

海綿鉄を用いた各種特殊鋼の特性

Properties of Special Steels Made from Sponge Iron

岸 田 民 也* 木 村 伸*

Tamiya Kishida

Shin Kimura

内 容 梗 概

日立金属工業株式会社安来工場では、従来、砂鉄系木炭銑を用いてすぐれた特殊鋼を生産しているが、さきに、わが国において最初の海綿鉄量産化工場を完成したので、海綿鉄を用いた各種特殊鋼の特性、特に実用的性能について報告する。

安来海綿鉄は、純良な山陰産真砂砂鉄を原料とし、独自のペレタイジング技術と、低温直接還元法によって得られた、不純物のきわめて少ない高純度の原料鉄であり、これを用いたハガネは、従来の砂鉄系木炭銑を使用したハガネよりも、熱間加工性、冷間加工性およびじん性などが良く、また耐摩耗性、耐酸化性、耐食性などにもすぐれており、刃物に用いて切味が良く、切削用工具に用いて切削耐久力にすぐれている。

1. 緒 言

日立金属工業株式会社安来工場では、不純物の少ない山陰真砂砂鉄を用いて優秀な鉄鋼製品を生産し、“ヤスキハガネ”として好評を得ている。

さきに、安来工場はこの優秀な砂鉄に、わが国で最初に開発し工業化したペレタイジング法を採用して独自の原料鉄を生産するとともに、海綿鉄製造法についても多年基礎的研究およびパイロットプラントによる研究を重ねてきたが、この経験と技術のうえに、さらにスウェーデン SKB 社の技術をも導入してわが国最初の海綿鉄の量産化を行なっている。今回は、この海綿鉄の製造工程の概略と海綿鉄を用いて生産した各種特殊鋼の特性について報告する。

2. 海綿鉄の特色と製造工程

海綿鉄 (Sponge Iron) とは、ある程度の気孔を有する原鉄で、とりわけ、安来海綿鉄の特色は、

- (1) 純良な山陰産真砂砂鉄を原料としている。
- (2) 徹底した選鉱と独自のペレタイジング技術を採用している。
- (3) 低温、直接還元法によって得られた不純物、ガス含有量のきわめて少ない高純度の原料鉄である。

第1図に安来海綿鉄工場の全景を、第2図に海綿鉄を示す。

海綿鉄の製造工程は、第3図に示すように、水洗、選鉱した真砂砂鉄をボールミルで微粉碎し、さらに選鉱して真空ろ過機で脱水する。これをペレタイジング装置で、不純物混入の一因となる有害なバイндаをいっさい使用せず、適当な粒径と強度を有するペレットにし、さらに焙焼炉で1,100~1,200℃で焼成して最適の気孔率と強度を与える。

このペレットを、還元炉にそう入し、水素と一酸化炭素の混合ガスを用い、約900℃で還元して金属鉄をつくる。この金属鉄が前述の海綿鉄である。なお還元に使われたガスの大部分は、耐熱送風機でガス再生炉に送られ、新しい炭水素源とともに再生され、脱硫炉で脱硫して再び還元炉に循環使用するようになっている。

