

## 熱間工具用 W—Cr (5~2) 系鋼に及ぼす Ni の影響

## The Effect of Ni on the Various Properties of 5 W~2 Cr Hot Tool Steel

小柴定雄\* 田中和夫\*\* 稲田朝雄\*\*  
 Sadao Koshiba Kazuo Tanaka Asao Inada

## 内 容 梗 概

熱間工具用 W~Cr (5~2) 系鋼に及ぼす Ni の影響につき検討した。

すなわち Ni 約 0.5~2.5% 添加により Ni 量の増加とともに各変態温度を低下し焼入性、変形率および熱膨脹係数など、いずれも増大する。また熱間における機械的性質は Ni 量の多い方が引張強さを低下し、伸び、絞りおよび衝撃値を増大する。

Heat-Check の発生状況は DC, HDC に比して、その発生数、深さともに小さく、Check の発生に対して敏感でない。

## 1. 緒 言

熱間工具鋼としては一般に高温強度の大なることが要求されるが、特にマンドレルのごときは使用中被加工材による加熱と油冷却をくり返し行うが、その廃却原因は主として Heat-Checking, 曲り, 径の縮小などである。

Heat-Check に関しては加熱, 冷却にもとづく熱応力<sup>(1)~(4)</sup>, 熱間における腐蝕, 表面脱炭, 酸化<sup>(5)</sup> によるものとされているが, 曲り, 径の縮小は油冷却するもの, なおマンドレル自身の温度が高く, このため高温強度を低下するのが原因であると思われる。

よつて筆者らは上述の点を考慮し, 水冷による急冷が可能であり, かつ Heat-Checking に対して敏感でない水冷用熱間工具鋼を得る目的で研究を進めた。

本報告はそのうちの W~Cr (5~2) 系鋼に及ぼす Ni の影響につき種々実験せる結果である。

## 2. 試料および実験方法

試料は 50 kg 高周波電気炉により熔製し, 35 kg 鋼塊を鑄造した。また Heat-Check の発生状態を比較するために熱間ダイス鋼 HDC, DC を用いた。第 1 表にこれらの化学成分を示す。

次にこれらを 18 および 32 mm $\phi$  に鍛伸後 W1 は 870°C, W2, HDC および DC は 850°C にて焼鈍し, その他の各試料は 850°C および 750°C にて 2 回焼鈍し, それぞれ次のごとき各種の試験片に機械仕上した。

## 2.1 変態点の測定

7 $\phi$ ×70 mm の試料を用いて本多式熱膨脹計により

測定した。加熱速度および炉冷の場合の冷却速度はいずれも 5°C/min とし最高加熱温度は 900°C とした。

## 2.2 焼入, 焼戻試験

15 $\phi$ ×12 mm の試料により 900~1,100°C の各温度に 20 分間加熱後, 水, 油および空冷せるもの, および前述の油焼入せるものを 700°C 以下の各温度に 1 時間加熱焼戻せるものにつき硬度および組織を調べた。

## 2.3 焼入性試験

Jominy 式一端水冷法により 1,050°C よりそれぞれ一端水冷後, 水冷端よりの硬度変化をロックウエル硬度計により測定した。また学振法により結晶粒度を測定し, その結果を第 1 表に併記した。

## 2.4 機械的性質

各試料を 1,050°C より油焼入後 600°C にて焼戻せる試料につき常温および熱間 (500~750°C) における引張り (平行部径 7 mm $\phi$ ) 衝撃試験を行つた。なお各試験片は所定の寸法に対して 0.2 mm の削代を付し, ケースを用いて C 0.32% の削粉を充填し脱炭防止を行い熱処理終了後所定の寸法に仕上げた。

## 2.5 変形率の測定

8 $\phi$ ×80 mm の試料を用い前述の機械試験片と同様の方法により脱炭防止を行い 1,050°C より油焼入せるもの

第 1 表 試 料 の 化 学 成 分

試 料	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	W	Mo	V	Cu	結晶粒度 G
W 1	0.32	0.29	0.37	0.017	0.012	0.45	2.11	4.78	0.54	—	0.10	6.0
W 2	0.31	0.24	0.36	0.016	0.016	0.91	2.13	4.79	0.54	—	0.15	6.2
W 3	0.30	0.30	0.38	0.017	0.019	1.44	2.10	4.73	0.53	—	0.11	6.3
W 4	0.30	0.29	0.38	0.016	0.015	1.88	2.21	4.65	0.54	—	0.10	6.0
W 5	0.31	0.28	0.39	0.016	0.016	2.42	2.09	4.69	0.46	—	0.08	6.4
HDC	0.28	0.20	0.40	0.019	0.005	0.15	2.81	9.60	—	0.41	0.09	—
DC	0.30	0.24	0.34	0.015	0.005	0.11	2.70	5.08	—	0.40	0.06	—

