

新商品紹介

耐摩耗鋼タフスター®

久保 寛典* 甲谷 昇一** 下垣内 真人** 秋月 誠***

Superior wear resistance steel **TOUGH STAR®**

Hironori Kubo, Shouchi Koutani, Masato Shimogouchi, Makoto Akizuki

1. 緒言

自動車や産業機械へ用いられる機械部品のうちその機能にすべりや摩擦を伴う用途においては、長寿命化等の観点から優れた耐摩耗性が求められる。とくに当社の特殊鋼においては自動車のトランスミッションやエンジン部品、およびチェーンや軸受部品、あるいは鋸や刃物といった用途がその例として挙げられる。

摩耗は、そのメカニズムによりアブレッシブ摩耗や凝着摩耗など複数に分類されており、加えて複数の因子が関与するため複雑な現象である。部品の摩耗を抑制する手法としては、部材の耐摩耗性そのものを向上させることや潤滑条件などを見直して摩耗そのものが生じにくい環境へと改善することが挙げられる。前者においては部材の硬さを高めるといった手法が一般的である。具体的には素材や熱処理条件の変更や表面硬化処理の適用など

が挙げられる。なお、後者においては、適正な潤滑油の検討や潤滑油の劣化・汚染防止などが挙げられるが、この場合、メンテナンスの手間やコストアップ等、使用者への負担を強いることが多く、環境の改善が容易でない場合もある。

一方、部材の硬さを高めても耐摩耗性が向上しない場合や、種々の制約によって硬さを高めることができない場合がある。タフスター®はこのようなニーズへの対応を視野に入れた当社の耐摩耗鋼板シリーズである。

2. 耐摩耗鋼タフスター®

表1にタフスター®のラインナップと各鋼種の特徴および推奨用途例を示す。Nb添加鋼，合金工具鋼，高Mn鋼の3つに分類した。

表1 タフスター®のラインナップと特徴および推奨用途例
Table 1 Product lineup of **TOUGH STAR®**

区分	タイプ	鋼種	耐摩耗性*			衝撃値*	耐食性*	推奨用途例	推奨用途の硬さイメージ (HV)	比較鋼
			アブレッシブ	凝着	土砂					
Nb添加鋼	I	N50CRN	◎	○				チェーン, 機械部品	450-600	SAE1050
	II	NC85UN	◎	○				繊維機械部品	600-750	SK85
	III	NSSWR-1	◎	○			◎	刃物(シェーパー刃) 繊維機械部品,	500-600	SUS420J2
合金工具鋼	IV	NKSシリーズ (代表: NKS85)	○	○		◎		丸鋸, 刃物	550-750	SKS5
高Mn鋼	V	IRS2			◎			土木建設機械部品, プラスト装置, 金庫, 防爆扉	300HV以下	SS400

※それぞれの比較鋼に比べて、優れる特性に『○』、極めて優れる特性に『◎』と表記

*鋼材研究所 鋼材第二研究チーム サブリーダー
**鋼材研究所 鋼材第二研究チーム
***鋼材研究所 鋼材第二研究チーム チームリーダー

Nb添加鋼はとくに耐アブレッシブ摩耗性の向上を図った¹⁾鋼種であり、タイプI～IIIの3鋼種がある。タイプI（鋼種：N50CRN²⁾）の推奨用途として硬さが450～600HVに調質されるチェーン部品や機械部品等が挙げられる。また、タイプII（鋼種：NC85UN）はタイプIに比べて高い硬さレベルが要求される用途、タイプIII（鋼種：NSSWR-1）は、耐食性が要求される刃物や繊維機械部品等への適用が推奨される。

タイプIV（NKS鋼）は計10種類以上の鋼種があり、いずれもJIS規格の工具鋼や合金工具鋼に対して靱性など種々の特性を付与している。推奨用途として主に草木を刈取る鋸や刃物等が挙げられる。

タイプV（鋼種：IRS2³⁾）は高Mnオーステナイト鋼であり、優れた耐摩耗性と耐衝撃性を有する。土砂や石・岩等で摩耗する土木建設機械部品等が推奨用途として挙げられる。硬さ300HV以下の部品が対象となる。

N50CRN、NC85UN、NSSWR-1およびNKS鋼においては、いずれも熱処理で高強度に調質した上で使用することを想定している。一方、IRS2は非調質のまま用いる鋼種である。詳細は3章にて述べるが、部材の摩耗形態に加えて強度レベルや、耐食性などの要求特性に応じて適正な鋼種を選定できる。

表2に各鋼種の化学成分の代表例を示す。N50CRNは0.5%C鋼、NC85UNは0.85%C鋼、NSSWR-1はステンレス鋼をそれぞれベースとし、いずれもNbを添加している。一方、NKS鋼は、JIS規格の炭素工具鋼あるいは合金工具鋼に対して種々の合金元素を添加している。代表鋼種として、NKS85の例を示す。0.8%C鋼にNi、Cr、MoおよびVを添加している。タイプV(IRS2)は、1%前後のCに加えて12%程度のMnを含む。以下に各鋼種の耐摩耗性とその他の特徴を紹介する。

表2 化学成分の代表例 (mass%)

Table 2 Nominal chemical compositions (mass%)

タイプ	鋼種	C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	V	Nb
I	N50CRN	0.52	0.20	0.75	-	0.50	-	-	0.28
II	NC85UN	0.87	0.20	0.40	-	0.50	-	-	0.20
III	NSSWR-1	0.25	0.50	0.50	0.10	13.5	-	-	0.35
IV	NKS85	0.80	0.25	0.45	1.00	0.40	0.15	0.15	-
V	IRS2	0.90	0.30	12	-	-	-	-	-

3. タフスター®の耐摩耗性とその他の特徴

3.1 Nb添加鋼

Nb添加鋼は優れた耐アブレッシブ摩耗性を示すと

もに、潤滑環境下での凝着摩耗においてもその抑制効果が確認されている。図1¹⁾にSiC研磨紙を用いた摩耗試験における耐アブレッシブ摩耗性の向上メカニズムを模式的に示す。a)に示すように、炭素鋼やマルテンサイト系ステンレスに含まれる Fe_3C あるいは $(Fe,Cr)_{23}C_6$ は、砥粒のSiCに比べて軟質であるため、砥粒が接触すると基地とともに削り取られる。一方、b)で示したNb添加鋼においては、2400HVの硬質なNbC粒子が砥粒による切削を抑制するため優れた耐アブレッシブ摩耗性を示す。

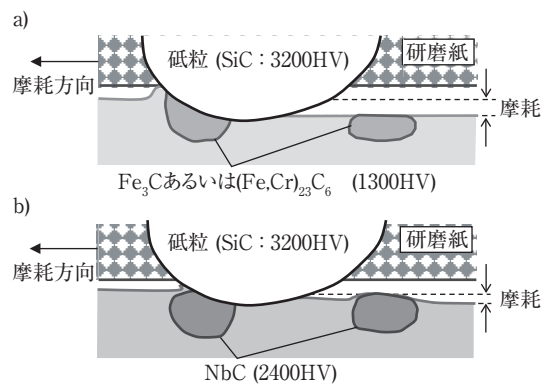


図1 NbC粒子による耐アブレッシブ摩耗性向上のメカニズムの模式図

Fig. 1 Schematic illustration showing the mechanism of improving abrasive wear resistance by Nb carbide.

