

軸受鋼の性質に及ぼす不純物 (Ni, Cu) の影響に就て

(昭和 27 年 4 月本會講演大會にて講演)

山中直道*・日下邦男*

INFLUENCE OF IMPURITIES (Ni, Cu) ON THE
PROPERTIES OF BEARING RACE STEEL

Naomichi Yamanaka, and Kunio Kusaka

Synopsis:

The limitation of impurities in bearing race steel—SUJ 2 Steel in JIS Specifications—were set up as follows: Ni max. 0.30%, Cu max. 0.35%. To investigate the influence of Ni and Cu on the properties of bearing race steel, critical point, hardness, retained austenite, and toughness in hardened state were measured. These results were as follows:

(1) Critical point was lowered linearly as Ni+Cu content increased, and relationship between Ac point and Ni+Cu content was represented by following formula from the results of 15 heats:

$$y = 768.4 - 25.7x$$

y: Ac point in °C
x: Ni+Cu %

(2) Brinell hardness in annealed state increased as the Ni+Cu content increased. Relationship between H_B and Ni+Cu% was as follows:

$$y = 180.5 + 67x$$

(3) The quantity of retained austenite in quenched state was measured by saturation magnetization. This amount increased as Ni+Cu content increased, and relationship between retained austenite (in %) and Ni+Cu content (in %) was as follows:

$$y = 5.96 + 4.38x \quad : \quad \text{Oil quenched from } 820^\circ\text{C}$$

$$y = 7.07 + 6.17x \quad : \quad \text{Oil quenched from } 840^\circ\text{C}$$

(4) Toughness in hardened state was determined by static bending test measuring breaking load, deflection and energy absorbed by test piece. The absorbed energy after oil quenching from 820°C and tempering at 150°C decreased as Ni+Cu content increased.

I. 緒 言

軸受鋼はボール・レース材共に焼入後低温焼戻の高硬度の状態で使用されるものにして耐摩耗性と共に強靱性が要求せられ、この爲材質的には砂疵、非金属介在物、マクロ組織、炭化物の球状化並に偏析¹⁾等いろいろと問題があるのであるが吾々は今回、普通スクラップより軸受鋼を熔製する場合にその混入を避け得られない所の Ni, Cu の影響について実験を行った。軸受輪材としては普通軸受鋼 2 種が使用されて居り、JIS 規格に於ては不純物は Ni 0.3% 以下、Cu 0.35% 以下と定められている。これら Ni, Cu が軸受鋼の性質に如何なる影響を與えるかを調査するために軸受鋼 2 種の壓延製品及 Ni を種々に添加して高周波誘導爐で調製したものにつ

