

耐摩耐衝撃用鋼 SRE の諸性質

Properties of Wear and Shock Resisting Steel SRE

新 持 喜一郎* 清 永 欣 吾** 吾 郷 瞭 生**
Kiichirô Shinji Kingo Kiyonaga Ryôsei Agô

要 旨

日立金属株式会社が開発した、新しい SRE 鋼は非常によい焼入れ性およびじん性を備え、特に耐衝撃性にすぐれた、耐摩耐衝撃用冷間工具鋼である。その耐衝撃性は冷間用工具材料中比較的高い耐衝撃性を有する YSR と同程度である。抗折力はこの種、工具材料中最高に近い値を示している。焼入れ性は冷間用工具材料中最も焼入れ性のよい SLD に匹敵するが、焼入れかたさの絶対値が多少低いので、中心部かたさ H_RC61 以上を得られる最大丸棒径は油焼入れの場合 280 mm、空冷の場合 50 mm 程度である。また比較的高いかたさで大きな衝撃値を備えているので、摩耗抵抗は SKD 12 より小さいが、せん断刃として使用した場合には非常に長い寿命を保持することができる。

1. 緒 言

近年鉄鋼生産量の増大は著しく、特に薄板生産設備を中心とする設備の大形化、高速化、高能率化は驚くべきものがある。したがってこれらに使用されるせん断刃に要求される性能も従来のものに比較して非常に高度なものとなってきた。

せん断刃では第一に耐衝撃性と耐摩耗性が要求され、摩耗はおもに加えられた圧縮応力による塑性変形、いわゆる“へたり”のような過程を通じての刃先摩耗が摩耗の大勢を決するようであり、耐摩耗性を与えるには刃材にある程度のかたさを必要とする。しかし一般に同一材料においてはかたさの高いほど耐衝撃性を低下するので、今日のように使用条件がきびしくなり、耐衝撃性と耐摩耗性が同時に要求されるようになってくると、高いかたさで大きな耐衝撃性を備えた材料が必要となる。

従来、せん断刃の中でも大きな耐衝撃性を必要とするビレットシヤ用には一般に YSR、DM、DAC (SKD 61) などが使用され、スリッタカッター用には SCD (SKD 12)、SLD (SKD 11) などが使用されてきた。比較的高い耐衝撃性を必要としない厚さ 3 mm 以下の薄物切断用には、これら SCD や SLD で問題なく使用できるが厚物用では、欠けや割れが生じほとんど使用に耐えない。また YSR、DM、DAC などはかたさに問題があり耐摩耗性の点で十分なものとはいえないものであった。

SRE 鋼はこれら SCD や SLD に比較し、大きな耐衝撃性を有し、使用に十分な耐摩耗性を備えているので、厚物用スリッタカッター、各種せん断刃のほか、厚板打抜用ポンチ、トリミングダイス、

表 1 SRE の化学成分 (%)

	C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	V
SRE	0.75	特 許 申 請 中					

各種転造用工具および冷間押出用工具など冷間衝撃加工用工具として使用できるものである。以下 SRE について紹介し参考に供する次第である。

2. SRE の各種性質

2.1 SRE の化学成分

SRE は高い焼入れかたさを得るために、C 含有量を 0.75% とし、耐摩耐衝撃性を増すよう、おもに Cr、Ni、Mo、V などの成分配合を適当に考慮したものである。

2.2 熱 処 理 性 質

2.2.1 焼 な ま し 温 度

SRE は焼入れ性が非常に良いので、焼なまし時の冷却速度は十分小さくする必要がある。図 1 は 25 mm 角、厚さ 15 mm の試験片につき各温度で焼なましを行なって求めた、焼なまし温度とかたさの関係を示すものである。焼なまし温度は 800~850℃ が望ましく、冷却速度は 10~20℃/h が適当である。図 2 (a) は 825℃ 焼なまし状態の組織である。