さらに、図2に潤滑環境下におけるNb添加鋼の耐摩耗性向上効果の模式図を示す。硬質なNbC粒子が、相手材やその間に介在する潤滑油中のスラッジや摩耗粉などの微粒子による母相の切削を抑制し耐アブレッシブ摩耗性を向上させる。さらにNbC粒子が、母相と相手材とのメタルコンタクトを抑制し耐凝着摩耗性が向上する。

図3にNb添加鋼の金属組織の一例として、焼入れ後のN50CRNの金属組織写真を示す。a)中に矢印で示したような白い粒子がNbC粒子であり、ミクロンオーダーの

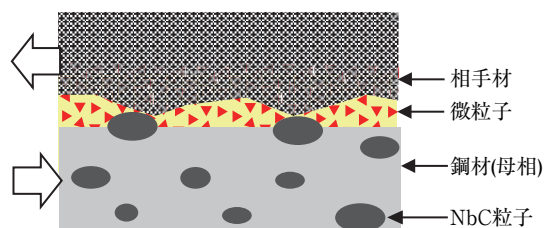


図2 耐摩耗性向上のメカニズムの模式図

Fig. 2 Schematic illustration of mechanism of wear resistance improvement.

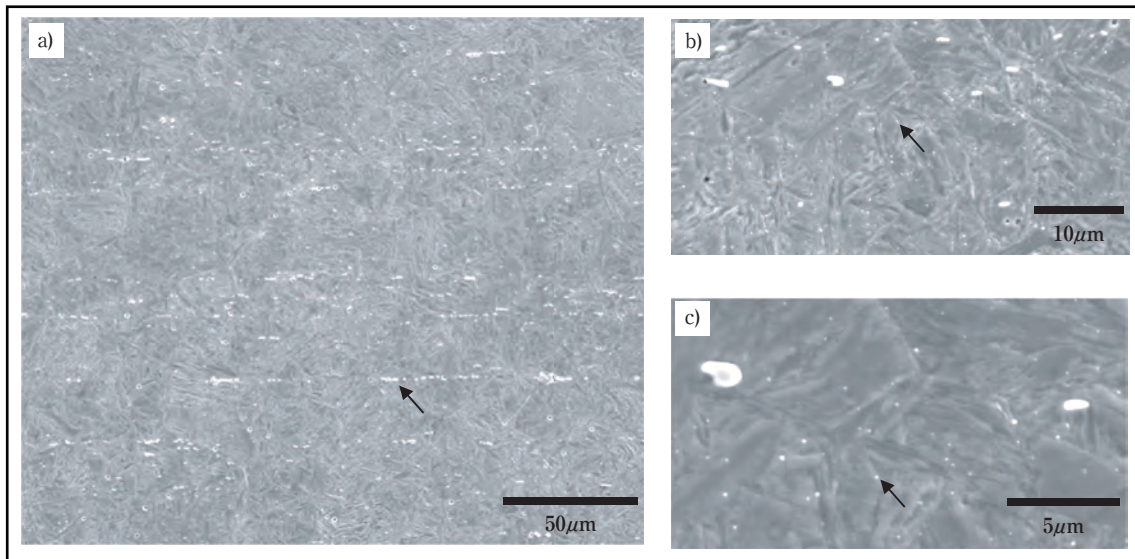


図3 N50CRNにおける焼入れ後の金属組織の観察結果(走査型電子顕微鏡写真)

Fig. 3 SEM images of microstructure of N50CRN after quenching treatment.

比較的大きな粒子は一部圧延方向に沿って列状に分布している。b)は、a)の一部を拡大したものであり、マイクロオーダーのNbC粒子に加えて、矢印で示すように比較的均一に分散した微細なNbC粒子も観察される。さらに、b)を拡大したc)に示すように、これらの微細なNbC粒子は粒径100nm程度であり、数 μm の間隔で分散している。NbCは熱間圧延工程が終了した段階で図3に示した分散状態となり、その後の焼鈍あるいは焼入れ・焼戻しにおける固溶量は少なく、粒径分布や面積率等の変化も少ない。図4にThermo-Calcにて計算したN50CRNにおけるNbの溶解度曲線およびNbCの体積率の計算結果を示す。温度の上昇とともにNbCの体積率は小さくなりNbの固溶量が増えるが1100 $^{\circ}\text{C}$ を超えるまでは固溶量は少なくその上昇も僅かである。

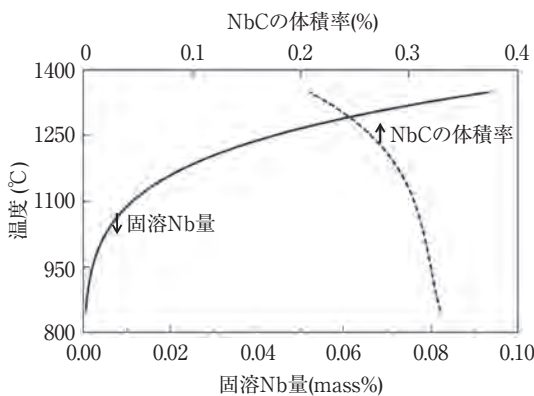


図4 N50CRNにおけるNbの溶解度曲線とNbCの体積率(Thermo-Calcによる計算結果)

Fig. 4 Calculation results of solubility of Nb and volume fraction of NbC in N50CRN (Calculated by Thermo-Calc).

