

討12

鋼の溶製条件、不純物、組織の被削性に及ぼす影響

山陽特殊製鋼株式会社

工博 〇小柳 明

坂上 高志

1. 緒言

鋼の被削性改善には硫黄鉛など被削性元素添加による方法と Al₂O₃, SiO₂ など被削性に有害な介在物を除去する方法が行われてきた。被削性元素は比較的低速の切削において工具寿命、切削抵抗、仕上げ面などに効果があるが高速切削の領域ではその効果は充分ではない。一方従来被削性に有害と考えられていた酸化物系介在物を脱酸法調整により有効に作用する組成に変え鋼の高速に於ける工具寿命を改善し得ることが最近の西独の研究によって明らかにされた。これは鋼の製造過程における被削性因子の調整に対して新しい親交を与えものとして注目され国内でも研究開発がすすめられている。また鋼の加工熱処理などともなり硬度ミクロ組織その他物理的特性および基本的な化学成分などの被削性に及ぼす要因についても従来からかなり研究が進められているが理論的体系は整っていない。以下冶金学的要因と被削性の関係について従来の知見に若干の考察を加え今後の問題を検討したい。

2. 鋼の溶製過程における諸因子と被削性

鋼の被削性は製鋼法の差異によってかなり変化するその要因としては合金元素、不純物として含まれる微量元素ガスなどを含めた化学成分と脱酸生成物その他の非金属介在物の量組成、分散状態などがあつた。

(1) 製鋼法の差異による鋼の特性と被削性

各種の製鋼法による鋼の被削性の間にはかなり大きな差異がありまた同一の製鋼法でも各ヒート間でのバラツキが大きいことは一般に認められている。ベッセメー法、トマス法、平炉法、電気炉法、純酸素転炉法ならびに各種真空溶解法、真空造塊法など各種製鋼法で製造された鋼の間には組織、被削性の差異は主として不純物としての磷、硫黄、酸素、窒素、Si などの含有量および硫化物、酸化物などの非金属介在物の量組成、形態分布などにあつた。これら製鋼過程において不可避免的に鋼中に含有する磷、硫黄、酸素、窒素、Si などの不純物が鋼の被削性に及ぼす影響は鋼の加工履歴や切削の条件によって変化するので一義的に決定できないがこれらがフライトの脱化や非金属介在物の切削工具面に対する作用と関係していることはかなり明確にされている。一般に転炉転炉で溶製された鋼の被削性がよいのはフライト脱化元素としての磷および窒素が比較的多く含有し硫黄の含有量も高いため硫化物の効果もかなり影響しているからであらう。また酸化物も比較的軟質の (Fe, Mn)O の形で多量に MnS と共存しているため切削工具に対する有害な削磨作用が少いからである。またリムド鋼がキルド鋼より被削性がすぐれているのはリムド鋼では酸素含有量が高く多量の軟質の非金属介在物が存在し Si がきわめて低いためキルド鋼にみられるような被削性に有害な SiO₂, Al₂O₃ などの非金属介在物がほとんどないことによるものである。表1は溶製法の異なる極基性転炉鋼と平炉鋼の化学成分と引張試験の絞り値を示したものであるが被削性とこれから推定すれば逆の順位になると考えられる。製鋼法の差異による鋼

表1. 溶製法の異なるリムド鋼の化学成分と絞り値¹⁾

製鋼法	化 学 成 分 %					絞 り %	
	C	Mn	P	S	N	標準後	時効後
平 炉	0.053	0.31	0.016	0.024	0.0066	76.4	71.4
極基性転炉							
O ₂ +CO ₂ 吹き	0.050	0.35	0.038	0.027	0.0035	75.7	69.4
O ₂ 高圧空気吹き	0.048	0.37	0.041	0.034	0.0063	73.0	67.3
窒気吹き	0.050	0.39	0.038	0.028	0.0111	73.4	65.1

の被削性の良否について系統的に調べた研究は少ないが Koerber²⁾は 0.45% の炭素鋼について平炉鋼、電気炉鋼、トマス鋼および改良転炉鋼の旋削および穴あけテストを行ない改良転炉鋼 (p.0.047% S.0.025% N.0.0084% O.0.043%) で最も良好な結果を得ている真空処理鋼では有害な酸化物量は電気溶製鋼に比してかなり少くなるが鋼中の不純物減少による鋼の延性増加などにより必ずしも被削性は良好

