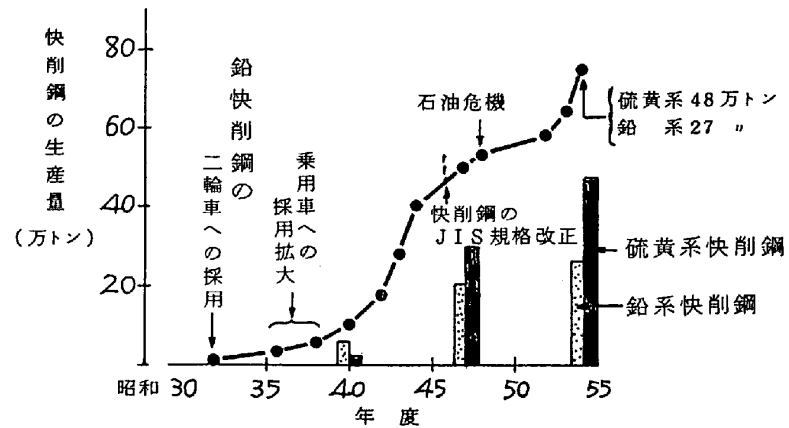


図1. 快削鋼生産量の推移

2. 最近の切削加工工程

最近の機械部品の切削加工技術の進歩により、素材としての快削鋼に要求される破削性は多面的になってきている、すなわち、

(文献: 1) 荒木山本; 機械学会誌, 78(1975) p.971; 2) 同上; 70(1966) p.187
3) 同上; 精密機械, 42(1976) p.72; 4) 同上; 金鉄と鋼, 57(1977) p.192

我國を中心として著しい進展を見せている工作機械の自動化、無人化運転はさらに高能率化・高精産化に向い、同時に、高信頼性が要求される。これらは機械部品の多様化に伴い多様中(小)量生産を対象としたFMS (Flexible Manufacturing System) としての方向を目指すものであるが、快削鋼を導入することによって加工部品の切換に伴う切削条件の変化にはより対応し易くなる。

例えば表1は作業内容によって被削性評価への重負が異なることを示している。高価なNC工作機械の使用に際して、工具類の消費量が若干多くても、高速切削により生産量を増した方が有利ということがある。また切削加工条件に対し部品一個当りに占める工具費の最小を求める方法はとくに著しく高価な工具の場合に適合し、減価償却を含めた生産コストの視野から経済的切削速度、送り量等を算出することが合理的である。

このような場合、適材の快削鋼を被削材として導入することは、上記被削性の重負評価に対応する上できわめて効果的である。とくに切削速度の増大にもなつて処理し難い切くずが生成してくることは、快削鋼の採用によって著しく改善される。切削工具の面として、ユーレドチップ、セラミックス、CBN 工具など高速用耐摩耗性のものが発展しており、今後とも切削加工速度は増してゆくであろう。

さらに、最近の機械部品素材は冷間加工や精密鍛造などによって切削加工部品素材の切削代(しろ)が最小となるような工夫がなされ、

材料の節約ばかりでなく、

材質的な向上、生産速度の

増大などおも伴っている。

その反面切削量が少いため

チップブレイカーの効果も

不十分で、連続した切くず

が生成しやすく、自動化が

妨げられる。このため残速

のように快削鋼の冷間加工

性の高い品種の開発が注目

される。

3. 実用快削鋼の種類と規格

簡単にわが国における実用

快削鋼の開発状況にふれたい。

快削性の由来となる添加

元素と介在物によって大別し

た現用快削鋼と適用鋼種につ

いて表2に示した。JIS炭

素系快削鋼ならびに複合快削

鋼には、S = 0.08 ~ 0.12

%のSUM11, 31, 41

表1 被削性の評価基準と切削作業

評価 基準	切削作業内容		
	自動切削(NC)	仕上げ加工	荒加工
切くず処理性	1	2	3
切削仕上(精度)	2	1	4
工具寿命	3	3	1
切削抵抗	4	4	2

