

## 各種強靱鋼の熱処理に関する研究 (I)

(昭和 24 年 4 月本會講演大會に於て講演)

河 井 泰 治\* 小 川 楠 雄\*

STUDIES ON THE HEAT TREATMENTS OF CONSTRUCTIONAL  
ALLOY STEELS (I)

(On the Characteristics of Alloy Steels tempered at lower Temperatures)

*Taiji Kawai and Kusuo Ogawa*

Synopsis:— In order to obtain higher strength, toughness and lower notch-susceptibility without losing sufficient wear resistance, the authors intended to determine the most preferable conditions of tempering for oil hardened alloy steel pinions and gear wheels. Testing bars of several heats of Mn-Cr, Mn-Cr-Mo, Si-Mn-Cr, low Ni-Cr and high Ni-Cr steels, melted in electric arc furnaces were oil quenched and tempered at various temperatures, and the effect of tempering temperature on mechanical properties and microstructures were studied.

The results obtained are summarized as follows:

1. Every kinds of steel, tempered at 300-350°C, shows remarkable inferiority in shock value and repeating shock durability, but these properties will be somewhat improved when tempered at 200°C. In order to remove such a defect it is recommended to lower the phosphor content of the heat.
2. Every kinds of steel, tempered at approx. 450-500°C has the highest durability in repeating shock test. In spite of its low Charpy values, Ni-Cr steel, temper at low temperature, has exceedingly better durability than other steels.
3. Effect of tempering temperature on notched tensile strength is apparently similar to repeating shock property, accordingly, it would be considered that the variation of notch-susceptibility on low temperature tempering will have a similar effect on both statical and dynamical stress applied.

## I. 緒 言

構造用特殊鋼は普通焼入後高温で焼戻した状態で使用されるのが本来であり、この様な状態の各種強靱鋼の機械的性質は比較的よく知られている。然しながら同様な鋼種を低温焼戻状態で使用する場合も少なく殊に本報で述べんとする鐵道車輛用の大小齒車の場合には磨耗に充分耐えなければならぬ爲硬度が高いことが要求されるので充分に高い焼戻温度を擇ぶことが出来ない。この種の齒車の具備すべき材質的な二大要件は啮合面の耐磨耗性が大であること、齒元の切欠部が繰返應力に對し充分強靱であつて高度の耐久性を有することであるが、高周波焼入法の如き特殊な表面硬化法によらない限りこの二条件を同時に満足せしむることは困難であり、いづれか

一方を或程度犠牲にしなければならない。

さて齒型に單純な曲げ應力が繰返作用すると假定して繰返曲げ疲勞試験結果を適用すれば一例としてHoudremont 及 Mailänder<sup>1)</sup>の實驗結果を引用すれば、切欠のない研磨試験片の場合には疲勞限は抗張力の約 50% の値を以て直線的な變化をするが試験片に切欠を附した場合はこの直線的な關係は全く成立せず抗張力の増加と共に疲勞限の増加が少くなり抗張力 100kg/mm<sup>2</sup> 以上ではこの場合 21kg/mm<sup>2</sup> 以上に上昇せず 130kg/mm<sup>2</sup> 以上の疲勞限の變化は全く知られていない。この實驗結果をその儘應用することは正當ではないが、電車の小齒車の場合設計上の計算で 200HP 程度の電動機の際一枚の齒

\* 新扶桑金屬工業株式會社製鋼所

の尖端に様な荷重が作用するとして最大 19~20kg/mm<sup>2</sup> に達するので、正常な啮合条件の場合は疲労限以下であつても一般に屢々見られる如く齒の一端で啮合う様な片當りが行われれば忽ち疲労限を突破して破斷に至ることは推察に難くない。

殊に實際の啮合条件は極めて苛酷であつて單なる曲げ應力のみならず多分に衝撃乃至繰返衝撃的な應力を、しかも局部的に受ける状態であるから、各種強靱鋼に就て種々の焼戻状態に於て、各種の靜動的應力が切欠強度に如何に影響するかを究明し最適の材質と熱處理条件を決定しなければならない。