表3に耐アブレッシブ摩耗性を評価するために用いた比較鋼およびそれらの鋼成分を示す。いずれもJIS規格鋼種であり、0.2%C鋼のS20C、0.55%C鋼のS55C、0.85%C鋼のSK85および1%C-1.5%Cr鋼のSUJ2を用いた。表4に供試材の熱処理条件および熱処理後の硬さを示す。表中

表3 化学成分の代表例 (mass%)

Table 3 Nominal chemical compositions (mass%)

鋼種	C	Si	Mn	Cr
S20C	0.20	0.20	0.50	0.15
S55C	0.55	0.20	0.80	0.10
SK85	0.85	0.20	0.40	0.15
SUJ2	1.05	0.20	0.40	1.45

表4 供試材の熱処理条件と硬さ

Table 4 Conditions of quenching and hardness after tempering

供試材	焼入条件	焼戻*温度と硬さ(HV)		
		200 $^{\circ}\text{C}$	300 $^{\circ}\text{C}$	400 $^{\circ}\text{C}$
S20C	900 $^{\circ}\text{C}$ -20min → 水焼入れ	430	370	310
N50CRN	850 $^{\circ}\text{C}$ -20min → 油焼入れ	570	505	460
S55C		585	520	420
NC85UN	820 $^{\circ}\text{C}$ -20min → 油焼入れ	740	635	530
SK85		740	630	500
SUJ2		760	695	605
NSSWR-1	1050 $^{\circ}\text{C}$ -15min → 水焼入れ	-	500	-

*焼戻しの保持時間は、1h

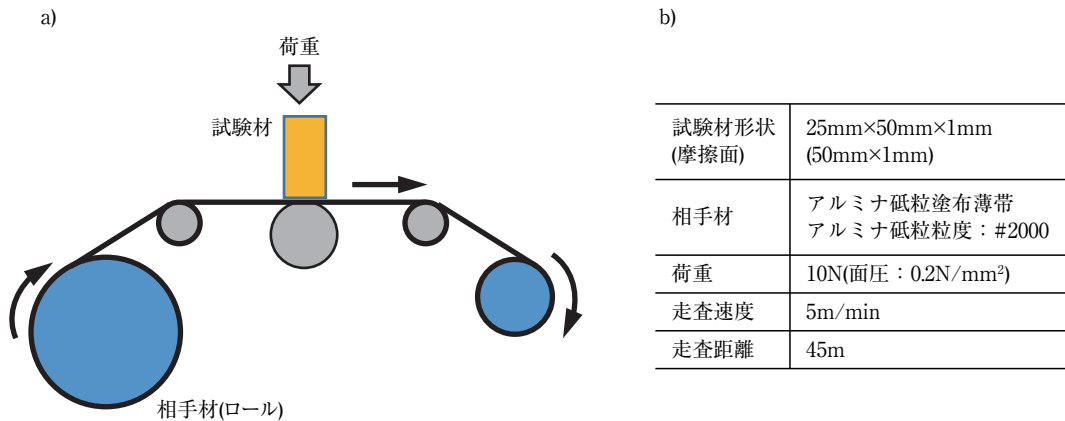


図5 a) 摩耗試験の模式図および、b) 摩耗試験条件

Fig. 5 a) Schematic illustration of wear resistance test and b) conditions for wear resistance test.

に示すように、鋼成分に応じた条件にて焼入れを行い、200、300および400℃でそれぞれ一時間保持し焼戻した。金属組織はいずれも焼戻しマルテンサイト組織であり、表中に示すように硬さは310~760HVの範囲である。

本試験にて行った耐アブレッシブ摩耗試験の模式図および摩耗試験条件を図5に示す。ロール状にしたラッピングフィルムシート(以後相手材と称す。)を払い出し側ロールから巻取り側ロールへと走行させ、その間に板状のサンプルを一定の荷重で相手材に押しつけ、試験前後の重量変化から摩耗量を算出した。

図6に摩耗試験結果を示す。一般的にアブレッシブ摩耗においては、硬さが高くなると摩耗量は減少する⁴⁾。図中の直線はJIS規格鋼種のデータを線形近似したものであり、それらにおいても硬さの上昇に伴う比摩耗量の減少が確認される。Nbを添加したN50CRN、NC85UNおよびNSSWR-1における比摩耗量は、同じ硬さレベルのJIS規格鋼種に比べて少ない。すなわちNb添加鋼は

JIS規格鋼に対して硬さを高めることなく耐摩耗性向上が可能であり、このことが大きな特長といえる。

3.1.1 N50CRN

N50CRNは表5に示したSAE1050をベースに耐摩耗性の機能を向上させた鋼種である。その他の特性、すなわち、焼入性、焼入・焼戻硬さといった熱処理特性、さらには熱処理後の材料特性についてはSAE1050とほぼ同等である。表6²⁾に両者のオーステンパ処理後の引張試験結果および衝撃試験結果を示す。N50CRNはいずれの特性もSAE1050とほぼ同等である。

本鋼は、自動車のサイレントチェーンのリンクプレート(以下プレートと称す。)に採用されている。サイレントチェーンはプレートを数枚重ねてピンで連結させた構造であるため、ピンとプレートの穴部が摺動する。ピン

表5 化学成分の代表例 (mass%)

Table 5 Nominal chemical compositions (mass%)

	C	Si	Mn	Cr	Nb
N50CRN	0.52	0.20	0.75	0.50	0.28
SAE1050	0.50	0.20	0.75	0.15	-

表6 熱処理^{*1}後の機械的性質

Table 6 Mechanical properties of N50CRN and SAE1050 after the austemper treatment.

鋼種	硬さ (HV)	0.2%耐力 ^{*2} (MPa)	引張強さ ^{*2} (MPa)	伸び ^{*2} (%)	衝撃値 ^{*3} (J/cm ²)
N50CRN	537	1642	1811	6.8	42
SAE1050	535	1655	1805	7.2	44

*1 熱処理：850℃ -20min → 300℃-1h (オーステンパ処理)

*2 引張試験片：JIS5号、板厚1.2mm

*3 衝撃試験片：2mmUノッチシャルピー衝撃試験片、板厚1.2mm

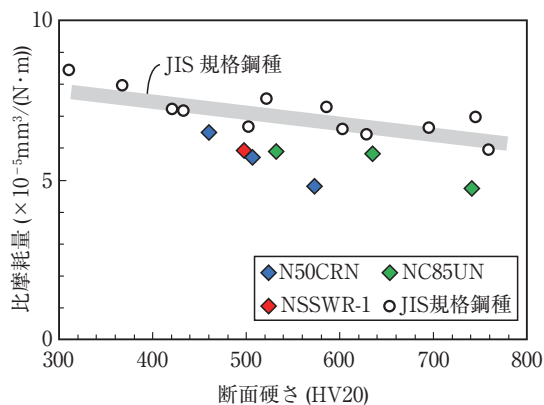


図6 摩耗試験結果

Fig. 6 Results of wear resistance test.

