

高合金工具鋼の熱処理に関する研究(第3報)

— 高炭素高クロム鋼の2段焼入れについて —

Studies on Heat Treatments of High Alloy Tool Steels (Part 3)

— On Stepped Quenching of the High Carbon High Chromium Steel —

根 本 正*

Tadashi Nemoto

内 容 梗 概

先報⁽¹⁾⁽²⁾において高炭素高クロム鋼の残留オーステナイトの挙動およびサブゼロ処理の効果について詳述したが、抜型として高硬度が要求される場合には焼入れ後グラインダにより完全仕上げが行われるので焼入歪がしばしば問題となる場合がある。そこで本報においては焼入歪の軽減をはかる熱処理研究の一環として2段焼入れについて直接焼入れと比較してのべる。

まず焼入温度980°Cから中間段階の熱浴(500°C)に各種時間保持後油焼入れ、空冷あるいは炉冷されたものについて γ_R 量および硬さが測定され、ついでサブゼロ処理(-75°C)の効果が究明された。一方2段焼入れ後の γ_R の安定化におよぼす室温における放置時間の影響や循環処理の影響が究明された。最後に2段焼入れおよび直接焼入れ試片について繰返し打撃試験および曲げ試験が行われ、2段焼入れが機械的性質におよぼす影響があきらかにされた。これらの結果を要約するとつぎのようである。

- (1) 2段焼入れの500°Cで短時間保持の場合は直接焼入れより γ_R 量を増すが、サブゼロ処理すると両者の差がなくなる。
- (2) 2段焼入れにおいて熱浴からの冷却速度が減少するにしたがい γ_R 量を増すが、サブゼロ処理するとその傾向は逆になる。
- (3) サブゼロ処理により生成したマルテンサイトは普通の焼入方法で生成したものより加熱にさいし低温度から分解しやすい。
- (4) 熱浴における保持時間が増すと γ_R 量は減少し、硬さは保持時間1時間まで上昇後減少する。
- (5) 2段焼入れは耐打撃性を向上し、また可撓性をも改善する。

〔I〕 緒 言

先報⁽¹⁾⁽²⁾において高炭素高クロム鋼の恒温変態図と残留オーステナイト(γ_R)の挙動とについてのべ、そのなかで本鋼には焼入歪を軽減する2段焼入れ法が適用できることを報告した。従来2段焼入れ法が普通焼入れ法に比し焼割れ防止に有効であることはよく知られているが^{(3)~(8)}高炭素高クロム鋼についての研究は少ない。特に高硬度でしかも精度が要求される抜型のように焼入れ後グラインダー仕上げにより完成されるものには焼入歪による変形がしばしば大きな問題となる。

そこで著者は高炭素高クロム鋼について焼入歪が少なく、しかも高硬度がえられる熱処理研究の一環として2段焼入れ法について種々の実験を遂行し、特に2段焼入れ法が機械的性質におよぼす影響を追究した。また普通焼入れについても同様の実験を行い2段焼入れと比較検討した。

〔II〕 試料および実験

(1) 試 料

試料は先報⁽¹⁾⁽²⁾のものと同一材料およびまったく同一製造履歴をもつもので、第1表は試料の化学成分を示す。

(2) 実 験

(A) 2段焼入れ 最高加熱温度980°Cから500°C熱浴に30分保持後油焼入れ、空冷および炉冷後 γ_R 量と硬

* 日立製作所日立研究所

第1表 試料の化学成分(%)

試 番	C	Si	Mn	Cr	備 考
No. 1	2.17	0.27	0.32	12.57	熱処理実験用
No. 2	2.10	0.23	0.32	13.64	機械試験用