表2 鉄鋼各社による快削鋼の適用鋼種

	快削性添加元素	適用鋼種
金属系介在物	Pb: [0.1~0.25%]	S-C, SCr, SCM, SNC, SNCM
	Pb: [0.03~0.08%, 低O]	SNCM, SK 号 低合金鋼
硫化物系介在物	S: [~0.2%, ~0.15%][0.3%]	SUM21, SUM32; SUM22 ²³ , 43
	S: (Si): [0.04~0.07%]	S10C~S58C, SCr ₂ , SCM ₂₄
	S: (S2): [0.08~0.12%]	S10C~S58C, SUM11, 12 ³¹ , 41, 42
	(Si)-Zr, (S2)-Zr	低炭素鋼, 中炭素鋼, 低合金鋼
	(Si)-Zr-B (Si)-Te	S20C 低合金鋼, 中炭素鋼
複合系	S-(P,N)-Pb(Bi)-Se-Te	低炭素鋼 (C ≤ 0.15%), (非鎮静)
	S [0.28~0.3%]-Pb [0.2%]	SUM22L, 23L, 24L
酸化物系介在物	Ca	S10C~S58C 機械構造用合金鋼
	Ca-(Si) Ca-(Si)-Pb [0.04% 0.2%]	" (SCr, SCM, SNCM等)
酸化物系介在物	Ti-Ca-(Si)	各種炭素鋼
		低合金鋼

等のごとく冷鍛性や機械的特性に重点をおいた鋼種から、Sの最高0.3%を超えるSUM 22, 23, 43等快削性能に重点をおいた鋼種がある。

JIS以外の快削鋼としては表のごとく：①鉛系の機械構造用鋼を中心とした自動車動力伝達機械部材に多く用いられる特殊鋼、さらに信頼性とベアリング特性を高めるため低Pbとして低酸素を計った鋼種が開発されつつある。

②硫黄系で硫化物の量を形状制御を目指したS-Zr, S-Te系等の鋼種はこれによつて冷鍛性を確保し、快削性をも保持することを狙っている。③複合系の高硫黄一含鉛系は、超快削鋼を狙つたSUM 22 L, 23 L等の規格鋼とさらに黄銅の被削性に近づけるため、Sをを抑える一方フェライトの脆化元素P, Nを富化、Pbに加えてBi, Se, Te等を微量添加することによる超快削鋼種が開発されている。

④酸化物系介在物による含TiC系超硬工具寿命の延長を狙つた鋼種としては、主として機械構造用鋼に適用されているが通常S=0.04~0.07%の(Si)レベルの硫黄および少量の鉛と複合して低速切削(高速度鋼工具)の範囲にも被削性の向上効果を与えた鋼種が開発されている。Ca処理によるシリケート系介在物はフレーザ-摩耗に有効であり、Ti脱酸によるMnチタネート系介在物は逃げ面摩耗にそれぞれ工具面保護効果を発揮する。

4. 快削鋼研究開発の方向

前述のように新しい時代の切削作業は、削り代の減少、^速高切削化、切くす処理性の重視、全固鍛造性などの卓ぶ前の時代とはやや重なる異なった性能を快削鋼に要求してきている。またその反面、孔あけや歯切り、ブローチなどの作業には依然として低速での工具寿命と能率化が必要な部品もあり、これらも自動作業化に際してネックを形成する。

このような諸要求に応じる快削鋼としては、軟鋼類似鋼の超快削鋼から、高信頼性の要求される高品質特殊鋼の快削鋼まで種々のグレードのものが、それぞれ使用される部品に応じて供給されねばならない。このような多様化に応じる快削鋼の研究開発は、被削性向上に關する研究の進展と同時に鋼材の製造プロセスの技術開発と進歩によつて支えられて、益々活発に続けられてゆくことが期待される。

一般に鋼の被削性向上の諸要因は、一方において鋼の延性の低下、硬脆性の劣化、異方性等のため機械的特性と信頼性を損なうことが多い。この点を補うために、種々の工夫改善がなされるが従来の硫黄快削鋼の性能を改良してその用途拡大につながつてきており、また鉛快削鋼の公害を軽減し、信頼性をさらに向上させる工夫が新鋼種の開発に導いている。

ここでは各種介在物、成分組織等が被削性を向上させる機構と切削時に観測される諸パラメータに及ぼす影響について考察してみよう。

(1) 硫化物系介在物による快削性

硫化物は鋼地質に比して弾性定数が半値と低く、またせん断変形の降伏一塑性流動応力がはるかに低い。とくに昇温時に著しく差があるため、応力集中源として働き、ミクロ的なせん断されつを多く発生して、切削局部の切くすせん断域の流動応力を低め、また生成する切くすの破断性をよくする^{23,25}。この結果として、切くすせん断角が大きく、切くす接触長さ見が小さい切削形態がとられ、切削抵抗Fは低い値となる。これに伴ない局部の温度上昇は低くなる。介在物の形状は比較的厚みのある大型のものが望ましい。しかし一方で延性、塑性加工特性の要求からあまり大粒のものはゆるぎないから、比較的だ円形に近い数μmオーダの介在物が均一に分散することが望ましいことになる。このような改善に有効なものとして古くは非鎮靜の超快削鋼においてはS₂を0.00%台に下げることが知られていた。しかし鎮靜鋼においてはZr, Te, Caなどが有効成分として利用されている。このような鋼材中の分布形態の制御技術が重要な意味を持つており、さらにまた被削性に対する脱酸、造塊(連铸)、圧延加工、冷却制御等のプロセス技術の改善を快削鋼の開発研究に加えてゆく方向が重要となろう。