にはプレートに比べて硬質な表面硬化処理がされている。このため、主にプレートの穴部が摩耗する。プレートの穴部の摩耗は、チェーン全長の増加(摩耗伸び)を意味し、バルブタイミングやチェーンの挙動に影響を与える。とくに潤滑油が燃料の燃えカス(ス)などで汚染されるとチェーンの摩耗伸びが促進するとされる。本用途においてプレートの硬さを高めるといった対応は、ピンの表面を損傷させる可能性が増すため好ましくない。したがって、硬さを高めずに耐摩耗性向上が可能なNb添加鋼の適用が期待された。

図7²⁾は、ススを混入させた潤滑油を用いたサイレントチェーンの摩耗伸びの評価結果である。N50CRNは

SAE1050に比べて30%程度摩耗伸びが小さいとの結果が得られており、N50CRNによる耐摩耗性の向上が確認される。ススによるアブレッシブ摩耗やピンとの凝着摩耗をNbC粒子が抑制したものと推定される。

3.1.2 NC85UN

本鋼種は、N50CRNに比べて高い静的強度が要求される用途向けに開発したものであり、自動車の高強度部材やメリヤス針などの繊維機械部品あるいは脱穀刃など農業機械用途への適用を想定している。表7に示したSK85をベースに耐摩耗性を向上させた鋼種である。以下に油潤滑下での耐凝着摩耗性を評価した大越式摩耗試験結果、およびメリヤス針など繊維機械部品で生じる糸

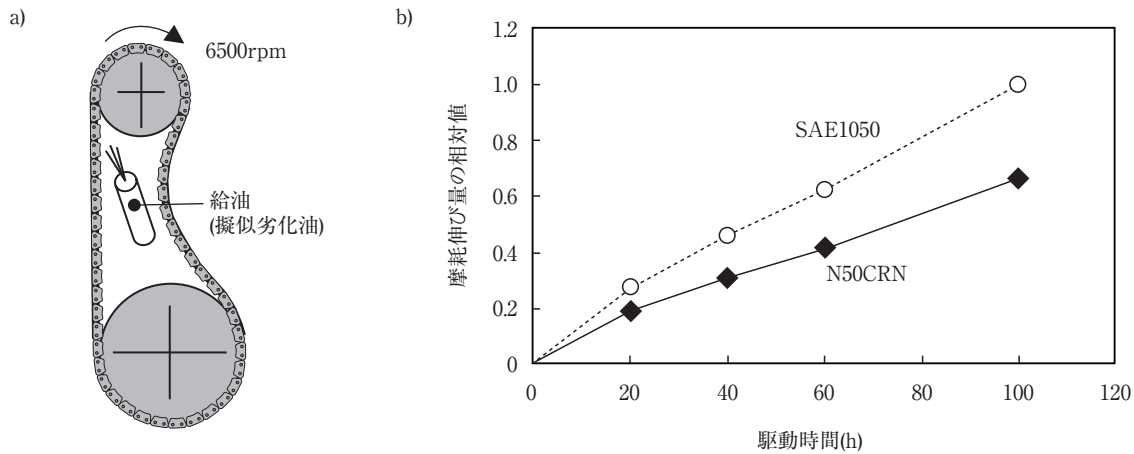


図7 a)チェーンの摩耗伸び評価試験の概略図N50CRNおよび b)SAE1050のチェーン摩耗伸び評価試験結果²⁾
Fig.7 Schematic illustration of the wear elongation test for silent chain and b) results of wear elongation test.

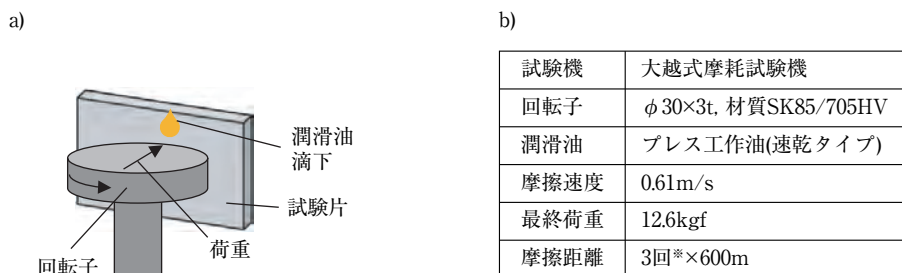
表7 化学成分の代表例 (mass%)

Table 7 Nominal chemical compositions (mass%)

	C	Si	Mn	Cr	Nb
NC85UN	0.87	0.20	0.40	0.50	0.20
SK85	0.85	0.20	0.40	0.15	-

による摩耗を模した試験の結果を紹介する。

図8に大越式摩耗試験の模式図を示す。NC85UNおよび比較材としてSK85を用い、焼入焼戻しにより硬さを570HVとして試験に供した。また、摩擦相手材である回転子には焼入焼戻しにより硬さを700HVとしたSK85を



※同一個所にて連続で3回摩耗試験を繰り返して摩耗量を評価

図8 a)大越式摩耗試験の模式図および、 b) 摩耗試験条件

Fig.8 a) Schematic illustration of Ohgoshi-siki wear resistance test and b) conditions for wear resistance test.

用いた。図9に試験後の表面の観察結果および比摩耗量を示す。図9 a)に示す通りNC85UNは、SK85に比べて摩耗痕の幅が小さく、図9 b)に示すように比摩耗量は50%程度であり耐摩耗性に優れる。NC85UNの比摩耗量がSK85に比べて少ないのはNbC粒子による凝着の抑制によるものと推定される。

図10に糸に試験片を一定の荷重で接触させメリヤス針などの繊維機械部品で生じる糸による摩耗を模した摩耗試験機、および摩耗試験条件を示す。試験片を接触させない状態で、糸の張力を5gとし、その後試験片を糸に5g

の荷重で接触させ試験を行った。なお、糸はポリエステルフルダル糸を用いた。試験片の厚さは0.2mmであり、焼入焼戻しにて650HVに調質した。図11に摩耗試験結果を示す。NC85UNは比較材(0.95%C鋼)に比べて比摩耗量が30%程度小さく耐摩耗性に優れる。糸に含まれる白色顔料のTiO₂によるアブレッシブ摩耗がNbC粒子により抑制されたものと推定される。

