

(技術資料)

被削性改善添加剤"KS"シリーズの展開

Advanced Machining Enhancer "KS" Series



赤城宣明
Nobuaki AKAGI

Although net-shape production is one of the goals of powder metallurgy, a number of sintered parts undergo sizing, coining and machining to achieve the tight tolerance required. A calcium-based machining enhancer, KS-100X, developed by Kobe Steel, has successfully reduced the machining cost while achieving excellent productivity in high-speed machining. Further study has led to the development of three new machining enhancers namely: i) an enhancer that does an excellent job of preventing tool wear even during low-speed machining, ii) an enhancer that reduces the tool wear to a third of that achieved by KS-100X, and iii) an enhancer that is excellent in dealing with post-machining surface roughness. This paper introduces the performance of these three newly developed enhancers.

まえがき = 粉末冶金法は複雑形状部品の大量生産に適していることから、自動車部品をはじめとする機械構造部品に広く用いられ、ネットシェイプ生産を目標とした多くの取り組みがなされている。

しかしながら、鉄系焼結部品の製造方法であるプレス成形と焼結による工法ではプレス成形可能な形状に制約があり、近年の高い寸法精度要求を満たすため、多くの部品で矯正加工や切削加工が施されているのが実情である。また、一軸成形プレスの加圧軸方向に対して直角方向の段差を有する部品（例えば二段スプロケット）や加圧軸方向の細径穴を有する部品など、一軸成形プレスでは製造困難な部品、あるいはプレス成形は可能であっても金型の耐久性向上やダイセット構造の簡素化を図りたい部品に対しては、切削加工を前提とした設計が行われている。部品によっては切削加工費が焼結部品製造コストの20%に達するものもあり、被削性改善による低コスト化が鉄系焼結部品において大きな課題の一つとして重要性を増している。

当社はこれまで、鉄系焼結部品の被削性を大幅に改善するCa系被削性改善添加剤 "KS-100X" を開発し^{1), 2)}、自動車の燃費性能向上デバイスとして普及の進む可変バルブタイミング機構部品などに採用されている。

本稿では、ますます高まる種々の被削性改善要望に応えるため、一層の改良を行ったCa系被削性改善添加剤 "KSシリーズ" の特性について報告する。

1. Ca系被削性改善添加剤による工具保護機構

Ca系被削性改善添加剤による工具保護機構はつぎのように説明される。すなわち、切削中に酸化した工具中のTi化合物と、保護膜成分となる酸化物が結合し、Ti複合酸化物を生成する。この酸化物を介して工具面に形成

される付着物（ベラゲ）が保護膜となって、被削材と切削工具間の拡散摩耗が抑制されると考えられている³⁾。

このような反応が進行するために必要な熱エネルギーは、切削加工中の工具刃先温度上昇が供給源となる。工具に含まれるTi化合物が大気中で酸化するには、工具刃先温度がTi化合物の酸化開始温度以上になることが必要であり、TiNの例では823K以上が必要との報告がある⁴⁾。このためKS-100Xでは、中低速の切削加工よりも、工具刃先温度が上昇する高速切削加工で顕著な被削性改善効果が得られる。

2. 新設計Ca系被削性改善添加剤の特徴

被削性は、付着物が工具表面に生成する温度、位置、量、付着物自体の物性により変化する。これらのことを基に添加剤の成分設計を行った。開発した添加剤（KSシリーズ）の特徴を表1に示す。

KS-100Xに対して、KS-200XとKS-300Xではともに、工具表面への付着物形成を促進する元素を添加し、前者は低速切削から付着物が生成することを主眼に、後者は高速切削時に少量の添加でも多量の付着物が形成される設計とした。その結果、KS-200Xは低速のドリル穿孔から高速旋削まで幅広い切削加工に対応し、KS-300Xは高速切削加工で優れた工具摩耗量低減効果を発現する。KS-500Xは、薄く、強固で、工具の偏摩耗抑制に

表1 開発したCa系被削性改善添加剤の特徴
Table 1 Features of developed machinability enhancers

Grade	Feature	Addition
KS-100X	Suitable for high speed machining (Original)	0.1mass%
KS-200X	Suitable for wide speed machining, including drilling	0.3mass%
KS-300X	Improved tool wear	0.1mass%
KS-500X	Improved surface roughness	0.1mass%

