

Fig. 3. Relation between heat treatment and limit for sinking (maximum reduction).

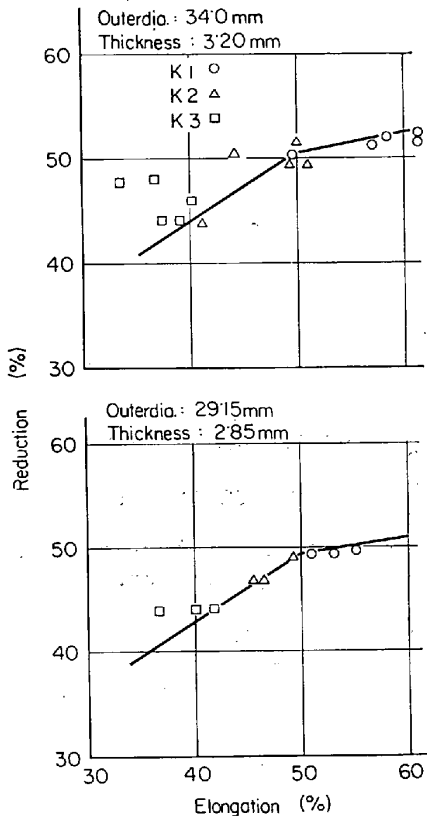


Fig. 4. Relation between elongation of mother tube and limit for plug drawing (maximum reduction).

に 25% の減面率を与え再結晶させたものについては、引抜き限界値に差は認められず、両者とも伸びが50%程度までは、伸び値と引抜き限界値とは、ほぼ等しい値を示したが、50%以上になると引抜き限界値は伸びの値にはおよばない。

文献

- 1) 向江脇ほか: 鉄と鋼, 51 (1966) 11, p. 2148
- 2) W. DAHL and H. MUHLENWEG: Stahl u. Eisen.; 84 (1964) 20, p. 1250

鋼の焼入性におよぼす熱履歴の影響*

山陽特殊製鋼

工博 小柳 明・田端義信・金子元彦

The Influence of the Thermal History on the Hardenability of Steel

Dr. Akira KOYANAGI, Yosinobu TABATA and Motohiko KANEKO

1. 緒言

鋼の焼入性に影響を与える要因として、各種合金元素およびその添加量、オーステナイト結晶粒度、熱処理履歴などがあり研究報告も多い。しかし、熱処理履歴の影響に関する研究は少なく、その本質的機構も理解するには十分とはいえない。筆者らは熱処理履歴の焼入性を与える影響を定量的に調査し、その機構を考察することを目的として、鋼の熱履歴の相違したものについて焼入性試験を行なった。

焼入性を評価する方法としては SAC 法、U 曲線法、P-F 法、P-V 試験など各種の方法があるが、今回の調査、実験には、焼入性の標準試験方法とされている Jominy 試験(一端焼入試験法)を採用した。

今回の試験の結果、試験片の熱履歴の相違が焼入性に影響を与えることが認められたのでその調査結果を報告する。

2. 統計的な調査

2.1 試料の作成および調査方法

調査には鉛快削鋼 (C 0.4%, Cr 1.0%, Pb 0.15%) を使用した。試料は 30 t 電気炉にて溶解し、1.4 t 鋼塊に造塊した後、分塊圧延により 135 mm 角鋼片に熱間圧延した 77 チャージを対象にし、同一チャージの鋼片でその後の熱処理について、

① 135 mm 角鋼片を鍛伸開始温度 1050±30°C、鍛伸終止温度 820±20°C にて 36 mm φ に鍛伸したものの。

昇温速度: 12°C/min, 鍛伸温度での保持時間: 1 hr 鍛伸中の冷却速度: 45°C/min, 鍛伸終止後の冷却: 空冷

② 135 mm 角鋼片を圧延開始温度 1150±20°C、圧延終止温度 920±20°C にて連続圧延により 32~44 mm φ に圧延したものの。

昇温速度: 55°C/min, 圧延温度での保持時間: 30 min, 圧延中の冷却速度: 50°C/min, 圧延終止後の冷却: 空冷

(なお温度測定は東京精工製接触型輻射温度計を用いた)

の 2 種類から試片を採取し、870°C x 60 min の焼ならし処理後、直径 25 mm, 長さ 100 mm (JIS G 0561-1965 に準ずる) の試験片を作成し、845°C x 30 min 加熱保持後、一端水焼入れを行なった。焼入れかたさの測定は水冷端から 12.5 mm の距離の点を測定した。

2.2 調査結果

77チャージの焼入れかたさ測定結果を Table 1 に示す。

Table 1 より鍛伸機から採取した試験片の方が圧延機

*. 第72回講演会大にて発表 講演番号 182 昭和41年11月10日受付

Table 1. Hardness number (H_{RC}) at distance 12.5 mm far from the quench end of specimens.