き變態點、焼入硬度、焼戻硬度、焼入時の残留オーステナイト量、焼鈍硬度、常溫變形抵抗及焼入焼戻後の靱性の測定を行った。

II. 實 驗 結 果

供試料の成分は第 1 表の如し

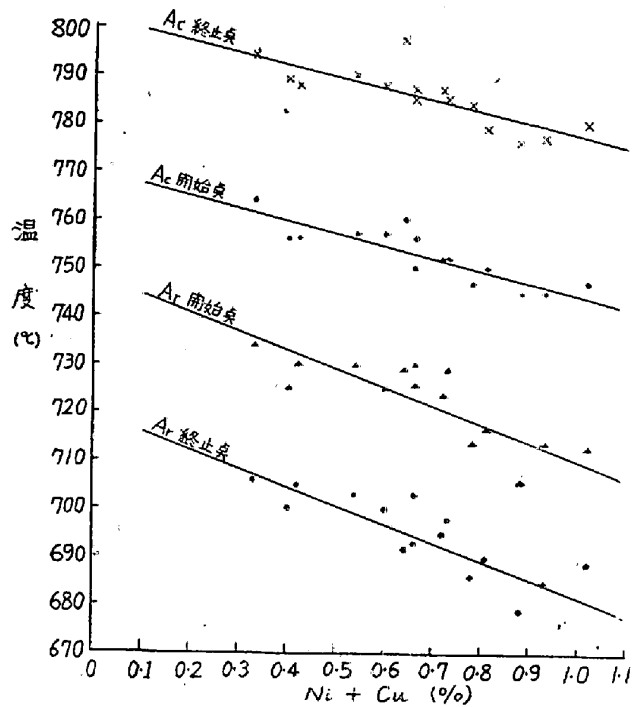
a. 變態點に及ぼす影響

測定は本多式熱膨脹計によつて約 2°C/min の加熱及冷却速度で行つた。これらの結果を第 1 圖に示す。測定結果の考察に際しては供試材の化學成分が同一でなく、ばらつきがありこれが當然測定値に影響してくるので、Ni+Cu% を變數 x とし變態點その他の測定値を函數 y

* 特殊鋼株式會社研究部

第1表 化 学 成 分

熔番	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu
1	1.03	0.29	0.32	0.020	0.013	1.55	0.13	0.20
2	1.00	.35	.34	.022	.016	1.47	.19	.35
3	1.04	.34	.36	.022	.015	1.51	.14	.28
4	1.06	.26	.44	.024	.016	1.40	.17	.23
5	1.04	.35	.36	.023	.019	1.33	.28	.32
6	0.96	.35	.37	.024	.017	1.35	.34	.32
7	1.02	.22	.33	.024	.014	1.26	.36	.28
8	1.04	.26	.27	.023	.018	1.35	.45	.28
9	1.00	.26	.32	.018	.010	1.27	.38	.28
10	0.97	.36	.30	.024	.014	1.31	.41	.31
11	1.05	.32	.33	.021	.014	1.44	.50	.28
12	1.09	.35	.34	.023	.011	1.39	.53	.28
13	1.03	.33	.44	.020	.012	1.32	.55	.33
14	1.12	.17	.30	.024	.015	1.44	.60	.33
15	1.04	.20	.27	.020	.014	1.25	.69	.33
B 1	0.98	.29	.27	.021	.016	1.34	.14	.07
B 2	0.99	.23	.28	.023	.018	1.30	.20	.08
K-37	1.05	.15	.43	.020	.017	1.33	.15	.24
K-40	0.96	.15	.50	.011	.015	1.53	.14	.21
K-44	1.11	.23	.41	.021	.020	13.2	.17	.28
K-45	1.00	.21	.37	.026	.024	1.37	.23	.24
K-65	1.05	.19	.40	.028	.026	1.41	.14	.26



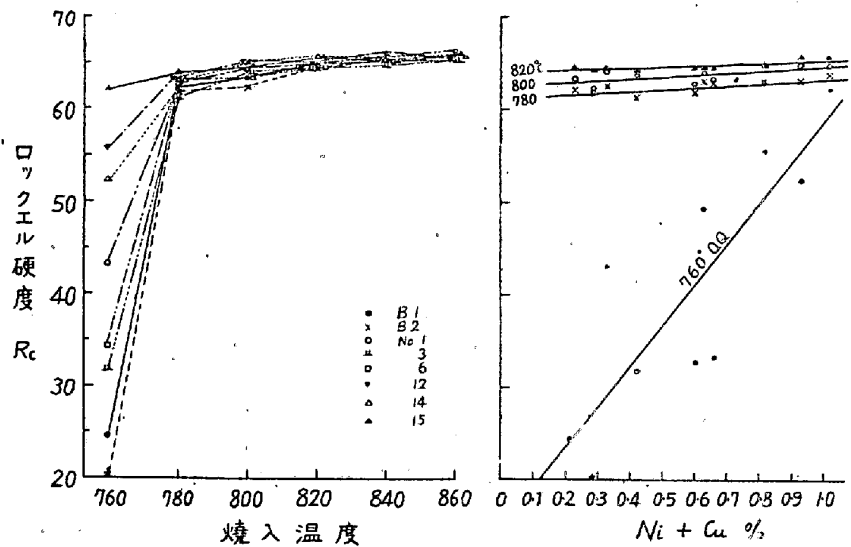
第1圖 Ac, Ar 點と Ni+Cu% との関係

として、y と x の間の相関係数を算出しこの相関係数の有意性を検定して危険率を推定した。Ac 開始點及終止點と Ni+Cu% との相関係数は $r = -0.866$ 及 -0.82 となり兩者共 0.1% 以下の危険率で負相関があるといえる。回帰直線は夫々 $y = 770.29 - 25.9x$ 及 $y = 802.76 - 25.5x$ となる。

