

新肌焼鋼 (YGM 1) の諸性質について

On the Various Properties of the New Case-Hardening Steel

新持喜一郎* 清永欣吾**
Kiichiro Shinji Kingo Kiyonaga

内容梗概

日立金属工業株式会社安来工場においては新しい歯車用肌焼鋼として YGM 1 鋼を試作し実用化研究を行ってきたが、優秀な諸性質をもっていることが判明したので、その結果について報告する。

YGM 1 は Cr-Mo 肌焼鋼 (SCM 21) に Mn を約 1.5~1.8% 加えたもので、熱処理ひずみのわずかであること、耐摩耗性の大きいこと、機械的性質特に引張り性質が優秀であり従来の Ni-Cr-Mo 鋼 (SNCM 25) に十分代用できる性質をもっている。本報告はこれらの諸結果をまとめたものである。

〔I〕 緒言

滲炭歯車材はその性質として表面硬度、耐摩耗性、靱性を有し、熱処理による変形の少ないことが要求される。特に肌焼鋼においては熱処理による変形が大きく、歯車として用いる場合に各種の困難を生じる。鋼に Mn を添加した場合、臨界冷却速度は遅くなり、Ar₃, Ar₁ 変態点が降下することは周知のことであるが⁽¹⁾、これらの性質は熱処理によるひずみを軽減し、機械的強度を増大させることが予想される。かかる観点から Cr-Mo 肌焼鋼に Mn を添加することによつて熱処理ひずみのわずかな、しかも機械的性質の優秀な肌焼鋼を得んと試み、各種の研究から新肌焼鋼として YGM 1 鋼を造つた。本報告は YGM 1 鋼の熱処理ひずみ、機械的性質、耐摩耗性その他について研究した結果をまとめたものである。

〔II〕 成分および変態点の生起状況

YGM 1 の成分範囲は第 1 表に示すとおりで、SCM 21 に Mn 1.5~1.80% を含有せしめ、さらに強靱性を増すために Si を 0.3~0.6% 加えている。

第 2 表は変態点の測定に用いた試料の化学成分、第 3 表は本多式熱膨脹計による試料の変態点を示す。これによれば YGM 1 は SCM 21 に比較して加熱変態開始温度を約 30°C、冷却変態点 (5°C/min) を約 40°C 低下せしめる。また炉冷の場合には Ar' 変態を起す。MnC は YGM 1 の滲炭部に相当する成分であるが、これは空冷によつて Ar'' 変態の生ずることがわかる。

〔III〕 滲炭特性

第 1 図は YGM 1, SCM 21, SNC 21, SNC 22 の滲炭特性を示す。調査に用いた滲炭剤は大阪工業薬品株式会社の製造になる GT 固形滲炭剤である。一般に Cr-Mo 系肌焼鋼の滲炭能は Ni-Cr 系のものに比較して大きく、特に YGM 1 の滲炭能は大きい。

* 日立金属工業株式会社安来工場工博

** 日立金属工業株式会社安来工場

第 1 表 YGM 1 の規格成分範囲

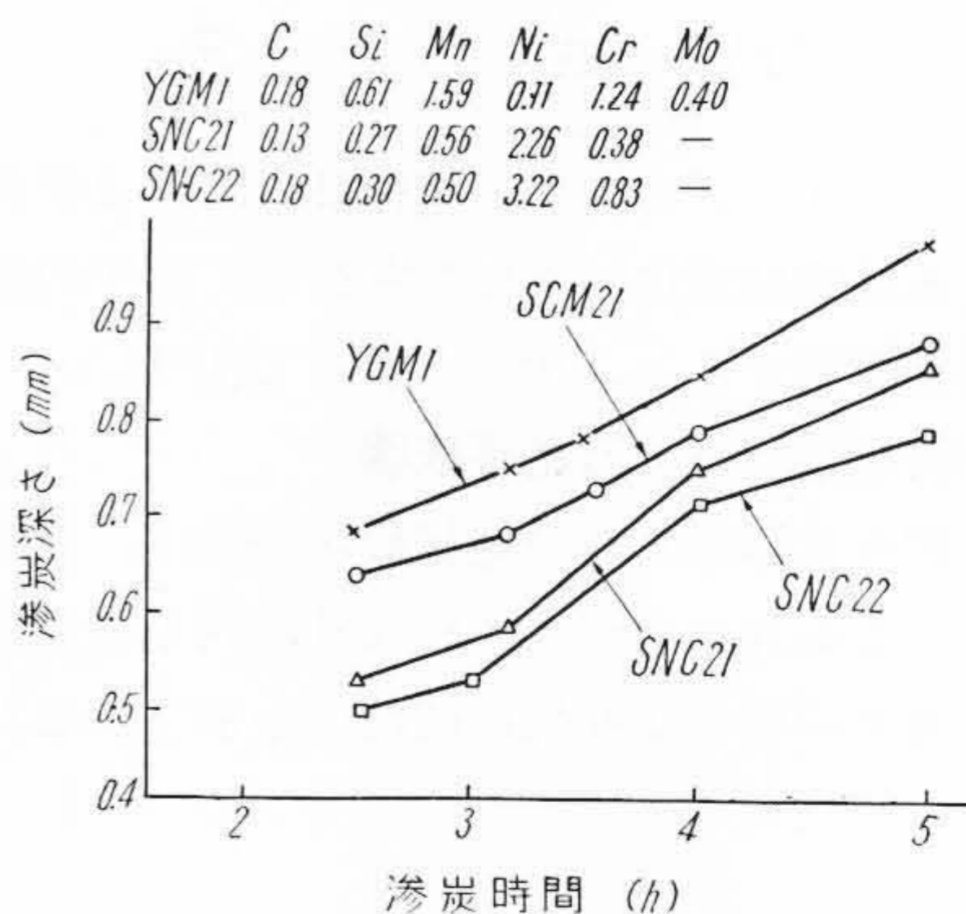
| C | Si | Mn | P | S | Cr | Mo | Cu |
|-----------|-----------|-----------|--------|--------|-----------|-----------|-------|
| 0.15~0.20 | 0.30~0.60 | 1.50~1.80 | <0.030 | <0.030 | 1.00~1.20 | 0.20~0.40 | <0.35 |