になるとはかぎらない。しかし真空処理によって延性が增加せずアグレシアな酸化物系介在物が減少すれば被削の改善は期待できよう。Pattigier²⁾らはCK45鋼についてテストし真空脱ガス処理によって切削工具寿命が延びることを報告している。

(2) 不純物として鋼中に存在する微量元素と被削性

溶製過程で鋼中に残留する微量の不純物元素としては硫化物や酸化物などの非金属介在物を形成するものとマトリクスに固溶しているP, N, As, Al, Ni, Cr, Mo, Cu, Sn. などがある。ここでは鋼のマトリクスに固溶している元素についてその被削性への関連を考えてみる。PおよびNの含有量は前述の如く鋼の精錬方法によってかなり変化するがこれらはフェライト中に固溶してこれを硬くして延性を低下させ、Mnと同様に冷間引抜などにより鋼を加工硬化させる。Pは低炭素硫黄切削鋼の被削性に対して有効で切削仕上げ面および切屑の処理性を良くする⁽¹⁾⁽⁵⁾⁽⁶⁾。Nも同様の効果がある。しかしGarvey³⁾らは“低炭素硫黄切削鋼”についてテストしNの含有量が非常に高い場合は工具寿命を低下させることを報告した。図1のようにPの含有量と共に工具寿命に対して最適の範囲があることを示している。Paliwoda⁷⁾の鉛硫黄複合切削鋼についての実験によるとP, Nの寄与は認められていない。Madzyk⁸⁾はV₆₀値に対してPNは負の効果があることを次式によって示している。

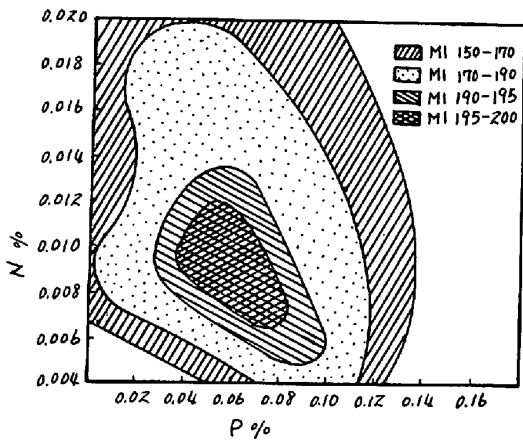


図1. 0.08% C, 0.30% S の冷間引抜鋼の定圧送り切削テストによる被削性指数とPおよびN含有量との関係⁽⁴⁾

鋼中に残留する微量のNi, Cr, Mo, As, Sn, Cuの被削性に対する影響については系統的にほとんど検討されていないが、Schepers⁹⁾は低炭素硫黄切削鋼(トマス鋼)について工具寿命を測定しCr%が0.063~0.113%の範囲で被削性を検討しCrが全く含有しない場合と0.063% Crを含有する場合の差はわからないが、0.063% Crのものに比して0.1%以上のものは工具寿命が劣化することを報告している。

$$V_{60} (\text{ft}^3/\text{min}) = 267 - 1400 (\%C) + 93 (\%Mn) + 77 (\%S) + 77 (\%P) - 527 (\%P) - 7027 (\%N)$$

鋼中に残留する微量のNi, Cr, Mo, As, Sn, Cuの被削性に対する影響については系統的にほとんど検討されていないが、Schepers⁹⁾は低炭素硫黄切削鋼(トマス鋼)について工具寿命を測定しCr%が0.063~0.113%の範囲で被削性を検討しCrが全く含有しない場合と0.063% Crを含有する場合の差はわからないが、0.063% Crのものに比して0.1%以上のものは工具寿命が劣化することを報告している。

