

Table 2. Statistical data under standard specification

	S F-40	S F-45	S F-50	S F-55	S F-60	κ
Total number of specimen	12	60	114	91	51	3/4
ϵ_0 (mean)	107.6	86.75	70.11	57.27	52.59	
r^0 (mm)	3	6	10	16	22	
	Grade-2		Grade-3		Grade-4	κ
Total number of specimen	146		146		36	1/2
ϵ_0 (mean)	95.71		59.24		52.59	
r^0 (inch)	1/4		3/8		1/2	

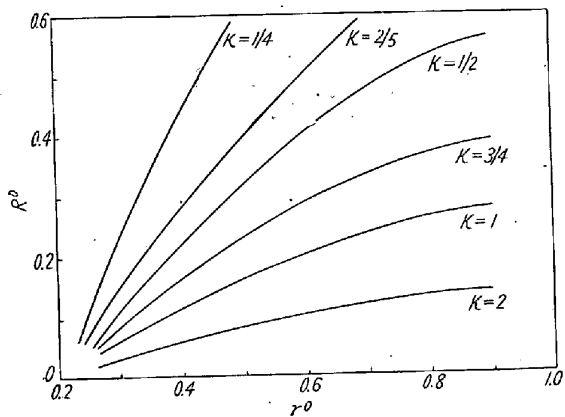


Fig. 3. Relation between normal and effective inner radius.

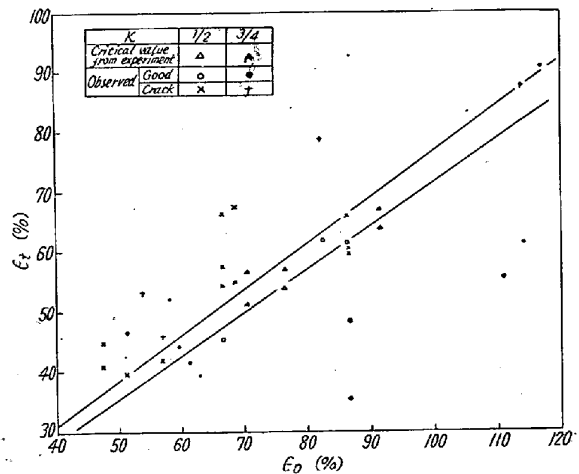


Fig. 4. Deviation of the practical value.

となり、 r^0 の増加とともに直線的に減少する。

IV. 実際上の諸問題

本報告で検討した諸事項は、すべて平均値ないし標準値にもとづくため、実際には種々の複雑な問題がある。

(1) 単独の介在物がたまたま試験片の最外表面または稜部に存在すると、ノッチ効果をもつから、 r^0 の臨界値とかなりへだたつた条件で亀裂が生ずる。 κ が大きいと効果もいちじるしい。

(2) 測定結果のバラツキには二種類の原因が考えられる。第1は種々の ϵ_0 に対して一定の r^0 を用いたために生ずるものであつて、第2は同一の ϵ_0 を有するにもかゝらず、屈曲条件の些細な差によるものである。Fig. 4 は α と実測値との関係を示すが、これには両者をふくんでいる。前者は各級の最小 ϵ_0 に対応した r^0 を選ぶというようなことで解決しうる可能性がある。

(3) r^0 が小さな場合、とくに密着曲げなどでは、内側に逆曲げ現象を生ずる。またロール近傍では押込みの際に張力を受けたと考えられる痕跡も認められ、これらの総合された効果が屈曲条件という言葉で表現される。

V. 結 言

屈曲試験における歪の問題は、抗張試験の局部しぼり

によつて説明されるが、実際には解析不可能な偶発的因子が介入して複雑になる上、亀裂の発生する頻度がきわめて小さくても、個々の場合を独立事象としてあつかうため、推計学的に割り切れないところに問題がある。しかし、事後の検討によつても、亀裂の原因を推定することは可能である。本報告は、局部しぼりにもとづいて、炭素鋼全般にわたつて適用しうる力学的標準法則について考察し、あわせて r^0 の臨界値に対する目安を示した。

(71) 低炭素鋼の機械的性質におよぼす微量不純元素の影響

Influence of Tramp Elements on the Mechanical Properties of Mild Steel.

Naoki Eguchi, et alii.