\* 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

およびこれらをさらに 500~700°C の各温度にて焼戻せるものにつきマイクロメータにより径および長さを測定し焼鈍状態のものを基準として焼入，焼戻処理による変形率を求めた。

2.6 熱膨脹係数の測定

7φ×70 mm の試料を前述と同様の方法により脱炭防止を行い 1,050°C より油焼入後それぞれ 600°C にて焼戻せる試料につき簡易熱膨脹計に 1/1,000 mm のダイヤルゲージを装着し，温度の変化による膨脹量より求めた。

2.7 急熱，急冷試験

15φ×20 mm の所定寸法に 0.2 mm の削代を付した各試料を前述と同様の脱炭防止法を行い 1,050°C にて油焼入し，それぞれ 600°C にて焼戻終了後所定の寸法に仕上げた。なお表面の仕上程度は 02 研磨紙を用いて，すべて同一程度になるごとく留意した。また急熱方法としては 700°C の鉛浴を用いた。しかして W1 試料を用い試料の中心部に熱電対を挿入し浸漬時間と温度の関係を求め，これより試料中心部における加熱速度を求めたが約 48 秒にて 700°C に加熱される。次に 5 個の試料を用いて，それぞれ 700°C の鉛浴中に 6~10 秒間浸漬後水中に急冷したものと，同様に 48 秒間浸漬後水冷せるものとのテンパーカラーを比較したが，浸漬時間 9 秒以上のものにおいて 48 秒間のものとほぼ同色のテンパーカラーを示した。

以上の結果より浸漬時間を 9 秒とし 700°C の鉛浴にそれぞれ 200, 500 および 1,000 回繰り返し急熱，急冷 (20°C 水中) し，これら各試料の円周面を長さの方向の全長にわたって深さ 0.5 mm 研磨しバフ仕上後任意の片側全長における Heat-Check の発生状態を倍率 100 にて観測し，その深さを 0.005 mm 単位に 2 捨 3 入し，それぞれの深さごとに集計した。

3. 実 験 結 果

3.1 変態点生起状況

第 2 表に測定結果を示す。すなわち Ni 量を増すに従い各変態温度を低下するが，Ni 1.88% 以上含有せるものが，特に炉冷および空冷における変態温度を著しく低下する。

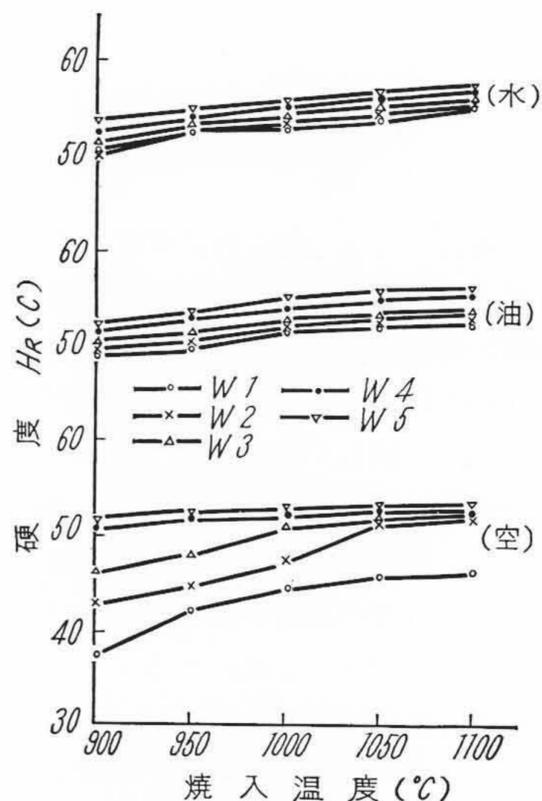
3.2 焼入，焼戻硬度組織試験

第 1 図に各試料の水，油および空冷せる場合の焼入硬度試験結果を示すが，同図より明らかなるごとく空冷の場合には Ni 量の増加とともに最高硬度を示す温度は低温側に移行する傾向を示し，油および水焼入せるものにおいては，焼入温度の上昇と

第 2 表 各試料の変態生起状況 (°C)