第 2 表 変態点測定試料の化学成分

| 鋼種 | C | Si | Mn | P | S | Ni | Cr | Mo | Cu |
|--------|------|------|------|-------|-------|------|------|------|------|
| YGM 1 | 0.19 | 0.30 | 1.56 | 0.018 | 0.010 | 0.08 | 1.06 | 0.30 | 0.11 |
| (MnC) | 1.03 | 0.30 | 1.60 | 0.036 | 0.010 | 0.15 | 1.27 | 0.28 | 0.09 |
| SCM 21 | 0.16 | 0.26 | 0.70 | 0.015 | 0.007 | 0.12 | 1.15 | 0.16 | — |

第 3 表 試料の変態点

| 試料 | 加熱 (5°C/min) | 冷却 | |
|--------|--------------|---|-----------|
| | | 炉冷 (5°C/min) | 空冷 |
| YGM 1 | 744~835°C | (Ar ₁) 649~663°C (Ar') 438~383°C | 513~411°C |
| MnC | 746~787°C | 676~643°C | 154°C~ |
| SCM 21 | 779~827°C | 739~689°C | |



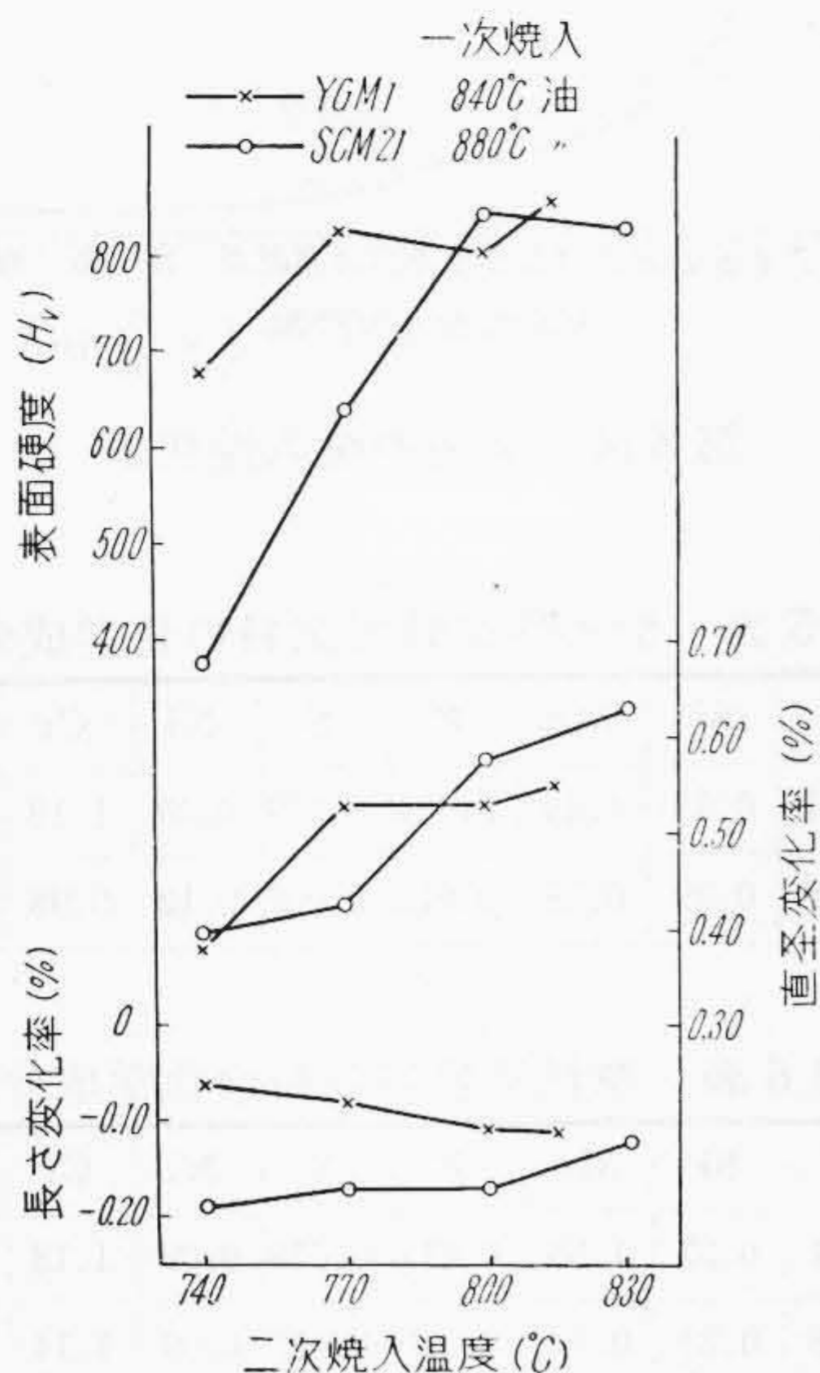
第 1 図 試料の滲炭特性線図

〔IV〕 熱処理ひずみ

8φ×80mm のひずみ測定試験片を製作し、各種の熱処理を施した場合のひずみについて調査した。ここではその一部を報告する。使用した試料は YGM 1 と SCM 21 でその化学成分を第 4 表に示す。試料は木炭粉と炭酸バリウム (混合比 6:4) の滲炭剤中で 950°C×4 時間滲炭の

第4表 ひずみ測定試料の化学成分

| 試料 | C | Si | Mn | P | S | Ni | Cr | Mo | Cu |
|-------|------|------|------|-------|-------|------|------|------|------|
| YGM1 | 0.18 | 0.10 | 1.66 | 0.034 | 0.009 | 0.13 | 1.12 | 0.29 | 0.18 |
| SCM21 | 0.16 | 0.26 | 0.70 | 0.015 | 0.007 | 0.12 | 1.19 | 0.16 | — |