八幡製鉄所, 技術研究所

工 大竹 正・工 村山周治・○江口直記

I. 緒 言

鋼中に微量に含有され精練によつても除去困難な Cu, Sn, As, Ni, Cr などのいわゆる tramp elements が鋼質にあたえる影響は実用上きわめて重要である。さき

に著者などはこれら元素が鋼材の表面疵（ひびわれ）におよぼす影響¹⁾を詳細にしらべ、またその中の二、三の元素の機械的性質におよぼす影響²⁾を報告した。

これら元素の鋼材への混入経路は鉄鉱石から銑鉄を通じて入るものももちろんあるが主として製鋼時に使用される屑鉄からと考えられる。最近 No. 2 バンドルスクラップの使用にあたりこれら元素の増加が報告された³⁾。また米国における試験結果によれば No. 2 バンドル熔解鋼は S, Cu, Sn が高く製鋼歩留は低く製鋼時間が長くなる⁴⁾ことが報告されている。

そこで屑鉄の種類を種々変えて熔製した鋼にこれら元素がどの程度含有されるかをしらべ、つぎに鋼材の機械的性質におよぼす影響を実験した。

II. 実験試料

鋼はいずれも 60 t 塩基性平炉で屑鉄を (i) 国内プレス, (ii) No. 2 バンドル, (iii) 所内 1 級, (iv) 所内 2 級の 4 種類にかえ屑鉄配合率を 40% に一定しそれぞれ 5 チャージ熔解し 0.07~0.01% C のリムド鋼とした。なお熔銑にふくまれるこれら元素は試験期間を通じてほとんど変動してない。

試料は鋼塊 T, M, B に相当する位置で 96 mm φ 鋼片および 19 mm φ 棒に圧延してから採取した。分析試料は 19 mm φ 棒断面から採取した。19 mm φ 鋼は圧延のみおよび各種熱処理後 2 号試験片とし、96 mm φ 鋼片は 12 mm 厚 × 60 mm 巾 × 500 mm 長に鍛造し熱処理後 L 方向からシャルピー試片 (V ノッチ, 2 mm 深さ) を切出し -40~+100°C の間で試験した。また 19 mm φ 鋼は熱間屈曲試験をおこないひびわれの程度を調査した。

III. 実験結果

(1) 鋼材中の各元素含有量

Table 1 に実験試料の各元素の平均値および変動範囲を屑鉄種類別に示す。なお Mo, W はいずれも 0.01% 以下である。熔銑における各元素の含有量はおおむね 0.10% Cu, 0.01~2% Sn, 0.03~4% As, 0.01% Ni, 0.08% Cr である。これより (i) 国内プレスでは Sn

がきわめて高いものがあり Cu もやゝ高目のものがある。(ii) No. 2 バンドルは Cu が相当高いものがあり変動も大であるが Sn は高くない。(iii) 所内 1 級は Cu, Sn とともに最も低く変動も少ない。(iv) 所内 2 級は Cu が高いが変動は少ない。Sn は 1 級に比し高くなる。Ni, Cr, As は屑鉄毎に多少ことなるが大差はない。

(2) 引張試験値におよぼす不純元素の影響

分析成分から判るごとく Ni, Cr, As の含有量および変動はわずかであるので屑鉄の影響として Cu, Sn を考えればよいようにおもはれる。そこで C 0.035~0.060% Mn 0.30~0.40%, P 0.018% 以下, Cu 0.18% 以下の鋼で Sn の影響を, C, Mn, P は同上 Sn 0.05% 以下の鋼で Cu の影響をしらべた。

19 mm φ 鋼を (i) 圧延まゝ, (ii) 950°C × 1 h 焼準, (iii) 900°C × 1 h 焼鈍および (iv~vi) これらに 10% 引張伸後 250°C × 0.5 h 時効処理をおこなつて引張試験をおこなつた。

1 例として圧延まゝおよび焼鈍後の引張強さ, 降伏点におよぼす Sn, Cu の影響をそれぞれ Fig. 1, 2 に示す。一般に Sn の増加とともに引張強さ, 降伏点は 0.2~0.26 kg/mm²/0.01% Sn 増加し, のび, しぼりは減少しとくに 0.09% Sn 以上ではしぼりはいちじるしく低下する。圧延まゝのものを歪時効させた場合 0.01~4%

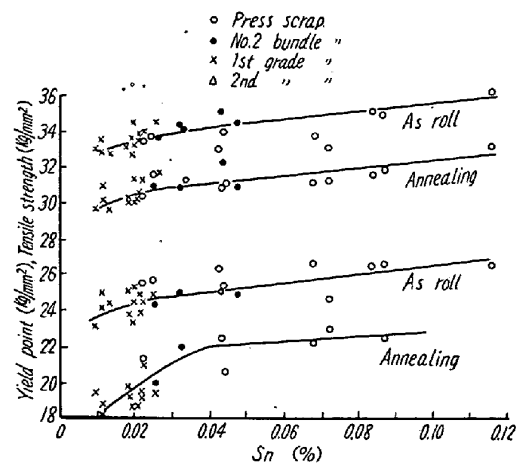


Fig. 1. Influence of Sn on tensile properties.