(3) 非金属介在物と被削性

鋼中の介在物の切削時における作用は、切削の条件によって異なるが一般的には切削せん断域における作用および被削鋼と工具枝質の接触域での作用が考えられる。硫化物系介在物はその切欠効果によって鋼の脆性を高め塑性ひずみを減じて一種の内部潤滑効果により被削性を高める。酸化物系介在物はAl₂O₃のような硬質のものは削磨作用により工具磨耗を促進するが(Mn, Fe)Oのような比較的軟質のものはMnSなどと同様に被削性を高める。融点の比較的低い介在物では高速切削において被削鋼と工具枝質との接触面において潤滑作用と工具枝質からの炭素などの拡散を防止する被膜を主として工具の磨耗を抑制することが考えられる。硫化物の形態と組成はO, Si, Al などにより大きく変化する。これらに関する研究は多くの因子が相互に関連しているために一つの要因についての作用を理論的に解析することを困難にしている。リムド鋼めかいはセミキルド鋼ではMnSと共存してかなり多くの(Mn, Fe)Oの形の酸化物や珪酸塩が存在しこれらは延伸したMnSの尾部に付着しているがGaydos¹⁰⁾はC1213鋼の硫化物および酸化物を顕微鏡観察により(1) Silicious Type (2) Oxide-Silicate Type (3) Oxysulfide の3つに分け珪酸塩系介在物が硫化物の熱間における可塑性を変え被削性を低下させることを報告している。硫化物は一般に長円形のもの被削性を良好にし延伸形のもの好ましくないと考えられており酸化物系介在物の組成と形態によ

り左右される。硫化物および脱酸過程介入物の被削性に及ぼす影響を分離して解析することは非常に困難であるためこれまでの研究ではSi%と被削性の関係¹⁴⁾、或はtotal O%または%比¹⁵⁾と被削性の関係から検討されている。図2、図3はO%、%比と被削性との関係を示している。

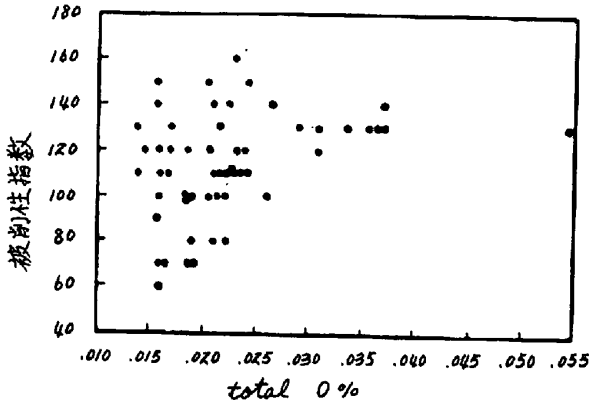


図2. total O%と0.3%S鋼の被削性の関係¹⁴⁾
(Si 0.002% ~ 0.029%)

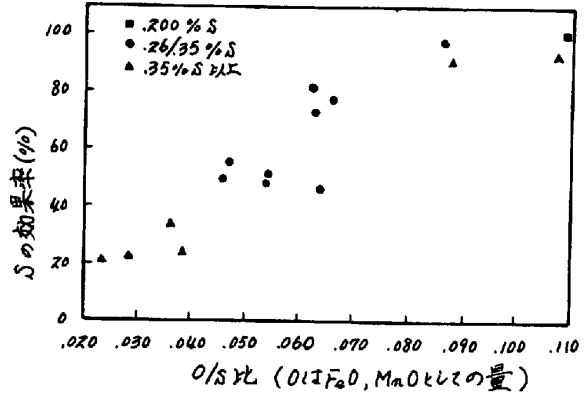


図3. Sの被削性に及ぼす効果と%比¹⁵⁾

キルド鋼ではSi, Alなどの脱酸剤を用いるため硫化物系介入物は SiO_2 , Al_2O_3 を主成分としたものが多い。硫化物はO, Al, Siの総合的作用によりその性状および形態を変化し被削性に影響を及ぼす。また硫化物と酸化物の存在形態は脱酸剤の種類によっても変化し、Ca-Si合金などの複合脱酸剤についても研究¹⁷⁻¹⁹⁾がなされ被削性に対して好ましい硫化物の組成形態の究明が行なわれている。