この海綿鉄製造法開発の過程において得られた、日立金属工業株式会社保有の特許の一部は、次のとおりであって、本法工業化の基礎となっている。

日立金属工業株式会社 特許登録番号 第209475号

日立金属工業株式会社 特許登録番号 第240428号

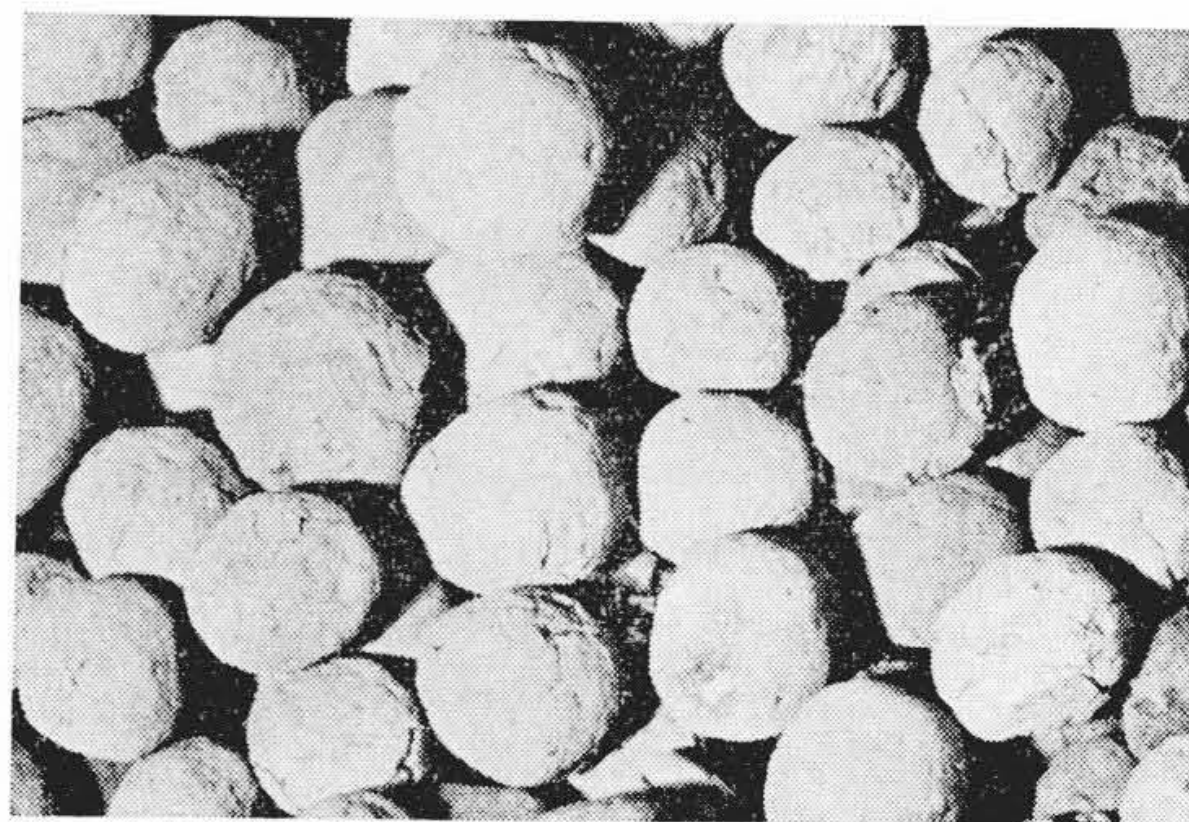
日立金属工業株式会社 特許登録番号 第240429号

日立金属工業株式会社 特許登録番号 第274358号

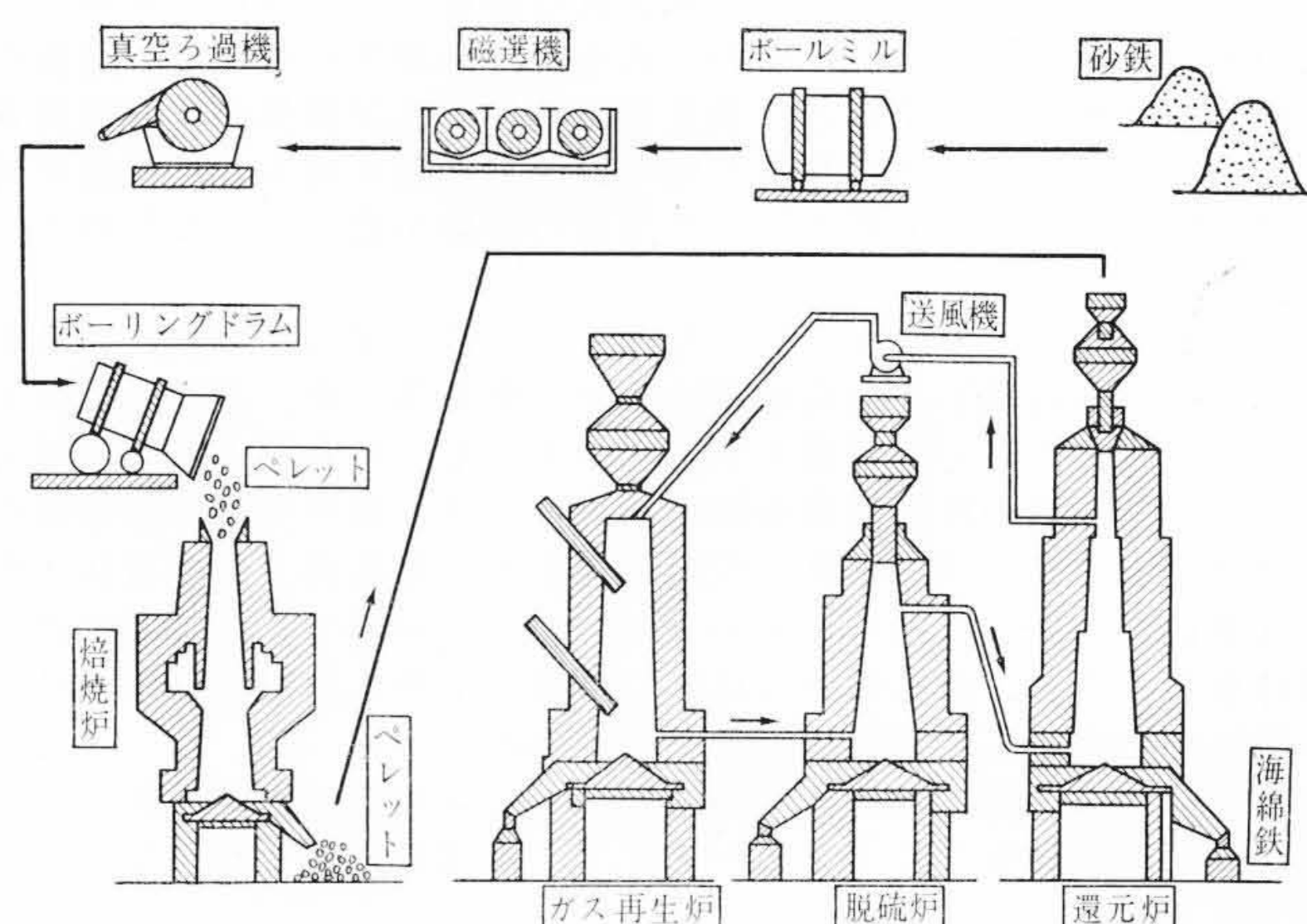
* 日立金属工業株式会社安来工場



第1図 海綿鉄製造工場



第2図 海綿鉄



第3図 海綿鉄製造工程図

日立金属工業株式会社 特許登録番号 第 282535 号

日立金属工業株式会社 特許登録番号 第 283927 号

日立金属工業株式会社 特許登録番号 第 404225 号

3. 海綿鉄を用いた各種特殊鋼の特性

原料鉄として海綿鉄を用いて溶製した各種特殊鋼は、従来の製品に比較して熱間加工性、冷間加工性およびじん性がよくなり、さらに耐摩耗性、耐酸化性、切味、切削耐久力などの実用的性質にすぐれた性能を示すことを知った。

以下に各鋼種における実用的性能について従来製品と比較した実験結果をのべる。

3.1 刃物鋼

海綿鉄を用いて溶製した刃物鋼(白紙 2 号, 1.10% C) と炭素含有量が同等である従来の砂鉄系木炭鉄を用いた白紙 2 号および SK 3 の熱間加工性試験として, 1,100°C における高温屈曲試験結果を第 1 表に示す。また 0.95% C 鋼の 1,050°C における屈曲試験の表面きずの状況を第 4 図に示す。

いずれも海綿鉄系は屈曲によるきずの発生が少なく, 熱間加工性に富んでいる。

また第 2 表に前述した 3 試料の耐酸化性試験結果を, 第 5 図に抗折試験結果を示す。海綿鉄系および従来品の砂鉄系原料鉄を用いた試料は耐酸化性, じん性にすぐれている。

なお第 6 図に, 前記 3 試料の実用的試験として切味試験結果を示したが, 砂鉄系原料鉄による試料は切味がよいが, 海綿鉄系のものはさらにすぐれた切味を示している。

3.2 高速度鋼

従来, 当安来工場の高速度鋼には, 砂鉄系木炭鉄を用いているが, これと海綿鉄を用いて溶製した高速度鋼を比較すれば, 熱処理特性などには差異を認めないが, 切削性能は向上している。

第 7 図は, YXM 1 (SKH 9) の焼入温度とじん性の関係を示した

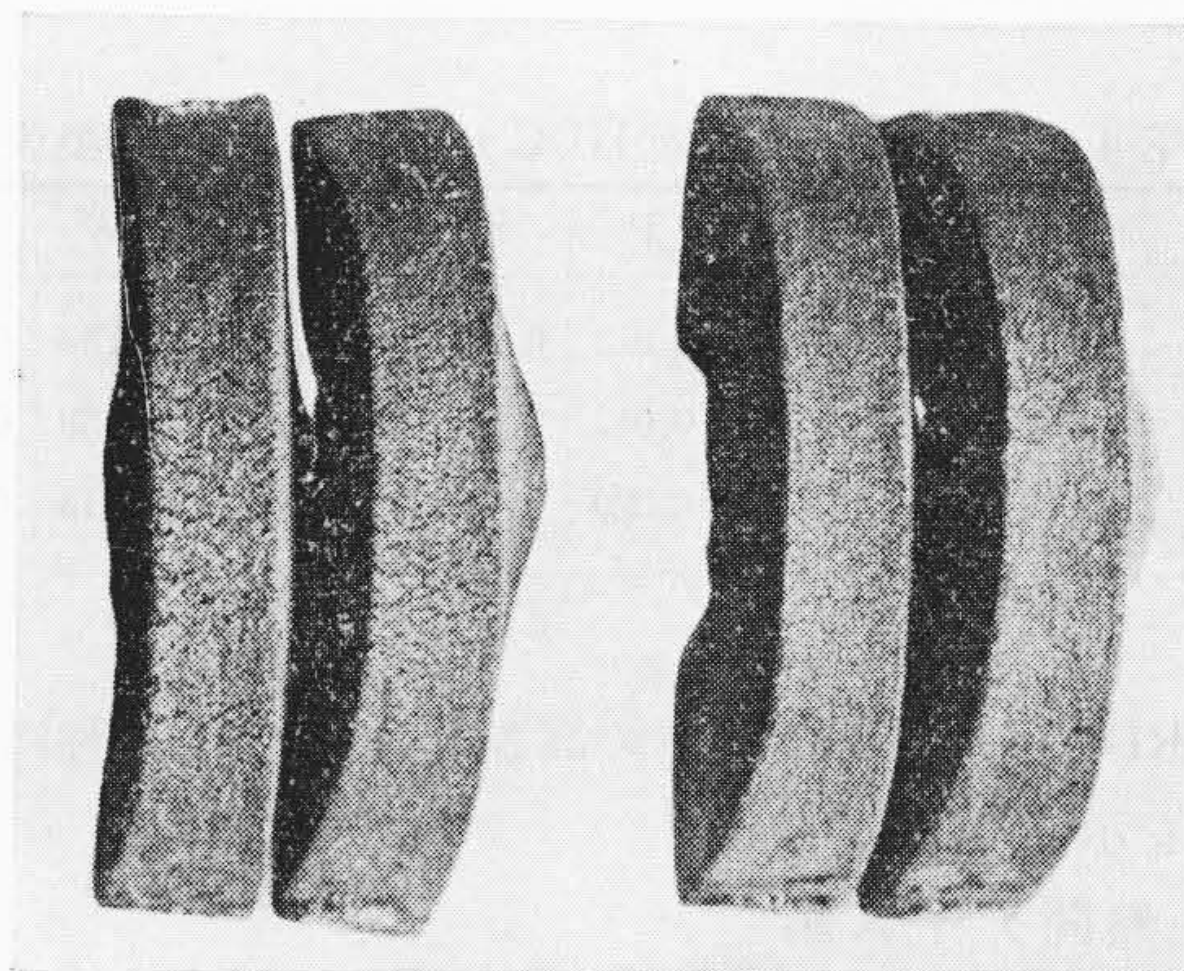
第 1 表 高温屈曲試験結果 (1,100°C×2 時間加熱)

試 料	表面きずの平均深さ (mm)
海綿鉄系白紙 2 号	0.04
従来品白紙 2 号	0.05
S K 3	0.10

試験片: 12×19×77 l

第 2 表 耐酸化性試験結果 (1,000°C×1 時間加熱)

海綿鉄系白紙 2 号	従来製品白紙 2 号	S K 3
0.0208 g/cm ²	0.0218 g/cm ²	0.0237 g/cm ²



(加熱温度: 1,050°C×5 時間)

第 4 図 高温屈曲試験結果

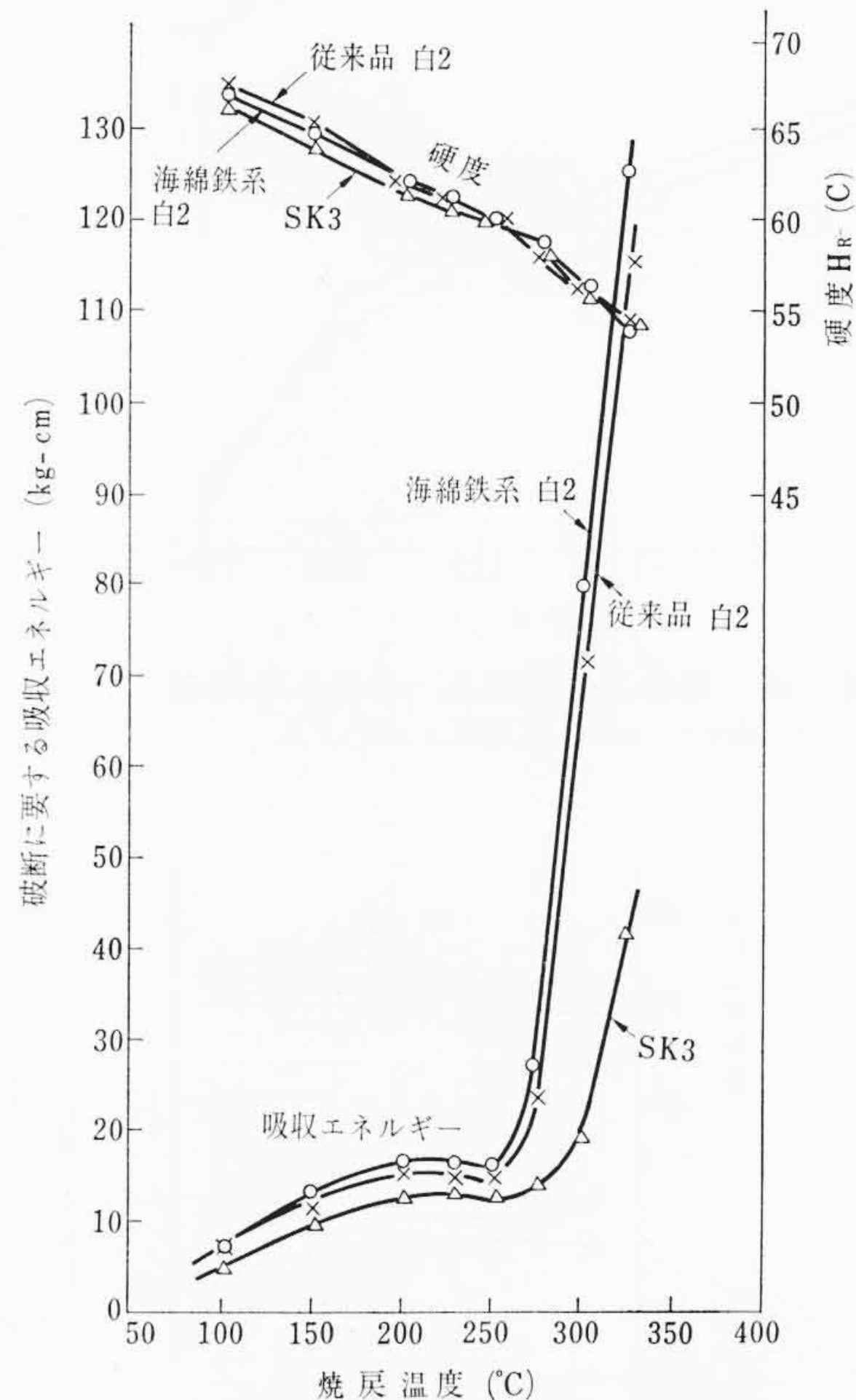
ものであるが, 海綿鉄系は硬度が若干高いにもかかわらず抗折荷重, たわみがわずかに大きく, じん性がいく分すぐれているといえる。