効果的な付着物層を形成させ、優れた表面粗さが得られる設計とした。

3. 新設計Ca系被削性改善添加剤の特性

3.1 評価方法

当社製純鉄粉アトメル300Mに、2 mass%の銅粉と、0.8 mass%の黒鉛粉、および表1に示す量の添加剤を内数（主原料、副原料および添加剤の合計が100重量部となる配合率）で配合した。プレス成形用の潤滑剤として、市販の粉末冶金用潤滑剤を外数（前記配合合計を100重量部とおき、その外の配合率）で0.75 mass%配合し、供試粉とした。試験片は、金型プレス成形により外径64 mm、内径24 mm、厚さ20 mm、成形体密度7.00 g/cm³のリング状に成形し、10 vol% H₂-N₂雰囲気下で1,130 °C × 30 minの焼結を施して製作した。一部の評価については、鉄系焼結部品の被削性改善添加剤として広く知られているMnS粉末0.5 mass%を内数添加した材料を同様の手順で調製し、比較材とした。

外周旋削試験は、上記リング状試験片10個を治具により棒状に締結し、サーメット工具（TNGG160404またはSNGN120408）を用いて切込 $t=0.5$ mm、送り $f=0.1$ mm/rev、切削速度 $V=100\sim 220$ m/min、乾式の条件で行った。ドリル穿孔試験は、TiCNコーティングを施した $\phi 5$ mmハイスドリル、17.5 mm止り穴、送り $f=0.1$ mm/rev、切削速度 $V=10, 40$ m/min、乾式の条件で行った。

3.2 機械的強度への影響

鉄系焼結部品は機械構造用部品に適用されるため、強度の低下を招くことなく良好な被削性を発現することが求められる。図1に焼結後の圧環強さ（JIS Z 2507）と見掛けの表面硬さ（JIS Z 0202）を示す。MnS粉末の添加は、無添加材と比較して強度低下が顕著であるのに対し、KSシリーズは無添加材に近い強度が得られる。これは、MnS添加による被削性改善が、比較的多量の添加剤によって切りくず分断性とすべり性を付与しつつ、構成刃先を形成することによるものであるのに対し、KSシリーズの被削性向上は、少量の添加で工具表面に

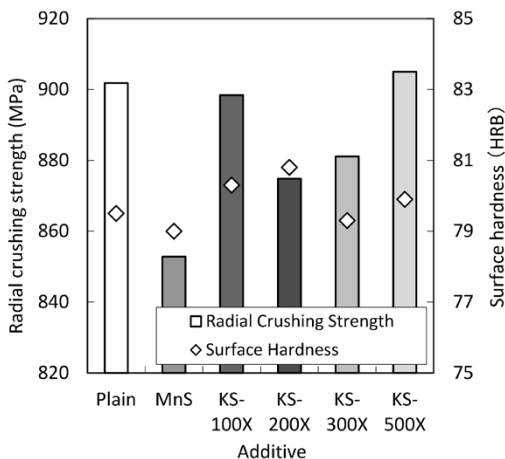


図1 被削性改善添加剤の圧環強度および表面見掛け硬さにおよぼす影響

Fig. 1 Influence of machinability enhancer on R.C.S and apparent surface hardness of sintered specimen

付着物層を形成し、被削材と工具の直接接触を抑制することによるものであるため、焼結阻害が少ないことによると考えている。

3.3 KS-200Xの被削性

各種添加剤を用い、距離1,148 mの旋削加工を行ったとき、および90穴穿孔加工を行ったときの工具摩耗量と切削速度の関係をそれぞれ図2および図3に示す。旋削粗加工（ $V=100$ m/min前後）や小径油穴のドリル穿孔（ $V=10$ m/min前後）などの中低速切削加工ではKS-100Xは無添加材と同等であり、工具摩耗抑制効果が得られないことが分かる。一方、MnS添加材は中低速加工では良好な工具摩耗抑制効果を発現するものの、工具刃先温度の上昇により構成刃先が消失する高速切削では効果が低下する。KS-200Xは、低速から高速まで幅広い切削速度で良好な工具摩耗抑制効果を発現し、速度依存性が小さいことが分かる。

走査型電子顕微鏡で観察した旋削加工後の工具すくい面の反射電子線像（上段）および特性X線像（下段）を図4に示す。KS-200X添加材では添加剤成分がすくい面全体に付着し、工具が健全な状態に保たれていることが分かる。低速切削においても付着物が生成して工具を保護することにより、従来添加剤では困難であった幅広い切削速度において工具摩耗を抑制することが可能とな