Table 1. Average value and range of tramp elements contained in samples.

Element (wt%)	Cu		Sn		As		Ni		Cr	
	\bar{x}	R	\bar{x}	R	\bar{x}	R	\bar{x}	R	\bar{x}	R
Scrap										
Press	0.156	0.068	0.061	0.094	0.034	0.020	0.037	0.019	0.027	0.011
No. 2 Bundle	0.185	0.122	0.041	0.031	0.028	0.021	0.039	0.022	0.036	0.028
1st Grade	0.149	0.045	0.018	0.016	0.038	0.021	0.050	0.022	0.029	0.012
3rd Grade	0.201	0.056	0.043	0.041	0.043	0.021	0.030	0.014	0.029	0.005

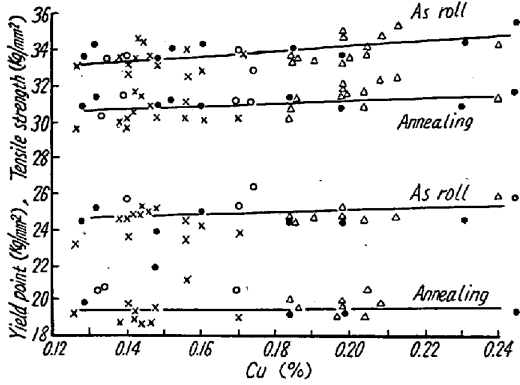


Fig. 2. Influence of Cu on tensile properties.

Sn の範囲で引張強さは急増する。Cu の降伏点におよぼす影響はわずかで、引張強さは $0.06 \sim 0.14 \text{ kg/mm}^2 / 0.01\% \text{ Cu}$ 増加し、伸びは $0.2 \sim 0.4\% / 0.01\% \text{ Cu}$ 減少する。歪時効後では圧延まゝのものが $0.12 \sim 0.19\% \text{ Cu}$ の範囲で引張強さが $0.2 \text{ kg/mm}^2 / 0.01\% \text{ Cu}$ 程度増加するがほかの熱処理ではほとんど変化しない。

屑鉄別に比較すると一般に一級屑使用鋼は引張強さが低く伸び、しぼりは高く、国内プレス屑使用鋼は Sn が高いため、No. 2 バンドルおよび 2 級屑使用鋼は Cu が高いため引張強さは高くなる、しぼりが低くなる。

(3) 衝撃値におよぼす不純元素の影響

96 mm φ より鍛造した鋼板を (i) $900^\circ\text{C} \times 2 \text{ h}$ 焼準, (ii) 焼準後 10% 引張歪, (iii) 同上引張歪後 $250^\circ\text{C} \times 0.5 \text{ h}$ 時効, (iv) $900^\circ\text{C} \times 2 \text{ h}$ 焼鈍後シャルピー試験片を作り試験し 15ft-lb 遷移温度 (Tr_{15}) をもとめた。現品分析値から C $0.03 \sim 0.05\%$, Mn $0.3 \sim 0.4\%$, P 0.018% 以下, Cu 0.20% 以下の鋼で Sn の影響を, C, Mn, P は同上 Sn 0.06% 以下の鋼で Cu の影響をそれぞれしらべた。

Fig. 3 および 4 は Tr_{15} におよぼす Sn および Cu の影響を示す。Cu はいずれの処理でも Tr_{15} をわずかに低下させるようである。また Sn は焼準, 焼鈍の場合影響は認めたいが 10% 歪処理後では Tr_{15} を上昇させる