以上の目的を以て Si-Mn-Cr, Mn-Cr, Mn-Cr-Mo, 低 Ni-Cr 及高 Ni-Cr 鋼等の各種強靱鋼の低温焼戻状態に於ける各種の機械的性質に就き實驗結果を述べる。

## II. 供試材及實驗方法

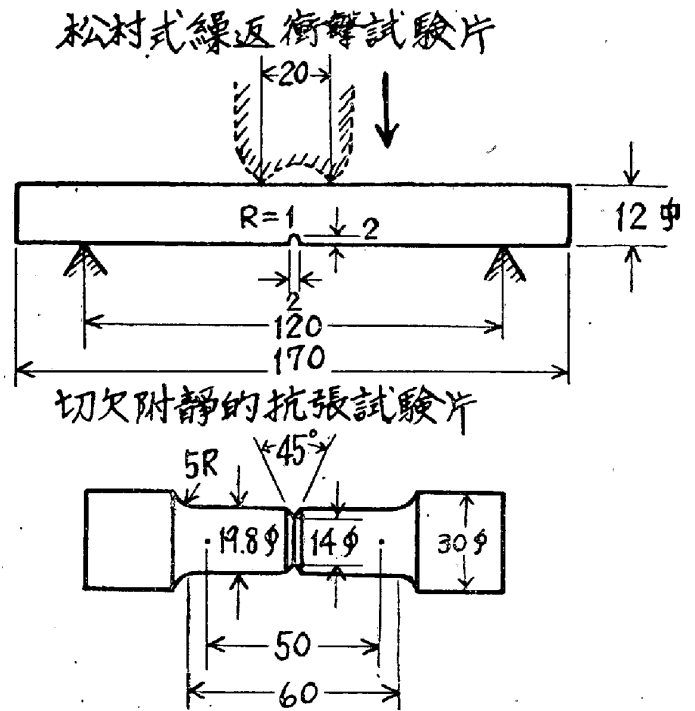
前項に述べた各種合金鋼計 13 熔解に就き同様な實驗を行つたが煩鎖を避ける爲代表的熔解に就き實驗結果を述べることにする。各供試材共實際に齒車を製造した熔解より 100 或は 300kg の試驗鋼塊を鑄込んだ。熔解は高 Ni-Cr 鋼は酸性電氣爐、他は鹽基性電氣爐によるものである。試驗鋼塊は 50mm 角に鍛造後 30~14mm 角又は丸の各種寸法に壓延し焼鈍後後述の如き種々の試驗に供した。供試材の化學成分及熱膨脹計による變態點測定結果は第 1 表の通りである。

第 1 表 供試材の化學成分及變態點

鋼種	記號	化學成分 %									變態點 °C	
		C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	Ac <sub>1</sub>	Ac <sub>3</sub>
Si-Mn-Cr	SMC 3	0.51	0.63	1.04	0.025	0.027	0.25	0.29	0.98	0.12		
Mn-Cr	MC 1	0.44	0.29	0.77	0.013	0.023	0.18	0.05	0.94	0.02	740	790
Mn-Cr-Mo	CM 3	0.43	0.36	0.85	0.024	0.030	0.17	0.02	0.96	0.26	745	810
	CM 4	0.36	0.34	0.67	0.036	0.041	0.19	0.02	0.86	0.21	750	805
低 Ni-Cr	LN 1	0.32	0.25	0.79	0.014	0.024	tr.	1.89	0.99	0.05	720	770
	LN 2	0.38	0.30	0.96	0.011	0.023	tr.	1.88	1.00	0.04	715	765
高 Ni-Cr	HN 1	0.34	0.40	0.47	0.035	0.029	0.09	3.37	0.59	tr.	710	760

上記の棒鋼より JES 4 號標準抗張試驗片シャルピー衝撃試驗片及第 1 圖に示す如き松村式衝撃疲勞試驗片並に切欠附抗張試驗片を夫々各面 0.25mm の仕上代を残して粗仕上を行い、切欠部は木炭及木節粘土を混合被覆し脱炭を防止しつゝ次の熱處理を行つた後規定の寸法に仕上げた。