第 8 図および第 9 図は, YXM 1 (SKH 9) および HXV 3 の切削試験結果を示したものであるが, 切削耐久力は海綿鉄を用いた試料が若干すぐれている。

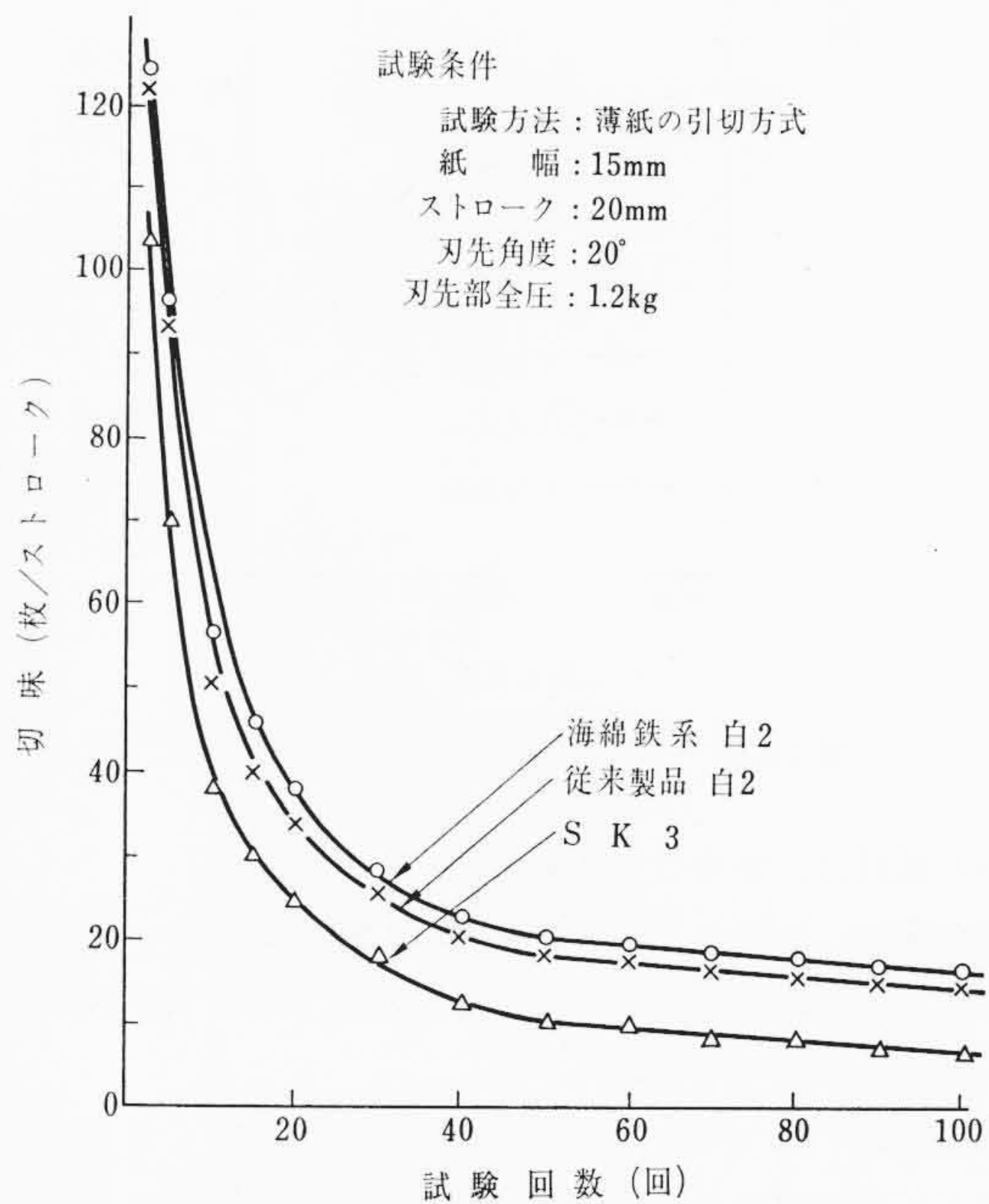
3.3 ダイス鋼

3.3.1 冷間ダイス鋼

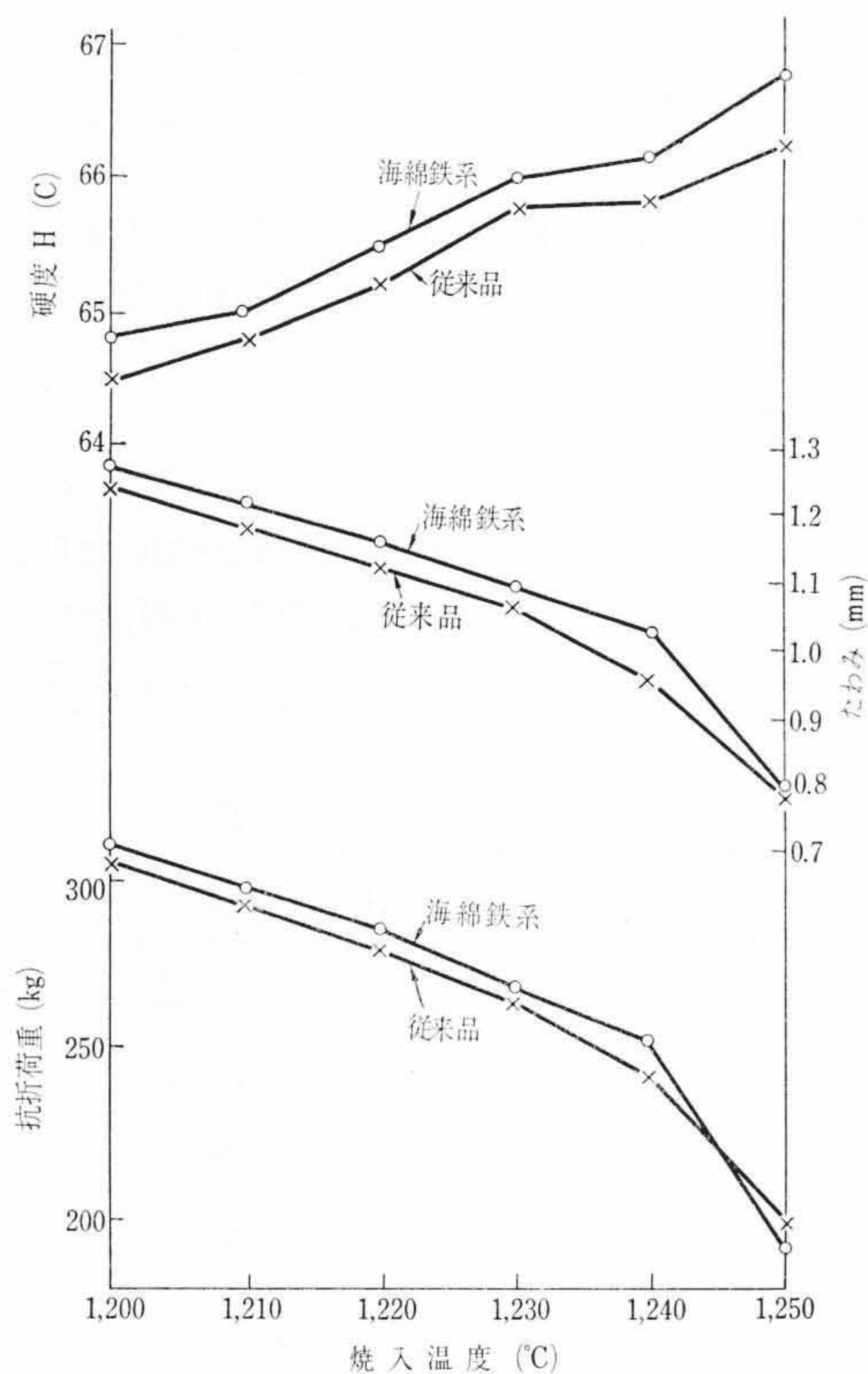
海綿鉄を用いた CRD (SKD 1) と, 砂鉄系木炭鉄を用いた日立金属工業株式会社の従来製品ならびに国内 T 社製品を比較すれば, 熱処理特性には差異はないが, 砂鉄系原料鉄とくに海綿鉄を