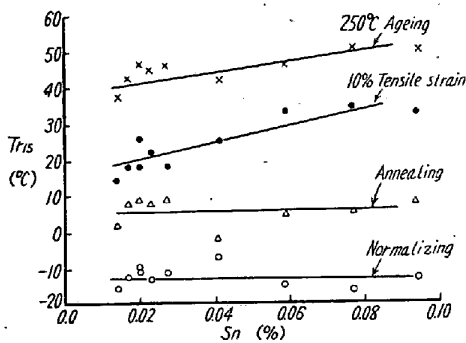


Fig. 3. Influence of Sn on Tr_{15}

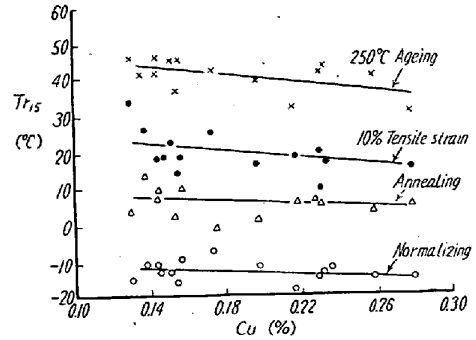


Fig. 4. Influence of Cu on Tr_{15}

ようである。

常温におけるシャルピー衝撃値は $0.04\% \text{ Sn}$ 以上になると低下するが Cu による差はほとんどないようである。

(4) ひどわれにおよぼす影響

圧延まゝの 19 mm φ 鋼を空气中で $1200^\circ\text{C} \times 1 \text{ h}$ 加熱し熱間で折曲げ、ひどわれの発生状況をしらべた。これによれば $0.15\% \text{ Cu}$, $0.03\% \text{ Sn}$ 以下の鋼ではひどわれは発生せずこれより Cu, Sn が増加するとともにひどわれは大となりとくに Cu の影響は大きくその傾向は既報の結果と一致する。屑鉄別に比較すれば一級屑使用鋼はひどわれはほとんど発生せず No. 2 バンドルおよび 2 級屑使用鋼にいちじるしいひどわれが発生するものがあり、国内プレス屑使用鋼は Sn の高いものにひどわれが発生している。

VI. 結果の考察

引張強さにおよぼす Sn の影響程度は既報²⁾の数値よりやや低く Halley³⁾が低炭素リムドストリップ材でもとめたものとほぼ一致する。Sn による衝撃値の低下は $0.04\% \text{ Sn}$ 附近から認められ焼鈍材の降伏点がこの付近まで急増することとともに注目される。組織的には Sn によりフェライト粒度が多少変化することが観察されたが粒界セメントの形状には変化はみられなかつた。

引張強さにおよぼす Cu の影響は Sn に比較し 1/2 以下でありまた衝撃値におよぼす影響も少い。これは既報²⁾の結果と一致する。この種の鋼では Cu の影響は表面疵に強くあらわれる。また歪時効が Cu, Sn により多少助長される場合がある点が注目される。

IV. 結 言

製鋼原料として用いられる屑鉄が鋼質にどのように影響するかをしらべるため国内プレス, No. 2 バンドル, 所内 1 級, 2 級をそれぞれ 40% 配合して軟鋼を熔製し実験した。その結果は大要つぎのごとくである。

1. Cu, Sn などの tramp elements は屑鉄の種類

により変化し、国内プレスでは Sn が高く Cu もやゝ高目のものがありかつ変動が大で、No.2 バンドルは Cu の変動が大で Sn は高くない。1級、2級は変動が小さい。Ni, Cr, As はいずれの場合も少ない。

2. 鋼の機械的性質は Cu, Sn によりつぎのごとく変化する。

i Cu

(イ) 圧延、焼準、焼鈍まゝで 0.01% Cu 増加毎に引張強さは 0.06~0.14 kg/mm² 増加し、伸びは 0.22~0.42% 減少する。

(ロ) 10% 引張伸び後の時効処理で引張強さは 0.20 kg/mm²/0.01% Cu 増加する。

(ハ) V ノッチシャルピー衝撃試験による Tr₁₅ は Cu% の増加とともにわずかに低下する。常温附近の衝撃値は 0.1~0.28% Cu 範囲で特別変化しない。

ii Sn

(イ) 圧延、焼準、焼鈍まゝで 0.01% Sn 増加毎に引張強さは 0.18~0.26 kg/mm² 増加しその増加割合は冷却速度がはやいほど大となる。伸びは 0~0.4% 減少する。

(ロ) Tr₁₅ は 10% 引張伸びおよび時効後 Sn の増加とともに上昇する。常温附近の衝撃値は 0.04% Sn 以上で減少する。

3. ひどわれは 1 級屑使用鋼では発生せず、そのほかの屑鉄では多少の差はあるが発生する。

文 献

- (1) 大竹他：日本金属学会誌 21 (1957) 536, 640
- (2) 大竹他：製鉄研究 212 号 (1955)
- (3) 第 7 回製鋼部会報告 (昭和 32 年)
- (4) George & Mueller: J. of Metals (1954) Sep. 952
- (5) Halley: A. I. M. E. 154 (1943) 374