3.1.3 NSSWR-1

NSSWR-1は高強度マルテンサイト系ステンレス鋼である。表8に示したSUS420J2をベースに耐摩耗性が要求

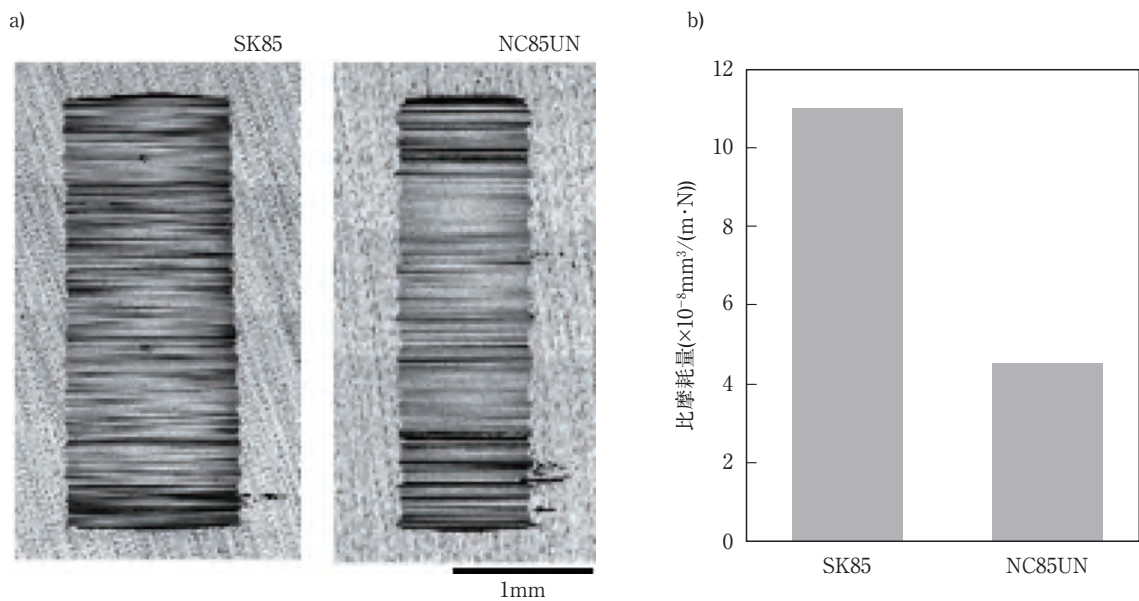


図9 a) 摩耗試験後の摩耗痕の形状および b) 摩耗試験結果

Fig. 9 a) Wear status after Ohgoshi-siki wear resistance test and b) results of wear resistance test.

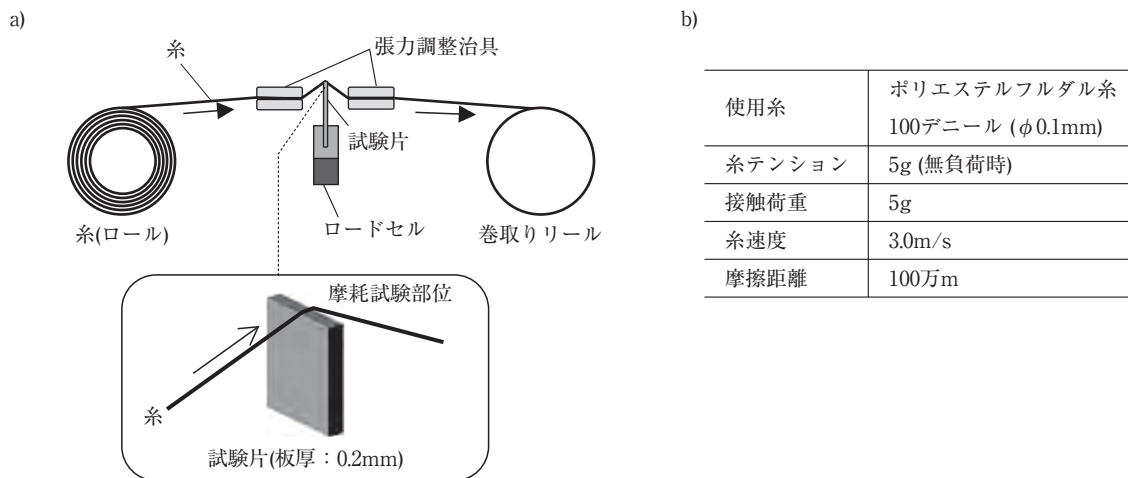


図10 a) 糸を用いた摩耗試験の概要および b) 摩耗試験条件

Fig.10 a) Schematic illustration of wear resistance test using yarn as used mating material and b) conditions for wear resistance test.

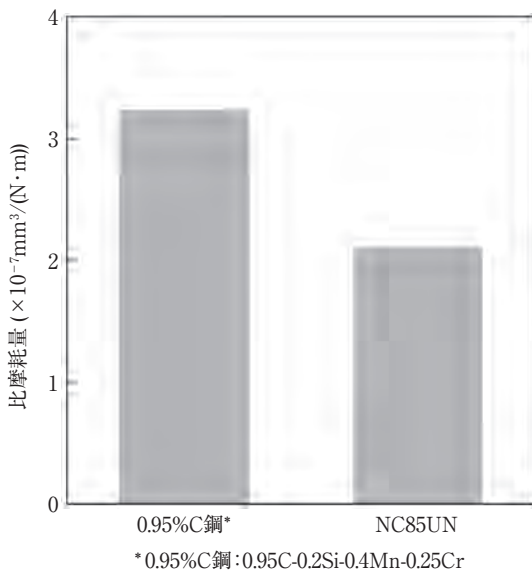


図11 相手材に糸を用いた摩耗試験の結果
Fig.11 Results of wear resistance test using polyester yarn as used mating material.

表8 化学成分の代表例 (mass%)
Table 8 Nominal chemical compositions (mass%)

鋼種	C	Si	Mn	Ni	Cr	Nb
NSSWR-1	0.25	0.50	0.50	0.10	13.5	0.35
SUS420J2	0.33	0.45	0.55	0.12	13.0	-

される用途向けに設計した鋼であり、織機部品であるフラットヘルドや電気剃刀の刃に適用されている。表9に焼鈍材(素材)および焼入焼戻し後の機械的性質の例を示す。焼鈍材、焼入焼戻材ともにSUS420J2に比べて

表9 NSSWR-1の機械的性質(代表例)
Table 9 Mechanical properties of NSSWR-1 and SUS420J2

鋼種	仕上げ	0.2%耐力 (N/mm ²)	引張強さ (N/mm ²)	伸び (%)	硬さ (HV)
NSSWR-1	焼鈍	320	580	28	170
	焼入焼戻し	1220	1530	8	500
SUS420J2	焼鈍	380	640	26	190
	焼入焼戻し	1340	1710	7	540

*引張試験片は板厚0.4mmで試験片の長手方向が圧延方向に平行となるよう採取

*焼入焼戻し:1050℃焼入・400℃焼戻し

軟質な傾向を示す。NSSWR-1はNb炭化物が生成するため、Cr炭化物の析出、すなわち基地のCr濃度低下が抑制されSUS420J2比べて優れた耐食性を示す。図12にキヤス試験結果を示す。NSSWR-1はSUS420J2に比べて優れた耐腐蝕性を有することが分る。

NSSWR-1の耐摩耗性についてはピンオンディスク摩耗試験により評価した結果を紹介する。図13a)に試験方法の模式図を示す。#400の研磨紙を貼り付けたディスクを回転させ、そこに一定の荷重で試料を押付けて試験片を摩耗させ摩耗に伴う高さ変化から摩耗量を求めた。図13b)に結果を示す。SUS420J2に比べて30%程度比摩耗量が小さく、Nb添加による耐アブレッシブ摩耗性の向上が確認される。