試 料	加熱変態		炉冷変態		空冷変態	
	開始	終了	開始	終了	開始	終了
W 1	797	844	764	701	368	267
W 2	789	834	741	684	355	255
W 3	781	827	※717 ※408	※671 ※363	336	239
W 4	765	822	405	331	236	172
W 5	753	815	402	328	229	159

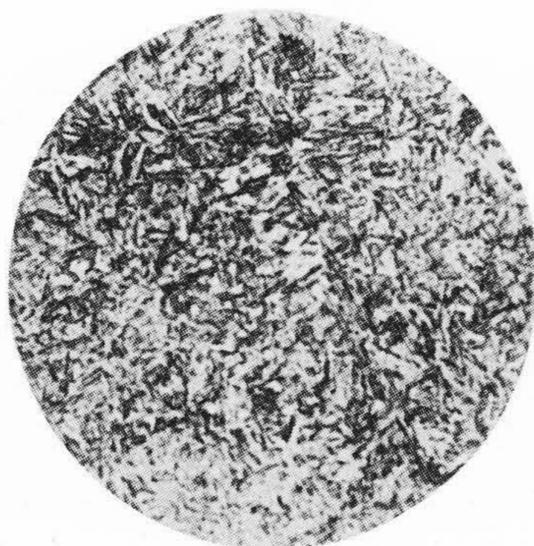
※ 変態が 2 段に生じたもの



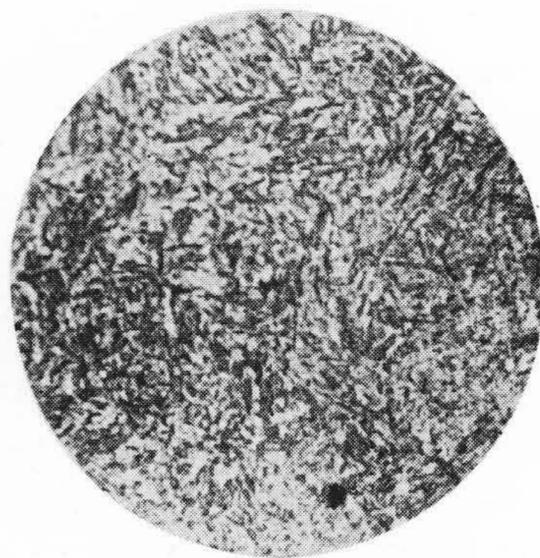
第 1 図 各試料の水，油および空冷せるものの焼入温度と硬度の関係

ともに硬度を増す。しかして，いずれの場合も Ni 量の多い方がその硬度は高い結果を示す。

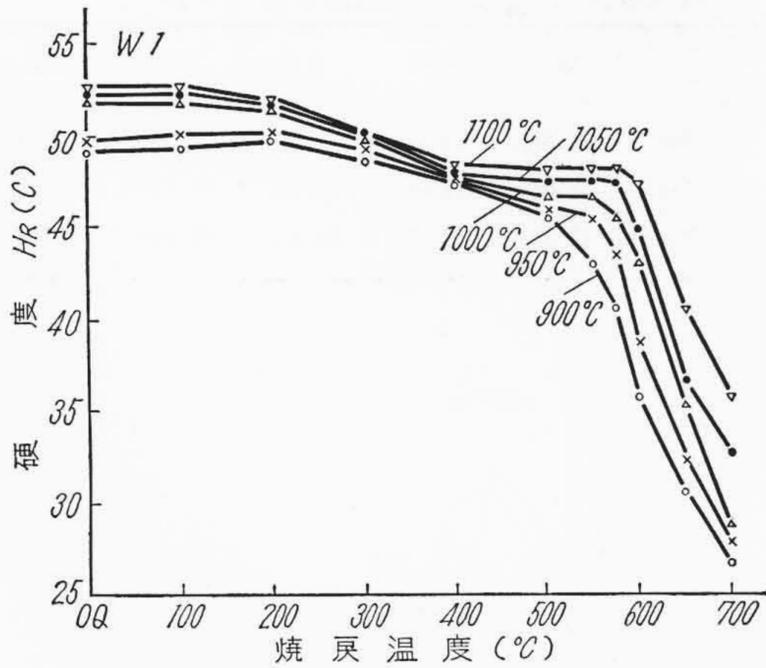
次に前述の 1,000~1,100°C にて油焼入せるものにつき，それぞれの組織を調べたが，焼入温度の上昇に従いその組織を粗大化するが，1,100°C 付近以上の温度にお