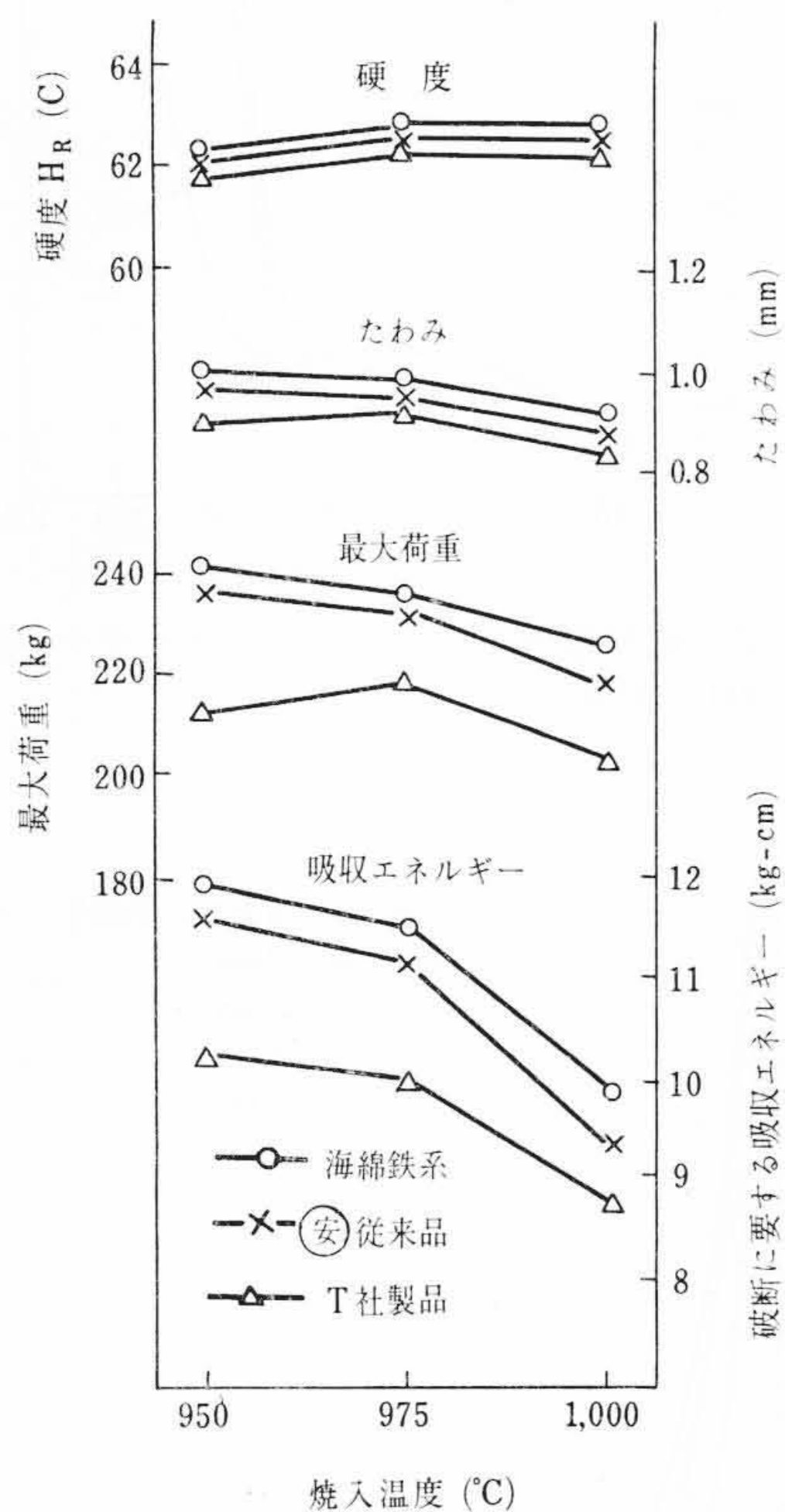
第 5 図 焼戻温度と硬度, 吸収エネルギーの関係 (760°C 水焼入試料)



第 6 図 刃物鋼の切味試験結果



第7図 焼入温度と抗折荷重、たわみの関係
(焼戻：560°C×1時間×2回)



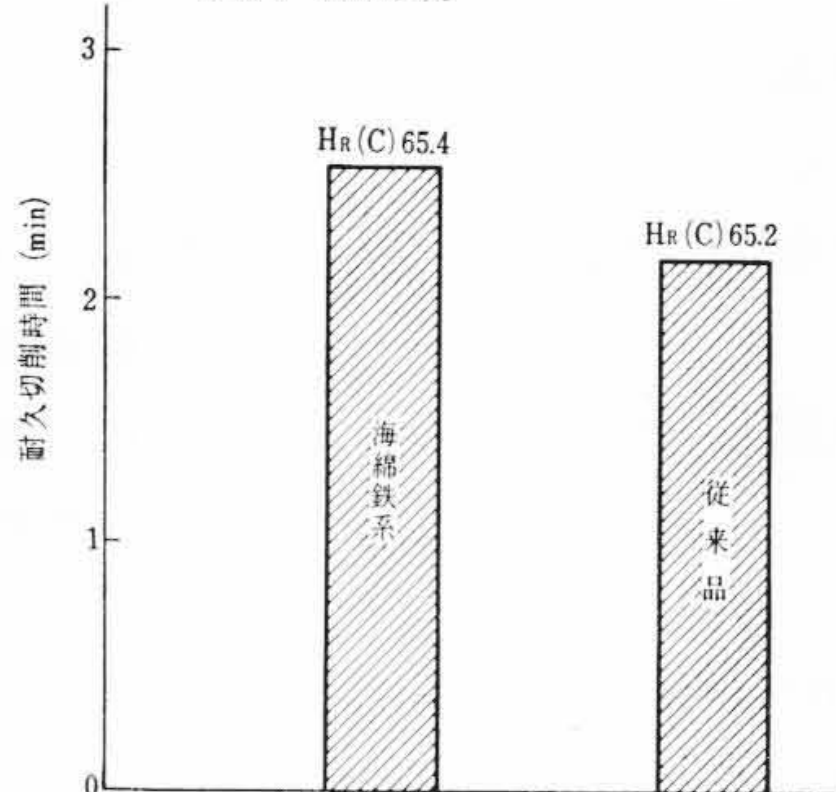
第10図 抗折試験結果 (焼戻：200°C)

用いた試料は、実用の打抜寿命がすぐれている。

第3表に、試料の化学成分を第10図に3試料の抗折試験結果を示す。砂鉄系原料鉄を用いている日立金属工業株式会社製品が、じん性に若干すぐれている。

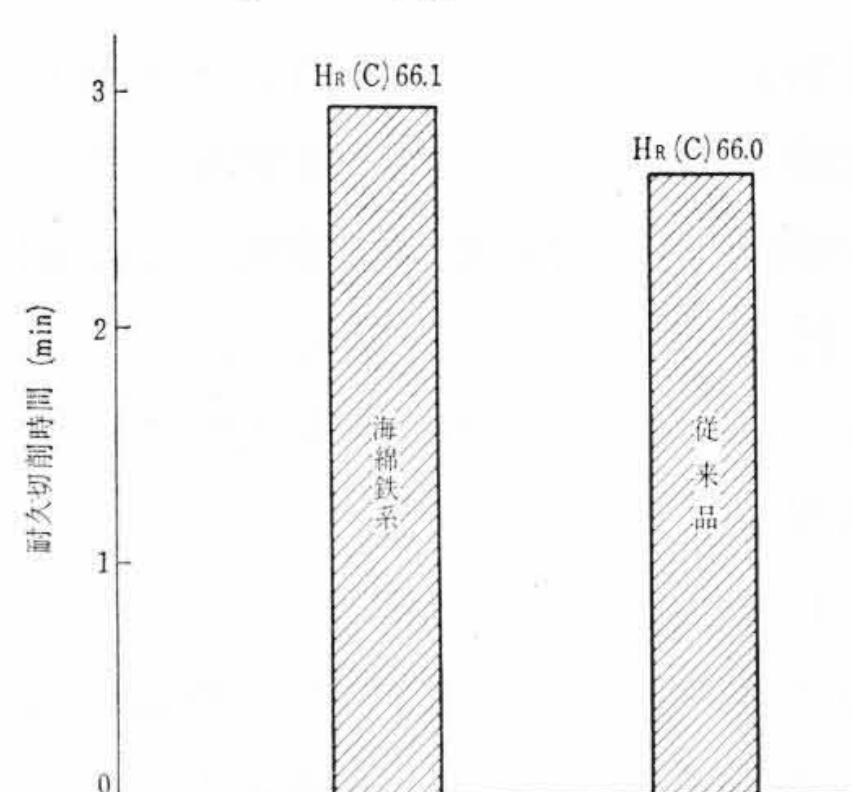
第11図は同一試料で作製した雄形、雌形により自動プレスで実用の打抜試験を行なった場合の、被打抜材に発生する打抜かえりから、各試料の打抜寿命を比較した結果であるが、海綿鉄を用