3.2 NKSシリーズ

NKS鋼は当社独自の合金工具鋼であり、JIS規格の炭素工具鋼に対して、靱性や疲労特性等を向上させるべく種々の合金元素を添加した鋼である。代表例とし

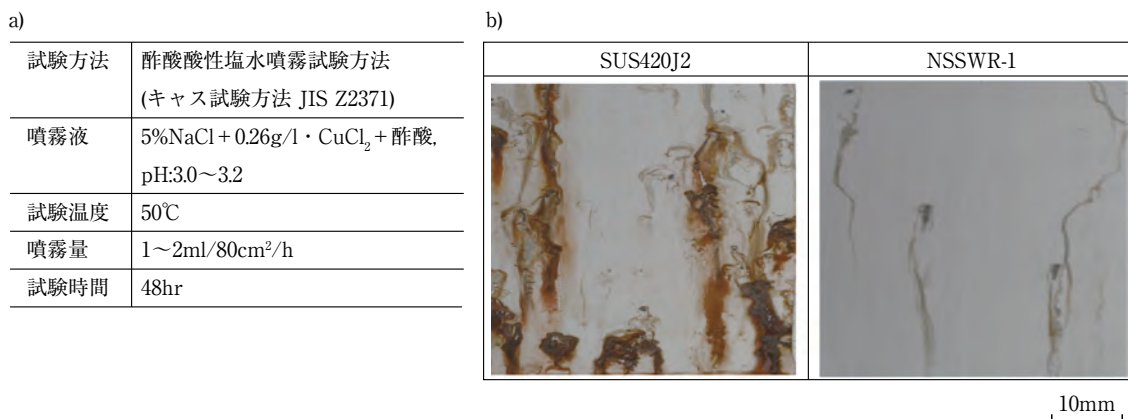


図12 a) キヤス試験条件および b) キヤス試験結果
Fig.12 a) Conditions for CASS test b) Results of CASS test.

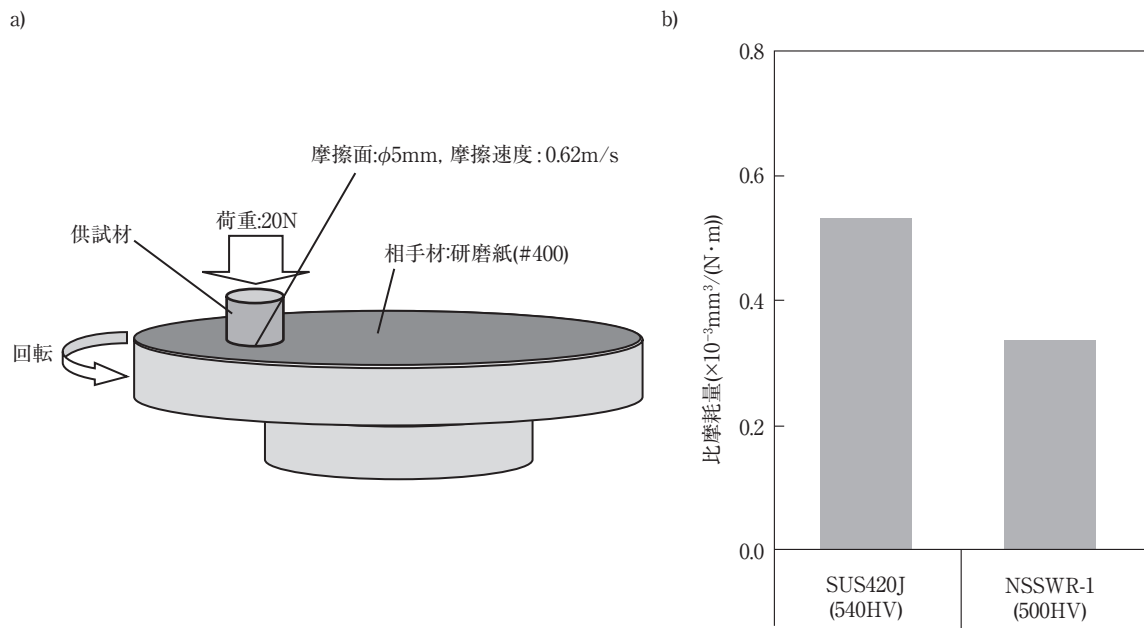


図13 a) ピンオンディスク式摩耗試験の模式図および b) 摩耗試験結果

Fig.13 a) Schematic illustration of pin-on-disk type wear resistance test and b) results of wear resistance test.

てNKS85について紹介する。本鋼は表10に示すようにSKS5をベースに、VやMoを添加した鋼種である。

表10 化学成分の代表例 (mass%)

Table10 Nominal chemical compositions (mass%)

鋼種	C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	V
NKS85	0.80	0.25	0.45	1.0	0.40	0.15	0.15
SKS5	0.80	0.20	0.40	1.0	0.35	-	-

一般的に、鋼材の硬さを高めると耐摩耗性は向上する⁴⁾。SK85やSKS5が用いられる鋸や刃物の用途においても耐摩耗性の向上は製品の長寿命化に有効な手段と考えられる。しかし、これらの用途では安全性等の観点から高い靱性が求められるため、耐摩耗性の向上に硬さを高めるといった手段は適用できない場合がある。NKS85は同一硬さレベルで比較した場合、JIS規格鋼と同等の耐摩耗性を示すものの、高い靱性を有しているため安全性を確保したうえで、さらなる高強度化による耐摩耗性の向上が可能な鋼である。以下に技術データを示す。

図14に図6と同一の条件で行った摩耗試験結果を示す。表3および表4に示したJIS規格鋼種を比較材として用いている。NKS85は同じ硬さレベルであれば比較材とほぼ同等の耐摩耗性を示す。

図15にNKS85およびSKS5における旧オーステナイト粒径におよぼす焼入れ温度の影響を示す。SKS5では、

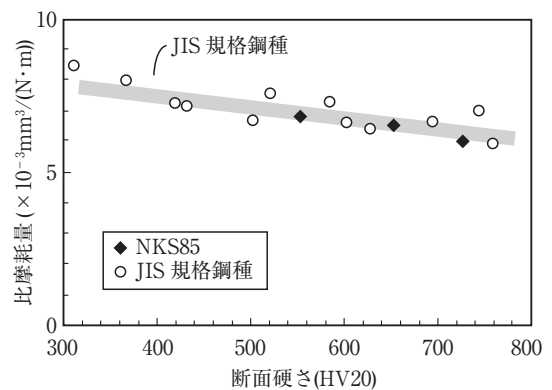


図14 摩耗試験結果

Fig.14 Results of wear resistance test.