さを測定し、さらにドライアイスとアルコールとの混合液(-75°C)に浸漬し、サブゼロ処理後ふたたび γ_R 量と硬さを測定した。

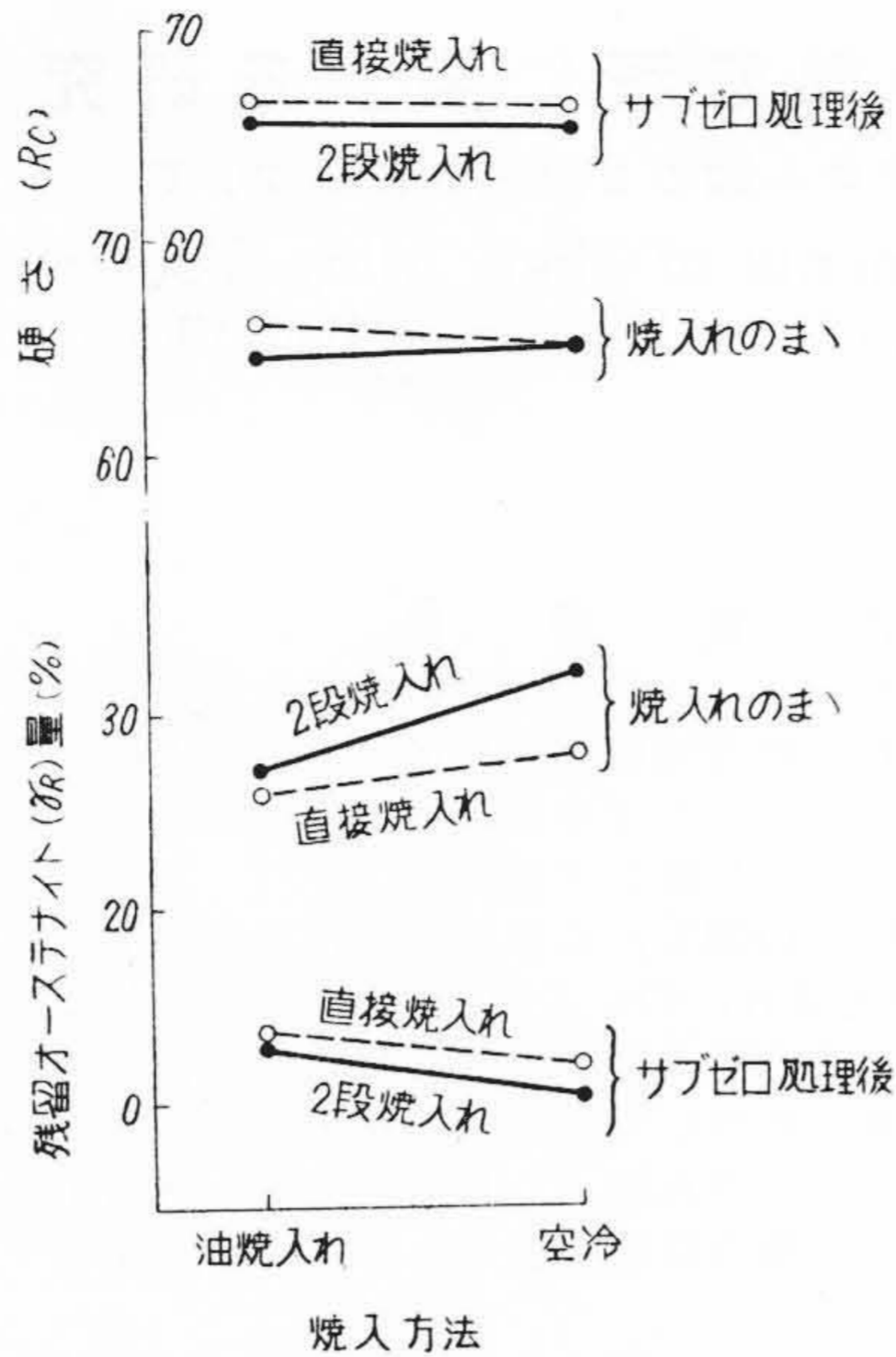
ついで500°C熱浴に0~7時間保持後油焼入れした場合のサブゼロ処理前後の硬さと γ_R 量の変化を測定した。また980°C→500°C×30分→油焼入れ後室温に種々の時間放置してからサブゼロ処理し、そのときの γ_R の変態量およびサブゼロ処理後焼戻処理(200°C×30分)を4回繰返しした場合の γ_R の変態量から γ_R の安定化におよぼす影響が究明された。なお本実験と併行して直接焼入れ(980°C油焼入れ、空冷)試片についても同様な測定を行い、両焼入方法を比較検討した。

最後に直接焼入れ焼戻し、2段焼入れ焼戻しおよびサブゼロ処理された各試片について耐打撃性をみるため松村式繰返し打撃試験機により打撃エネルギー20 kg-cmで破断するまでの打撃回数をもとめ、また山田、横山両氏⁽⁹⁾の考案による曲げ試験装置(試片寸法6 mmφ×110mm L)により曲げ試験を行い、割れ発生までの最大荷重および撓み量が求められた。