2.2.2 焼 入 れ 特 性

17 mm 角、厚さ 12 mm の試験片を 900~1,100℃ の各温度に 30 分保持し、油中で焼入れした場合の焼入れ温度とかたさの関係

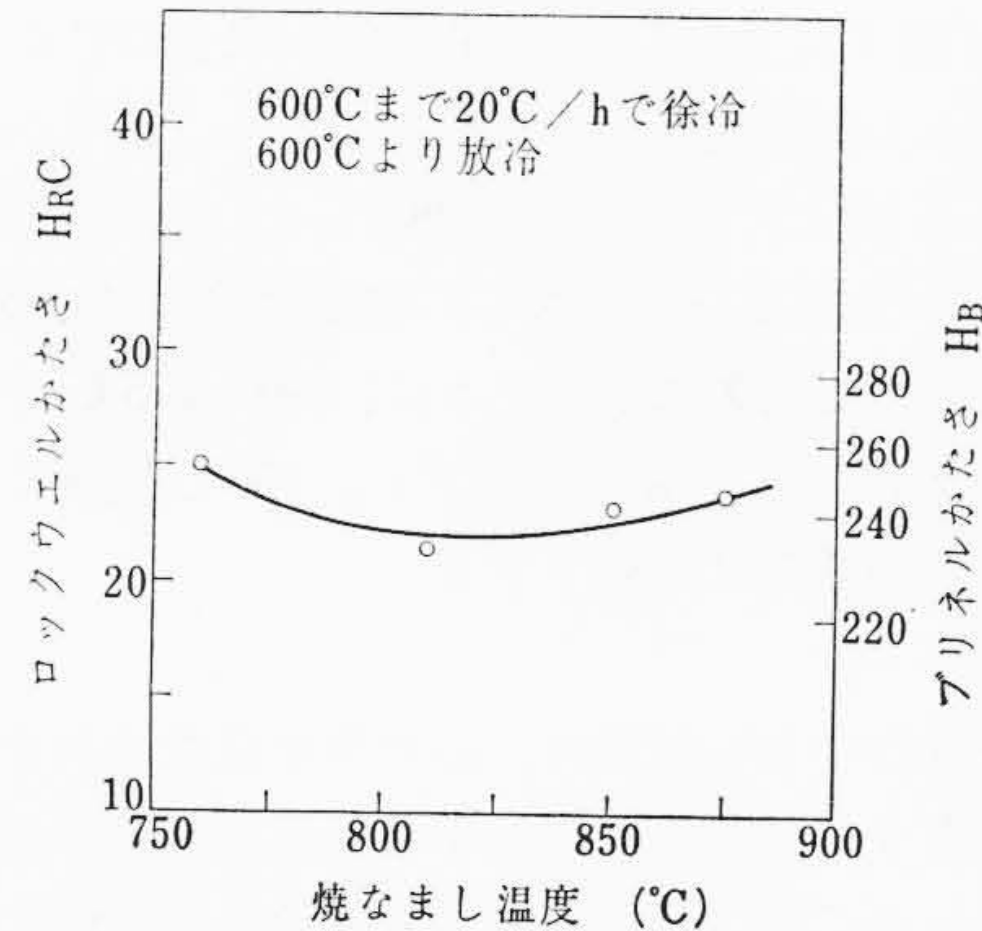
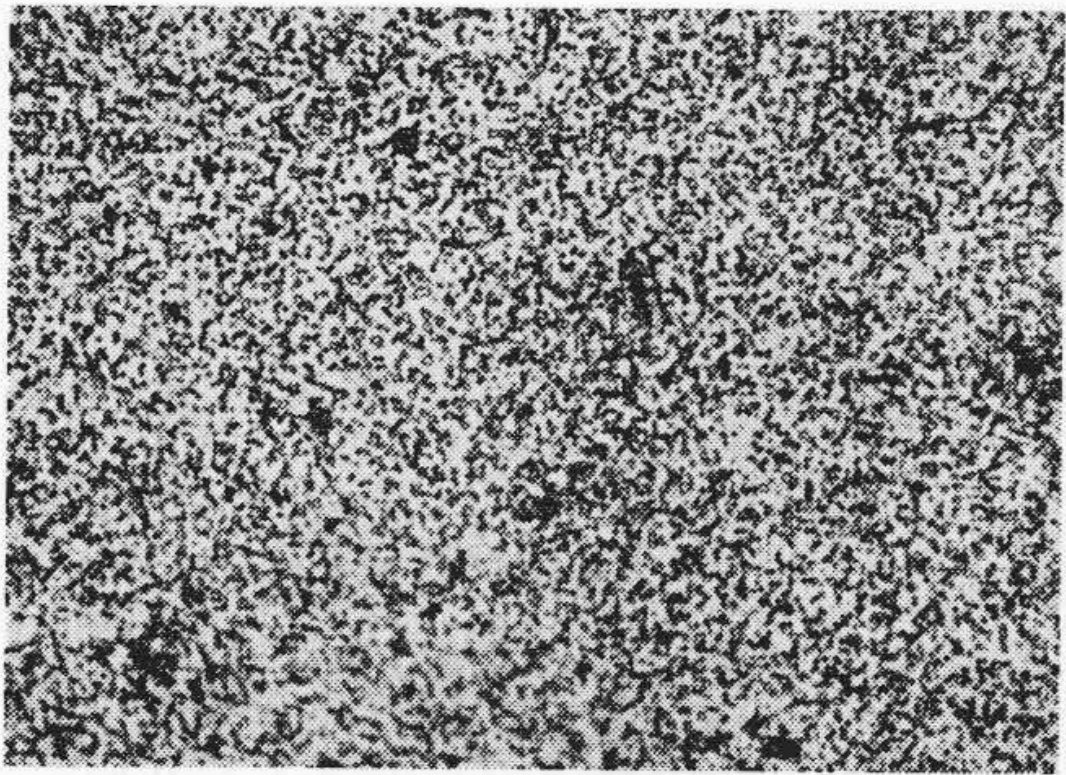
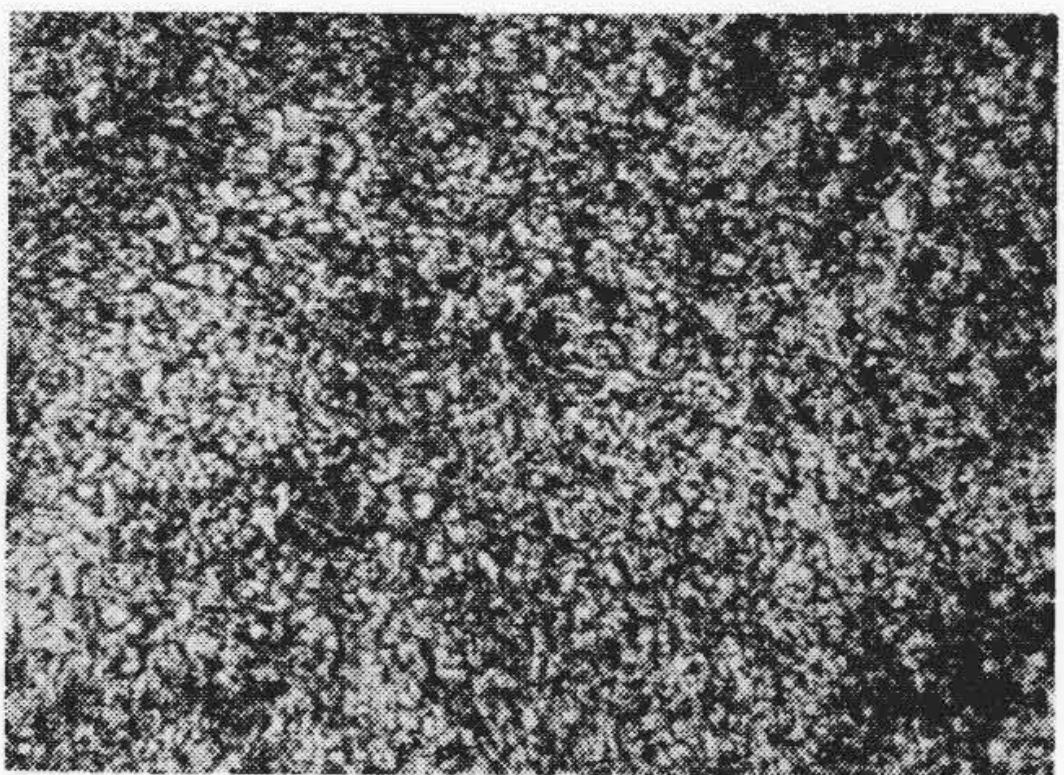


図 1 焼なまし温度とかたさの関係



(a) 焼なまし (かたさ H_B 235)



(b) 1,000℃油焼入れ

図 2 SRE の 組 織 (400 倍)