焼入れ温度の上昇とともにオーステナイト粒が大きくなるのに対し、NKS85は890℃まではほぼ一定であり、オーステナイトの粗大化が抑制されている。これは、鋼中のV等の微細な炭化物がピン止め粒子として作用したためと考えられる⁵⁾。図16に830℃で加熱保持し焼入れたNKS85およびSKS5の焼戻し硬さ曲線を示す。250℃以上においてNKS85はSKS5に比べて焼戻し硬さが高く軟化の抑制が確認される。これはSi、Mn、Crの合金成分が多いことやMo、Vの添加によるものであり、焼戻過程におけるセメントタイトの粗大化抑制やMo炭化物の析出等による軟化抵抗が生じるためと考えられる⁵⁾。

図17にNKS85およびSKS5におけるシャルピー衝撃試験結果を示す。試験片は830℃に加熱し焼入れた後、種々

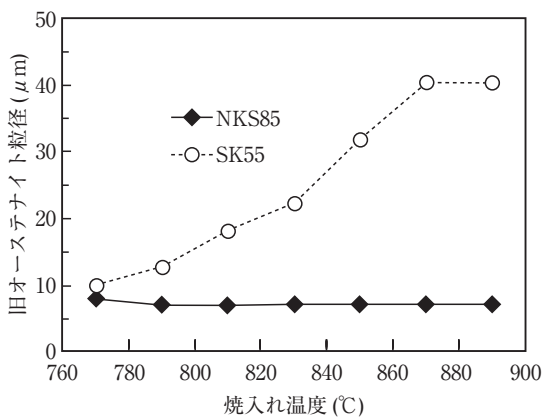


図15 焼入れ温度と旧オーステナイト粒径の関係 (加熱保持時間：10min)

Fig.15 Relationship between quenching temperature and the average grain size of prior austenite.

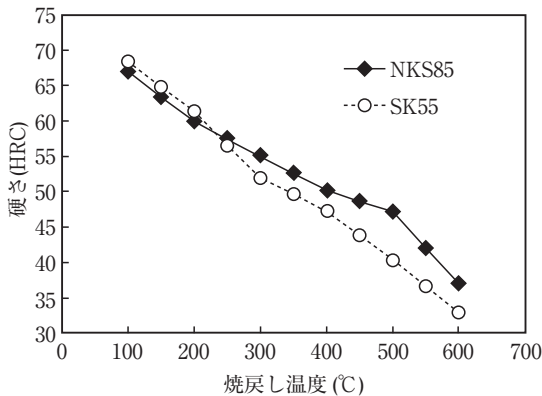


図16 焼戻し温度-硬さ曲線 (830°C-10min→油焼入れ→T°C-30min 焼戻し)

Fig.16 Relationship between tempering temperature and hardness.

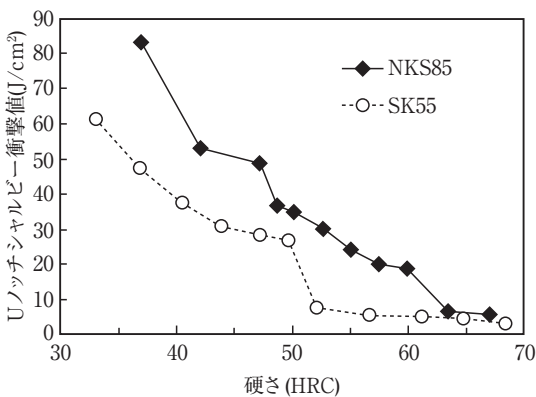


図17 硬さと衝撃値の関係

Fig.17 Relationship between hardness and value of impact energy.

の温度にて焼戻した。なお試験は室温にて行った。いずれの鋼種も硬さが高くなるにともない衝撃値は低下するものの、いずれの硬さレベルにおいてもNKS85はSKS5に比べて衝撃値が高く、また、低下の挙動も両者で異なる。SKS5では、50HRCを超えると急激に衝撃値が低下する。これは、SKS5においては50HRCを超えると、延性-脆性遷移温度が室温よりも高くなるためと考えられ、靱性が求められる用途には適さないことを示すものである。一方でNKS85においては50HRCを超えても衝撃値の低下は緩やかであり、SKS5に比べて高い衝撃値を示す。これは微細な旧オーステナイト結晶粒による、延性-脆性遷移温度の低温化によるものと考えられる⁵⁾。

3.3 IRS2

IRS2は0.9%のCと12%のMnを含む鋼であり、高Mnオーステナイト鋼あるいはハッドフィールド鋼と呼ばれる鋼に位置づけられる。同成分鋼を1000°C付近のオーステナイト域から急冷することで、室温においてもオーステナイトの状態が維持される。このようにして得られた鋼材は、オーステナイトの加工硬化に加えて、塑性変形中に生じるマルテンサイトによって著しい加工硬化を示す。このため、降伏点は比較的低いものの、引張強度は高く破壊に際しては極めて高い靱性を示す。とくに、表面部に激しい衝撃的冷間加工が加わると、表面部のみが硬化し優れた耐摩耗性を発揮する。このため、岩石や土砂などとの激しい摩擦が生じる土木建設機械部品に高Mnオーステナイト鋼の鋳鋼品が用いられてきた。鋼板の分野においても、ショベルのバケットやショットブラスト装置の内壁等に用いられている。

表11に水靱処理後のIRS2機械的性質を示す。900Mpaを超える高い引張強度と優れた延性を有する。以下に、耐摩耗性の技術データとして、土砂摩耗試験結果およびグリッドを吹き付けることで試料を摩耗させた衝撃摩耗量試験の結果を紹介する。

表11 IRS2の機械的性質の例

Table11 Mechanical properties of IRS2

0.2%耐力	引張強度	伸び
385 MPa	945 MPa	60 %

図18³⁾に土砂摩耗試験の模式図および試験結果を示す。平均粒径10mmの玉砂利に繰返し試料を接触させることで摩耗させる試験である。IRS2の摩耗量はSS400に比べて20%以下、780Mpa級高張力鋼に比べて50%以下