切削試験条件
1. バイト形状 12角 真鍮バイト
2. バイトの熱処理 予熱 900°C×10min
焼入 1,220°C×2min油冷
焼戻 560°C×1時間×2回
3. 被切削材 SCM3 (H_R201)
4. 切込 1mm
5. 切削速度 5m/min
6. 送り 0.5mm/尺



第8図 YXM1 の切削試験

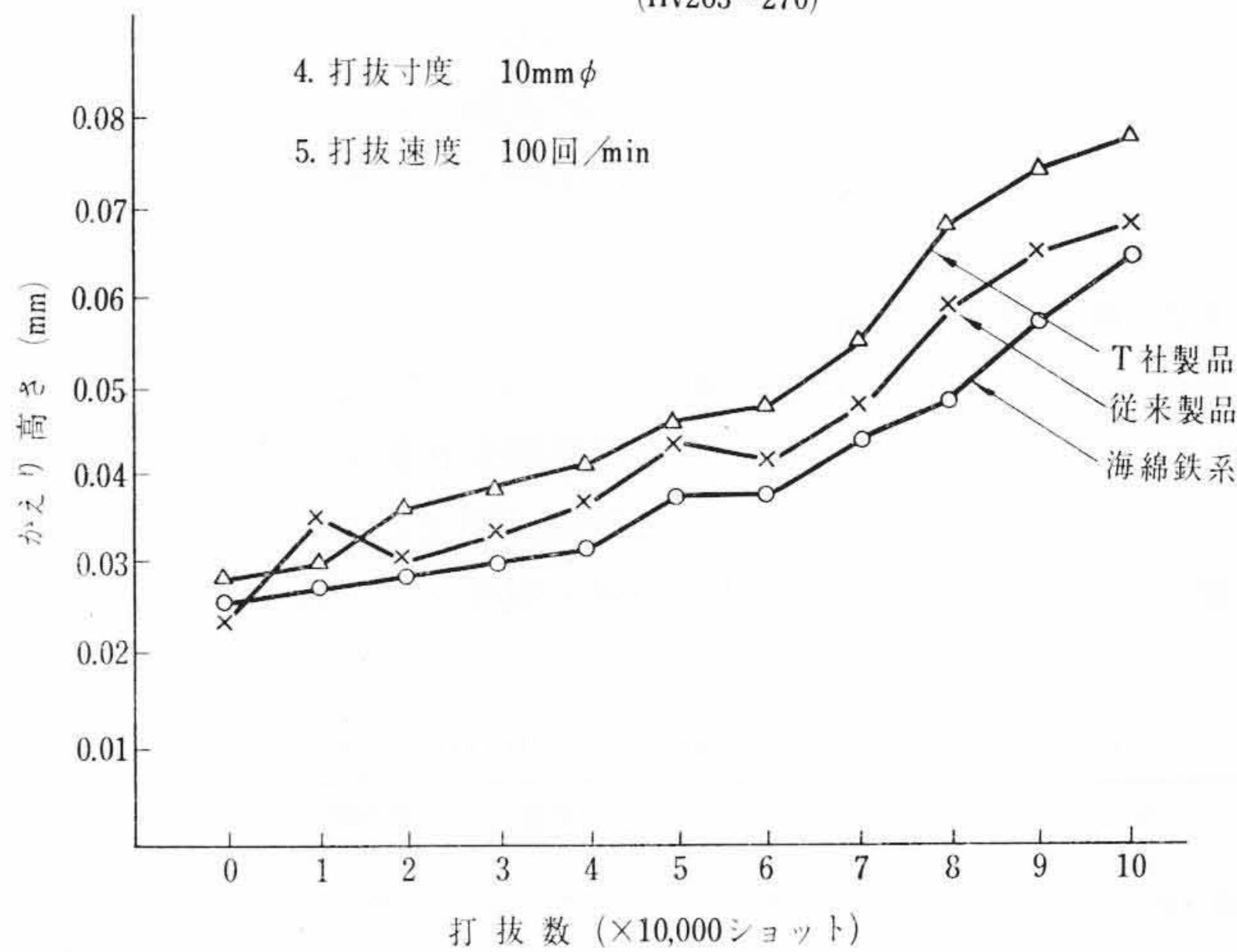
切削試験条件
1. バイト形状 12角 真鍮バイト
2. バイトの熱処理 予熱 900°C×10min
焼入 1,300°C×2min油冷
焼戻 570°C×1時間×3回
3. 被切削材 SCM3 (H_R302~306)
4. 切込 1mm
5. 切削速度 38.5m/min
6. 送り 0.5mm/尺



第9図 HXV3 の切削試験

打抜試験条件

1. 使用試験機 15t自動プレス
2. 打抜形 (CRD) 焼入 980°C油冷
の熱処理 焼戻 200°C×1時間×2回
3. 被打抜材 SK4 68W×0.5t Strip
(H_V263~270)
4. 打抜寸法 10mmφ
5. 打抜速度 100回/min



第11図 自動プレスによる打抜寿命試験結果

第3表 冷間ダイス鋼 CRD (SKD1) の化学組成

試料	化 学 成 分 (%)							
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Cu
海綿鉄系	2.13	0.26	0.33	0.011	0.006	0.06	12.06	0.02
従来製品	2.17	0.18	0.34	0.014	0.008	0.08	12.05	0.02
T社製品	2.19	0.32	0.33	0.017	0.019	0.10	13.38	0.05

第4表 熱間ダイス鋼 HDC (SKD5) の化学組成

試料	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	W	V	Cu
海綿鉄系	0.29	0.21	0.40	0.012	0.005	Tr	2.44	9.83	0.32	0.04
従来製品	0.30	0.27	0.39	0.017	0.006	0.04	2.45	9.38	0.35	0.05
N社製品	0.32	0.18	0.37	0.020	0.009	0.09	2.60	9.13	0.26	0.14