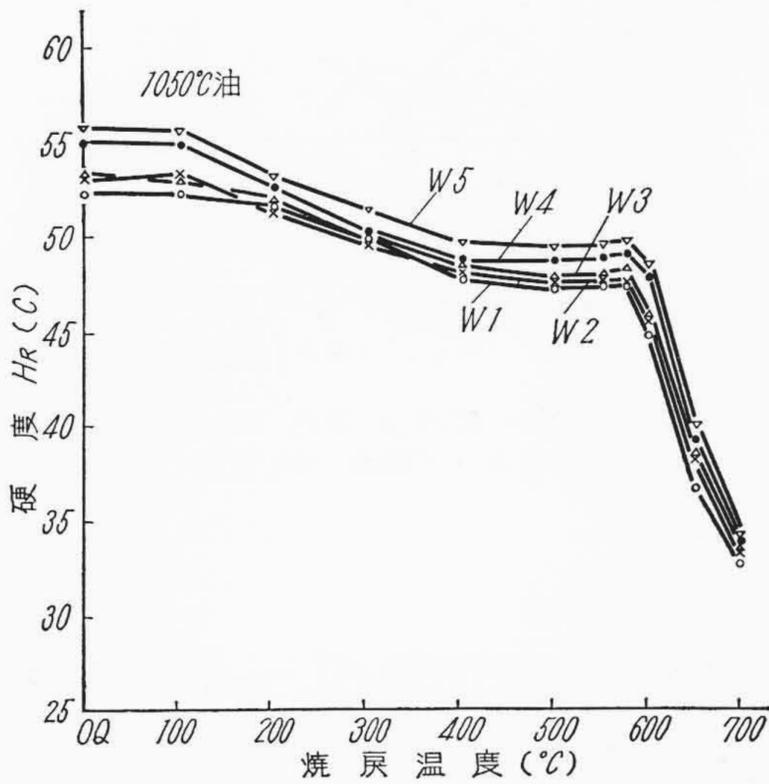
第 2 図 W1 試料の 1,050°C 油焼入組織



第 3 図 W5 試料の 1,050°C 油焼入組織



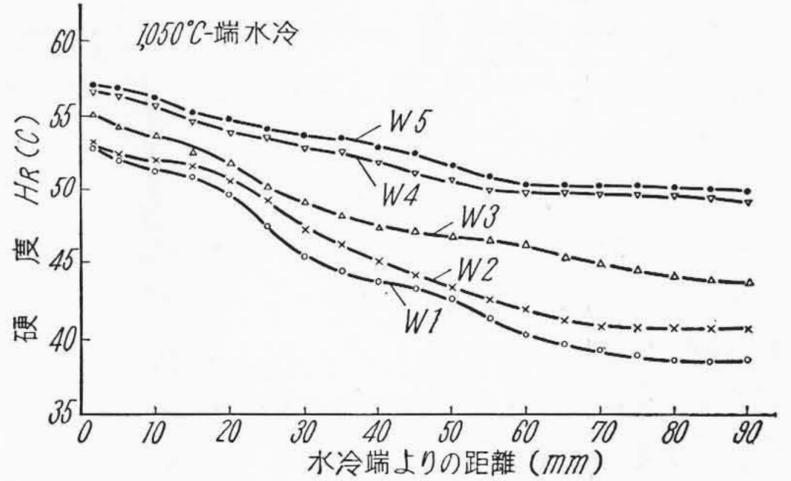
第4図 W1 試料の油焼入せるものの焼戻温度と硬度の関係



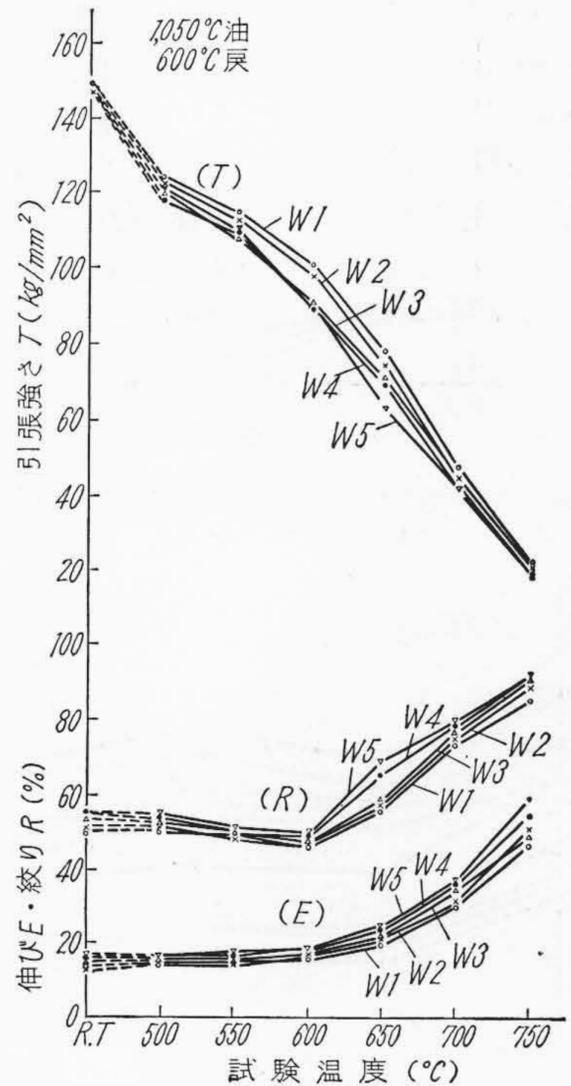
第5図 各試料の 1,050°C 油焼入せるものの焼戻温度と硬度の関係

いて特に著しい。第2, 3図は W1, W5 試料の 1,050°C にて油焼入せるものの組織を示す。

次に 900~1,100°C にてそれぞれ油焼入せるものの焼戻硬度試験を行つたが、いずれも焼入温度の低い場合は 550~575°C 付近、高いものにおいては 600°C 付近よりやや急激にその硬度を低下するが、焼入温度の高い方がその硬度も高く、その傾向は各試料ともほぼ同様である。第4図は W1 試料における結果を示す。また第5図は各試料の 1,050°C より油焼入せるものの焼戻硬度試験結果を比較せるものであるが、同図より明らかなるごとく Ni 量の多いものほど、その硬度は高いが、焼戻硬度曲線の温度による変化の傾向はほぼ同様であり Ni 量により、ほとんど変化しない。