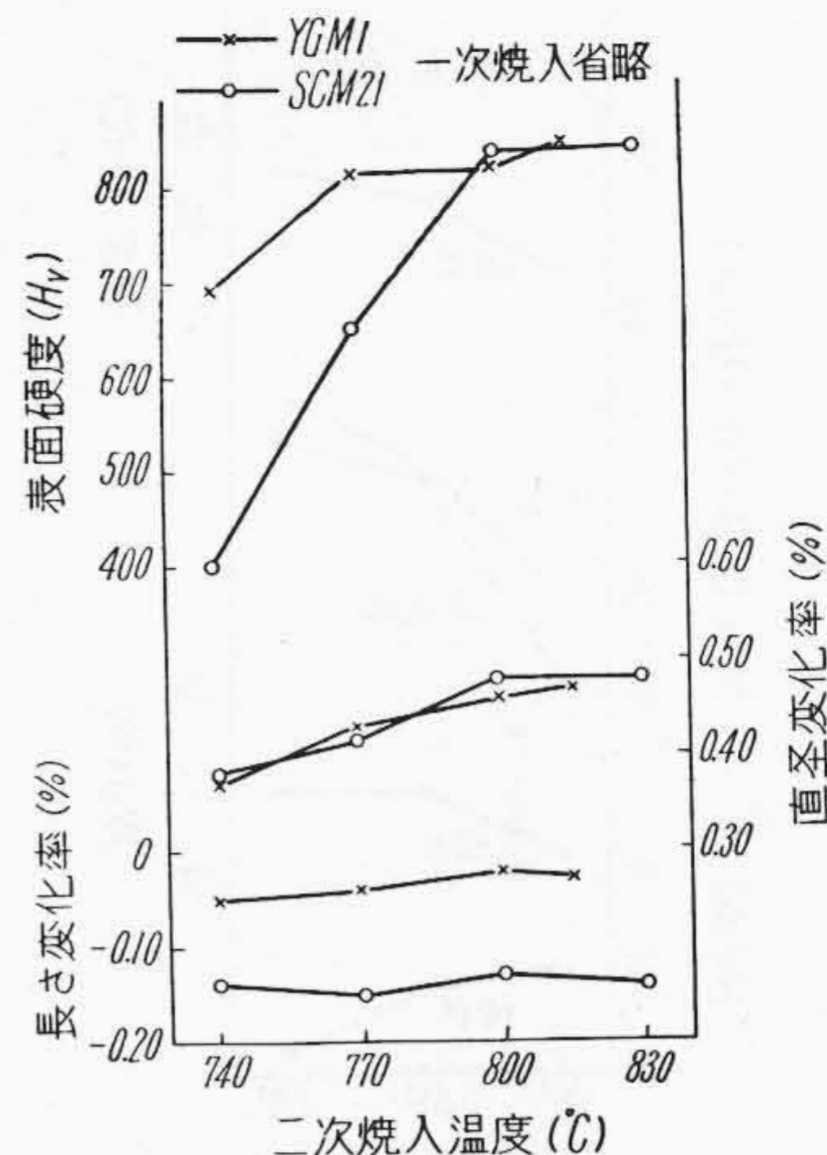
第2図 試料の二次焼入温度と熱処理ひずみの関係

後熱処理を行つた。試料の寸度はマイクロメータによりμ単位まで測定し熱処理変形率としては滲炭前の寸度に対する熱処理後の寸度の百分比で示した。

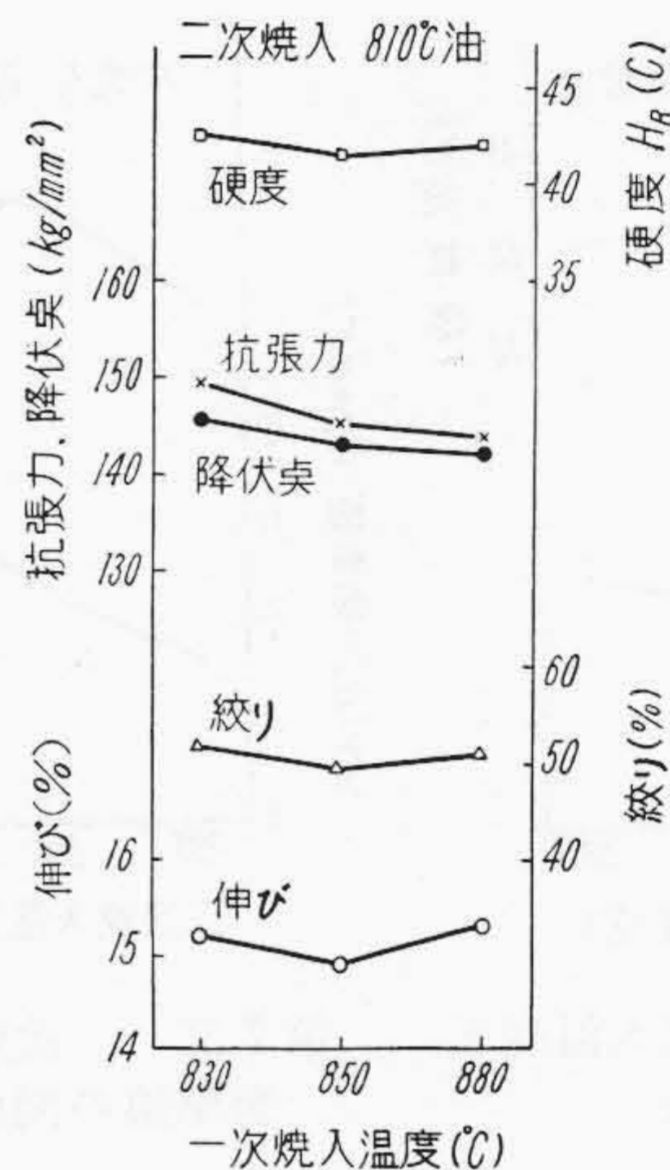
第2図は一次焼入、二次焼入および焼戻(180°C×1時間)を行つたのちの試料の熱処理ひずみで二次焼入温度が低下するにつれて直径変化率は減少する。長さ変化率はYGM1は減少し、SCM21は増加する。二次焼入温度770°CではSCM21の表面硬度は低下するが、YGM1はなお高い硬度を保有している。一次焼入を省略した場合の二次焼入温度と熱処理ひずみの関係を第3図に示すが、やはり熱処理温度の低下につれてひずみが減少することがわかる。ただし長さ変化率の変化はわずかである。したがつて熱処理ひずみを減少させるには一次焼入を省略し、二次焼入温度をできるだけ低くすることが必要であり、これによつてYGM1はSCM21よりもわずかな熱処理ひずみを得ることが可能となる。