〔III〕 実験結果

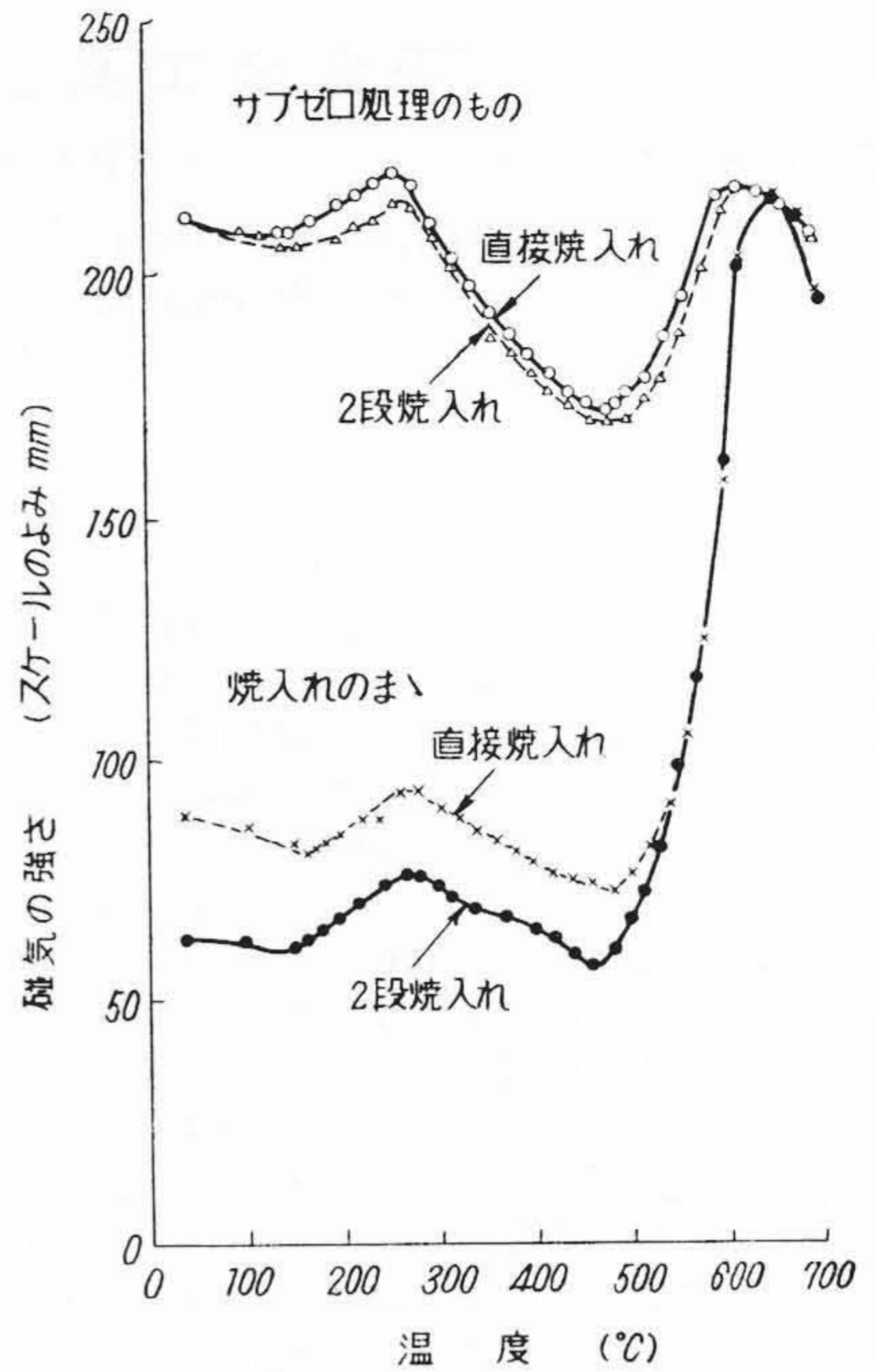
(1) 2段焼入れによる

γ_R および硬さの変化
 第1図は直接焼入試片(980°C→油焼入れあるいは空冷)と2段焼入試片(980°C→500°C×30分→油焼入れあるいは空冷)のサブゼロ処理前後の γ_R 量と硬さとの関係を示す。これから知られるように γ_R 量は焼入状態では直接焼入れの方が2段焼入れより少なく、また油焼入れと空冷とを比較すると後者が前者より多く、焼入冷却速度の減少が γ_R 量を増す。しかるにサブゼロ処理すると γ_R 量は空冷の方が油焼



第1図 高炭素高クロム鋼のサブゼロ処理前後の残留オーステナイトおよび硬さにおよぼす焼入方法の影響

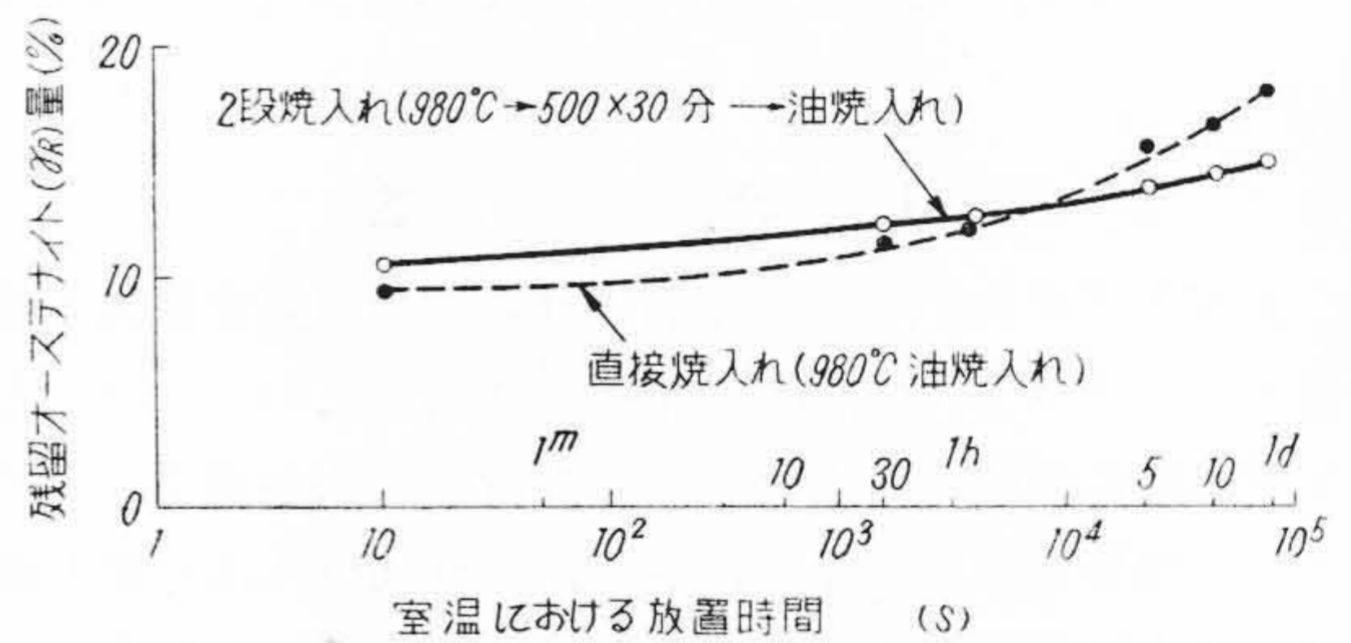
入れより減少する。また硬さは冷却速度が小さい方がわずかに低いが、サブゼロ処理後のそれには焼入方法による差がない。つぎに第2図はサブゼロ処理前後の示差磁気分析結果である。まず焼入状態では200~300°Cと450~600°Cとで2段に磁気が増加し、高温側における増加量は直接焼入れの方が2段焼入れより少ないが、サブゼロ処理後の両者の差はほとんどみとめられない。なおサブゼロ処理のものは300~500°Cの範囲における磁気がいちじるしく減少することが知られる。