第6図 各試料の焼入性試験結果



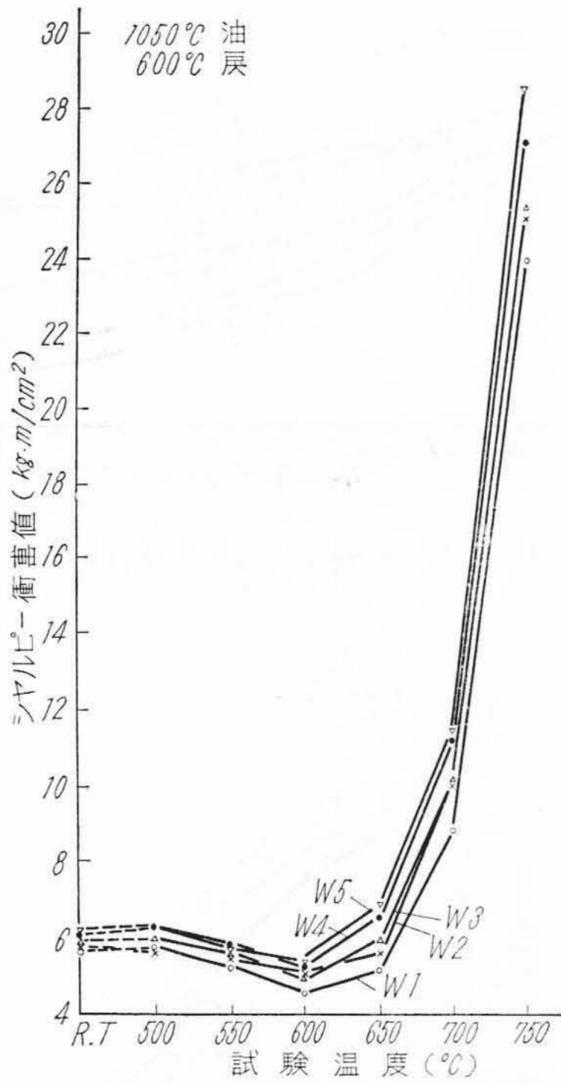
第7図 各試料の常温熱間における引張試験結果

### 3.3 焼入性試験

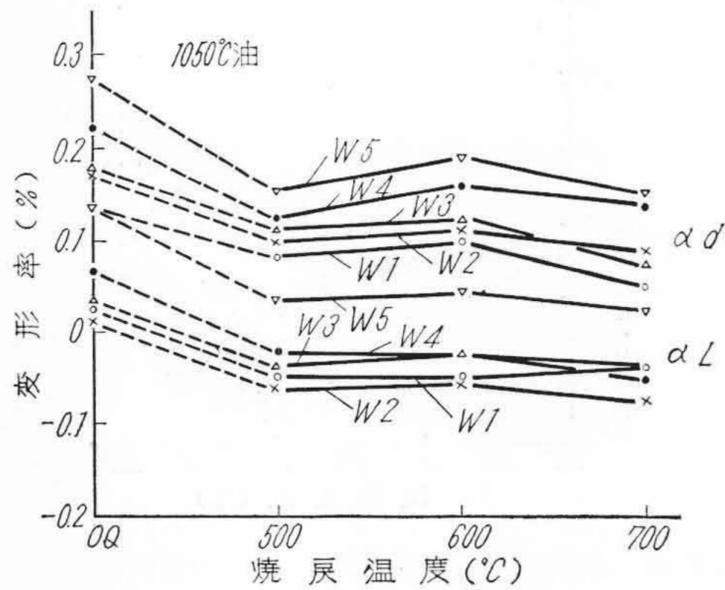
第6図に各試料の試験結果を示すが、同図より明らかなるごとく Ni 量の多いものの方がその焼入性は大きでありかつその硬度も高い。

### 3.4 機械的性質

第7図は各試料の常温および熱間における引張試験結果を示すが、各試料とも試験温度の上昇とともに引張強さを減少する。伸びおよび絞り率は 600°C 付近までは温度による変化は少ないが、650°C 付近の温度より急激にその値を増大する。次に各試料を比較せる場合に常温における引張り強さは Ni 量により大差ないが、500~750°C の各温度においては Ni 量の多いものほど引張り強さを低



第 8 図 各試料の常温，熱間における衝撃試験結果



第 9 図 各試料の変形率測定結果

下し伸びおよび絞りを増大する。

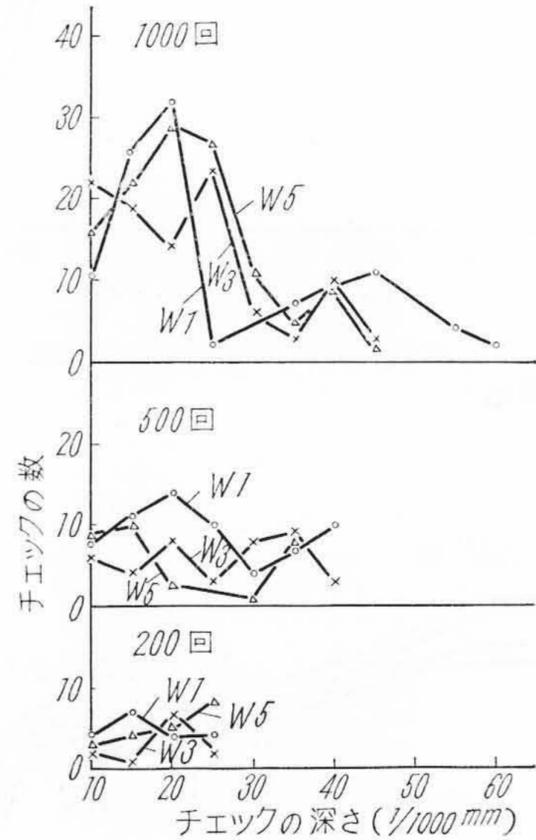
次に第 8 図は常温および熱間における衝撃試験結果であるが、いずれも Ni 量の多いものほど各温度における衝撃値は高く 600°C 付近までは温度の上昇とともに衝撃値を低下し 650°C 付近以上の温度においては急激に増大する。

### 3.5 変形率

第 9 図に各試料の測定結果を示す。すなわち 1,050°C 油焼入により直径、長さ方向ともに、いずれも膨脹を示し、かつ Ni 量の多いものほどその変形率は大きい。また焼戻温度 600°C においてわずかながら膨脹する傾向を

第 3 表 各試料の熱膨脹係数 ( $\times 10^{-6}$ )

試料	W 1	W 2	W 3	W 4	W 5
温度(°C)					
400~500	11.34 <sub>5</sub>	11.34 <sub>6</sub>	11.36 <sub>3</sub>	11.39 <sub>6</sub>	11.75 <sub>1</sub>
500~600	11.61 <sub>6</sub>	11.61 <sub>4</sub>	11.65 <sub>0</sub>	11.73 <sub>7</sub>	12.16 <sub>9</sub>
600~700	12.08 <sub>1</sub>	12.07 <sub>3</sub>	12.11 <sub>1</sub>	12.18 <sub>1</sub>	12.55 <sub>0</sub>