〔V〕 機械的性質

次に熱処理温度と機械的性質について調査した結果を報告する。試料の化学成分は変態点測定に用いた試料と同じで、C 0.19%、Si 0.30%、Mn 1.56%、P 0.018%、S 0.010%、Ni 0.08%、Cr 1.06%、Mo 0.30%、Cu 0.11%、である。試料は焼鈍素材より所定の寸度の試験片に加工後、ただちに一次、二次焼入を行い、130°C×1時間焼戻し



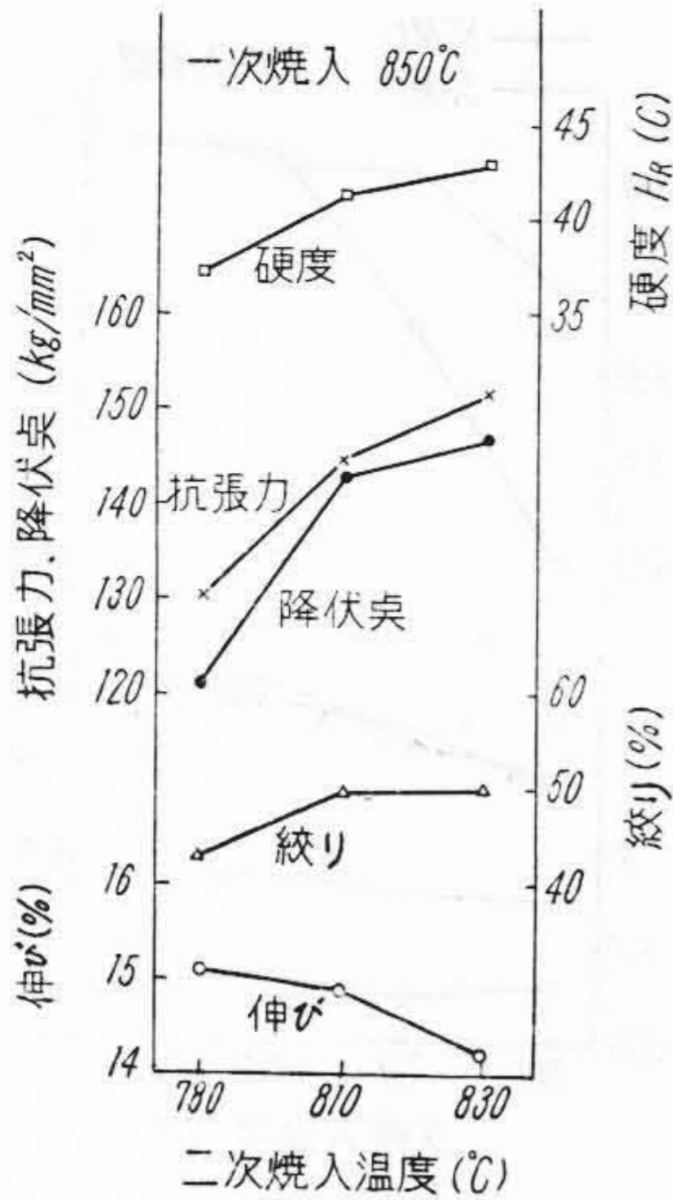
第3図 一次焼入を省略した場合の二次焼入温度と熱処理ひずみの関係



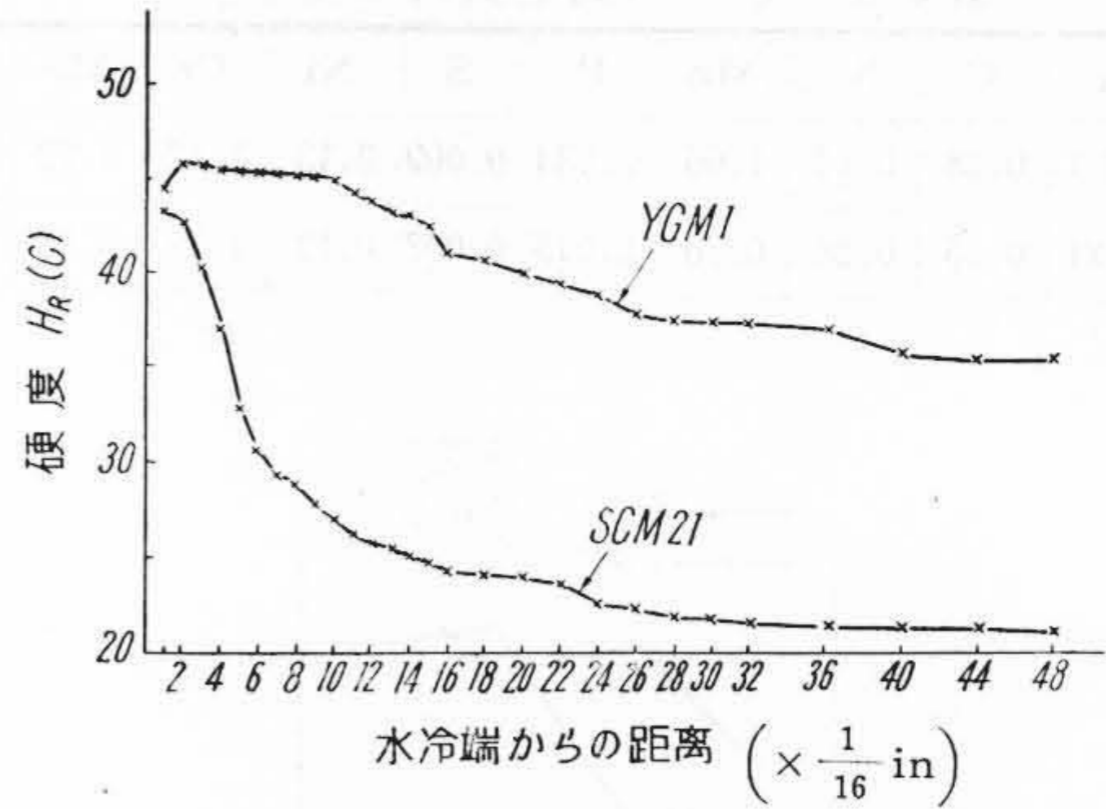
第4図 一次焼入温度と機械的性質の関係

た。第4図は一次焼入温度と抗張力、降伏点、伸び、絞り、硬度の関係を示したもので一次焼入温度の相違に基く顕著な効果は認められない。第5図は二次焼入温度と機械的性質の関係を示すが、二次焼入温度の上昇につれて硬度および機械的強度は著しく増加する。一方伸びは減少するが、絞りは改善される。注目すべきことは二次焼入温度が810~830°Cで抗張力が約150 kg/mm²に達することで、従来のSCM21が最高110~120 kg/mm²であるのに比較してきわめて大きい。この値はSNCM25のそれに匹敵するものである。