* 日立金属株式会社安来工場冶金研究所 工学博士

** 日立金属株式会社安来工場冶金研究所

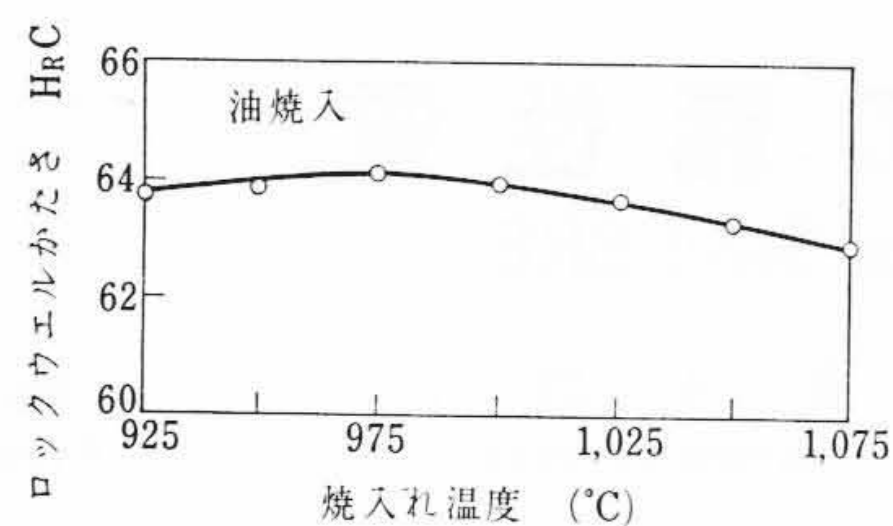


図 3 焼入れ温度とかなたさの関係

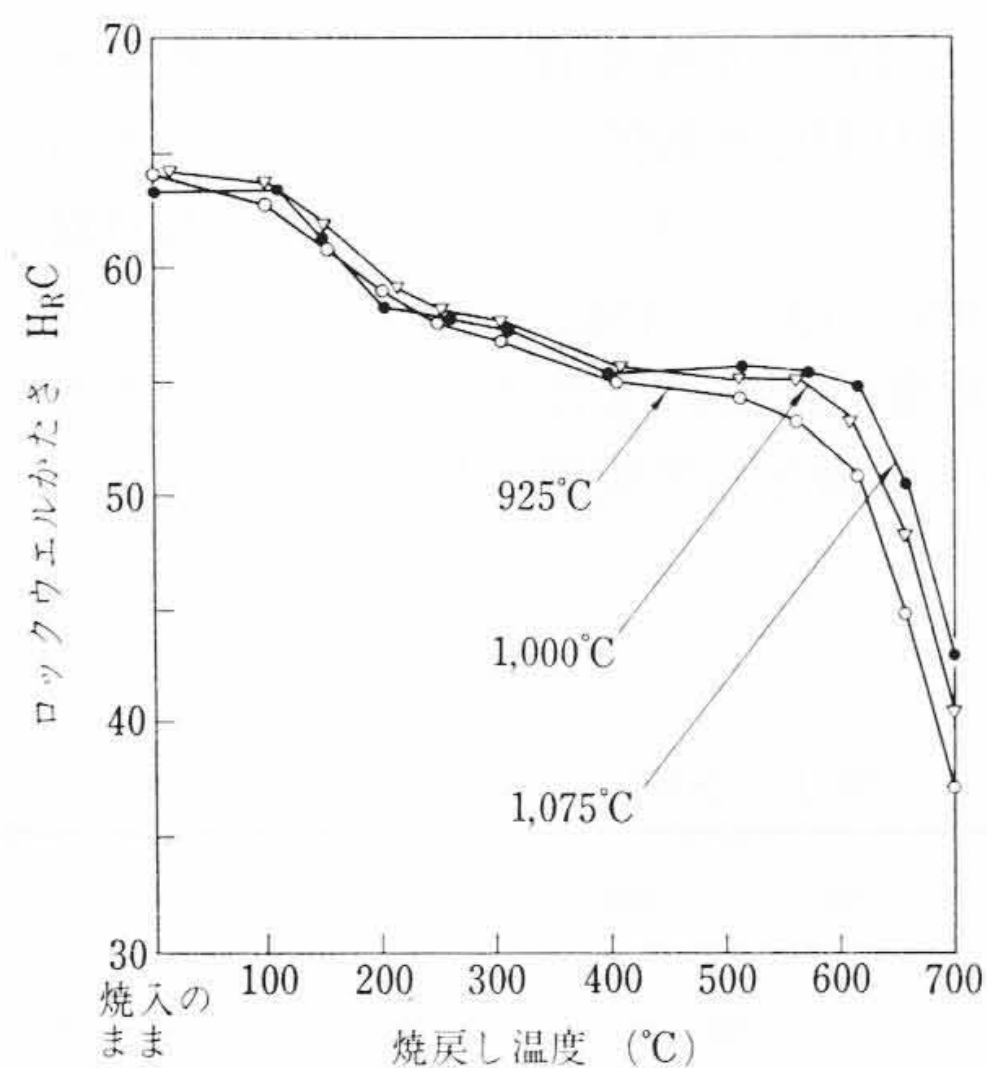


図 4 焼戻し温度とかなたさの関係

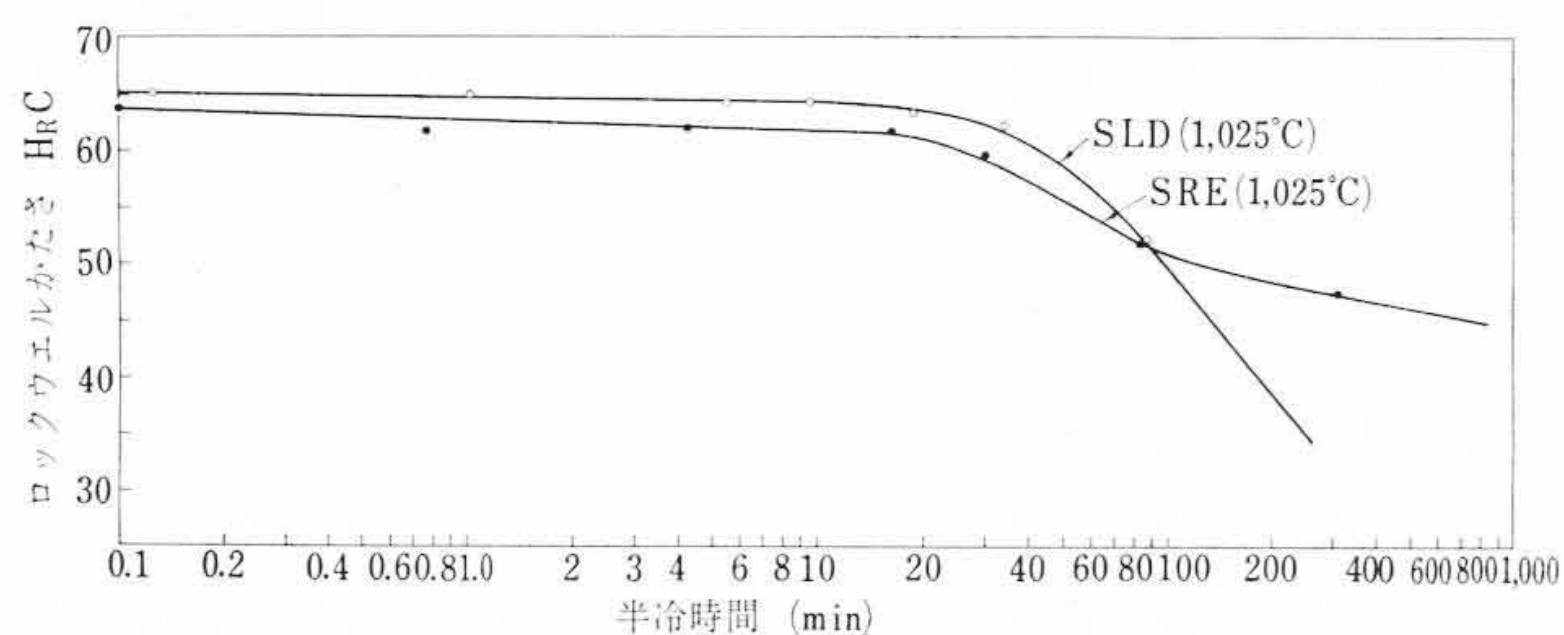


図 5 冷却速度とかなたさの関係

を図 3 に示す。図 2 (b) は 1,000°C 油焼入れの組織を示したものである。焼入れ温度 975°C で焼入れ最高かなたさ H_{RC} 64.1 を示し、1,050°C 以上で焼入れしたものの組織は焼入れ温度の上昇につれて結晶粒粗大化が著しくなる。