第 10 図 各試料の 700°C に 200, 500 および 1,000 回急熱急冷せる場合の Check 発生状況

示す。

### 3.6 熱膨脹係数

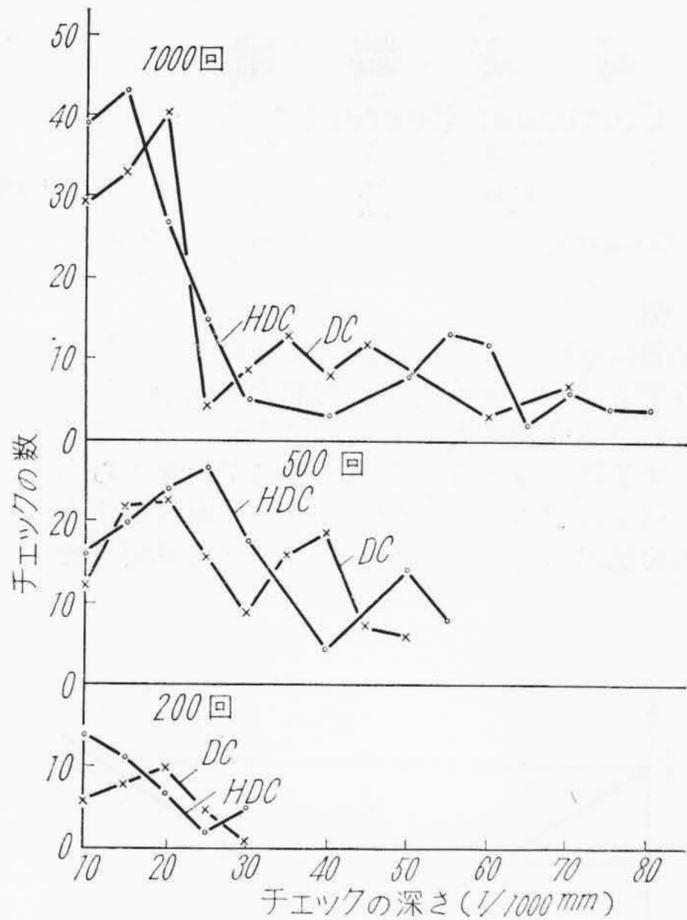
第 3 表はこれが測定結果を示すが、Ni 量の多いものがその熱膨脹係数は大きい結果を示す。

### 3.7 急熱，急冷試験

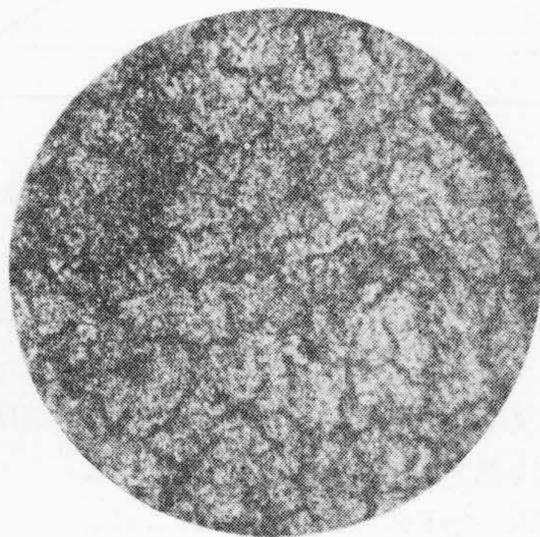
W1, W3 および W5 試料の急熱，急冷回数 200, 500, 1,000 回の場合において発生せる Heat-Check をそれぞれの深さごとに集計したものの結果を第 10 図に示すが、200 回の場合には Check の数少なく、深さも浅いが 500, 1,000 回とその回数を増したものにおいては Check の数および深さを増大する。しかして 1,000 回の場合においては各試料とも 0.025 mm 以下の深さの Check 最も多く、また W1 は他のものに比して大なる深さの Check を発生しており、これは Check の発生に対して敏感であるためと思考される。

次に第 11 図は前述の各試料と比較のために HDC, DC につき行つた結果であるが、いずれも前者に比して発生数多く、その深さも深い。

第 12 図は W1 の 200 回急熱，急冷せる試料の横断面中央部における表面状態を示し、第 13, 14 図は W1 および HDC を各 1,000 回急熱，急冷せる試料の円周面を