焼入は高 Ni-Cr 鋼に於ては 810°C 其他の鋼種は 850°C に就れも 1 時間保持の後油中冷却を行い、焼入状態のものを残し他は 100~700°C の各 50°C 毎の溫度



第 1 圖 試驗片寸法 mm

に 2 時間焼戻した後空 (水、爐) 冷を行つた。

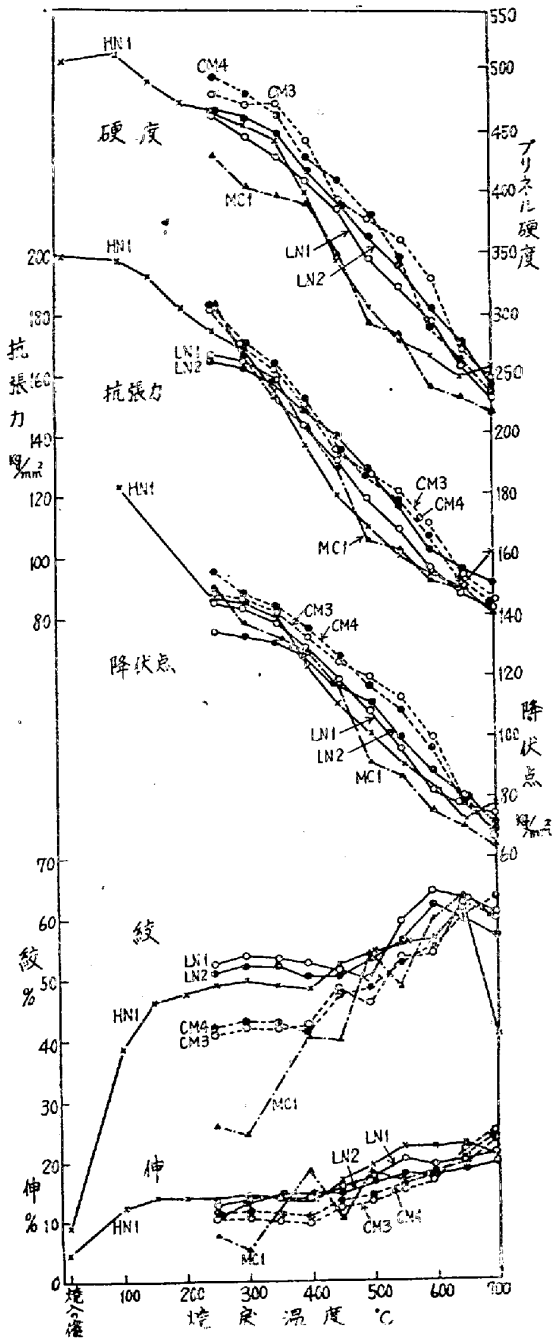
以上の各熱處理状態に於て、抗張、衝撃、衝撃疲勞、切欠附抗張等の各試験を實施した。尚衝撃並に切欠附抗張試験は同一熱處理に就き同様な試験を二回行つた結果を平均し、他は概ね一回のみの結果を採用した。顯微鏡組織は衝撃試験片の殘材に就き觀察を行つた。

## III. 實驗結果

### 1. 抗張試驗結果

焼戻溫度が抗張力、降伏點及ブリネル硬度に及ぼす影響は第 2 圖の通り、周知の如く孰れも焼戻溫度と共に低下するが、Mn-Cr 鋼に少量の Mo を添加することにより焼戻抵抗が増すことが觀察される。伸、絞は 450°C 以上の焼戻溫度では概ね同様な傾向を以て上昇するが、400°C 以下では Ni-Cr 鋼が伸、絞共優れているのに對