3. 化学成分と被削性

一般に合金成分として添加される化学成分が被削性に及ぼす影響はそれらの成分が鋼中でどのような状態で存在しまた相互にどのように影響するかによって変化する。Si, Mn, Ni, Cr, Mo, V, W, Ti, Alなどはフェライトに固溶してそれを硬化し被削性に影響する。Si, Niなどはほとんどフェライト中に固溶するがMn, Cr, Mo, V, Wなどは Fe_3C 中に固溶したり特殊な炭化物を形成したりする。また炭素量に応じて炭化物中とフェライト中に分配される元素量が異なり、フェライトおよび炭化物の性状を変化させる。Cはその増加とともに工具寿命を低下するがこれは硬い炭化物量が増加するからであり、C%にはほぼ比例して鋼の硬度は上昇する。しかし最も良好な被削性を与える硬度範囲が存在するようである。^{20) 21)} 図4は1% C-1.5% C鋼でのC%と変化した場合の被削性のテスト結果を示したものでC%が0.9%を超えると急激に被削性が低下する。MnはMnSとして存在するほかにはフェライトに固溶し、一部セメンタイトの中に固溶してフェライトおよびセメンタイトを硬くする。従って工具寿命にはよくないと考えられるが適正な量ではフェライトの加工硬化性が増し、比較的低碳素の鋼では被削性を改善する。Cr, Mo, Niについては系統的にはほとんど研究されていないが炭素は低炭素鋼にNi, Crを約1%まで添加して少量のNi, Crの被削性に対する影響を明らかにする結果、1%以内のCrの添加は被削性を改善し、Ni 1%を含むものは工具寿命を低下させることを報告している。Bleichgen²²⁾はNi-Cr, Cr-Mo, Ni-Cr-Mo鋼についてテストしているが各元素の影響の明確な差異は認めない。高炭素クロム鋼では図5に示すようにC%に応じて被削性に

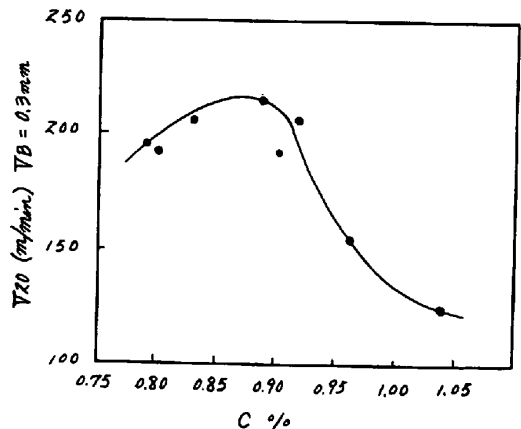


図4. C%と超硬フェライトによる被削性の関係

に対する最適C量が認められる。Siは低炭素鋼では珪酸塩系介在物生成のため被削性によくないが1% C-1.5% Cr鋼でのテスト結果でも明らかにSi%増加はフェライトを硬化し、被削性を低下させる結果を得る。図6にSiの影響を示す。