第2図 示差磁気分析結果

(2) サブゼロ処理効果におよぼす放置時間および循環処理の影響

第3図はサブゼロ処理による γ_R の変態量におよぼす2段焼入れおよび直接焼入れ後の室温における放置時間の影響を示す。本鋼は直接焼入れの場合980°C油焼入れで γ_R 量が約26%存在するが、これを焼入れ後1分以内でサブゼロ処理すると γ_R 量は約10%に減少する。焼入れ後の放置時間が30分以上になるとサブゼロ処理効果が減少し24時間では効果は半減する。なお焼入方法による γ_R 量の差は少ないことがわかる。



第3図 残留オーステナイトの分解におよぼす室温における放置時間の影響

つぎに第4図は γ_R の変態量におよぼす循環処理の影響を示す。これによると焼入方法による γ_R 量の相違はなく、いずれも1回の処理で γ_R はいちじるしく変態し、その後の処理回数による影響が少ないことが知られる。

(3) 熱浴における保持時間の影響

第5図は500°C熱浴において種々の時間保持後油焼入れせる試片のサブゼロ処理前後の γ_R 量と硬さとの関

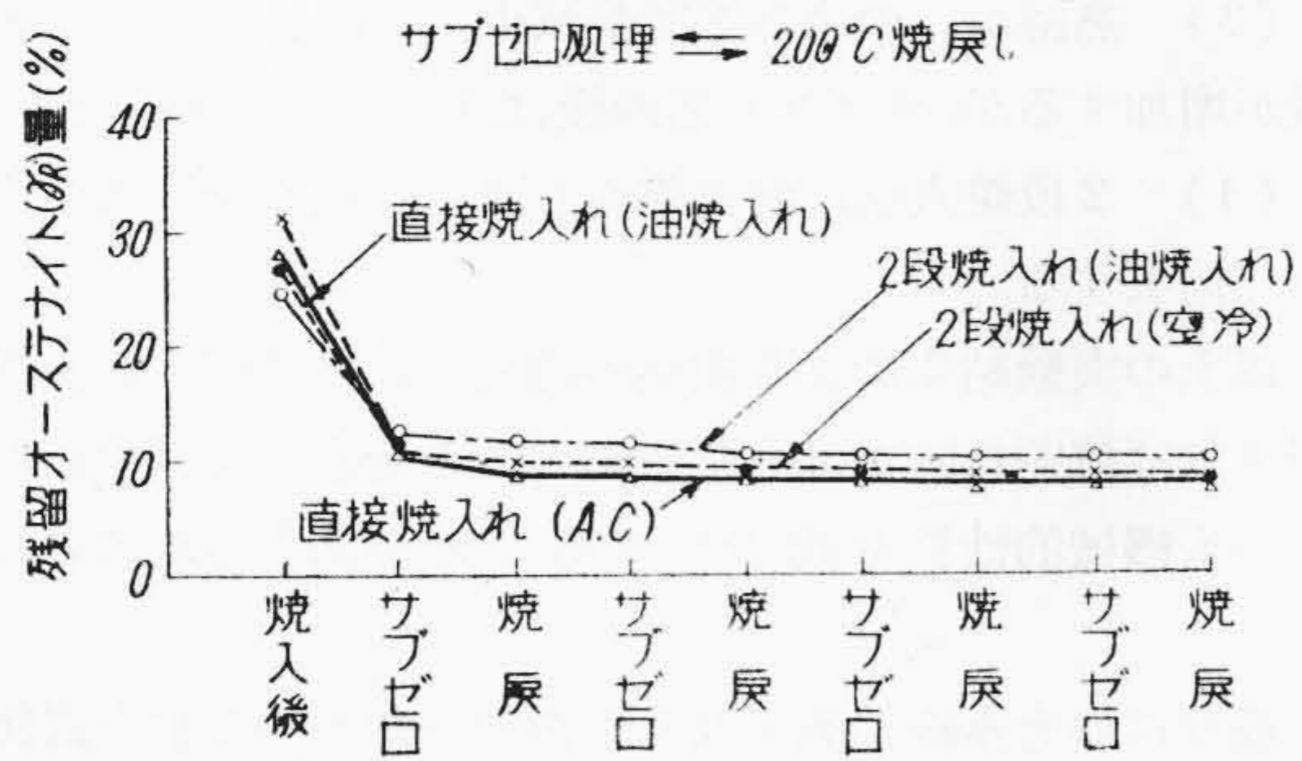
係を示す。これによると焼入状態では、 γ_R 量が保持時間10分まではわずかに増加するが、それ以上保持すれば減少し、7時間保持で5%減少する。一方硬さは保持時間1時間が最高を示す。サブゼロ処理すると γ_R 量はいちじるしく減少し、硬さは増すが保持時間による変化は処理前と同じ傾向を示すことが知られる。