し Mn-Cr 鋼は急激に低下する。



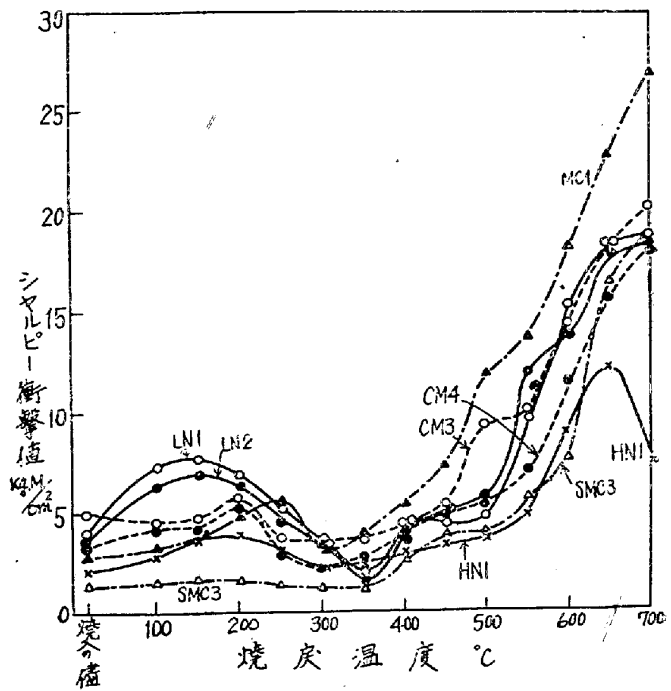
第2圖 焼戻温度の抗張試験結果に及ぼす影響 (焼戻温度より空冷)

2. 衝撃試験結果

第3圖は各鋼種の焼戻温度がシャルピー衝撃値に及ぼす影響を图示したもので、孰れも 200°C 附近の焼戻温度に於て極大を生ずるが 300~350°C 焼戻では却つて低下して極小を生じ以後、500°C 迄緩徐に上昇し 500~550°C 前後より急激に改良される。鋼種別には焼戻抵抗の小さな Mn-Cr 鋼が 350°C 以上の焼戻で稍衝撃値が勝る他 Si-Mn-Cr, Mn-Cr-Mo 及低 Ni-Cr 鋼は大差なく高 Ni-Cr 鋼は P, S の高い爲か衝撃値は低値を辿り 700°C

では半焼入状態となり硬度上昇と共に衝撃値の急降を來たす。200°C 附近の低温焼戻では P, S の比較的低い低 Ni-Cr 鋼がかなり良好であるが高 Ni-Cr 鋼は遙かに低い値を示している。

500°C 以上の焼戻後の徐冷により生ずる焼戻脆性に就ては詳細は省略するが、Mo を含有する Mn-Cr-Mo 鋼は爐中冷却を行つても殆ど衝撃値の低下を來たさないが、高 Ni-Cr 鋼は最も脆化が大で、その他の鋼種もかなり脆化が認められた。

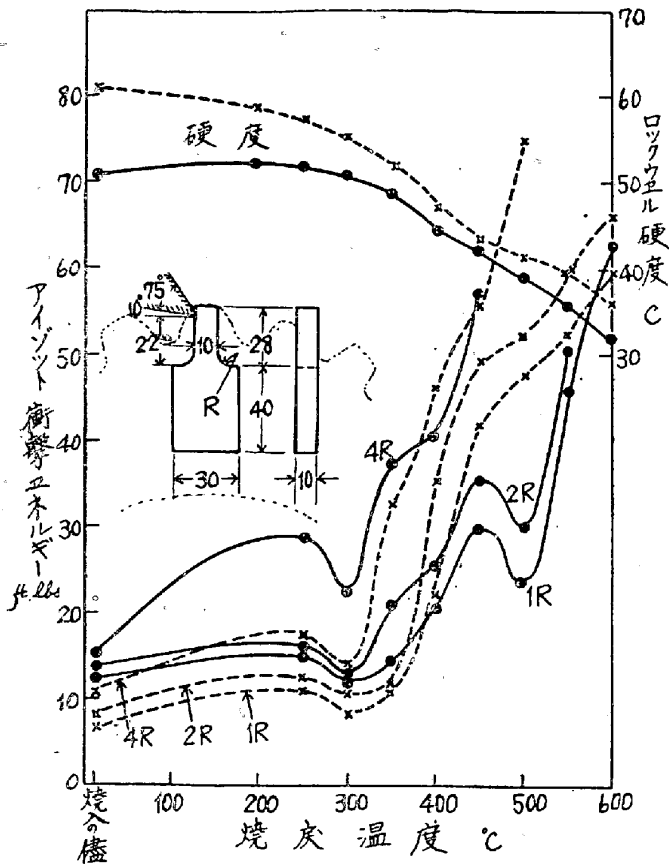


第3圖 焼戻温度の衝撃値に及ぼす影響 (焼戻温度より空冷)