又 Ar 開始點及終止點と Ni+Cu% との関係は相関係数が夫々 -0.877 及 -0.89 となり 0.1% 以下の危険率で負相関があり回帰直線は $y = 748 - 38.1x$ 及 $y = 717.65 - 37.5x$ となる。この軸受鋼の場合不純物 Cu% の變化が少いので Ac 開始點及終止點と Ni% につき相関係数を求めてみたがこの場合には夫々 -0.83 及 -0.762 となりやはり 0.1% 以下の危険率で負相関があるといえ、回帰直線は $y = 763.19 - 26.9x$ 及 $y = 795.42 - 25.6x$ となる。

b. 焼入硬度及焼戻硬度に及ぼす影響

8φ×20 の小試片を球化焼鈍後種々の温度より油中焼入して硬度を測定した。この結果は第2圖の如くで Ni+Cu% の低いものでは 760° O.Q. では殆ど硬化しないが Ni+Cu の高いものではかなり硬度が上昇している。760° O.Q. の場合には硬度 (Rc) と Ni+Cu% との相関係数は 0.853 となり 1% 以下の危険率で相関があり関係式は $y = 15.0 + 43.8x$ にて表わされる。焼入温度が

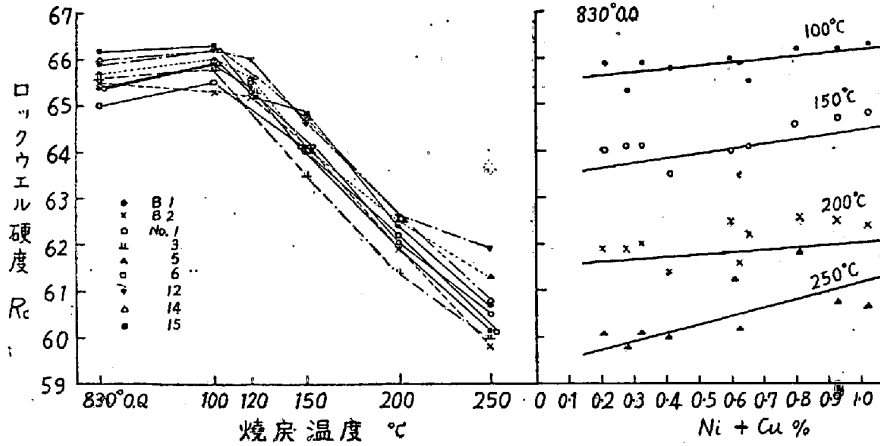


第2圖 焼入硬度と Ni+Cu % の関係

上昇すると硬度上昇率は低下し 840° O.Q. では殆ど硬度差はなくなる。780°, 800°, 820° O.Q. の場合、硬度と Ni+Cu% との相関係数は夫々 0.716, 0.679, 0.655, となり各々 5% 以下の危険率にて相関がありといえ、回帰直線は夫々 $y = 61.4 + 2x$, $y = 62.56 + 2.14x$, $y = 63.96 + 1.29x$ となる。

次に 830° O.Q. した試片を 100°, 120°, 150°, 200°, 250°C に 1hr 焼戻をして硬度を測定した。この結果は第3圖の如くで全體の傾向としては 100°C 焼戻では αM→βM に相當して硬度がやゝ上昇し 150°, 200°C では内部應力の漸次解消によつて硬度は急に低下し 250°C 附近の焼戻に依つては残留オーステナイトの分解に相當