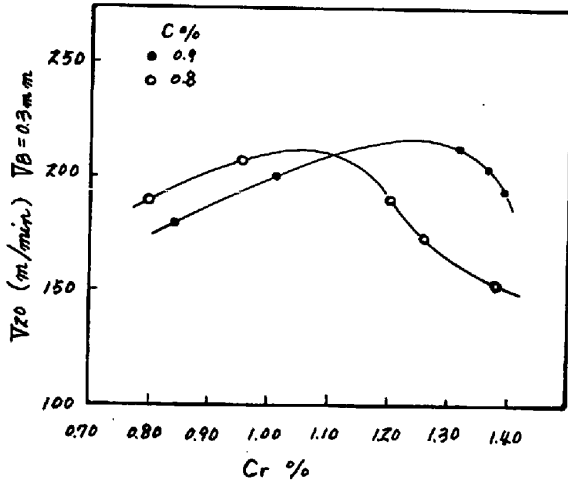


図5 高炭素鋼における被削性とクロム含有量の関係

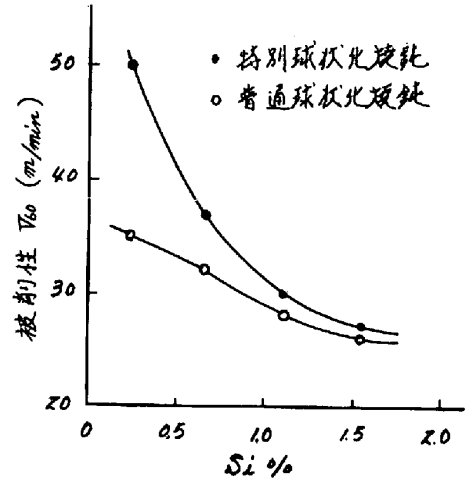


図6 1% C-1.5% Cr鋼の被削性に対するSi含有量の影響

4. 熱処理による組織変化および物理特性と被削性

熱処理方法の変化とそれにもなうミクロ組織、物理特性と被削性の関係についても数多くの研究があるが、組織の変化の定量的把握が非常に困難なのと他の要因が複雑に関連するたに理論的な解析が難しい。組織に関する因子としてはフェライトやパーライトの粒度、球状化組織では球状炭化物の大きさ、形状分布などが問題になり、鋼においてさらには微視的な組織と切削残溝の解明が必要になってくる。また組織の不均一性、例えばフェライトバンドや炭化物の偏析なども大きな要因と考えられる。組織の性状を定量化して被削性との関係を検討したものはこれまでほとんどないがLyons⁽²¹⁾は1% C-1% Cr鋼について球状炭化物の分布個数と工具寿命がほぼ直線的な関係にあることを報告している。物理特性と被削性の関係では硬さ、引張強さ、絞りおよび比熱、熱伝導率などの熱的性質、入断ひずみなどが対象にされる。被削性はこれらのうちの一つの要因との間で一義的に決まるものではなく、諸因子との総合的な解析が必要であろう。

5. まとめ

鋼の冶金学的要因と被削性の問題は従来は論理体系が整っておらず、おもに経験的事実に基づいて解析されてきた。今後鋼の被削性に及ぼす諸因子につき基礎研究に基づいた体系が確立されれば、被削性元素、脱酸調整および鋼の物理特性などによる被削性改善の効果を系統的に統合して、さらに被削性の改善が期待される。

文 献

(1) 日本鉄鋼連盟海外調査資料 No. 20, 25 諸製鋼法の比較 (2) E. Koesper (27): Stahl u. Eisen 76 ('56) 125 (3) C. H. Pottgiesser (27): Stahl u. Eisen 77 ('59) 468 (4) T. M. Garvey (27): Proc. Conf. Met. Soc. AIME 76 ('64) 99 (5) D. W. Murphy: machinability of steel—Bethlehem Steel Co. (6) J. C. McManus: Metal Prog. 89 ('66) 68 (7) E. J. Paliwoda: Trans. ASM 30 ('58) 258 (8): (9) における討論 (9) A. Schepers (27): Stahl u. Eisen 76 ('56) 901 (10) 成田、伊藤: 神戸製鋼技報 vol. 17, No. 2 p. 110 (11) 荒木: 金属学会秋季大会シンポジウム講演予稿 12 ('69) 77 (12) 伊藤、加藤、山田: 電気製鋼 38 ('67) 237 (13) E. M. Trent: JISI ('63) December p. 1001 (14) R. Gaydos: Metals ('64) December p. 972 (15) D. Radtke (27): Steel Times ('66) August 19 p. 226 (16) E. J. Paliwoda: Proc. Conf. Met. Soc. AIME 76 ('64) 27 (17) H. Spitz (27): Forschungsberichte des Landes Nordrhein-Westfalen Nr. 1783 (18) A. Wicher: Stahl u. Eisen 87 ('67) (19) 精機学会切削性分科会報告 No. 2, 3 報 精機学報 ('68) 10, vol. 34-10 ('69) vol. 35-3 ('69) vol. 35-4 (20) F. Klaus: Stahl u. Eisen 85 ('65) 1669 (21) G. Inoup: American Machinist Metal Working Manufacturing 14 ('63) 127 (22) 荒木、石地: 鉄と鋼 30-11 ('64) 249 (23) J. V. Lyons (27): Iron & Steel Inst. Spec. Rep. No. 96 ('67) 111