尙第4圖は實際に使用された Si-Mn-Cr 鋼及低 Ni-Cr 鋼の電車用小齒車の齒形部より同の如き凸型の衝撃試験片を作製し、隅角部の曲率半径を夫々 1, 2 及 4mmR とし 250~600°C 間の各焼戻状態に於るアイソット衝撃試験機による破断エネルギーの測定を行つた結果を示した。この結果は前記のシャルピー衝撃値の變化を更に顯著に表して居り、焼戻温度を 300~350°C より 450°C に上昇せしむることにより衝撃抗力を數倍に向上せしむることが可能であることが判る。切欠半径を大きくすることも有効であるが焼戻温度の影響は更に決定的であることが知られる。

3. 衝撃疲労試験結果

松村式繰返衝撃試験機を用い前述の試験片の切溝の背面に繰返打撃を與えつゝ割疵發生迄の打撃回数及全く破断せられる迄の繰返回数を観測した。落下體の重量は 8.053kg で落下の高さを調節し一回の打撃エネルギーを

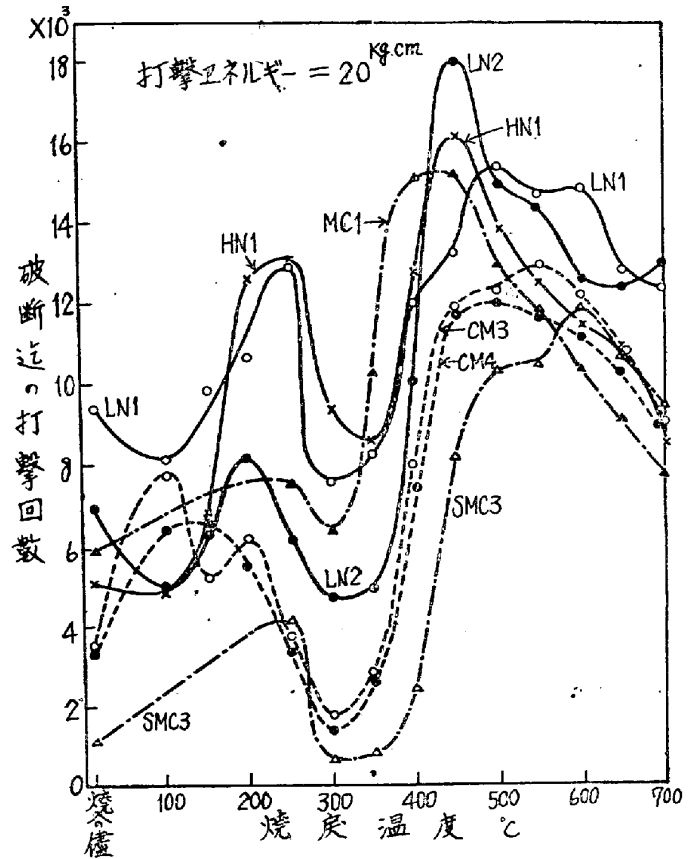


第4図 焼戻温度及切欠半径の凸型衝撃試験結果に及ぼす影響 (焼戻温度より空冷)