2.2.3 焼戻し 特性

さきに示した 900~1,100°C 焼入れした各試料を 100~700°C の温度に繰返し焼戻しを行なって、焼戻し温度とかなたさの関係を求めた結果を図 4 に示す。925~1,050°C 焼入れしたものの 200°C 焼戻しかたさは本実験の場合 H_{RC} 58 以下を示した。また 1,000~1,075°C 焼入れのものは、550°C 焼戻しかたさが H_{RC} 55 以上を示し、焼戻し抵抗の大きいことがわかる。

2.2.4 焼 入 れ 性

直径 14 mm、長さ 15 mm の試験片に種々の冷却速度を与え、焼入れを行なって、冷却速度とかなたさの関係を求めた結果を示したのが図 5 である。

冷却速度は半冷時間で表示した。半冷時間は焼入れ温度から焼入れ温度と室温の平均の温度まで冷却するに要する時間のことである。比較のため、SLD についても併記してある。焼入れかなたさの絶対値が低いので、同一半冷時間に対するかなたさは SLD より一般に低い、焼入れ性は SLD に匹敵するものであることがわかる。かなたさ H_{RC} 61.5 に対応する半冷時間は約 16 分で、すでに明らかにされているところによると⁽⁴⁾、油焼入れの場合、直径が 280 mm までの丸棒なら中心部かなたさ H_{RC} 61 以上が得られる。また空冷の場合は直径 50 mm までの丸棒なら中心部かなたさ H_{RC} 61 が得られる。