第6,7図は一次および二次焼入温度と衝撃値の関係を示す。一次、二次焼入温度の上昇は衝撃値を改善する。特に二次焼入温度の影響が著しい。このようにYGM1の機械的性質はきわめて優秀であり、特に二次焼入温度を810~830°Cにとることによつて改善される。またこ



第 5 図 二次焼入温度と機械的性質との関係



第 8 図 試料の焼入性曲線

第 5 表 焼入性試験用試料の化学成分

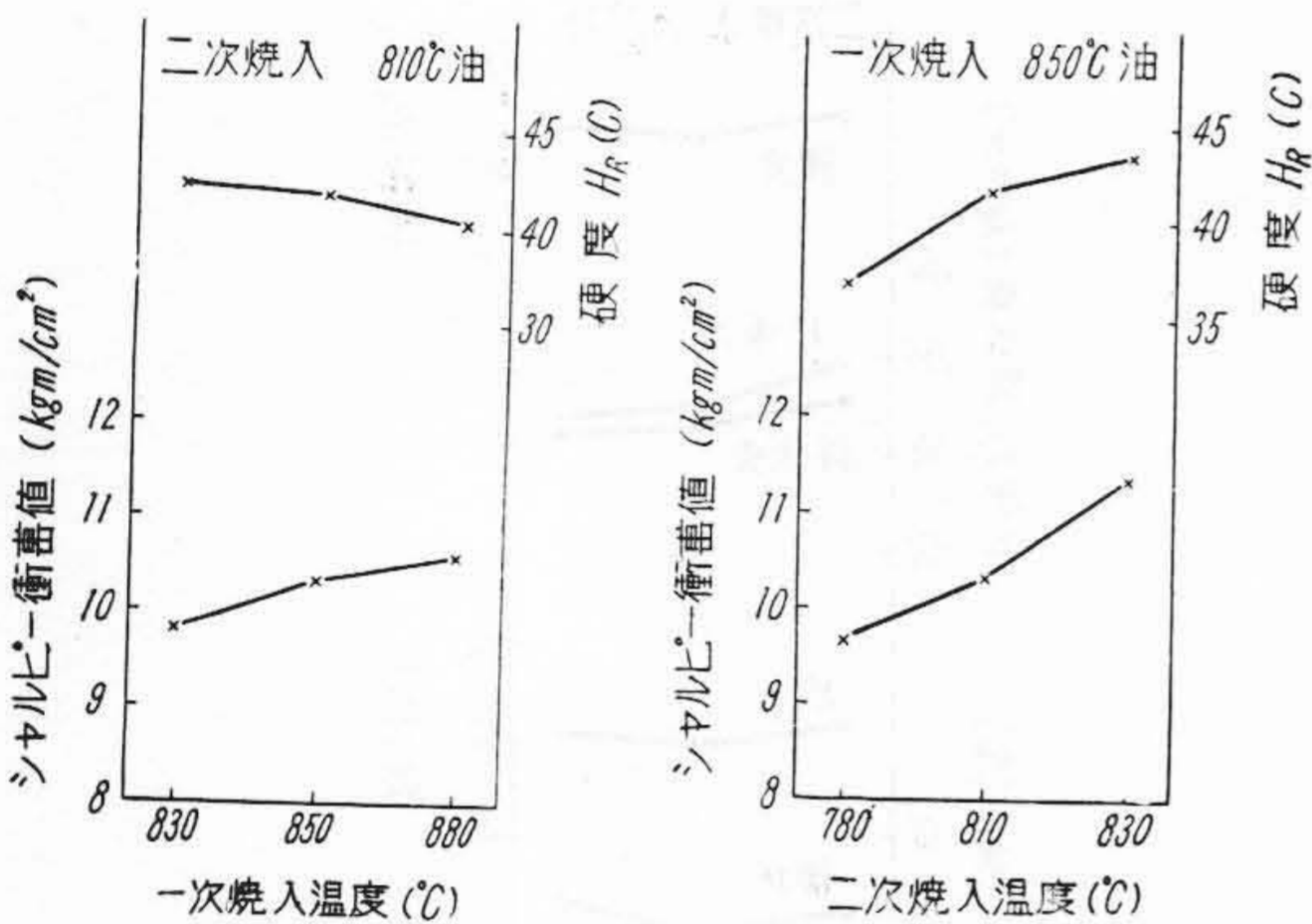
| 試料 | C | Si | Mn | P | S | Ni | Cr | Mo | Cu |
|--------|------|------|------|-------|-------|------|------|------|------|
| YGM 1 | 0.21 | 0.35 | 1.65 | 0.001 | 0.019 | 0.09 | 1.13 | 0.32 | 0.03 |
| SCM 21 | 0.16 | 0.29 | 0.58 | 0.013 | 0.007 | 0.12 | 0.98 | 0.20 | 0.18 |