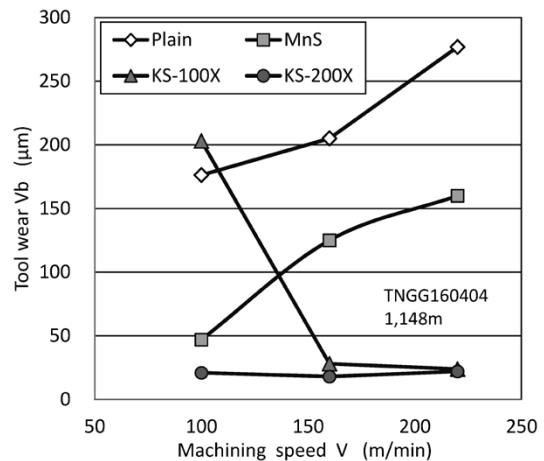


図2 KS-200X添加材の旋削工具摩耗量への影響
Fig. 2 Influence of KS-200X on tool wear at turning

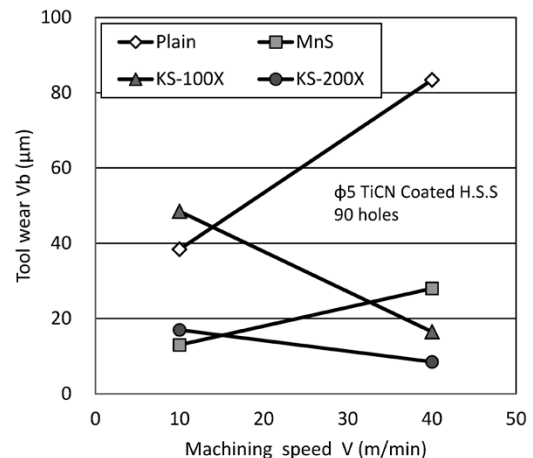


図3 KS-200X添加材のドリル摩耗量への影響
Fig. 3 Influence of KS-200X on tool wear at drilling

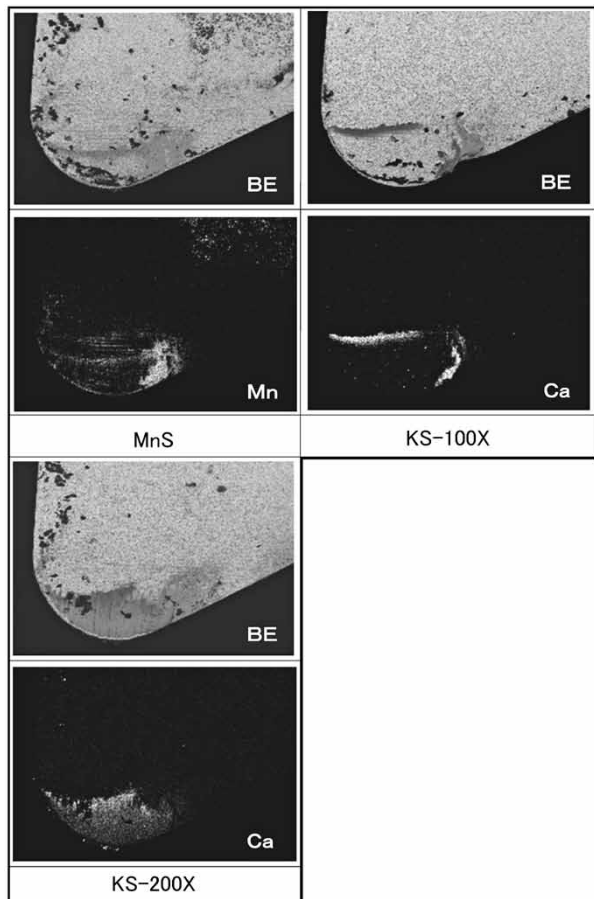


図4 旋削加工後の工具すくい面の付着物観察
Fig. 4 Rake face images after turning

る。したがって、例えば高速旋削加工と小径穴のドリル穿孔の両方を必要とする焼結部品の製造に適すると考えている。

3.4 KS-300XとKS-500Xの被削性

KS-100X添加材は、実際の自動加工ラインにおいて工具交換頻度が数分の一に低減するなど、効果がユーザーに認知されている。工具交換は、切削代が多い場合は工具摩耗量により、また美しい仕上げ面が求められる場合は面粗さにより決定される。各交換基準に対して、KS-300Xは工具摩耗量低減を、KS-500Xは面粗さ改善を主眼において設計されている。一例として、加工速度 $V=160\text{m/min}$ で外周旋削を行ったときの切削距離と工具摩耗量、および表面粗さの関係をそれぞれ図5、図6に示す。KS-100Xに対して、KS-300X添加材は工具摩耗量の基準を $40\mu\text{m}$ とした場合に3倍、面粗さ基準を $6\mu\text{m}$ とした場合に2倍の被削性が得られる。一方、KS-500X添加材は、KS-100Xと同等の工具摩耗進行であるものの、良好な被削材面粗さが得られ、面粗さ基準 (R_z) を $6\mu\text{m}$ とした場合に3倍の寿命を示す。