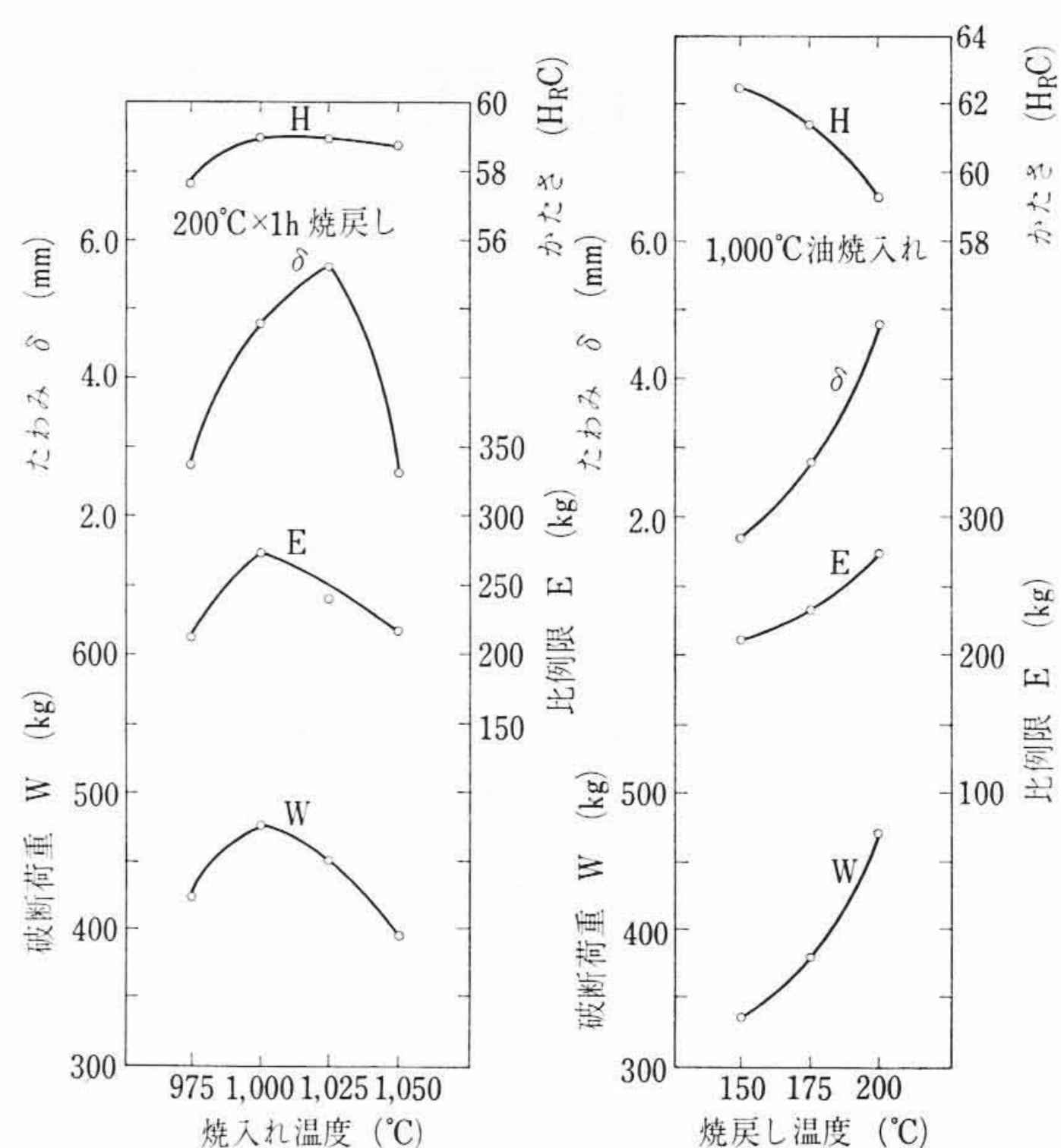


図 6 焼入れ温度と抗折力の関係

図 7 焼戻し温度と抗折力の関係

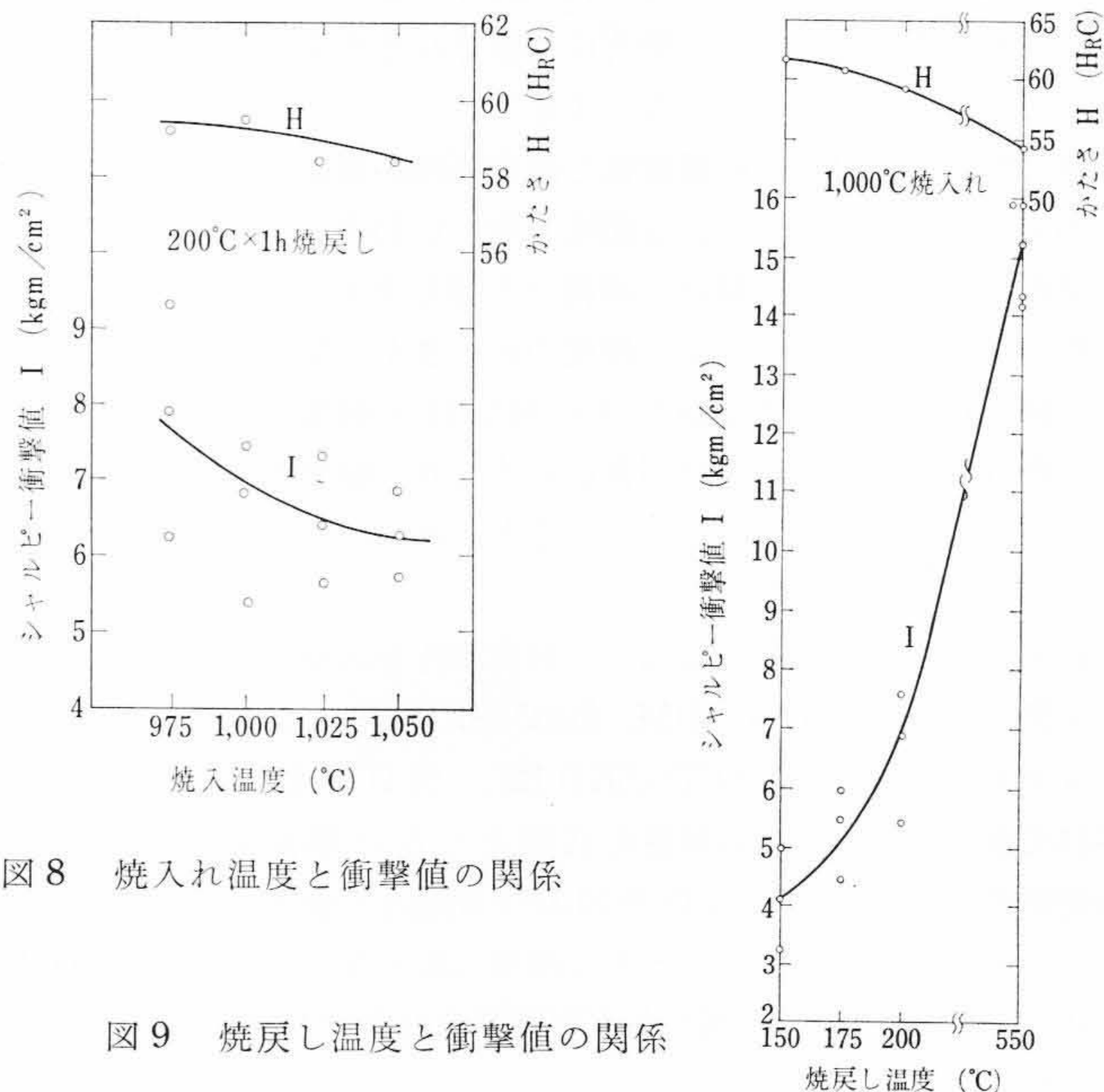


図 8 焼入れ温度と衝撃値の関係

図 9 焼戻し温度と衝撃値の関係

2.3 機械的性質

2.3.1 抗 折 強 度

直径 5 mm、長さ 70 mm の試験片を支点間距離 50 mm、中央一点荷重方式により抗折試験を行ない、熱処理条件と抗折強度の関係を求めた結果を図 6、図 7 に示す。熱処理は 975~1,050°C の各温度より焼入れ、200°C×1 時間焼戻したものである。図 6 が示すように 975~1,050°C 各焼入れのものとも 200°C×1 時間焼戻しで硬度は H_{RC} 57.5~59.0 ではほぼ一定であるが破断荷重は 1,000°C で最高値を示している。また図 7 に示すように、150~175°C で焼戻した硬度の高いものは抗折力が著しく低下し、150°C 焼戻しの破断荷重は 200°C 焼戻しの約 1/2 に低下する。

2.3.2 耐 衝 撃 性

工具鋼は一般に耐衝撃性の小さい材料で、応力集中係数の大きな V 形や U 形のノッチを有する試験片では微小な差異を判定しがたいので、10R 深さ 2 mm の C 形ノッチを有する試験片について衝撃試験を行なった。試料の熱処理は 975~1,050°C 焼入れ、200°C に 1 時間焼戻し、ならびに 1,000°C 焼入れ、150~200°C の各温度に 1 時間焼戻しである。図 8 および図 9 はその結果を示したもの