第 6 表 摩耗試験用試料の化学成分

| 試料 | C | Si | Mn | P | S | Ni | Cr | Mo | Cu |
|--------|------|------|------|-------|-------|------|------|------|------|
| YGM 1 | 0.21 | 0.35 | 1.65 | 0.011 | 0.019 | 0.09 | 1.13 | 0.32 | 0.03 |
| SCM 21 | 0.18 | 0.30 | 0.74 | 0.016 | 0.007 | 0.09 | 1.14 | 0.25 | 0.21 |

第 7 表 摩耗試験用試料の熱処理

| 試料 | 滲炭 | 二次焼入(°C) | 焼戻(°C) | 硬度(HRC) |
|--------|-----------|----------|--------|-----------|
| YGM 1 | 950°C×4時間 | 770 油 | 180 | 63.0~64.0 |
| SCM 21 | " | 790 油 | 180 | 62.0~63.0 |



第 6 図 一次焼入温度と衝撃値の関係

第 7 図 二次焼入温度と衝撃値の関係

の鋼の衝撃遷移特性を調査した結果では-50~-70°Cの間に遷移温度があり、-50°C以上では常温の衝撃値と大差はない。

〔VI〕 焼 入 性

Mn は合金元素のうちでもつとも焼入性を増加させるものであり、Mn を 1.50~1.80% 含有する YGM1 では、その焼入性がかなり改善されることが予想される。第 8 図は YGM1 と SCM 21 の焼入性曲線を比較したもので、その化学成分を第 5 表に示す。YGM1 の焼入性がきわめて大きいことは明りようである。YGM1 の C 量が若干高いので初期硬度は高くでているが、曲線の傾向は C 量によつて大差ないと思われる。

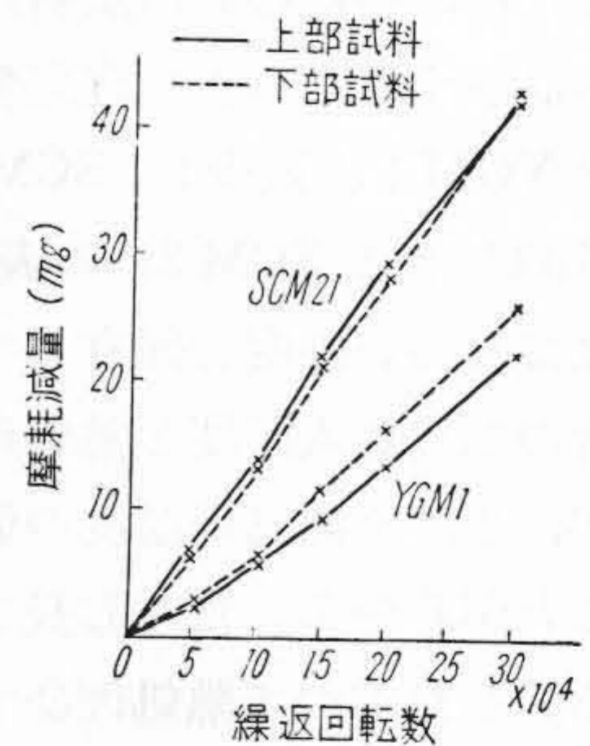
この結果と SNCM 25 および SNC 22 の焼入性帯を比較すれば、YGM1 鋼が SNC 22 より焼入性は大きく、SNCM 25 に匹敵するものであることは明りようである。

〔VII〕 耐摩耗性

歯車用鋼に要求される他の重要な性質に耐摩耗性がある。ここでは西原式摩耗試験機によつて YGM1 と SCM 21 のそれとを比較した結果について報告する。

試験条件は乾燥状態、じりなし、最大圧縮応力 60 kg/mm² で同種試料の組合せ摩耗を行つた。試料の化学成分は第 6 表に示すとおりで、熱処理方法を第 7 表に示す。まず初期摩耗を除くために 10,000 回転 (走行距離約 1,000 m) 運転した後、5×10⁴ 回転おきの摩耗減量を mg 単位まで秤量した。

試験結果を第 9 図に示す。これは定常摩耗の範囲にあるので、摩耗減量と繰り返し回転数はほぼ直線的関係にある。この結果は明らかに YGM1 の耐摩耗性が SCM 21 のそれとをまさることを示している。



第 9 図 試料の繰り返し回転数と摩耗減量の関係

〔VIII〕 滲炭時に現われる異常硬度

900°C×4時間滲炭した YGM1 の滲炭硬度をたまたま測定した場合に、第10図に示すような異常硬度分布を示した。すなわち滲炭深さ 0.3 mm までは硬度は徐々に低下し 0.3 mm 以上で急激に硬度を増加する。0.5~0.7 mm の間で最高の硬さを示し、0.7~0.9 mm でふたたび急速に軟化し、0.9 mm 以上では徐々に軟くなる。この試料の滲炭部の組織をみると、0.3 mm までは若干の網状セメンタイトと共析組織からなり、滲炭組織としては正常なものである。異常硬度を示した部分には下部ベイナイトと思われる組織があり、さらに内部では F+P 組織となる。これを 840°C で油焼入すると第10図の上を示すごとく、滲炭時の異常硬度の影響は消える。滲炭後の試料の冷却速度はかなり遅く 900°C より 200°C 程度まで試料が冷却するのに約5時間を経過している。このように冷却速度がきわめて遅いにもかかわらず、中C部でかかる高い硬度を保有することはかなり興味のある事実を含んでいる。