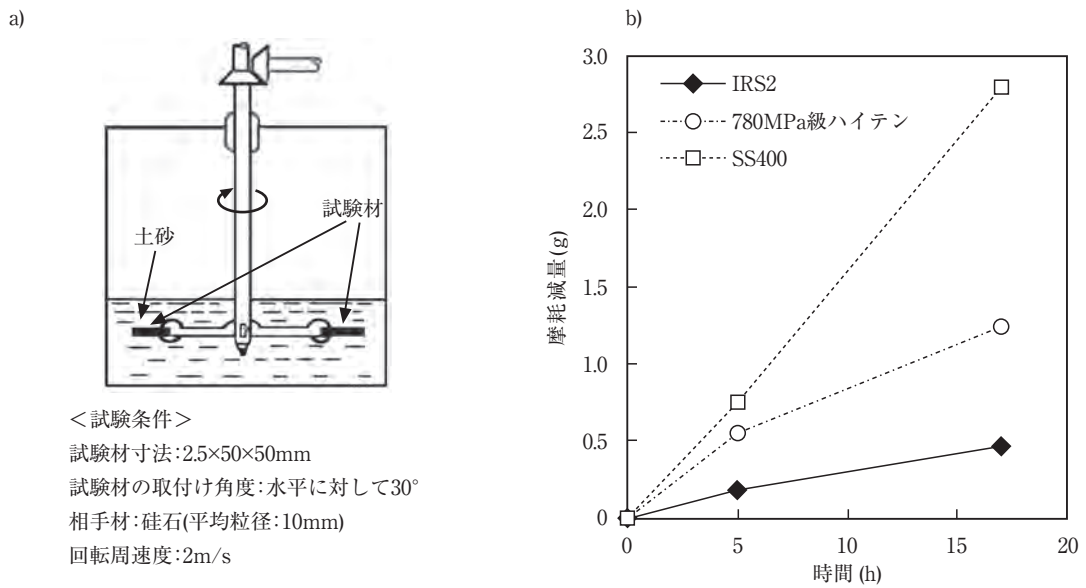


図18 a) 土砂摩耗試験の模式図および b) 摩耗試験結果

Fig.18 a) Schematic illustration of earth and sand wear resistance test and b) results of wear resistance test.

と少なく本試験においても優れた耐摩耗性を示す。

図19³⁾に衝撃摩耗試験の模式図および試験結果を示す。粒径1mmの白銑グリッドを傾斜させた試験片に吹き付けることで、摩耗させる試験である。IRS2はいずれの風量においてもSS400およびフェライト+パーライト鋼に比べて少なく、また、風量が多くなるほど、すなわち、グリッドの投射速度が高くなるほど、IRS2と比較材との差は大きくなる。IRS2のこのような優れた耐摩耗性

は、塑性変形に伴う加工硬化に起因する。図20³⁾に衝撃摩耗試験後の摩耗痕部の断面硬さ分布を示す。摩耗痕直下において加工硬化が生じていることが分る。

IRS2は、大きな荷重を受け、加工硬化しながら摩耗するような条件において、優れた耐摩耗性が発揮される鋼である。一方、表面の加工硬化が生じないような軽荷重の摩耗条件においては、耐摩耗性が向上しないばかりか逆に低下する場合もあるため注意が必要である³⁾。

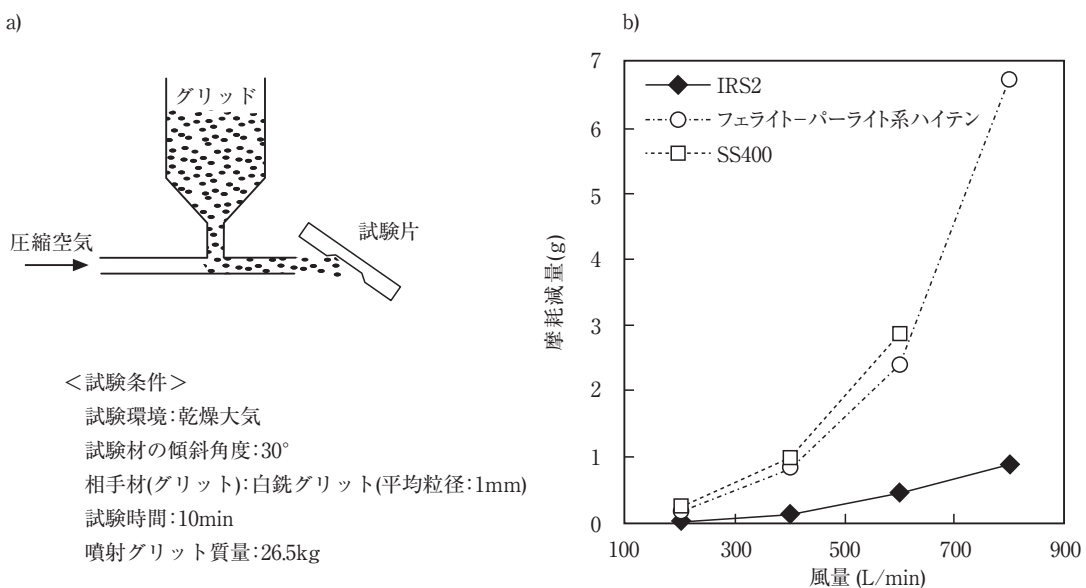


図19 a) 衝撃摩耗試験の模式図および b) 衝撃摩耗試験結果

Fig.19 a) Schematic illustration of impact wear resistance test and b) results of wear resistance test.

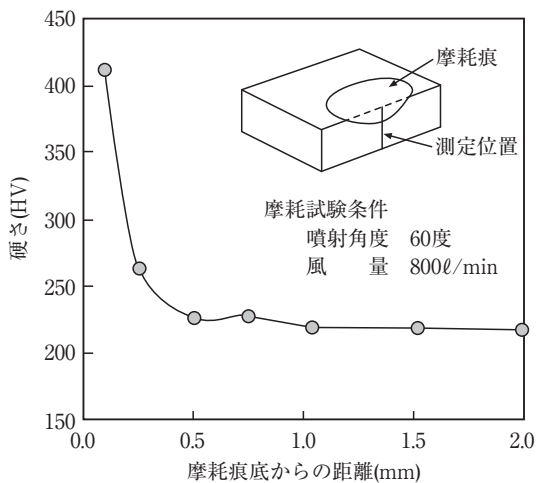


図20 衝撃摩耗試験後の摩耗痕底の硬さ
 Fig.20 Hardness-depth profile after impact wear resistance test.

参考文献

- 1) 広田龍二, 末次輝彦, 森川広, 伊藤建次郎: 日新製鋼技報, 86 (2005), 1
- 2) 久保寛典: 日新製鋼技報, 97 (2016), 60
- 3) 篠田研一, 肥後裕一, 松本千恵人: 日新製鋼技報, 34 (1976), 63
- 4) 木村好次, 岡部平八郎: トライボロジー概論, 養賢堂 (1982), p.188
- 5) 牧正志: 鉄鋼の組織制御, 内田老鶴圃 (2015)

4. 結 言

今回タフスター®との名称を付けてラインナップした当社の耐摩耗鋼について、耐摩耗性とその他の特徴を紹介した。種々ある摩耗形態の中でも、とくに硬質な粒子の介在によって生じるアブレイシブ摩耗に対してNb添加鋼(タイプⅠ～Ⅲ)を適用することで耐摩耗性の向上効果が期待される。また、鋸や刃物など耐摩耗性と靱性との両立が求められる用途にはNKS鋼(タイプⅣ)が適している。IRS2(タイプⅤ)は、衝撃摩耗や土砂摩耗など高荷重を伴う摩耗環境に適している。摩耗形態や使用環境に応じた適正なタイプのタフスター®を選定することが重要である。