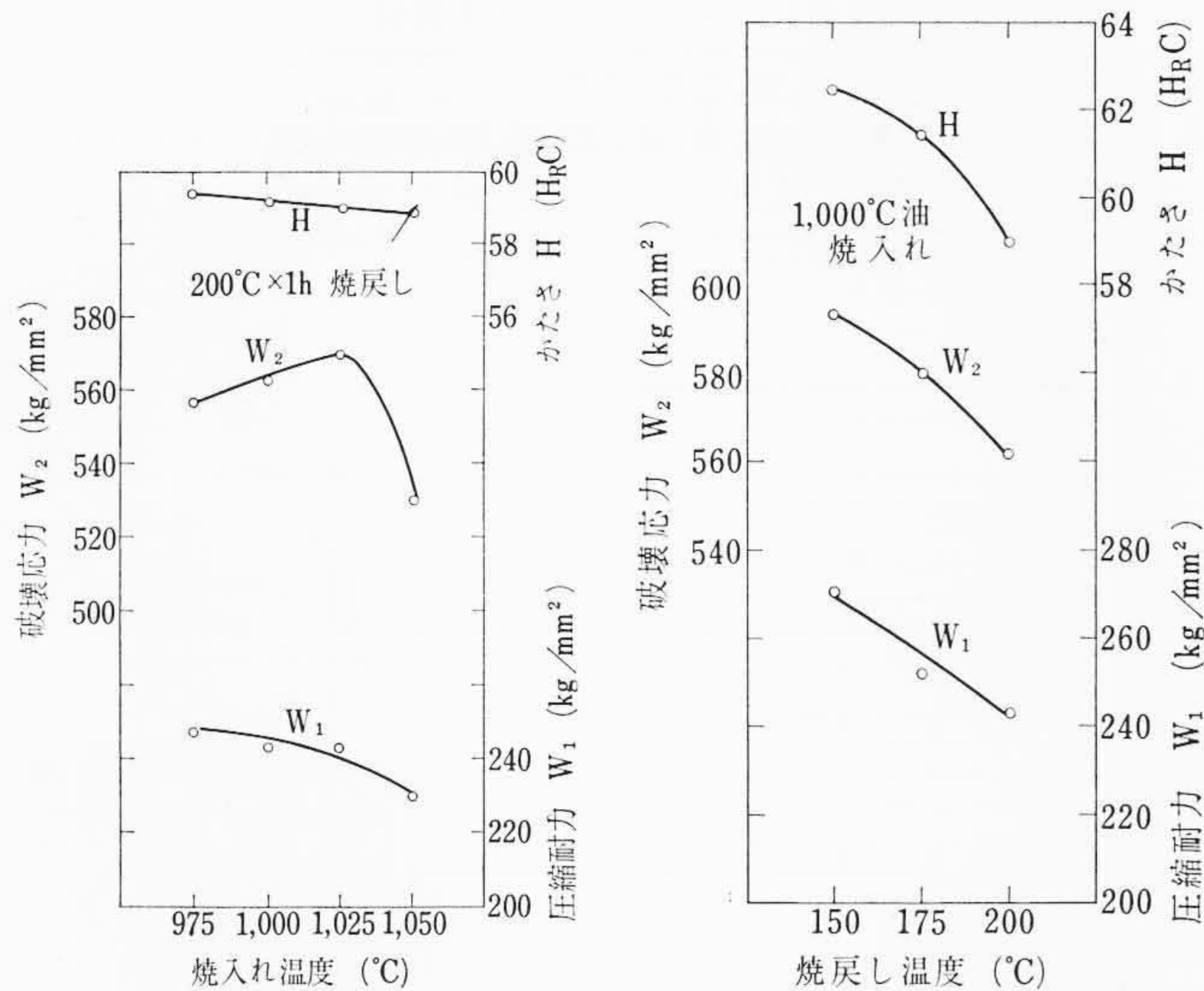


図 10 焼入れ温度と圧縮強さの関係

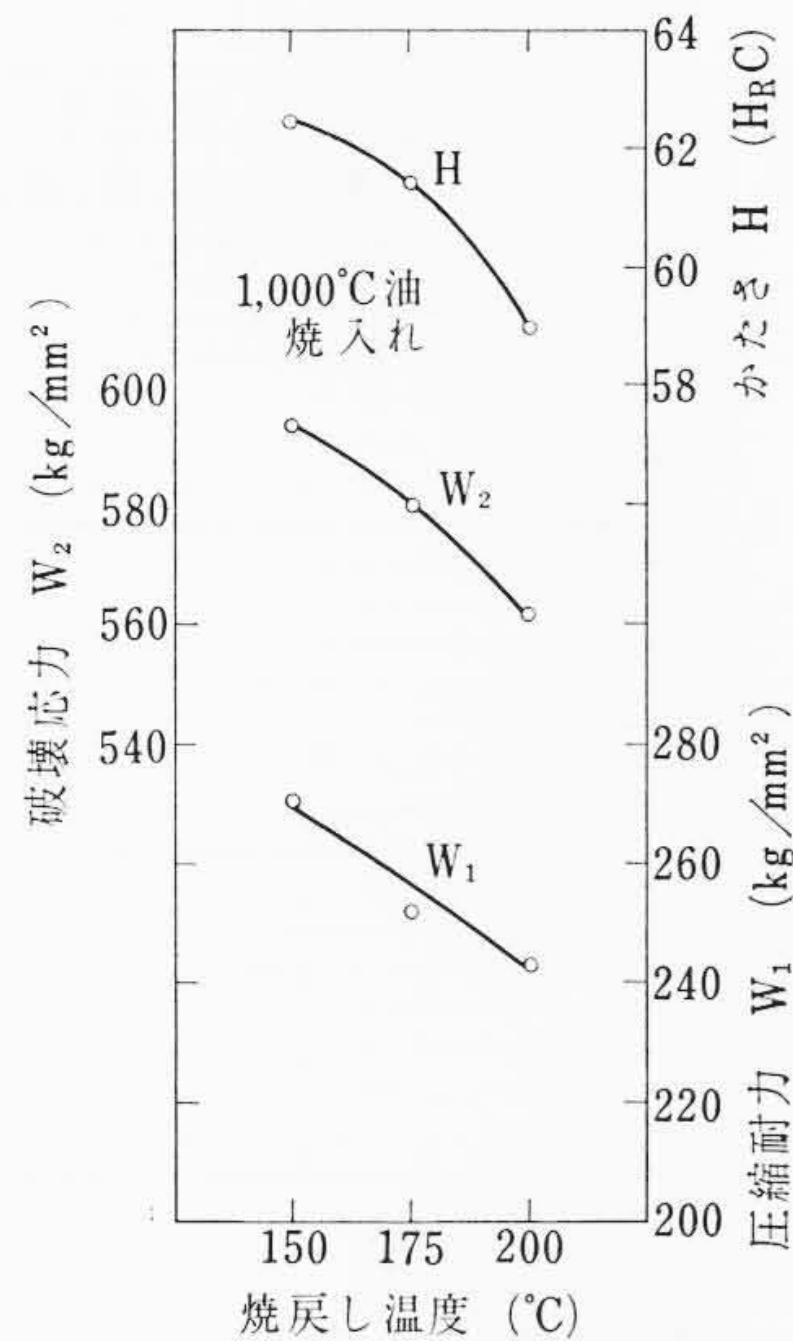
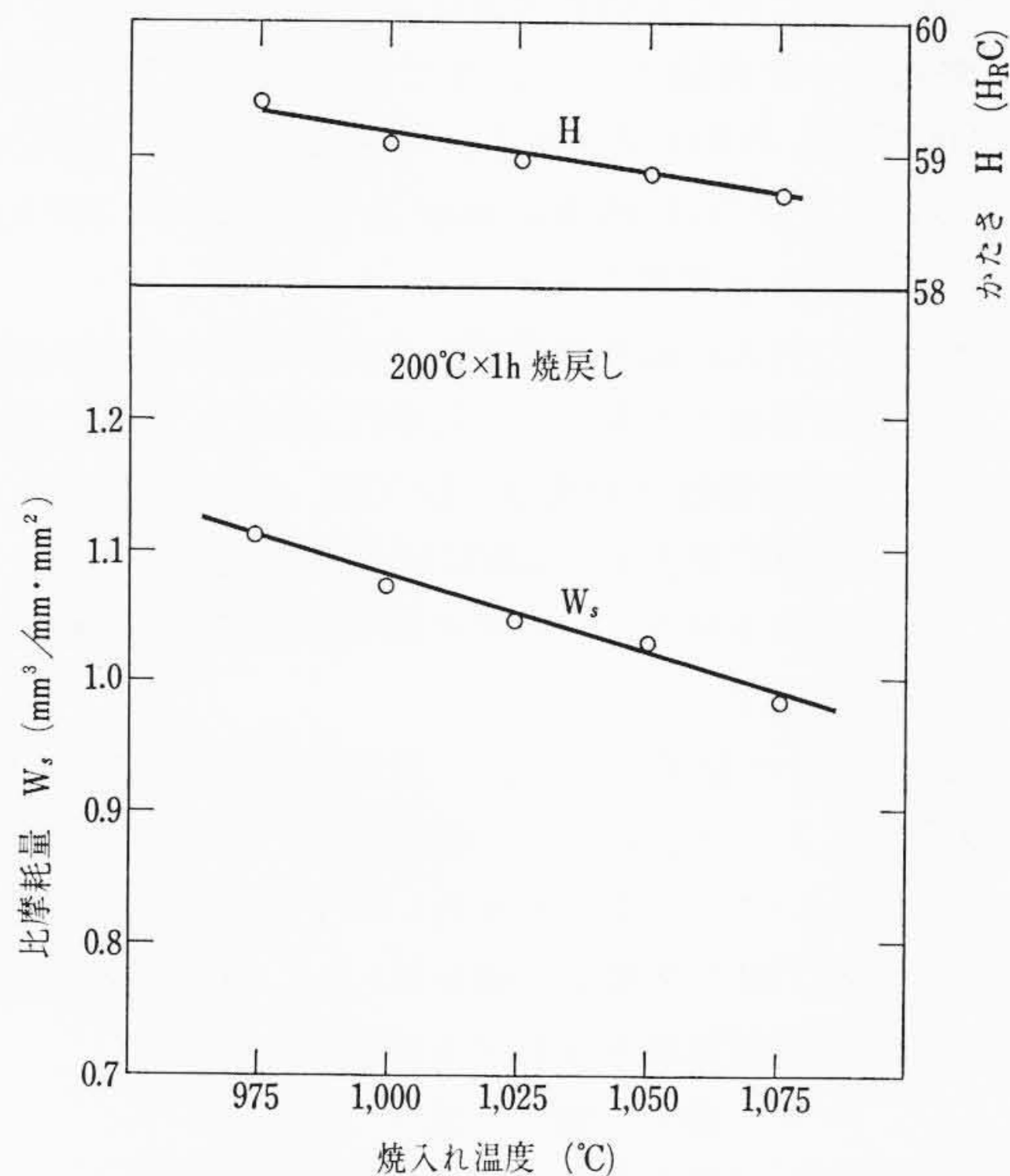