して軟化は一時ゆるやかとなる。100°, 150°, 200°, 250 °C 焼戻の場合の硬度と Ni+Cu% との相関係数は夫々 0.643, 0.643, 0.693, 0.637 となり何れも 5% 以下の危険率で直線的に硬度が上昇しているが硬度上昇率は 250°C 焼戻の場合に最も大きくなっている。



第3圖 焼戻硬度と Ni+Cu% の関係

c. 焼入時のオーステナイト量に及ぼす影響

高炭素クロム鋼の焼入に際しては、かなりの量のオーステナイトが残留し焼入の際の變形、焼割れの現象等に影響を與え又焼入後時間の経過と共に徐々に分解を始める結果、製品の品質に複雑な影響を與えることが知られており残留オーステナイトに關しては種々の研究²⁾³⁾が發表されているが著者等は焼入時の残留オーステナイト量に及ぼす Ni+Cu% の影響を調査した。

この測定にはX線分析法、磁氣飽和値を求めて之より算出する方法⁴⁾⁵⁾があるが著者等は磁氣繼鐵法により後者の方法によつて測定した。即ち磁場が弱い場合には磁氣誘導はα鐵の量によるばかりでなく其の他いろいろな因子により影響されるが磁場を強くして磁氣飽和値を求めればこれはα-Feの量のみ依存するものである。したがつて焼鈍状態における磁氣飽和値を $4\pi I_{\text{ann},\alpha}$ 、焼入状態におけるそれを $4\pi I_{\alpha}$ とすれば

$$\frac{4\pi I_{\text{ann},\alpha} - 4\pi I_{\alpha}}{4\pi I_{\text{ann},\alpha}} \times 100 = \text{残留オーステナイト \% となる。}$$

試片の大きさは 8φ×50、磁場の強さは 1,500 エルステッドにて行つた。820°C 及 840°C O.Q. の場合の残留オーステナイトと Ni+Cu% との関係は第4圖の如し。

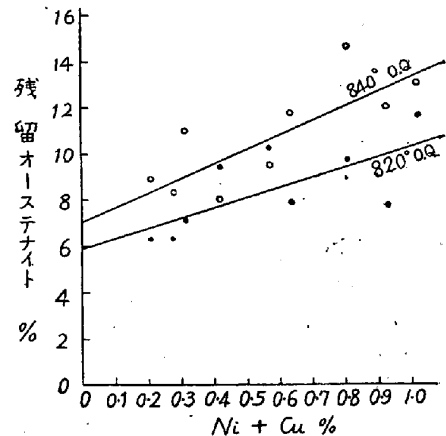
兩者の場合残留オーステナイトは Ni+Cu% の増加につれて多くなつてゐる。即ち 820°C O.Q. の場合には相関係数は 0.692 となり 5% 以下の危険率にて相関があり $y=5.96+4.38x$ となる。次に 840°C O.Q. の場合は相関係数は 0.75 となり 2% 以下の危険率にて相

関がありといへ $y=7.07+6.17x$ となる。

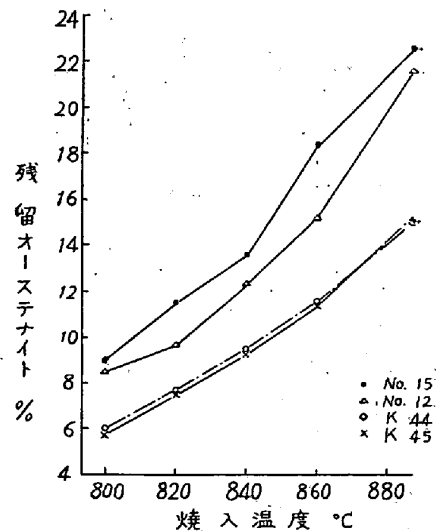
次に Ni+Cu% の高いもの及び低いものにつき焼入温度を 800~880°C に變えた場合の残留オーステナイト量は第5圖の如くであつて何れも焼入温度の上昇によつて残留オーステナイト量は増加するが Ni+Cu% の大なるものは焼入温度上昇による残留オーステナイト増加率が大きい。

d. 焼鈍硬度及常溫變形抵抗に及ぼす影響

16φ×20 試片につき 900°C より焼準後 780°C×2hr 保持後徐冷 (750°C までの平均冷却速度 15°C/hr, 660°C まで 21.7°C/hr) してブリネル硬度を測定した結果は第6圖(A)の如く Ni+Cu% の増加につれて硬度數が大となる。即ちブリネル硬度と Ni+Cu% の相関係数は