(4) 熱浴からの冷却速度の影響

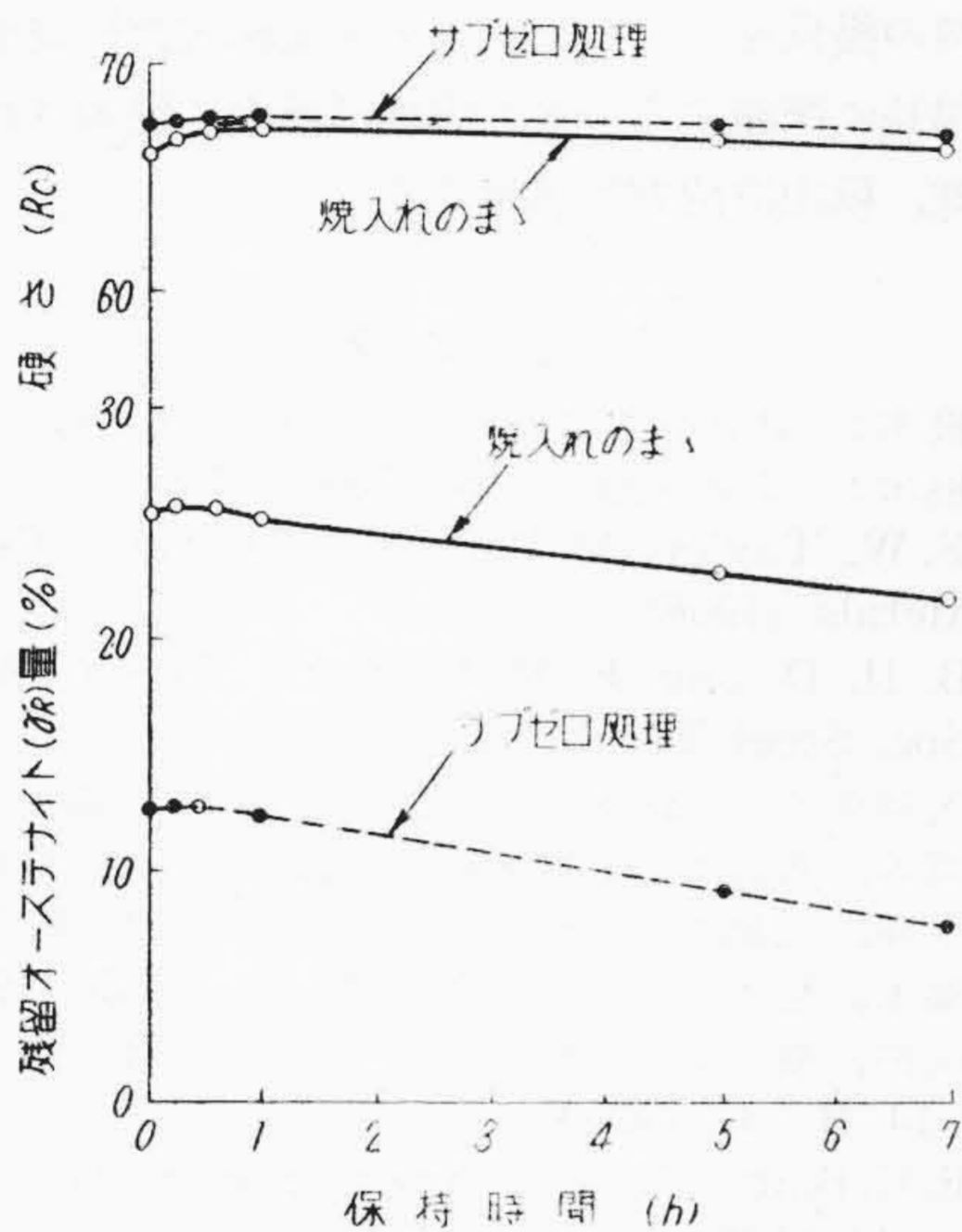
第6図は980°Cから熱浴500°Cに30分、保持後油焼入れ、空冷および炉冷の各試片のサブゼロ処理前後の γ_R 量と硬さとの関係を示す。これより γ_R 量は焼入のままでは油焼入れ、空冷(60°C/分)炉冷(2°C/分)の順序で増加するが、サブゼロ処理後はまったく逆の傾向を示すことが知られる。一方硬さは冷却速度が減少するにしたがいわずかに低下する。