この理由について、種々の観察結果を基に考察する。工具すくい面を走査型電子顕微鏡で観察した反射電子線像および特性X線像を図7に示す。KS-100X添加材の付着物は、反射電子像およびCaの特性X線像よりクレータの外周部への付着が観察されるが、工具のコーナ部、逃げ面の稜線付近への付着は明瞭ではない。工具摩耗量の少ないKS-300X添加剤では、クレータ部のほぼ全体が

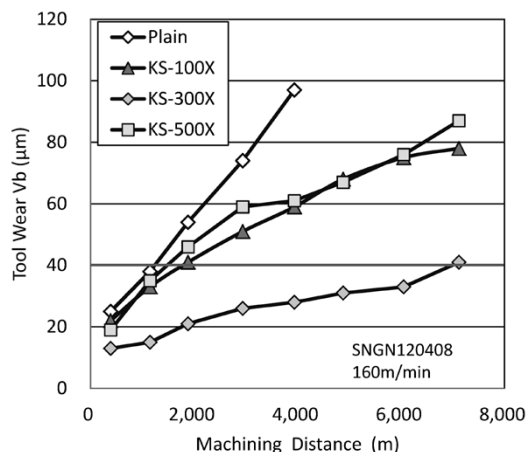


図5 KS-300X添加材とKS-500X添加材の工具摩耗量
Fig. 5 Influence of new machining enhancer KS-300X and KS-500X on tool wear

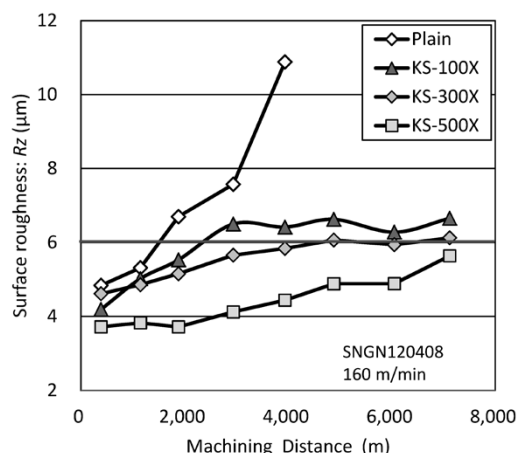


図6 KS-300XとKS-500Xの被削材表面粗さ
Fig. 6 Surface roughness of machined works

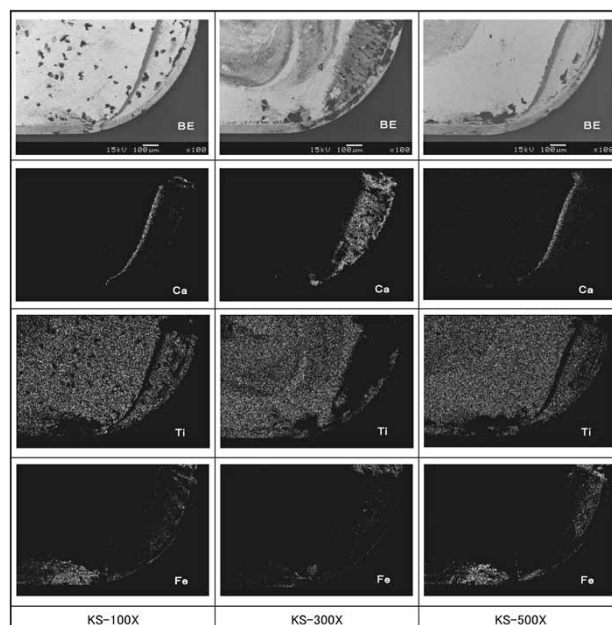


図7 旋削加工後の工具すくい面付着物観察
Fig. 7 Rake face images after turning

付着物により覆われており、工具中に含まれるTiおよび被削材のFeの付着がわずかに見られる程度である。このことから、KS-300XはKS-100Xよりも付着物の形成に優れ、工具と被削材との直接接触が少ないことにより