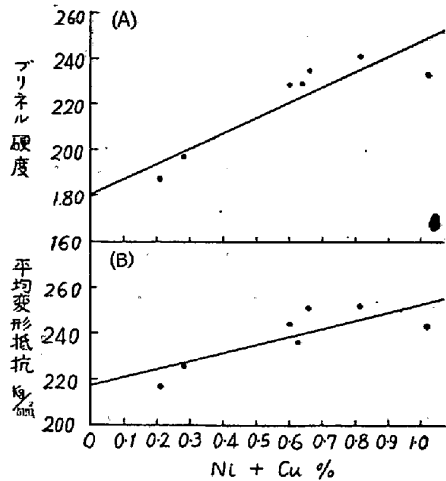
第4圖 残留オーステナイトと Ni+Cu% の関係



第5圖 焼入温度と残留オーステナイト量

0.882 となり 1% 以下の危険率にて相関がありこの関係は $y=180.5+67x$ によつて表わされる。

次に上と同様な処理を行つたものより 10φ×10 試片を採り常温に於て重錘落下法に依つて壓縮し壓縮前後の試片の高さから平均變形抵抗を算出した。この結果は第6圖(B)の如くこの値は Ni+Cu% の増大につれて大となり、變形抵抗値 (kg/mm²) と Ni+Cu% との相関係数は 0.785 となり危険率 5% 以下で相関があり回歸直線は $y=217.4+35.8x$ となる。



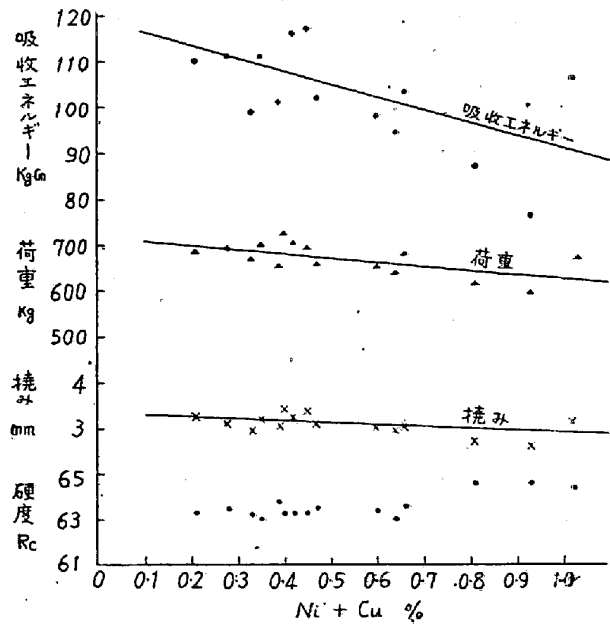
第6圖 焼鈍硬度と Ni+Cu% (A) 及常温變形抵抗と Ni+Cu% との関係 (B)

e. 靱性に及ぼす影響

軸受鋼は焼入後低温焼戻を行つて高硬度 (約 Rc 63) の状態で使用されるものであり、従つてこの場合の靱性は非常に重要な因子となる。硬化状態に於ける靱性の比較には衝撃振り試験、切込なしアイソット衝撃試験、静的曲げ試験⁹⁾等が用いられ得るが、著者等は静的曲げ試験に依つた。即ち 8φ×130 試片を 820°C O.Q 後 100°C, 150°C に 1hr 焼戻を行い、100mm 支點間に 40mm 間隔の二點荷重を加えて、5 種アムスラー萬能試験機を用いて静的曲げ試験を行つた。而して破壊の際の最大荷重とその時の撓み量を測定し荷重—撓み圖より破壊までに吸収されたエネルギー値を求め、この値より靱性を比較した。1/100mm ダイヤル・ゲージを以て中央における撓みを 20kg 毎に測定、荷重速度は約 2.5kg/sec で行つた。