図 11 焼戻し温度と圧縮強さの関係



(注) 比摩耗量：単位接触面積，単位摩擦距離当たりの体積の摩耗量

図 12 焼入れ温度と比摩耗量の関係

である。図 8 のように高い焼入れ温度で焼入れしたもののほど衝撃値を低下し、衝撃値の観点からみると、低目の焼入れ温度が望ましい。また抗折の場合と同様、焼戻し温度が低くかたさの高いものは衝撃値が低く、150°C 焼戻しの衝撃値は 200°C 焼戻しの衝撃値の 60% である。また 550°C 焼戻しかたさ HRC 54.5 のものは 200°C 焼戻しの 200% にまで上昇する。

2.3.3 圧 縮 強 さ

直径 5 mm、長さ 10 mm の試験片を 975~1,050°C の各温度より油焼入れし、200°C で 1 時間焼戻し、アムスラー万能試験機で圧縮試験を行なった結果は図 10, 11 に示すとおりである。破壊応力は、破壊時荷重を試験片原断面積で除したもので、圧縮耐力と名づけられているものは 0.2% オフセット値、0.2% の永久変形に相当する応力値である。図 10 に示すように、ほぼ同一硬度であっても焼入れ温度の上昇により 1,025°C まで圧縮耐力はわずかに低下し、破壊応力はやや増加する。しかし 1,025°C 以上の焼入れでは圧縮耐力破壊応力ともに低下する。圧縮耐力が低いと圧縮応力により塑性変形を生じやすくなるので、200°C に焼戻し HRC 59 程

表 2 摩 耗 試 験 条 件

試 験 機	大越式迅速摩耗試験機
荷 重	6.8 kg
摩 擦 距 離	400 m
摩 耗 速 度	0.78 m/s
相 手 相	SCM 21 焼鈍材 Hv 150

表 3 SRE の推奨熱処理条件

焼 な ま し	焼 入 れ	焼 戻 し
800~850°C 徐 冷	1,000~1,025°C 空冷(油冷)	150~200°C 1 時 間
H _B 245 以 下	H _{RC} 62 以 上	H _{RC} 58 以 上

表 4 かたさ HRC 58~59 における各鋼の比較

	10R ノッチ シャルピー値 kg-m/cm ²	抗折応力 kg/mm ² *	圧縮耐力 kg/mm ²	HRC60 に 相当する半冷 時間 min	比摩耗量 mm ³ / mm-mm ²
SRE 1,000°C 油 200°C 戻	6.3	485	242	30	1.07×10 ⁻⁷
SLD (SKD11) 1,025°C 空 350°C 戻	2.5	322	268	45	0.55×10 ⁻⁷
SCD (SKD12) 950°C 油 250°C 戻	3.6	392	240	15	0.60×10 ⁻⁷
YTT (SKS4) 850°C 油 200°C 戻	17.0	500 以上	—	30 s 以下	—
YSR 950°C 油 200°C 戻	7.5	500 以上	—	30 s 以下	1.40×10 ⁻⁷

YSR : 0.48C, 0.80Si, 1.6Cr, 2.0W, 0.35Mo, 0.3V

*: 5φ の試験片について支点間距離 50 mm で行なった試験結果より算出した。

度のかたさで本鋼を使用するには耐圧縮性の点から考えた場合、1,025°C 以下で焼入れするのが望ましいと考えられる。また図 11 のように同一焼入れ温度の場合は焼戻し温度が低く、かたさの高いほど耐圧縮性は向上する。

2.3.4 耐 摩 耗 性

材料の耐摩耗性は、使用条件によって変化するが、表 2 に示す条件で摩耗試験を行なった結果は図 12 に示すとおりである。試験片は 975~1,075°C の各温度より油焼入れ、200°C に 1 時間の焼戻しをしたもの、1,000°C 焼入れ、150~200°C に焼戻したものである。焼入れ温度によって、摩耗量に大差はないが、焼入れ温度の上昇により、比摩耗量は低下し、やや摩耗抵抗が増加する傾向を示している。これはマトリックス中への合金元素の固溶量が多くなりマトリックスが多少強化されること、焼入れ温度の上昇による残留オーステナイトの増加によって、摩擦面の加工硬化能がやや大きくなることなどによるものと考えられる。また焼入れ温度が一定で焼戻し温度を 150~200°C の範囲に変えたものも摩耗量に大差はない。このような試験機による摩耗は、かなり微視的な大きさで進展するものであるが、大きな圧縮応力のかかるせん断刃の刃先の摩耗には巨視的な大きさで進展する圧縮応力による“へたり”のような現象を通じて摩耗が上記摩耗と混在しているので、耐摩耗性を考える場合、さきの圧縮強さも合わせ考えて熱処理条件を選ぶ必要がある。

2.4 推奨熱処理条件

本鋼の焼鈍温度は 800~850°C が望ましく、この温度より徐冷することによって十分軟化する。SRE を HRC 58 程度のかたさで使用する場合、焼入れ温度は、耐衝撃性の点からは低目が良く、摩擦による微視的な摩耗に対する抵抗の点からは高目が良い。巨視的な摩耗に対する抵抗力を考えての圧縮強さの点からは低目が良く、抗折強度は 1,000°C 前後が最もよいことから焼入れは 1,000~1,025°C、焼