(5) 2段焼入れが機械的諸性質におよぼす影響

第2表は打撃試験結果で熱処理方法と破断するまでの



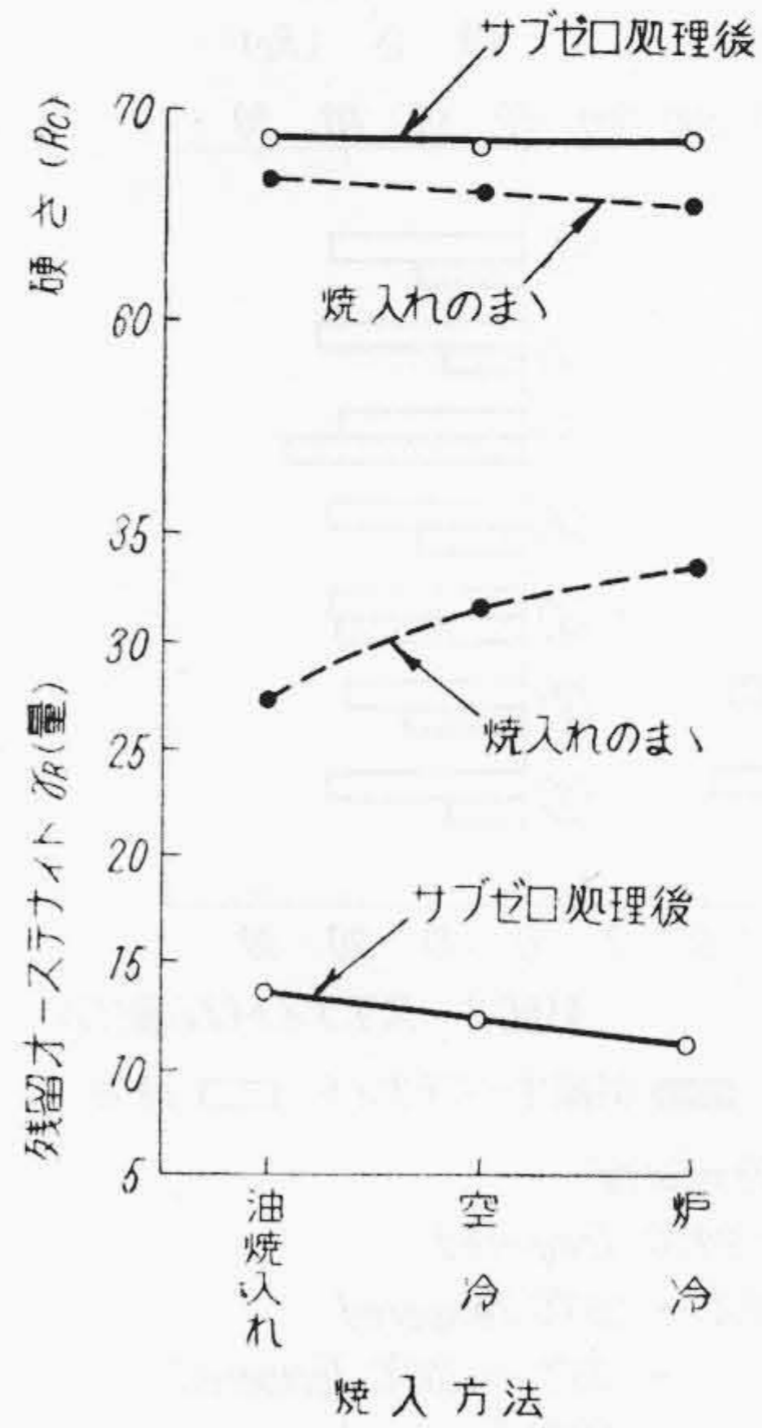
第4図 残留オーステナイトの分解におよぼすサブゼロ処理と焼戻処理の影響



第5図 高炭素高クロム鋼の残留オーステナイトと硬さにおよぼす熱浴における保持時間の影響

打撃回数の関係を示す。これから直接焼入れ焼戻法による場合は2段焼入れ法に比較して打撃回数が少なく、さらに2段焼入れの熱浴における保持時間が増すと打撃回数が増加し、サブゼロ処理によりわずかに減少することがうかがわれる。これらの結果から2段焼入れ法は耐打撃性の改善にきわめて有効であることがわかる。

つぎに第7図は2段焼入れの熱浴における保持時間を種々変化させて油焼入れ、さらにサブゼロ処理された試片の曲げ試験結果である。なお参考までに各熱処理による γ_R 量および硬さの変化を図の右側に示す。これから最大荷重および撓み量は2段焼入れが直接焼入れよりすぐれ、特にサブゼロ処理された場合には γ_R 量が減少し硬さが増加するにもかかわらず可撓性が向上する。また2段焼入れに際し熱浴における保持時間が増すと γ_R 量が減少し硬さが増し可撓性が顕著に改善せられ、2段焼入れ法は上述の打撃試験結果で示すと同様に靱性の向上に



第6図 残留オーステナイトおよび硬さにおよぼす熱浴からの冷却速度の影響

オーステナイトの安定化ならびに焼入歪に起因して増減する。2段焼入れが γ_R 量を増すことはオーステナイトのC濃度によるのではなく(2段焼入れの方がC量が少ない)、水焼入れが油焼入れより γ_R 量が少ないように、^{(11)~(17)}主として焼入歪による。換言すれば直接焼入れの方が2段焼入れより熱歪が大きいから、これが $A\gamma''$ 変態を促進するものと考えられる。