100°C×1hr 焼戻の場合は吸収エネルギー値は Ni+Cu% の増加につれて低下する傾向にあるが、この場合の相関係数は -0.411 となり危険率は約 10% となる。

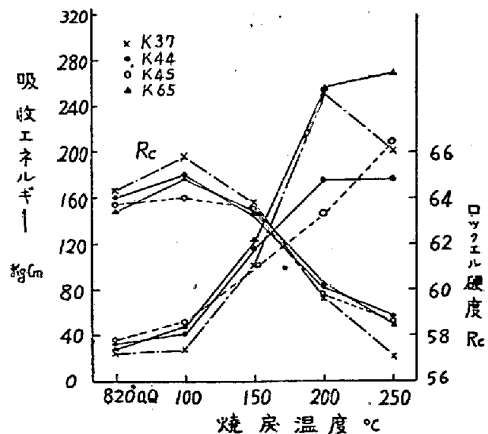
150°C×1hr 焼戻の場合の吸収エネルギー値、荷重、撓み、硬度と Ni+Cu% との関係は第7圖の如くなる。吸収エネルギー—即ち靱性は Ni+Cu% の増加によつ



第7圖 820°C O.Q 後 150°C×1hr 焼戻後の靱性と Ni+Cu% の関係

て直線的に低下し、この間の相関係数は -0.587 となり 5%以下の危険率にて負相関ありといえ、回歸直線は $y=119.7-29.5x$ となる。次に荷重、撓みと Ni+Cu% との関係は夫々 -0.653 , -0.523 となり危険率は夫々 1%5% 以下で回歸直線は $y=718.3-95.2x$, $y=3.37-0.47x$ となる。

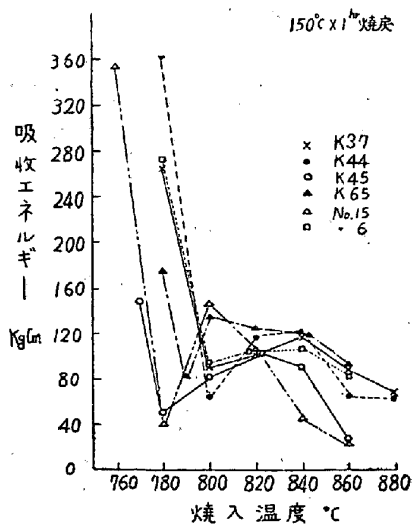
次に Ni, Cu の低目のものにつき 820°C O.Q 後各温度に 1hr 焼戻を行い焼戻温度と靱性の関係を求めた結果は第8圖の如くなり、100°C×1hr 焼戻によつては硬度はやゝ上昇するも吸収エネルギー値は却つて幾分増大する。これは αM→βM の安定化と焼入歪の一部除去によるものと思われる。150°C~200°C の焼戻によつて αM→βM は殆ど完了し内部応力も漸次解消し硬度も低下、靱性が著しく大となる。250°C では残留オーステナイトの分解に相當して軟化は一時ゆるやかとなり靱性の