戻しは 150~200℃ が推奨される。また厚物用に特に衝撃値を必要とする場合は高目の 550~600℃ 焼戻しも行なわれる。

3. 他鋼種との比較

標準的な熱処理を行なった場合の各性質を他鋼種と比較して示したのが表 4 である。SRE は従来耐衝撃用鋼として使用されている YSR と同程度の衝撃値を有し、SLD や SCD よりはるかに大きな耐衝撃性を備えており、特に抗折力の著しく大きいことがわかる。また耐摩耗性、焼入れ性ともに YSR よりはるかにすぐれている。大きなもので YSR では焼きのはいらないものでも SRE なら十分焼きがはいり使用することができる。

4. 使用 例

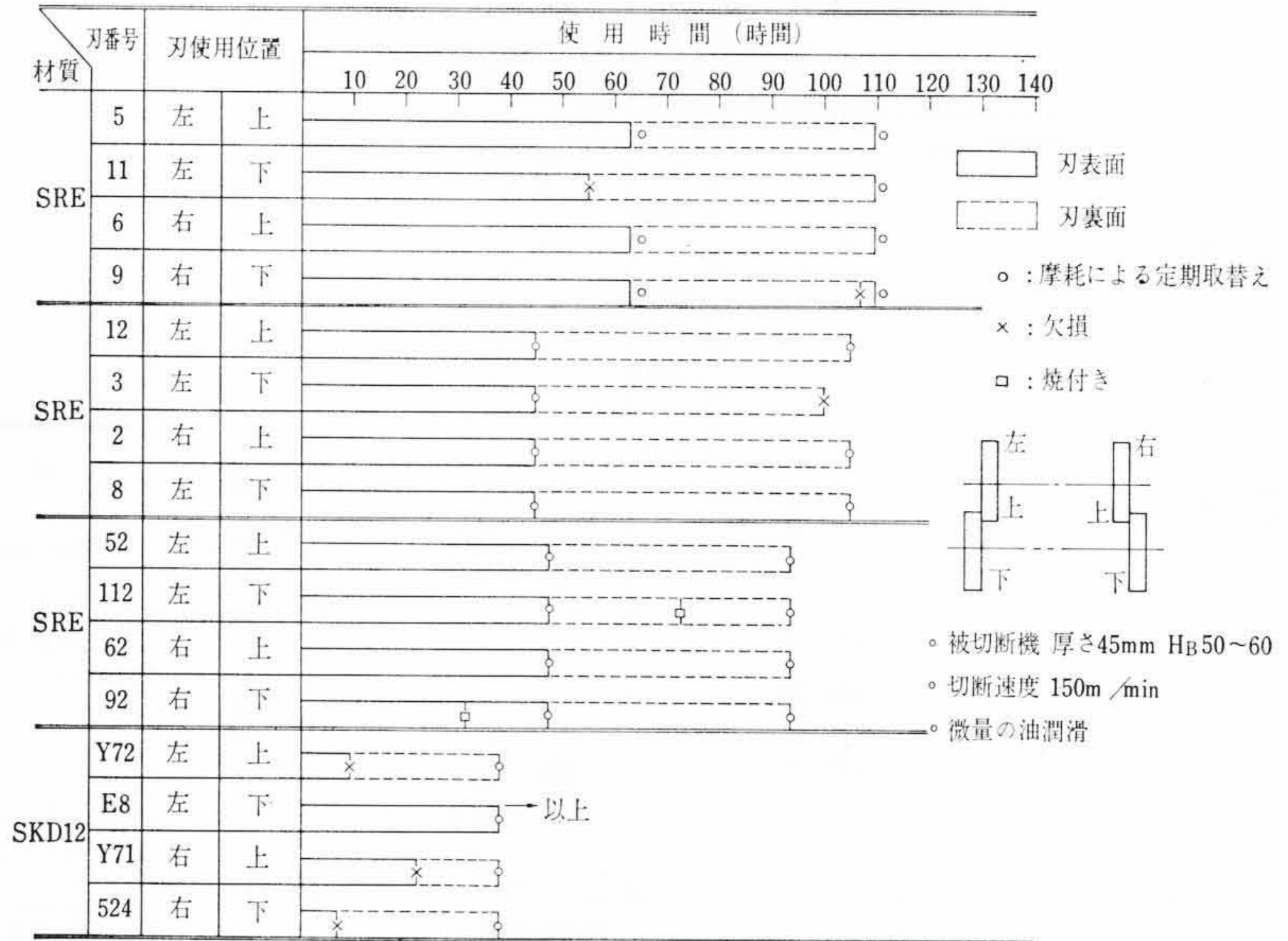
1,000℃ 油焼入れ、200℃ 焼戻し、かたさ H_RC 58~59 の SRE をサイドトリマー丸刃に使用し初回研磨までの使用時間を SKD 12 と比較した結果を表 5 に示す。SRE は欠損が少ないので定期取り換えまでの使用時間は長く、SKD 12 の 2 倍近い値となっている。

5. 結 言

新しい耐衝撃用鋼 SRE の諸性質を調査し紹介してきたが、以下にその結果を要約して示す。

- (1) 焼なまし温度は 800~825℃ が良く、この場合 H_B 245 以下のかたさが得られる。
- (2) 焼入れ温度 975℃ で焼入れ最高かたさ H_RC 64.1 を示す。また 1,050℃ 以上の焼入れ温度では結晶粒の粗大化が著しい。
- (3) 925~1,050℃ 焼入れ、200℃ 焼戻しかたさは H_RC 58 以上を示した。
- (4) 焼入れ性は SLD に匹敵するが焼入れかたさの絶対値がやや小さいので、油焼入れの場合には直径 280 mm までの丸棒なら中心部かたさ H_RC 61 以上が得られ、空冷の場合は直径 50 mm までの丸棒なら中心部かたさ H_RC 61 以上が得られる。

表 5 一連サイドトリマー丸刃使用状況



- (5) 抗折試験における破断荷重は 200℃ 焼戻しの場合、1,000℃ 焼入れで最高値を示し、また焼戻し温度 150℃ のものは 200℃ 戻しの約 1/2 である。1,000℃ 焼入れ、200℃ 焼戻し SRE の抗折力は 485 kg/mm² もあり SCD の 392 kg/mm² に比較すると非常に大きい。
- (6) 本実験の焼入れ温度範囲 975~1,050℃ では焼入れ温度の低いほど衝撃値が上昇した。1,000℃ 焼入れ、200℃ 焼戻しの SRE の耐衝撃性は耐衝撃用鋼 YSR と同程度である。
- (7) 975~1,050℃ 焼入れ、200℃ に焼戻したもののかたさは焼入れ温度の上昇とともにやや低下するが、圧縮耐力も同様の傾向を示す。
- (8) 摩耗試験の結果によると、摩耗抵抗は YSR より大きく SKD 12 より小さいが、実際使用したスリッタカッター丸刃においては、欠けが少ないので初回研磨までの使用時間は SKD 12 の 2 倍近い値を示した。また焼入れ温度は高いほうが摩耗抵抗を上昇する傾向にあった。

参 考 文 献

- (1) 小柴, 清永: 「鉄と鋼」 44, 487 (昭 33-4)