つぎに打撃試験結果(第2表)からわかるように打撃回数は2段焼入れによりいちじるしく改善せられるが、サブゼロ処理によりわずかに減少する。また曲げ試験結果(第7図)によれば2段焼入れの熱浴における保持時間が増すにしたがい可撓性が向上する。したがって2段焼入れは焼割れ防止に有効であるとともに機械的性質をいちじるしく改善することがあきらかにされた。

従来サブゼロ処理が諸性質におよぼす影響については

第2表 打撃試験結果

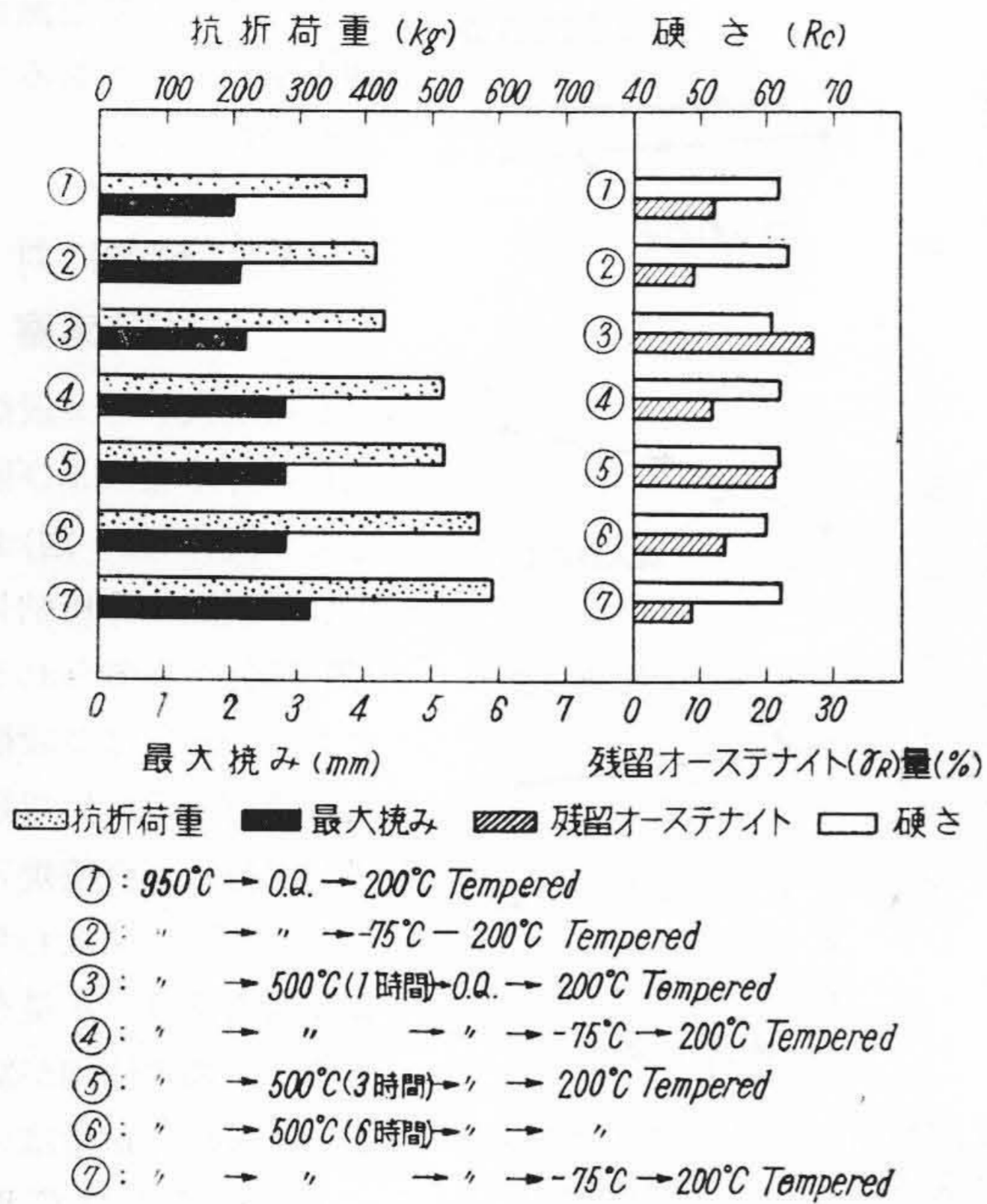
熱処理条件	硬さ(HRC)	打撃回数	備考
980°C→油焼入れ→200°C×2時間焼戻し	60~61	9,000	直接焼入れ焼戻し
980°C→空冷→200°C×2時間焼戻し	60	7,658	
980°C→500°C×1時間→油焼入れ→200°C×2時間焼戻し	60~61	8,969	2段焼入れ焼戻し
980°C→500°C×3時間→油焼入れ→200°C×2時間焼戻し	60~61	9,298	
980°C→500°C×6時間→油焼入れ→200°C×2時間焼戻し	59~60	9,731	
980°C→500°C×9時間→油焼入れ→200°C×2時間焼戻し	58~60	9,900	
980°C→油焼入れ→サブゼロ処理(-75°C)→200°C×2時間焼戻し	61~62	7,800	直接焼入れ後サブゼロ処理
980°C→500°C×6時間→油焼入れサブゼロ処理(-75°C)→200°C×2時間焼戻し	60~61	9,200	2段焼入れ後サブゼロ処理