第8圖 焼戻温度と靱性の関係

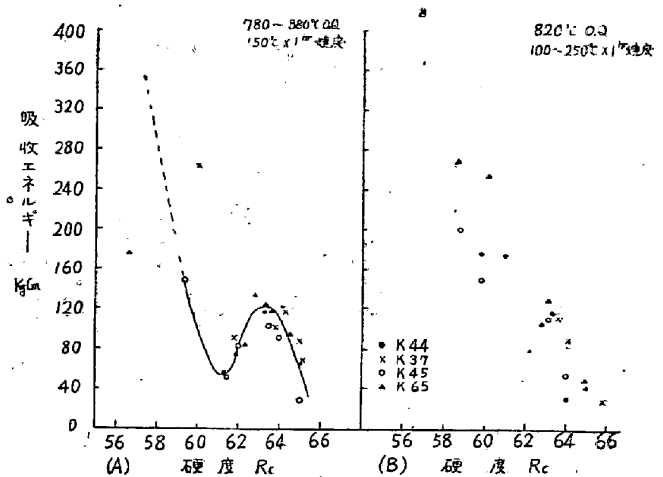
増加も止まるか或は却つて減少する。

次に Ni, Cu の高いもの及び低いものにつき焼入温度を 760°~880°C に變化させ 150°C×1hr 焼戻をした場合の焼入温度と靱性の關係は第 9 圖の如くなる。焼入温度低きときは硬度も低く荷重も大して大きくはないが試験片は著しく彎曲した後で破壊するために撓みが大きくなり、吸収エネルギー値は大となる。荷重・撓み曲線は彎曲し破面粒度も著しく粗い。これにより焼入温度がやゝ上昇し 150°C×1hr 焼戻後 Rc 61 程度になると荷重—撓み線圖は殆ど直線狀となるが吸収エネルギー値は圖の如く低下し破面粒度も稍々粗い。この原因については明かでないが不完全焼入によるパーライトの一部残存によるためではないかと思われる。Ni+Cu% の高いものでは 800°C O.Q. で、又 Ni+Cu% の低いものでは 820°~840°C O.Q. で破面粒度も細くなり靱性の山を生ずる。これより焼入温度が高くなると再び破面粒度が粗らくなり、マルテンサイトも粗大化して靱性は低下するに至る。又焼入温度上昇により荷重・撓み直線の傾斜も幾分ゆるやかになる傾向が認められる。



第 9 圖 焼入温度と靱性の關係

次に軸受鋼 2 種の壓延品について硬度と靱性の關係を求めた。結果が第 10 圖で (A) は焼入温度を變化させて焼戻を 150°C×1hr に一定せる場合の關係にして Rc 61 附近に靱性の谷を生じ Rc 63.4 位で山を生じている。(B) は焼入温度を 820°C に一定し焼戻温度を變え



第 10 圖 硬度と靱性の關係

- (A) 焼入温度を變化させて焼戻温度を一定とせる場合
- (B) 焼入温度を一定とし焼戻温度を變化せる場合

た場合の硬度と靱性の關係にして、この場合は大體直線的な關係がある。

III. 結 言

以上軸受鋼に及ぼす不純物 (Ni, Cu) の影響を調査するために Ni, Cu を添加熔製せる試料につき變態點、焼入硬度、焼戻硬度、焼入時の残留オーステナイト量、焼鈍硬度、常溫變形抵抗及焼入焼戻後の靱性等の測定を行い、これらの性質と Ni+Cu% との相關々係を求むるために相關係数を算出してその有意性を檢定し回歸直線式を與えた。更に焼入焼戻後の靱性について若干の實驗を行い焼戻温度と靱性の關係及び焼入温度と靱性の關係を求め、又硬度と靱性の關係についても考察を加えた。

終りに本研究の發表を許可されたる工場長石原正美氏に謝意を表すると共に、種々の援助をいただいた現場擔當各位並に實驗に協力された外岡、平山、伊熊三君にも感謝する次第であります。(昭和 27 年 7 月寄稿)

文 獻

- 1) 山中直道：昭和 27 年 4 月，鐵鋼協會講演會報告
- 2) 下田秀夫：昭和 24 年 4 月，金屬學會講演會報告
- 3) / 昭和 27 年 3 月，金屬學會第 5 分科會報告
- 4) 田丸・關戸：東北理報，20 (1931) 377
- 5) 三上美和吉：東北理報，23 (1934—35) 213
- 6) 山田・横山：金學誌，B 14 (1950) 42