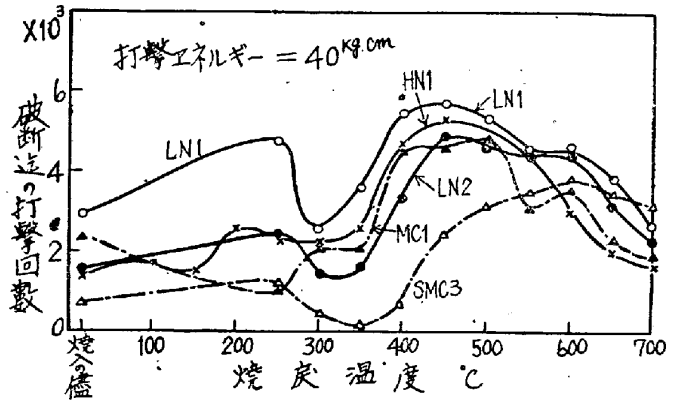
鋼種	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr
×...× Si-Mn-Cr	0.47	0.52	0.92	0.024	0.019	0.15	0.48	0.93
●—● Mn-Cr	0.42	0.26	0.54	0.019	0.029	0.06	1.81	0.94
低 Ni-Cr								

20 及 40kgcm の二種とした。第5及6図は夫々の打撃エネルギーの場合に就き焼戻温度が破断迄の持続回数に及ぼす影響を图示したものである。

この曲線は著しい特徴を示し高温焼戻では焼戻温度の低下と共に抗張力、降伏点等と同様衝撃疲労強度を増すが、450~500°C 附近に顕著な極大を生じ、これより焼戻温度が低温になれば急激に耐久力を減少し 300°C 附近は深い極小点となり、200°C 附近の焼戻により再び極大値を生ずる。即ち低温焼戻状態では衝撃疲労強度は衝撃値曲線とよく似た傾向を辿り或臨界点以上の焼戻温度では抗張力と同様な変化を受けることが知られる。特に留意すべきことは Ni-Cr 鋼に比し Mn-Cr-Mo、及 Si-Mn-Cr 鋼が低温焼戻に於ける極小及極大値が極めて低値であり、Ni-Cr 鋼、特に高Ni-Cr 鋼は P, S 高く低温焼戻状態の衝撃値が至つて小であるにもかかわらずその状態に於ける他鋼種の比較的衝撃値の良好なものより遙かに勝れ、殊に 20kgcm の落下エネルギーの際の 200°C 焼戻に於ける極大値は後者の450~500°C 焼戻に



第5図 松村式繰返衝撃強度に及ぼす焼戻温度の影響 (焼戻温度より空冷)



第6図 松村式繰返衝撃強度に及ぼす焼戻温度の影響 (焼戻温度より空冷)

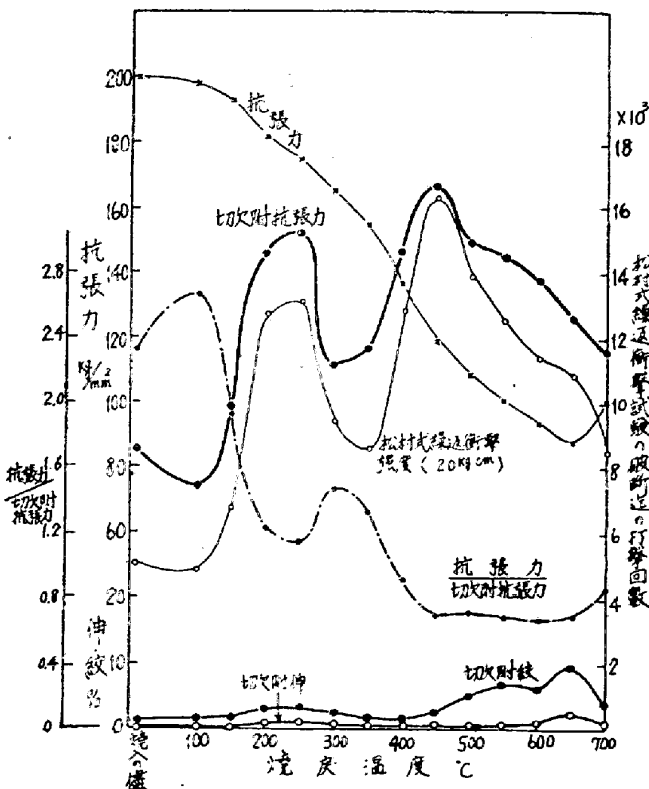
於ける最大値に比肩し得るものである。又この曲線は C% により大きな影響をうけるが C% の高い Si-Mn-Cr 鋼は最大点が高温に移行している。