(2.) 金属性介在物による快削性

複合系をも含めて、Pb, Bi の微粒 (約 $1 \sim 3 \mu\text{m}$) の分散による被削性の向上は、主として Pb 等の粒が被削鋼の昇温時溶融浸出して破断脆性を著増する効果と関係がある。Pb が工具の切くず接触界面に介在して、分離潤滑効果をもたらすこともあるが、さらに切くずの流動変形時のマイクロき裂の圧着を防止、総合的にはせん断変形一破断の応力を下げ、 ϕ を高め、 l を短くし、切削抵抗 F 、温度 θ を下げる。とくに生成時昇温している切くずの脆性に由来して切くずが分断しやすく、処理性がよいことは優れた特長であり、含有 Pb の微量によっても達成される。また構成刃先の生成を軽減する効果は、Te の効果とともに顕著なことが認められている。

Pb の添加は今後切くず処理性への有用な効果を目的として、 0.05 程度の微量の使用法が増してゆくことが考えられる。

(3.) 酸化物系介在物の制御による快削性

酸化物系の介在物は元素 Al_2O_3 , SiO_2 , (Cr_2O_3) などアブレシブな性質を有するものが多く、とくに鎮静鋼の場合酸素量は極力低めた方が工具寿命の延長によいと考えられていた。とくに大型のシリケート、アルミネートなど砂疵と称されるものは刃先のケツ、ポングの原因ともなり、この意味では酸化物についての特殊鋼の清浄度は良いことが歓迎される。しかし高温に耐える超硬工具の発展により高速切削の場合、適度な高温粘性と工具との接着性を有する酸化物系介在物はむしろ工具との接触面に堆積被覆する性質ともち、工具の損耗を保護し寿命を延ばすことによつて被削性を向上する。

現在の知識によれば、Ca 脱酸生成物の $\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ 系のゲーレンナイト、アノルサイト等を中心とするシリケート系介在物は TiC を含有する P 種系超硬合金やサーメット等の工具面に附着していわゆるベラークとなり、切くず接触面における C, Co, W などの拡散による劣化を防止、クレーター摩耗等を著しく低減する。このために酸素量を適度に制御し ($\sim 0.005\%$) 残さねばならない。同時に Ti による場合は、 $\text{MnO}-\text{TiO}_2$ 系のタタネート介在物存在が有効であるが、 TiC を含む工具面との親和力がとくに強い。これらの物質は約 1400°C 前後の融点と接着性と粘性を有している。

酸化物系介在物の適種適量を鋼中に分散させる制御技術を確立させることによれば、工具寿命の延長に寄与し、他の機械的性質にほとんど悪影響を及ぼさない英で極めて有用である。

(4.) 金属組織のよき被削性向上効果

鋼の金属組織そのものが被削性に及ぼす影響も介在物の効果と合せて重要である。別稿のように、フェライト基地にマルテンサイト (ベイナイト) 相の混合する複合相組織がとくに切くず処理性の向上に著しい効果を持つことは着目すべきことである。このような組織は制御圧延-冷却技術の最近の発展によつて経済的に達成することが可能である。

また一般的に云つて軟かい高延性組織の中に硬い変形しにくい組織が適当に混合している複合組織は ϕ を高め切削抵抗を低める効果があり、ステンレス鋼に Cu, Al 等を添加した鋼種のミクロ的偏析による快削性の附与も一例である。

以上各種の快削性附与に有効な要因はそれぞれ異つた機構によるものであるから、複合的に附加することによつて、より良い効果を発揮することが期待される。また快削鋼の開発には、切削作業との適合によつて総合的に経済性を発揮しうるような工夫が重要であり、用途の多様化と使用量の増大に対応して、従来よりさらに広い範囲の技術の集結と高度化を採り入れて進むものと思われる。例えば連続鑄造工程における各種介在物の分散制御技術; 造塊時 Mn と Co の硫黄量を変えて快削鋼材の表層部の健全性を高め心部をとくに快削性の秀れたものとする技術; 熱処理を省略し被削性の秀れた複合組織を得るための制御圧延冷却技術; 冷間塑性加工度と温度制御などが研究開発課題の例として挙げられよう。