摩耗が抑制されたものと考えられる。一方、KS-500Xの付着物形成状態は、KS-100Xのそれと明確な違いは見られず、工具摩耗の進行にほとんど差が見られなかったことと一致する。

つぎに、被削材の表面粗さの差異について検討するため、使用後の工具を三次元測定した結果を図8に示す。KS-300Xでは、工具すくい面の走査電子顕微鏡観察でも見られたように付着物が多量に生成しているため、初期工具形状に対してすくい面が盛り上がっている。これに対してKS-500Xでは、ごくわずかな摩耗が見られるもののほぼ平坦（へいたん）である。また今回使用した工具にはホーニングが施されているが、KS-500Xでは稜線の偏摩耗が少なく初期形状を維持している。また、被削材の加工面を光学顕微鏡で観察した結果（図9）を見ると分かるように、KS-100XおよびKS-300Xでは黒色点状のムシレ傷が見られるのに対して、KS-500Xではほとんど見られない。これらのことから、KS-500Xでは薄く、強固な付着物によって工具の偏摩耗が少なく、初期形状を長時間に渡り維持できることで良好な表面粗さが得られているものと考えられる。

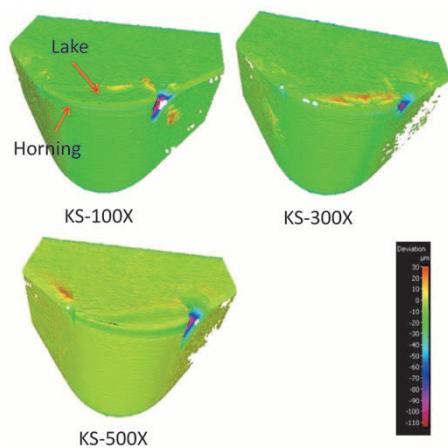


図8 使用後工具の三次元計測結果

Fig. 8 Results of 3D measurements of used tool

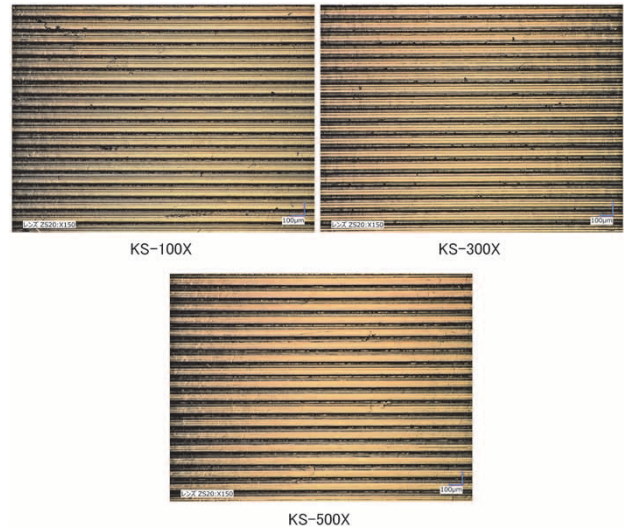


図9 被削材加工面の光学顕微鏡像

Fig. 9 Optical microscope images of machined surfaces

むすび = 鉄系焼結部品の被削性向上を目的に、Ca系添加剤の組成を検討した。その結果当社は、複雑な加工内容・加工条件の組合せであり、かつ要求特性も多様である切削加工に対し、種々の被削性改善要望に応えるCa系被削性改善添加剤を開発した。高速切削で多くの実績を持つKS-100Xに加え、低速から高速まで幅広い切削加工条件に対応するKS-200X、工具摩耗が少なく加工数向上が期待されるKS-300X、加工肌が美しいKS-500Xにより、切削加工コストの低減を図り、焼結部品の競争力強化に貢献できるものと考えられる。

参考文献

- 1) S. Furuta et al. PM2004 Conference Proceedings. 2004, Vol.2, p.339.
- 2) 古田智之ほか. R&D神戸製鋼技報. 2005, Vol.55, No.3, p.72-75.
- 3) Y. Yamane et al. The Formation of a Protective Oxide Layer in Machining Resulphurized free-cutting Steels and Cast Irons. Wear. 1990, Vol.139, p195.
- 4) 池田 孜ほか. 日本金属学会誌. 1993, Vol.57, No.8, p.919-925.