衝撃疲労破面は焼戻温度により著しく特徴ある変化を示し、焼戻の儘或は 300°C 附近の焼戻状態では殆ど疲労疵を発生せず所謂衝撃性の破面を呈するが 200°C 焼戻の極大値附近のものは稍疲労疵を生じて居り、450~500°C 焼戻の最大の耐久力を呈したものは疲労疵が最も発生し更に焼戻温度の上昇と共に漸減する。

4. 切欠附抗張試験結果

E. J. Rippling と L. J. Ebert<sup>2)</sup> はSAE 4340 鋼 (低 Ni-Cr-Mo 強靱鋼) の 315~537°C 間の各焼戻状態に就き鋭い切欠を附した抗張試験片の静的引張試験を行い 425°C 焼戻に於て破断荷重の極大値を生ずることを認めこの焼戻状態に於ける切欠なしの抗張力 144kg/mm<sup>2</sup> を以て當該鋼種の強度限界と稱し、これ以上の高抗張力の状態でこの鋼種を苛酷な應力を受ける部分に使用することは安全でない述べている。

本実験に於ては高 Ni-Cr 鋼其の他の鋼種に就き焼入の儘及 100~700°C 及焼戻状態に於ける切欠附抗張試験を行つた。試験片は第1回に示した通で 50t アムスラー試験機で略同様な負荷速度 (平均 375kg/s) を以て引張り最大荷重を溝底部の斷面積で割つたものを切欠附抗張力とする。第7圖は高 Ni-Cr 鋼に就ての結果を示す。これに依れば切欠附抗張力はダイメンションを異にするに拘らず切欠附衝撃疲勞強度曲線と同様な傾向を示し 650~450°C の焼戻では略抗張力の 1.5 倍の線に沿つて上昇するが 450°C 焼戻で最大値をとり焼戻温度が更に低下すると切欠附抗張力が減少し衝撃疲勞強度と全く同様に 300~350°C 附近に極小、200~250°C に極大點を生ずる。切欠附抗張試験片の破断面も又破断應力に應じて特異な變化をすることが觀察された。



第7圖 高 Ni-Cr 鋼の切欠附静的抗張試験結果に及ぼす焼戻温度の影響 (焼戻温度より空冷)

5. 顯微鏡組織其他

各鋼種共 10mm 角の試片を所定温度より油焼入を行つた儘の組織は黑色針狀の低部ペーナイトを伴つたマルテンサイトであり、400°C 以上の焼戻により若干の針狀フェライトを含むソルバイト組織となり 650°C 以上の焼戻により微粒狀に炭化物が凝集する。即ち焼入冷却時に Ar<sub>1</sub> 點に到達前に中間段階變態が一部進行していることが明かであり中間段階變態の進行速度の遅い高 Ni-Cr 鋼は Mn-Cr-Mo 鋼等のこの變態速度の速いものに比し焼入が完全であり低部ペーナイト組織が少ないことが觀察される。今野式示差膨脹試験機による焼戻曲線は 100~400°C 間で連続的な収縮が起り、この間 250~300°C 附近に残留オーステナイトの分解により若干の膨脹を示すものがあるが、450°C 以上では安定なソルバイトになり膨脹曲線の變化がなくなる。

IV. 實驗結果に對する考察

以上の實驗結果より各種強靱鋼は低温焼戻状態に於て各種の静的動的應力に對し切欠感受性が極めて特徴ある變化を生ずることが知られた。即ち衝撃値は焼戻温度 300~350°C で著しい極小値を呈するがこれに就ては既に低温焼戻脆性として現象的にはよく認められて居り<sup>3)</sup> この谷の深さは Swinden<sup>4)</sup> によればオーステナイト粒度に左右せられ、又萩原博士は特殊鋼の衝撃値に關する研究の結果<sup>5)</sup> P 含有量の多い程この谷の深さを増すことを認めている。本實驗結果に於ても P, S の悪影響は判然と認められるから齒車材は可及的にこれらの含有量を低減せしめる様製鋼作業上の留意が肝要である。然しながら高 Ni-Cr 鋼は P, S 含有量がかなり多く衝撃値が低いにもかかわらず衝撃疲勞強度は Ni を含まぬ鋼種に比し遙かに良好で、特に 200°C 附近の低温焼戻に於て顯著である。