いた CRD が最も打抜かえりの高さが低く、耐摩耗性に富んでいることを示している。

3.3.2 熱間ダイス鋼

第4表に示すような化学組成を有する3種類の熱間ダイス鋼 HDC (SKD5) について、機械的性質を比較した。第5表は熱間

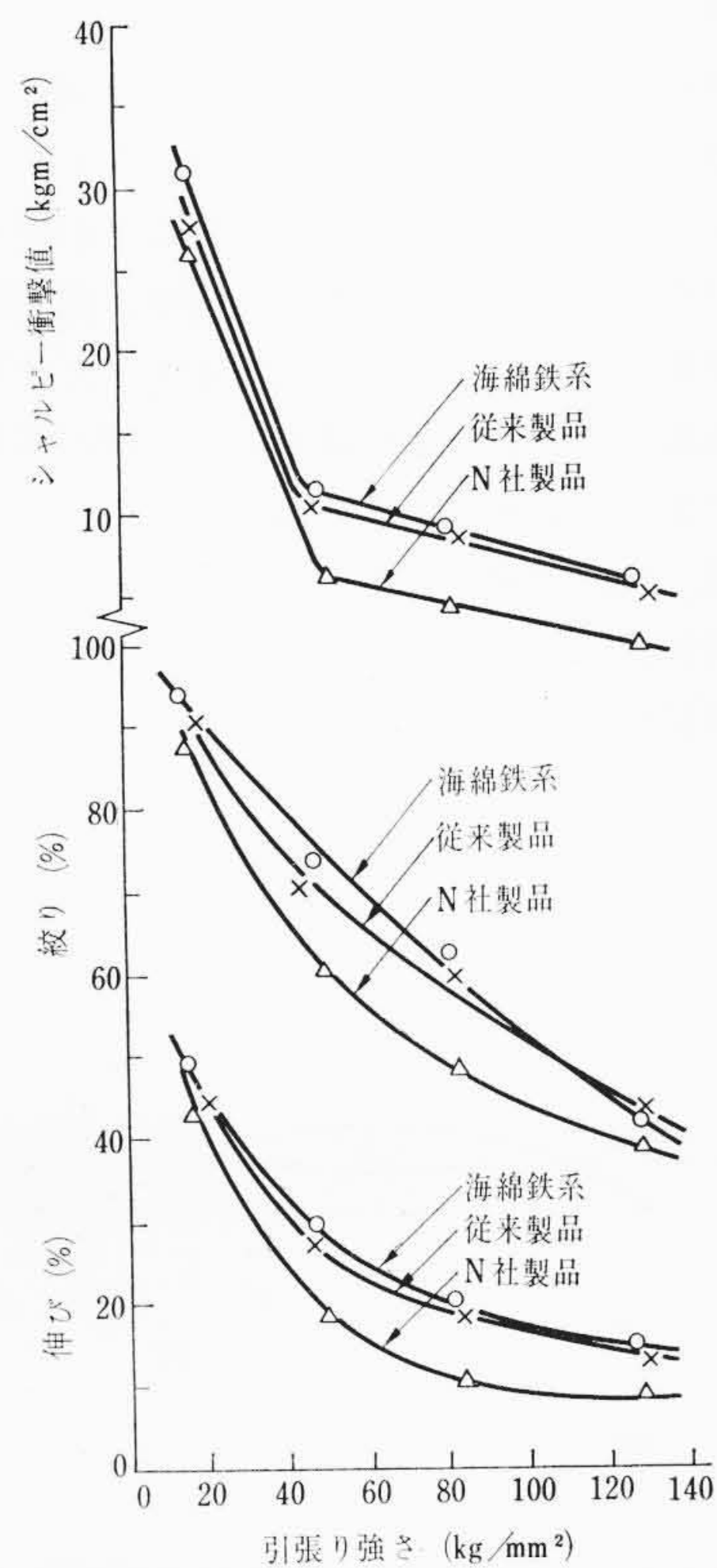
第5表 HDCの熱間ねじり試験結果

試料	破断に至る回転数(変形能) (回)
海綿鉄系	17.3
従来製品	16.9
N社製品	11.7

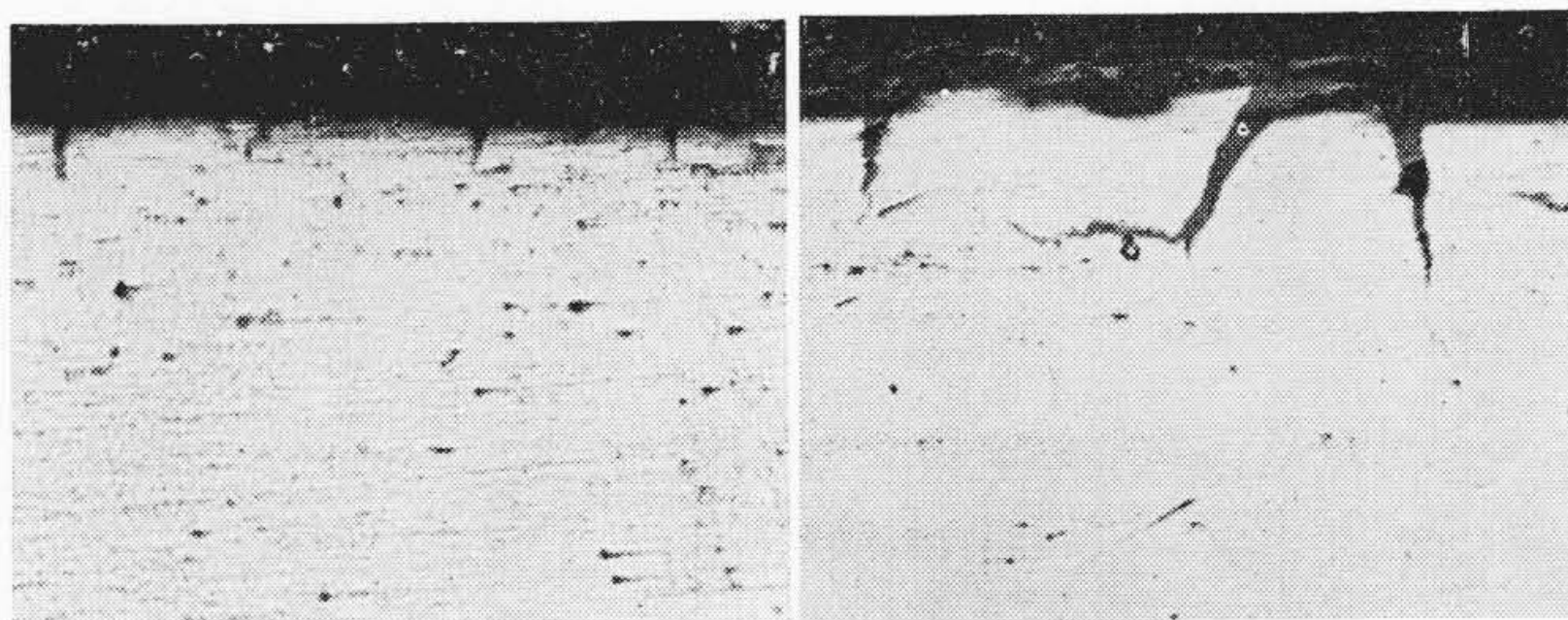
(試験条件: 1050°C, Ar ガス雰囲気)

第6表 SA1 (SKS2)の機械的性質(焼鈍試料)

試料	硬(HB)	抗張力(kg/mm ²)	伸び(%)	絞り(%)
海綿鉄系	201	71.5	20.9	39.0
従来製品	207	72.5	18.3	24.5



第12図 HDC (SKD5)の機械的性質比較図

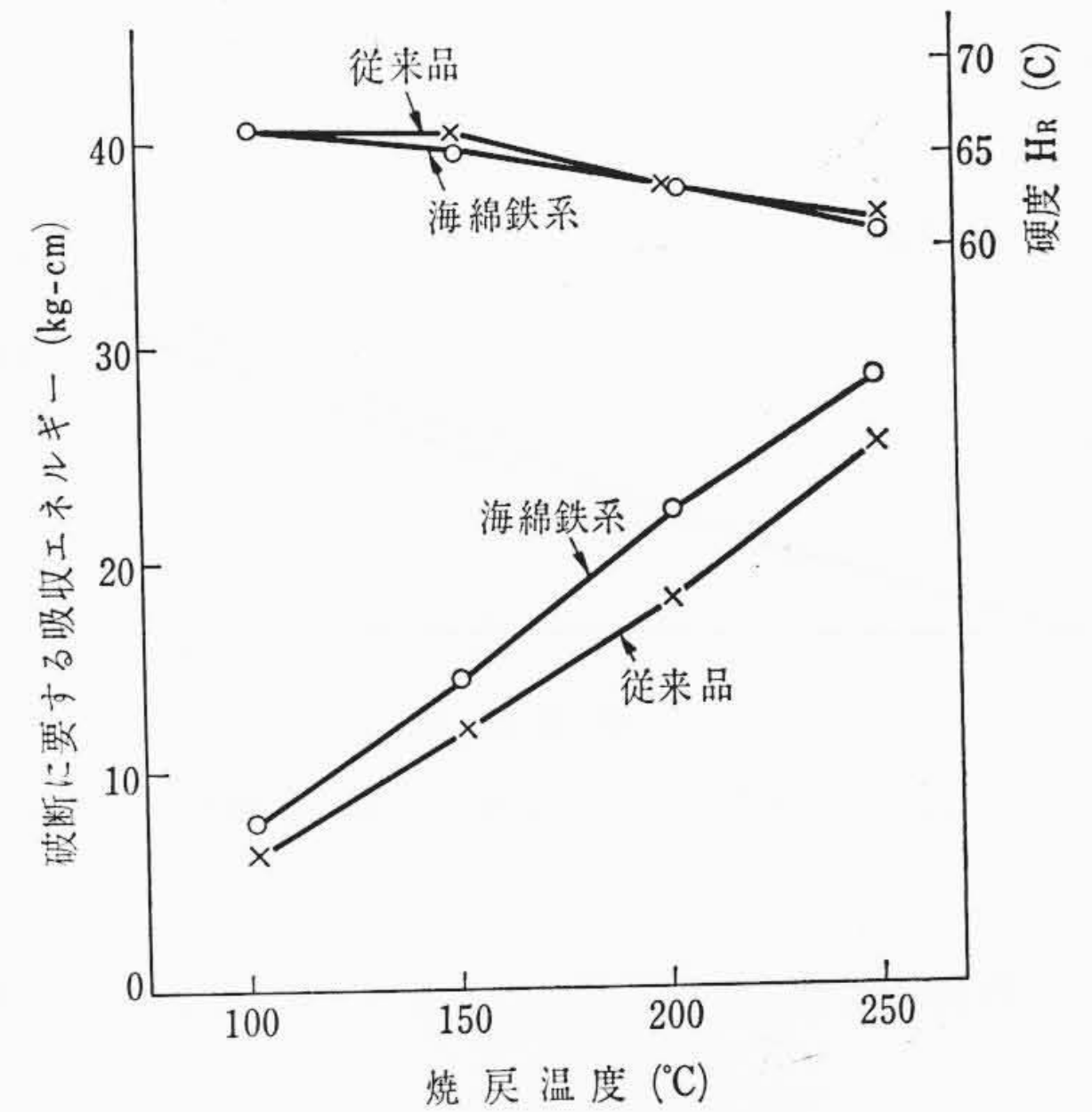


第13図 DAC (SKD61)のヒートチェック試験結果 (700°C×3,000回試験後の断面)