第11図 HDC, DC の 700°C に 200, 500 および 1,000 回急熱急冷せる場合の Check 発生状況

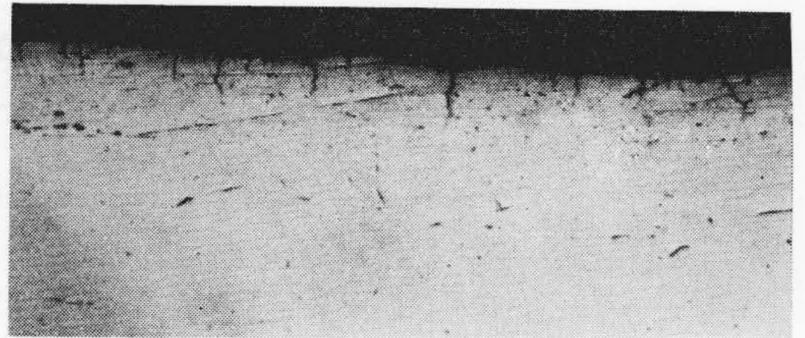


第12図 W1 試料の 200 回急熱急冷せる試料の横断面中央部の表面状況

長さの方向全長にわたって深さ 0.5mm 研磨せる面における Check の発生状態を示す。

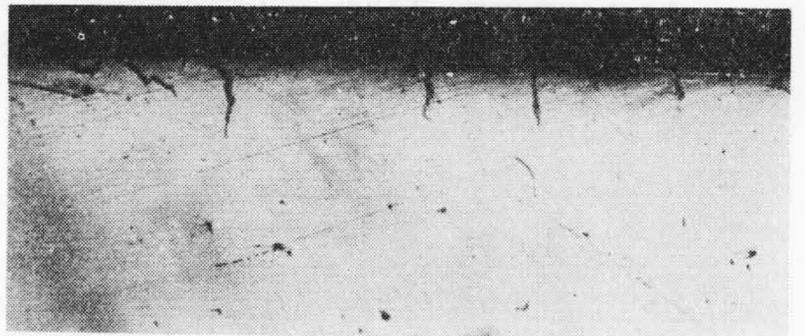
#### 4. 結果に対する考察

急熱、急冷による欠点の一つである Heat-Check の発生につき前述のごとき実験を行つたが、この現象の原因あるいは発生機構については、いまだ十分に解明されているとはいえず、一応熱応力、熱間における腐蝕、表面脱炭、酸化およびその他の因子によるものと考えられており、またその表面の仕上程度によりその発生状態も異なるという結果も発表されている<sup>(6)(7)</sup>。したがって電解研磨などにより、その表面の仕上程度をある程度均一にしなければ十分な結果は得られないものと思はれる。



×100 (no etch)

第13図 W1 試料の 1,000 回急熱急冷せる試料の Check 発生状況



×100 (no etch)

第14図 HDC の 1,000 回急熱、急冷せる試料の Check 発生状況

以上のことよりして本実験方法にては各試料間における一応の比較であり今後さらに十分なる検討を加えねばならない。

#### 5. 結 言

前述の諸結果を要約すると次のごとくである。

(1) W~Cr (5~2) 系鋼において Ni 約 0.5~2.5% 添加せる場合 Ni の増加とともに加熱および冷却の場合の各変態温度を低下する。また Ni の添加により焼入硬度を高め、焼入性を増大するが、熱処理方法としては 1,050°C 付近より油焼入後 600°C 付近の焼戻が適当である。

(2) Ni 量の増加とともに熱間における引張り強さを低下し、伸び、絞りおよび衝撃値を増大する。また変形率、熱膨脹係数はいずれも Ni 量の多いものほど大きい。

(3) HDC, DC に比して Heat-Check の発生数およびその深さはいずれも小さく、したがってこれが発生に対しては敏感でない。

#### 参 考 文 献

- (1) S. Tour: Iron and Eng. Chem (Jan. 1923)
- (2) E. Mickel: V. D. I. Zeitschrift, 87 (1943) Nr. 23/24, S. 341~45
- (3) 日本鉄鋼協会鑄物部会, 鑄型研究報告
- (4) W. Rädiker: St. u. Eisen 74 (1954) Heft 15, S. 929~43
- (5) W. R. Brown: Metal Progress, 63 (1953) Jun. p. 73~78
- (6) 藤原: 電気製鋼 第27巻 6号 p. 271
- (7) 藤原: 電気製鋼 第27巻 6号 p. 281