切欠附抗張試験に於て衝撃疲勞強度曲線と極めて近似した傾向を示すことは作用應力の性質が全く異なるにも拘らず切欠感受性は焼戻温度により同様な傾向の變化を示すものであり、更に小野式回轉曲げ疲勞試験により焼戻温度の切欠附疲勞限に對する影響を實驗中であるが 450°C 附近の焼戻温度にやはり極大が存在するようである<sup>6)</sup>。

尙低温焼戻状態の切欠強度に對しては炭素含有量が大きな影響を與えることは明らかでありこの種の強靱鋼では 0.45% 以上は禁物である。又 300°C 附近の切欠強度の極小は焼入時の残留オーステナイトの焼戻による變態に關連があることが考慮せられるが、定量的な實驗結果

は得られていない。

## V. 結 言

各種の強靱鋼の切欠強度に及ぼす低温焼戻温度の影響を調査し車輛用齒車の熱處理に應用した結果その現用成績に於ても著しく近似した現象が認められ初期の衝撃的破斷を完全に防止し壽命を延長することが出來た。しかしながら最高度の耐摩耗性を同時に附與する爲には本實驗結果は決して満足すべきものではないから種々の新しい焼入方法、成分、焼入性等の材質的諸問題に就て研究を續行中である。 (昭和 25 年 4 月寄稿)

## 文 献

- 1) Ed. Houdremont: "Einführung in die Sonderstahlkunde" (1935) S. 85
- 2) E.J. Ripling & L.J. Ebert: "Iron Age" Aug (1948) P. 86
- 3) 朝倉潮, 「鐵と鋼」25 (昭 14) 298
- 4) Swinden & Bolsover: "Journal of Iron & Steel Inst. 2(1936) 457
- 5) 萩原巖, 「鐵と鋼」28 (昭 17) 1209
- 6) 河井, 未報

## 熔鋼中の非金属介在物に及ぼすクロムの作用に就て (II)

(昭和 24 年 4 月本會講演大會にて講演)

石 塚 寛\*

### EFFECT OF CHROMIUM ON THE NON-METALLIC INCLUSION IN MOLTEN STEEL (II)

*Hiroshi Ishizuka*

Synopsis:— The foregoing statement reported that the ferro-chromium addition in the last period of refining at the basic arc furnace melting, caused a conspicuous decrease of non-metallic inclusion in molten steel, and proved the chromium to be one of the strong cleansers.

Ever since, the following results have been obtained by further examinations in the same field by means of basic and acid open-hearth meltings.

(1) With basic open-hearth melting, the addition caused sometimes the increase and sometimes the decrease of inclusion.

(2) With acid open-hearth melting, the inclusion usually increased.

(3) It was found that the increase and decrease of inclusion were closely related with the basicity of slags. Namely, with the basic open-hearth melting, in case of the  $\text{CaO}/\text{SiO}_2$  is less than about 2.0~2.2 or the  $\Sigma\text{Ro}/\text{SiO}_2$  is less than about 2.8~3.0, the inclusion increases, and when it is more than the figure the inclusion decreases. This, eventually, induces the fact, that in the acid open-hearth melting, the inclusion duly increases instead of decreasing, and as explained above, it increased without exception.

(4) After comparative studies between basic arc furnace melting above described and basic open-hearth melting, the above relation proved to be so relative that, when the slag is basic, and in the range around about 2.0~4.5 of basicity ( $\text{CaO}/\text{SiO}_2$ ), the addition of ferro-chromium decreases the inclusion, and the maximum decreasing ratio can be reached at the basicity about 2.6~3.0 in both cases.

## I. 緒 言

第 1 報に於て鹽基性電弧爐熔解の精鍊末期に Fe-Cr

を投入すると熔鋼中の酸化介在物は急激に減少し Cr は

\* 日本製鋼所室蘭製作所研究部