ねじり試験の結果を、第12図は引張り試験および衝撃試験結果から同一引張り強さに対する衝撃値、伸び、絞りを比較したものである。

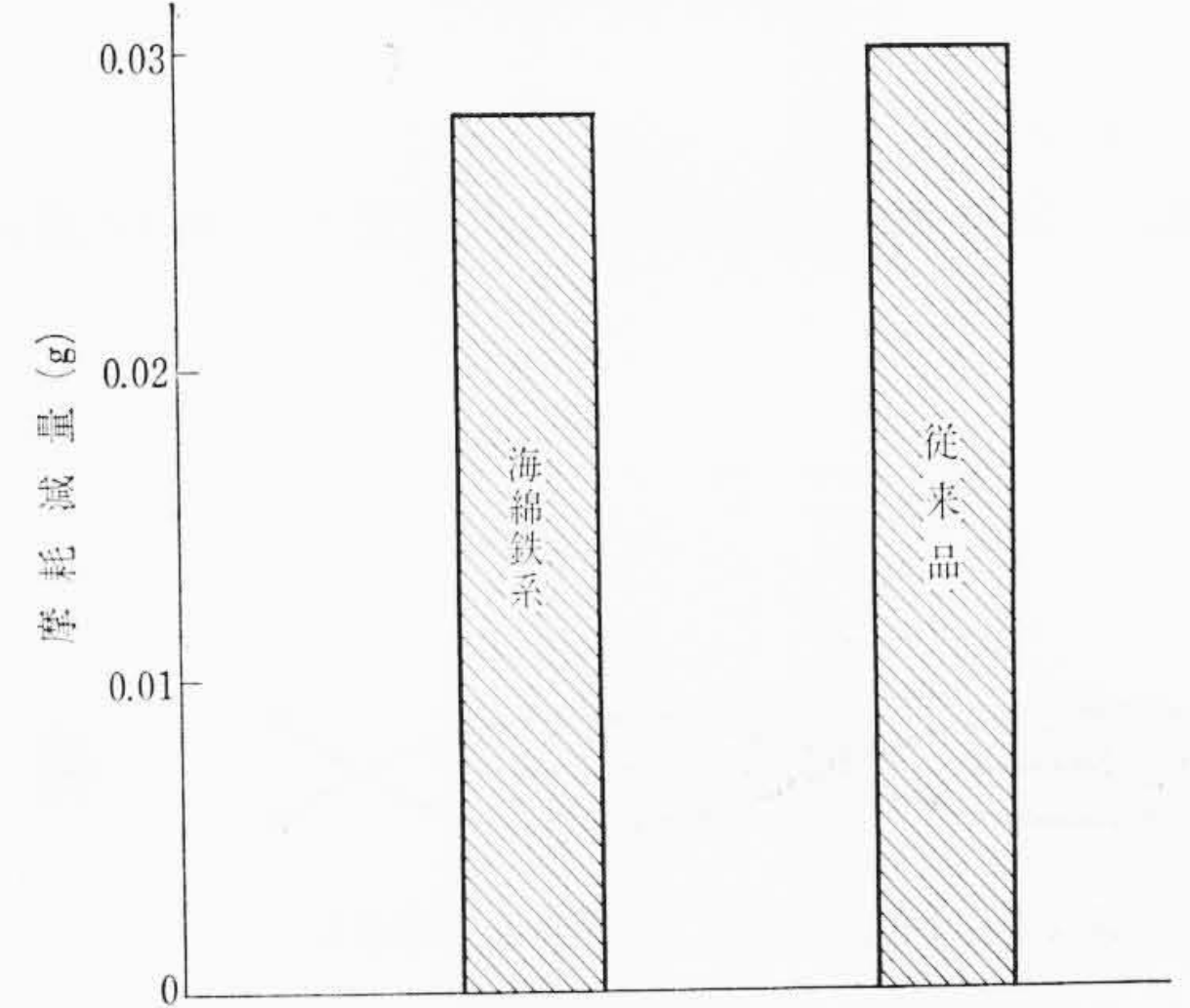
海綿鉄を用いたHDCは、熱間強度が大きく、砂鉄系原料鉄を用いた日立金属工業株式会社製品は常温における機械的性質もすぐれている。

なお第13図は、DAC (SKD61)のヒートチェック試験結果で



第14図 SA1の抗折試験結果

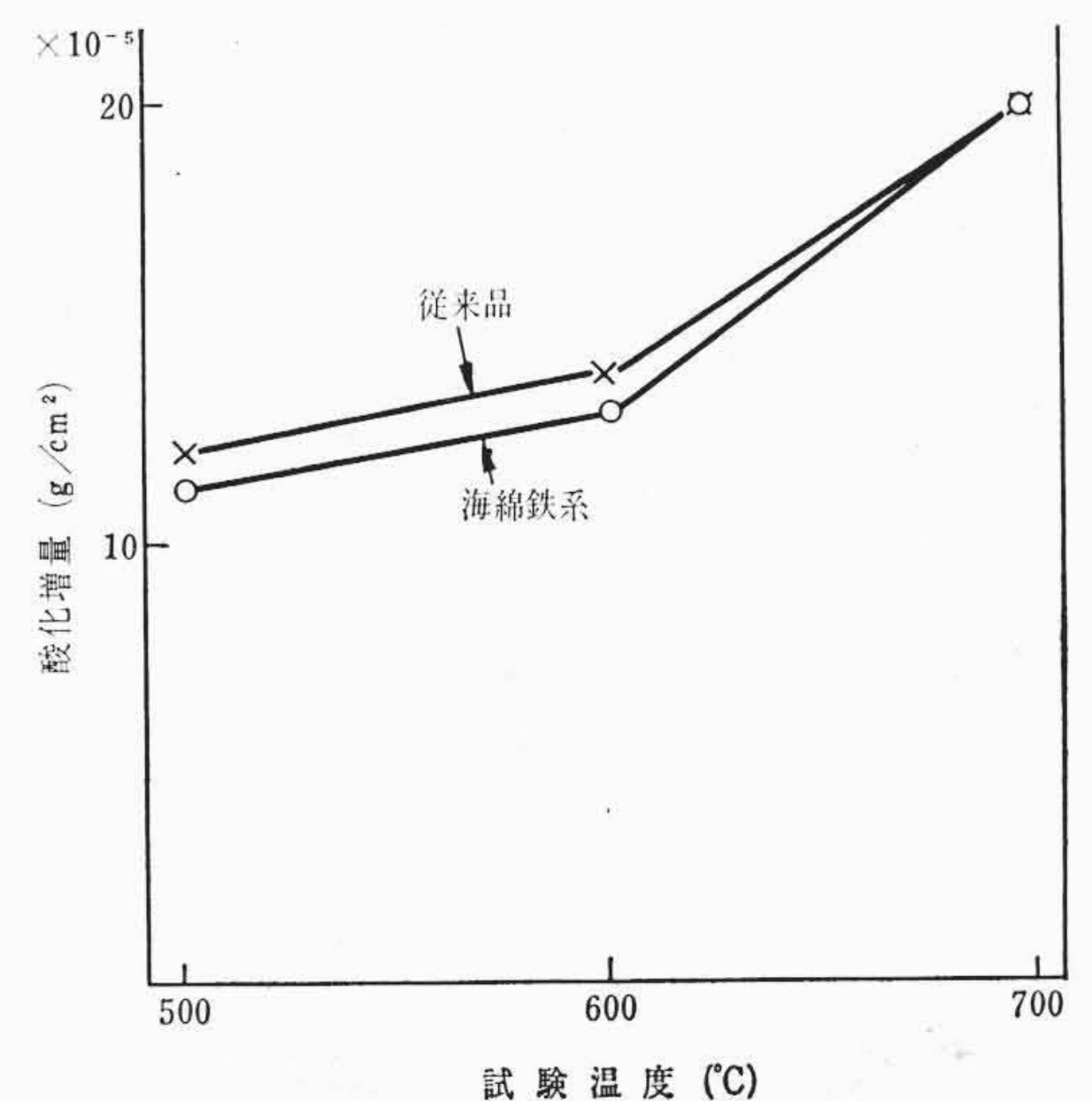
試験条件
 回転速度 すべり率
 上部試料 65m/min 12.3%
 下部試料 73 11.0
 荷重 60kg
 最大圧縮圧力 60.5kg/mm²



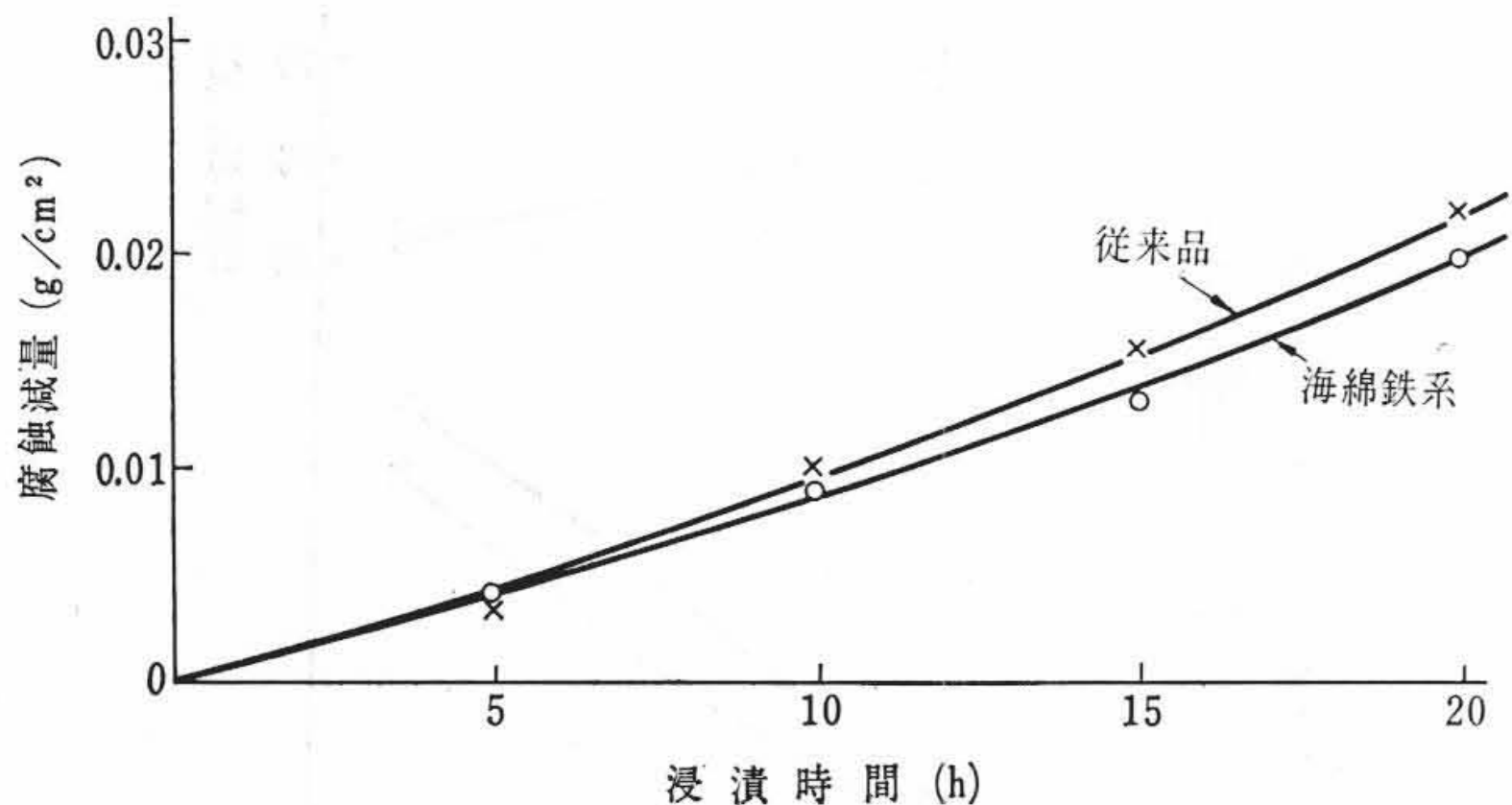
第15図 摩耗試験結果(西原式)