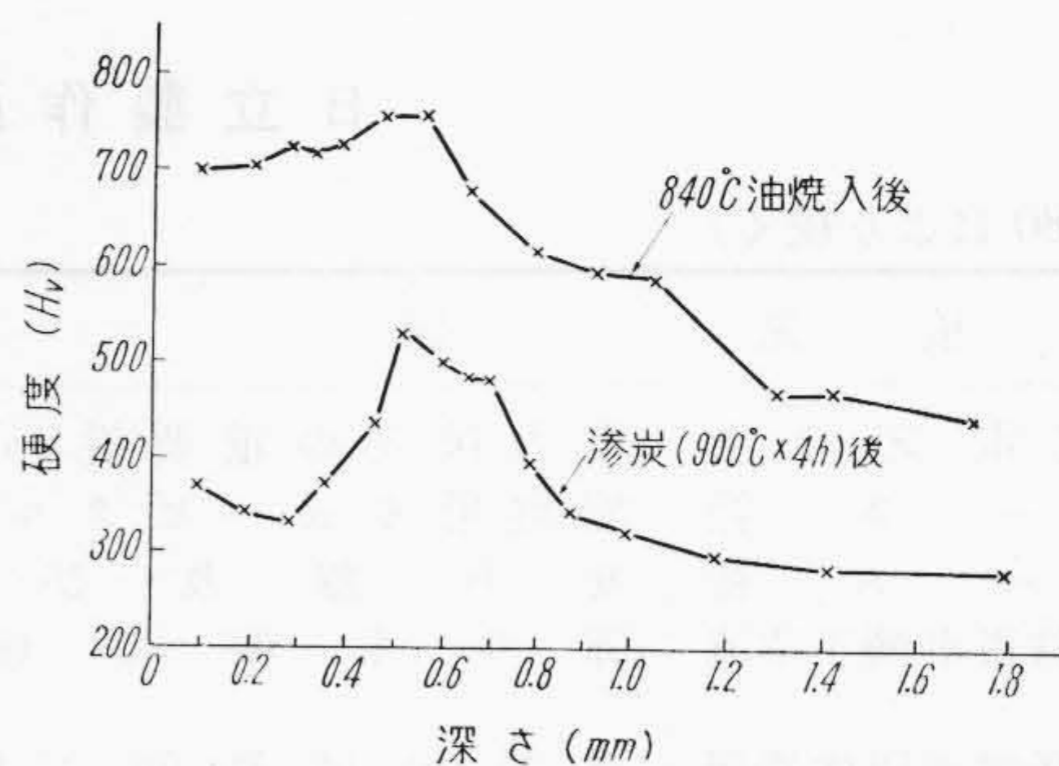
まず表面からの深さと滲炭C量（化学分析による）の関係を求め、滲炭部の異常硬度を示す部分のC量を調査した。試料の化学成分は C 0.15%, Si 0.44%, Mn 1.73%, P 0.021%, S 0.003%, Ni 0.09%, Cr 1.03%, Mo 0.40%, Cu 0.10% である。

第11図は上記実験の結果であるが、異常硬度を示す部分は約 0.65~0.3% のC量に相当し、0.55% Cのところでは最高硬度を示す。

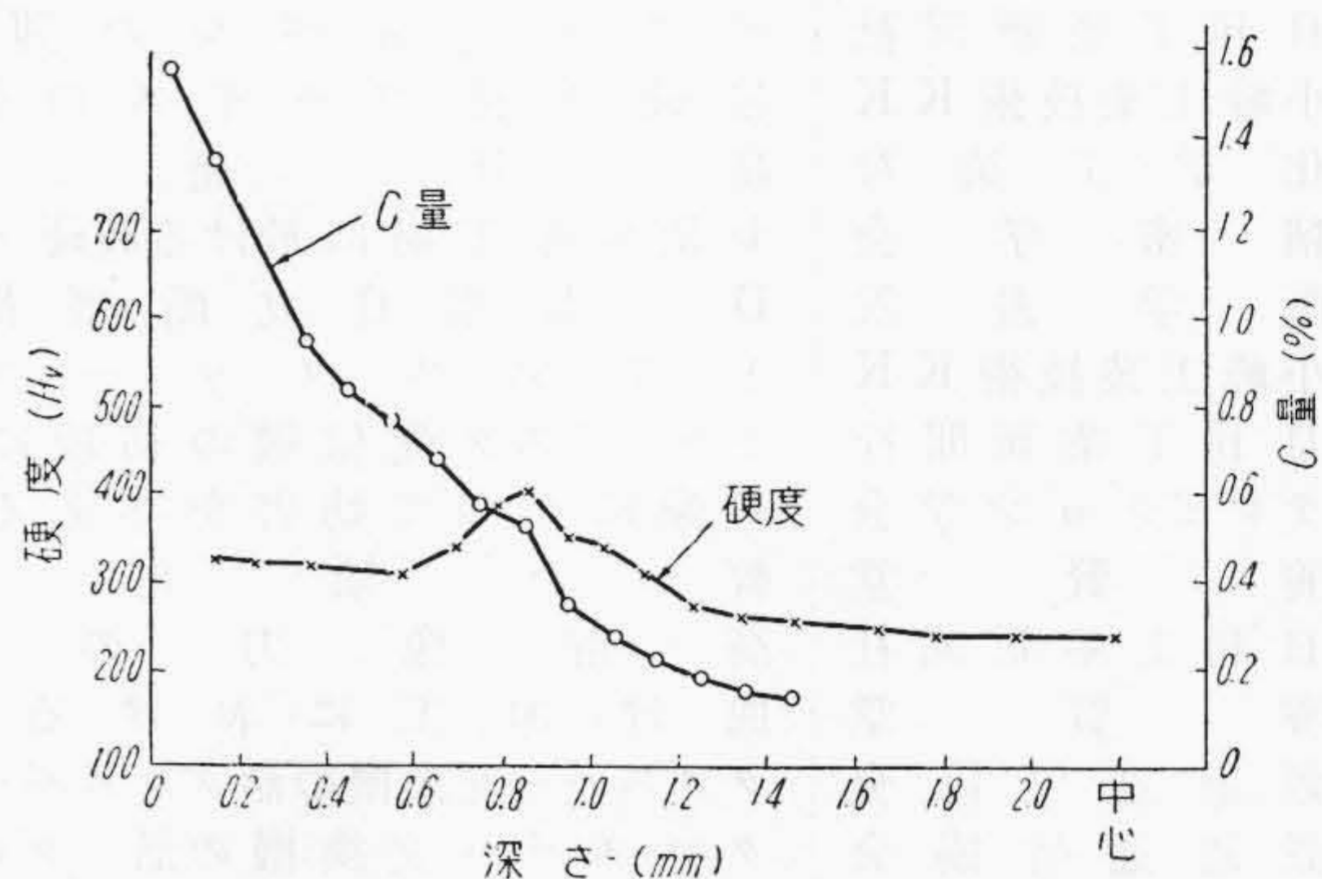
次に各種の冷却速度を与えた場合の滲炭硬度について吟味した。これらの結果をまとめると第12図のようになる。これは滲炭深さの代わりにC量をとつたもので、C量と冷却速度（800~500°C までの冷却時間）および硬度の関係として示した。中C部（0.3~0.7%）で冷却速度 1,000~10,000 秒に明りような異常硬度部を認めることができる。すなわちこの範囲が安定なベイナイト形成を起しやすく、滲炭の場合の異常硬度の原因となる。なお同様な傾向は SNCM 25, SCM 21, S 15 CK などについてはほとんど認められない。