註 打撃回数は2~3個の試片の平均値を示す。

もきわめて有効な熱処理方法の一つであることが知られる。

〔IV〕 結果に対する考察

直接焼入れと2段焼入れの γ_R 量および硬さとの関係(第1図)および示差磁気分析結果(第2図)から知られるように γ_R 量は2段焼入れの方(500°Cで短時間保持)が直接焼入れより多い。すなわち2段焼入れ法は γ_R 量をわずかに増す傾向がある。一般に γ_R 量はオーステナイトのC濃度、焼入過程における



第7図 曲げ試験結果

多くの人たちにより究明されている。すなわち横山、松倉両氏⁽¹⁸⁾はゲージ鋼の経年変化が減少することをあきらかにし、また Depoy⁽¹⁹⁾は高速度鋼の切削性に好影響をおよぼすことを報告しており、さらに近藤氏⁽²⁰⁾は高速度鋼は焼入れ後サブゼロ処理するよりも焼入焼戻し後サブゼロ処理した方が機械的性質が良好であることをのべている。他方 B. Hedde d' Entremont⁽²¹⁾ Kennedy⁽²²⁾ Wolfe⁽²³⁾ および Kunze⁽²⁴⁾などは工具鋼についてサブゼロ処理がかならずしも有効でないことを認めている。

しかるに本実験結果によるとサブゼロ処理はわずかに可撓性を向上するが、これ以上に2段焼入法が機械的性質の改善に役立つことがあきらかにされた。

〔V〕 結 言

以上高炭素高クロム鋼について焼入歪を軽減する2段焼入法を直接焼入法と比較対照しながら究明し、また打撃試験および曲げ試験などから機械的性質におよぼす2段焼入れならびにサブゼロ処理の影響が究明された。これらの結果を要約するとつぎのようである。

- (1) 油焼入れ状態では2段焼入れの方が直接焼入れより γ_R 量が多いが、サブゼロ処理後の差は少ない。
- (2) 熱浴における保持時間が増すと γ_R 量が減少し、硬さは保持時間1時間まで増加後わずかに減少する。

(3) 熱浴からの冷却速度が減少するにしたがい γ_R 量が増加するが、サブゼロ処理後はその傾向が逆になる。

(4) 2段焼入法は耐打撃性および可撓性をいちじるしく向上する。

以上の実験結果により抜型の熱処理に2段焼入れを採用すれば焼割れ防止はもちろんのこと変形量が減少し、しかも機械的性質を改善しうることがあきらかにされた。

終りにのぞみ終始懇切なる御指導を賜わった村上武次郎博士に深甚の感謝の意を表すとともに御援助を賜わった日立製作所日立研究所三浦所長ならびに御指導と御鞭撻を賜わった小野健二博士に衷心より謝意を表するとともに試料の提供を願った日立金属工業株式会社安来工場山本工場長に深謝する。また実験に熱心に協力された八重樫敏雄、秋山浩両君に感謝する。

参 考 文 献

- (1) 根本: 日立評論金属特集号別冊, 16, 41 (1956)
- (2) 根本: 日立評論に 39, 503 (1957)
- (3) F. W. Taylor, M. White: The Art of Cutting Metals (1906)
- (4) B. H. DeLong, F. R. Palmer: Trans. Amer. Soc. Steel Treat., 13, 420 (1928)
- (5) 大和久: 日本金属学会誌 7, 61 (1943)
- (6) 岡本, 永倉: 日本金属学会誌 13 No.4, 31 (1949)
- (7) 今井, 三島: 日本金属学会誌 14-B 59 (1950)
- (8) 栗本, 根本: 日立評論 33, No.9 45 (1951)
- (9) 山田, 横山: 日本金属学会誌 14-B 42 (1950): 14-B 47 (1950)
- (10) E. C. Bain: Trans. Amer. Soc. Steel Treat., 8, 14 (1925)
- (11) J. A. Mathews: Trans. Amer. Soc. Steel Treat., 8, 565 (1925)
- (12) 本多, 岩瀬: 金属の研究 3, 326 (1926)
- (13) Dowdell, Harder: Trans. Amer. Soc. Steel Treat., 11, 217 (1927)
- (14) Mauer, Schröter: Stahl u. Eisen, 49, 929 (1929)
- (15) Scheil, Z. Anorg: All. Chem., 183, 98 (1928)
- (16) 田丸, 関戸: 金属の研究 11, 195 (1934)
- (17) 岩瀬, 竹内: 日本金属学会誌 5, 131 (1941)
- (18) 横山, 松倉: 日本金属学会誌 18, 366 (1954)
- (19) S. M. Depoy: Trans. Amer. Soc. Mech. Eng. 166, 645 (1944)
- (20) 近藤: 日本金属学会誌 19, No. 2, 62 (1955)
- (21) B. Edd'e d' Enremont: Machine et Metaux, 22 (Judli-1948)
- (22) R. G. Kennedy: Trans. Amer. Soc. Met., 34, 250 (1945)
- (23) K. J. B. Wolfe: Materials and Methods, 25, 129 (1947)
- (24) E. Kunze: Stahl u. Eisen, 70, 227 (1950)