試験条件
 試料の前熱処理: 950°C×1/2時間油冷
 700°C×1時間空冷

試験温度における
 保持時間: 50時間



第16図 SUS22の耐酸化試験結果



第 17 図 SUS 27 の耐食試験(常温 20 Wt % HCl)

あるが、海綿鉄を用いた試料は、明らかに“われ”が発生しにくい。

3.4 合金工具鋼

代表的鋼種として SA 1(SKS 2)について、焼鈍試料の常温機械的性質を第 6 表に、焼戻試料の抗折試験結果を第 14 図に示す。海綿鉄を用いた試料は、伸び、絞りが若干すぐれ、じん性もわずかに良好である。

なお、第 15 図は同上試料の西原式摩耗試験結果であるが、海綿鉄を用いた SA 1 は摩耗減量がわずかに少なく、耐摩耗性が若干良好である。

3.5 ステンレス鋼

第 16 図に SUS 22 の耐酸化性試験結果を、第 17 図に同じく

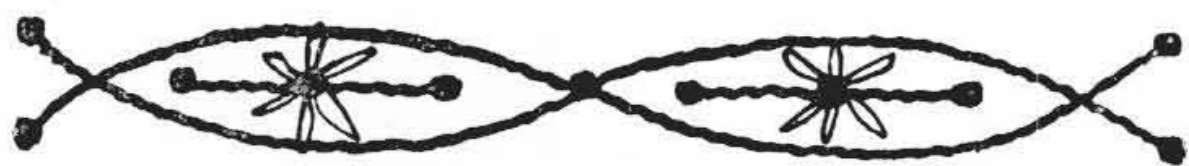
SUS 27 の常温における塩酸溶液中の耐食試験結果を示す。海綿鉄を用いた試料は、耐酸化試験では低温において、また耐食試験では長時間浸漬の場合において、いく分、耐酸化性あるいは耐食性が良好である。しかしこれらの諸性質は Cr その他の合金元素の影響も大きいことを付記する。

4. 結 言

以上、海綿鉄製造工程の概略ならびに原料鉄として海綿鉄を用いたハガネの、主として実用的性能について、従来の製品と比較実験した結果を要約すれば、

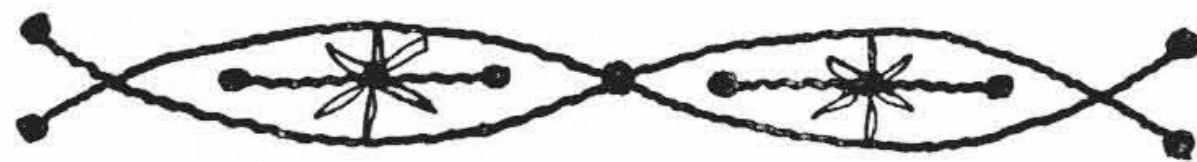
- (1) 安来海綿鉄は、純良な山陰産真砂鉄を原料として、独自の選鉱およびペレタイジング法と低温直接還元法によって得られた、不純物、ガス含有量のきわめて少ない高純度の原料鉄である。
- (2) 海綿鉄を原料鉄として用いた各種特殊鋼は、従来の砂鉄系木炭鉄を用いた場合と、熱処理特性などに差異はないが、熱間加工性、冷間加工性、じん性などが良くなり、さらに耐摩耗性、耐酸化性、耐食性、切味、切削耐久力などの実用的性質によりすぐれた性能を示すことを知った。

終わりに、本報告は砂鉄系原料鉄を用いた鋼の優秀性究明に関する研究の一端であり、終始ご指導を賜った日立金属工業株式会社宮下専務取締役、松垣取締役安来工場長および冶金研究所新持副所長、中村主任研究員、さらにご指導、ご協力いただいた安来工場の関係者各位に深甚な謝意を表す。



特許 第 413422 号(特公昭 38-8525)

特 許 の 紹 介



金子 洋一・沢田 良嘉
佐藤 敦

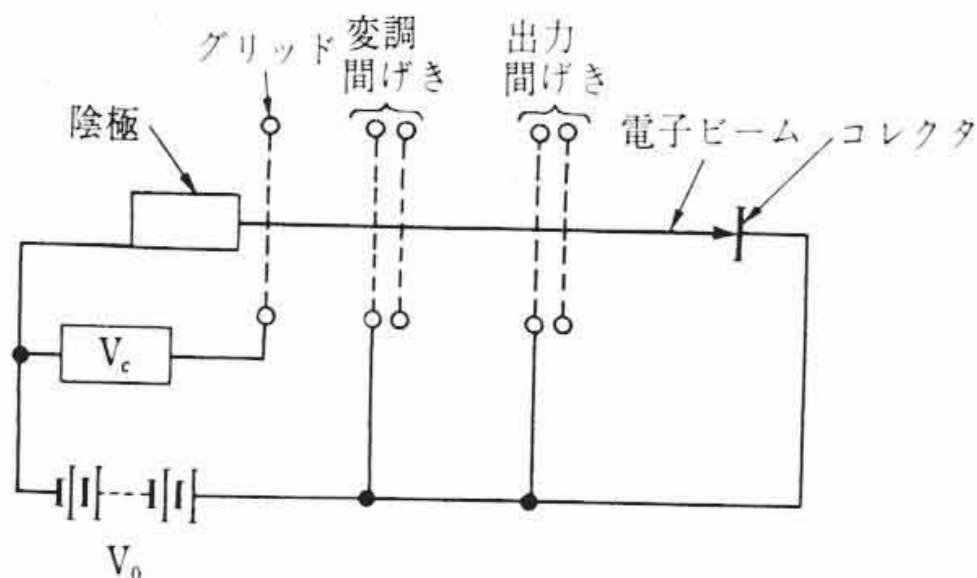
超 高 周 波 電 子 管

従来マイクロ波管として多空洞クライストロンや荷電粒子について直接密度変調と速度変調を同時に行なうようにした電子管などがあるが、高能率が得られないことや、励振に大電力が必要であるなどの欠点があった。

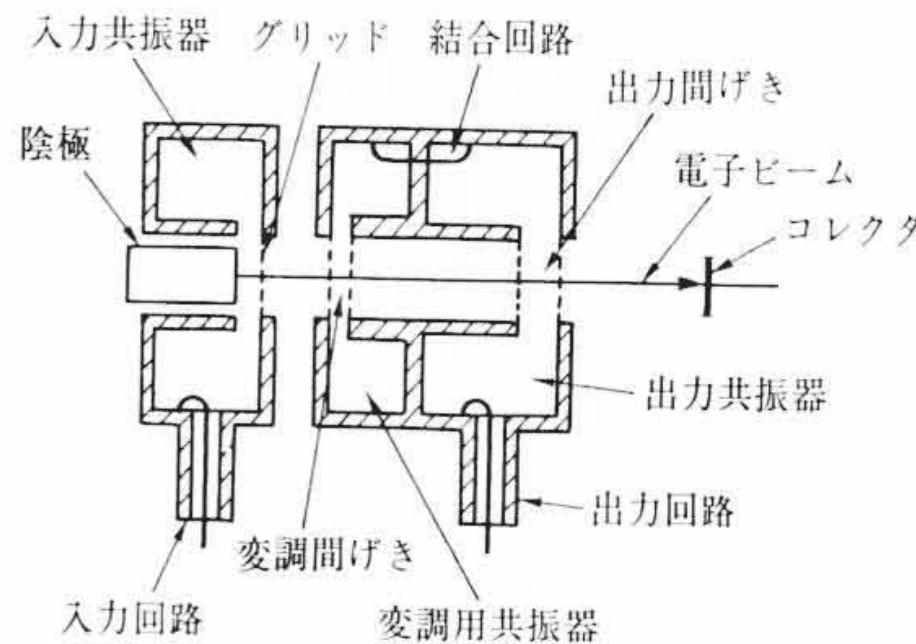
本発明は比較的小さい励振電力で高能率が得られるとともに構造も簡単な電子管であって、陰極から放出された電子ビームをまずバイアス電圧 V_0 と高周波電圧 V_c との重畳した電圧を印加されたグリッドによって、近似的に密度変調のみを行なわせる。次に加速直流電位に保たれた変調用共振器のところで、出力共振器から結合回路

により出力エネルギーの一部を適当な位相で帰還して得られる高周波電圧によって速度変調を行なわせるとともに、特に集束作用を良好にするために変調用高周波電圧の位相を変調間げきを通過するビーム中の高周波分に対してほぼ $\pi/2$ 遅相にしてあることを特徴とするものである。このように構成した本発明のものは比較的小さい励振電力で高能率の動作を可能にし、出力の 1 部を帰還せしめることによって、発振器としてもまた能率よく動作せしめる点において有効である。

(米田)



第 1 図



第 2 図