〔IX〕 結 言

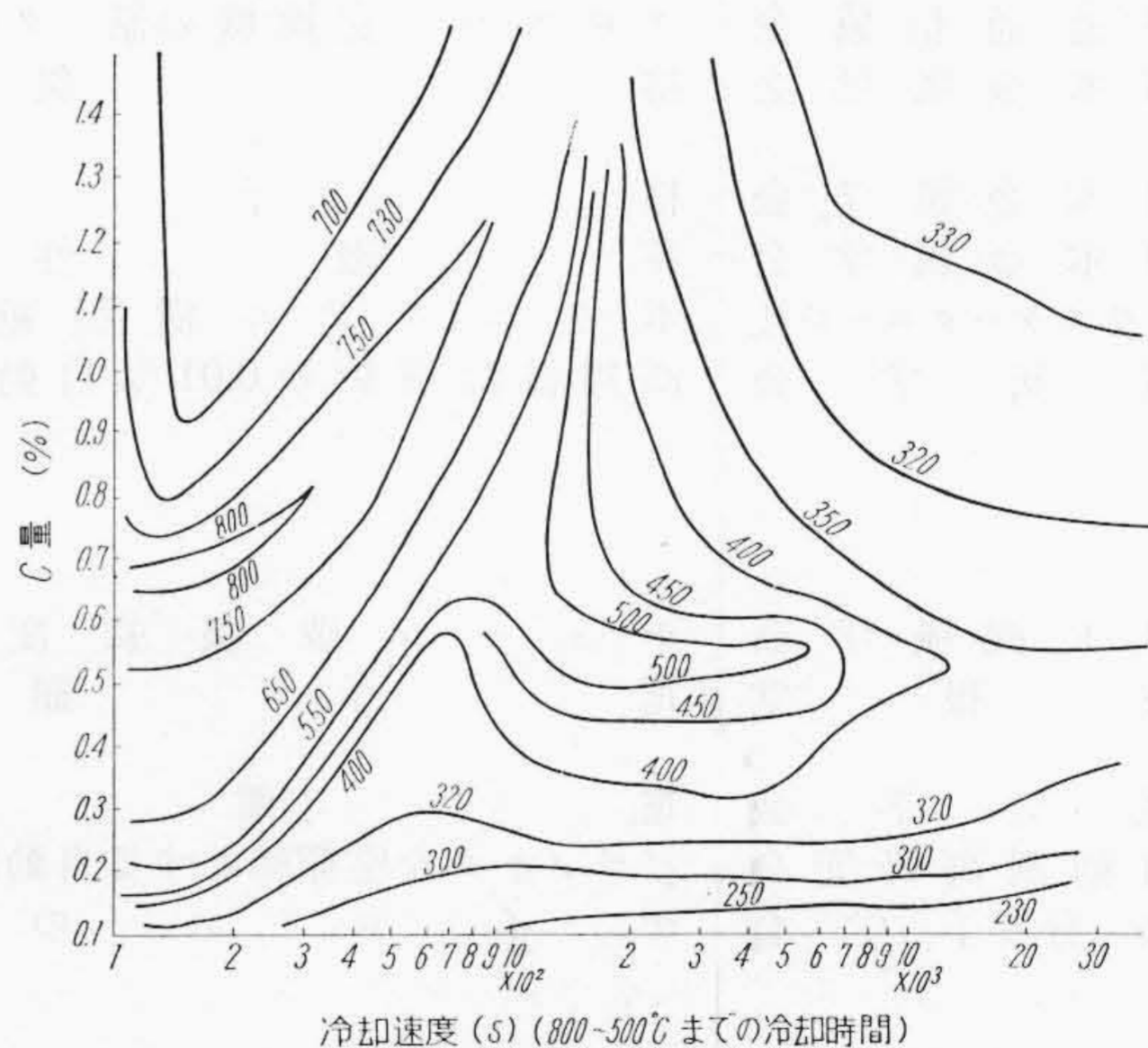
以上、YGM1 鋼の各種性質について略述紹介したが、当鋼を実用に供する場合、各用途によつて適当な熱処理を行うことが望ましい。たとえば、熱処理ひずみをできるだけわずかにするには、焼入温度を低下させること、あるいはマルテンパー処理などを併用することが望ましく、機械的性質を十分に発揮させるためには、焼入温度を 800~830°C にすることが望ましい。ともかく、当鋼はその優秀な機械的性質、特に機械的強度の大きい点と耐



第10図 YGM1 の滲炭異常硬度



第11図 YGM1 の滲炭硬度と滲炭量の関係



第12図 冷却速度とC量の関係における硬度分布の概念図

摩耗性のすぐれている点において、従来の Ni-Cr-Mo 系肌焼鋼に十分匹敵しうる性能を有するものと思われる。

終りにのぞみ、本研究に対し数々の御助言を頂いた日立金属工業株式会社安来工場冶金研究所長小柴博士に深く感謝の意を表す。

参 考 文 献

- (1) 石原： 金属の研究 7, 115 (昭5-3)