T*	Forged(1050°C)	Rolled (1150°C)
H*		
Average hardness number of 77heats (H _{RC})	49.40	47.61
Standard deviation of hardness number	3.027	3.326

T* Thermal history H* Hardness

のそれより H_{RC} かたさが高く焼入性が良好のように思われる。この2つの平均値の間に差があるといえるか否か平均値の差の検定を行なうと、

$$t_0 = |\bar{x}_1 - \bar{x}_2| / \sqrt{V(1/n_1 + 1/n_2)} \text{ より}$$

$$t_0 = 3.492 \text{ が得られる。}$$

ここで t₀: 試料から計算したスチューデントの t の値
 x̄₁: 鍛伸材より試験した77チャージの平均値, x̄₂: 圧延機より試験した77チャージの平均値, V: ジョミニー試験の分散, n₁: 鍛伸機の試験数, n₂: 圧延機の試験数, μ₁: 鍛伸機の試験値の母平均, μ₂: 圧延機の試験値の母平均, t: t 分布表の値。

2つの母平均 μ₁, μ₂ が等しいという仮説をたてる(帰無仮説)と両側検定となる。したがって t(n₁+n₂-2) = 2.576 であるから t₀ > t となり、鍛伸材から採取した試験片のほうが、圧延材から採取した試験片よりも焼入性が良好なことが(危険率1%)認められる。

3. 2 次 実 験

3.1 試料の作成および実験方法

統計的な調査の結果、鍛伸材からの試験片の焼入性と圧延機からの試験片の焼入性の間には相違のあることが認められたが、この差の起こる原因として熱間加工条件、とくに加工開始温度、終了温度、加工法およびこれらの相違による結晶粒度の変化、あるいは窒化アルミニウム(AIN)の析出状態の相違などが考えられるので、統計的

Table 2. Chemical composition of test specimens (%).

Test specimen	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu	Pb	Sol. Al	N
A	0.39	0.28	0.69	0.013	0.010	0.09	1.03	0.03	0.14	0.20	0.024	0.0073
B	0.43	0.27	0.68	0.010	0.011	0.11	0.97	0.03	0.14	0.20	0.034	0.0066
C	0.41	0.25	0.69	0.012	0.013	0.09	0.99	0.03	0.14	0.16	0.023	0.0061
D	0.43	0.27	0.74	0.016	0.011	0.09	0.99	0.03	0.13	0.21	0.025	0.0063

Table 3. Hot working condition of test specimens.

Condition	Billet size before hot working	Heating condition			Hot working condition					Finish size*
		Heat up rate	Heating temp.	Holding time	Process	Starting temp.	Hot working time	Finishing temp.	Cooling rate	
a	135 mm φ	12°C / min	920 ± 30°C	1 hr	Forging	920 ± 30°C	5 min	750 ± 10°C	34°C / min	36 mm φ
b	135 mm φ	12°C / min	1050 ± 30°C	1 hr	Forging	1050 ± 30°C	5 min	820 ± 20°C	38°C / min	36 mm φ
c	135 mm φ	12°C / min	1100 ± 30°C	1 hr	Forging	1100 ± 30°C	5 min	930 ± 30°C	34°C / min	36 mm φ
d	135 mm φ	55°C / min	1150 ± 20°C	30 min	Rolling	1150 ± 20°C	4 min 30 sec	920 ± 20°C	50°C / min	36 mm φ

* Note: Finish size steel bars are normalized and machined to 25mmφ Jominy test specimen.

調査に使用した 77 チャージから4チャージを選定し、135 mm 角鋼片から熱間加工条件を変えて 36 mm φ に加工し、統計的な調査実験と同様な Jominy 試験片を作り、一端水焼入れ試験を行なった。

3.2 第2次実験結果

供試材の化学成分を Table 2 に示す。

Table 3 は試験片の熱履歴を示す。Table 3 の温度は接触型輻射温度計を使用して測定した。

Fig. 1 は試験片の前処理としての熱間加工条件と Jominy 試験の焼入かたさの関係を示す。かたさは A, B, C, D とともに各熱間加工条件で2回繰り返す、各繰り返すからそれぞれ2本の試験片を採取し、Jominy 試験を行なった合計4本の測定値の平均を示す。

この図から A, B, C, D の各試料とも鍛伸開始温度が 1050°C のものが最も高い焼入性を示し、鍛伸開始温度がこれ以上の温度、およびこれ以下の温度では焼入性は低下する傾向を示す。また圧延により作成した試料はいずれも焼入性のおとることがわかる。

Fig. 2 はこれらの Jominy 試験を行なった試験片の焼入結晶粒度を測定した結果を示す。オーステナイト結晶

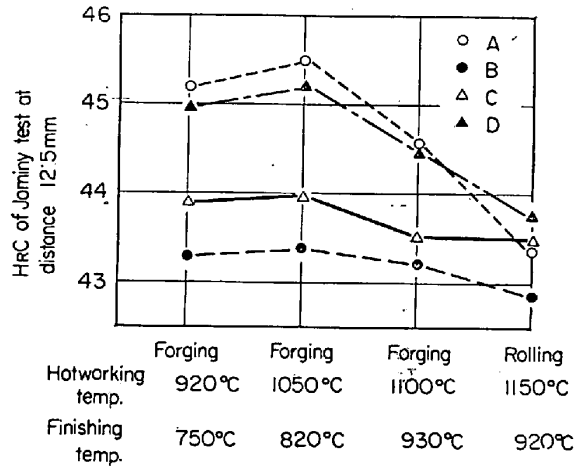


Fig. 1. Relation between hotworking condition and HRC of Jominy test.

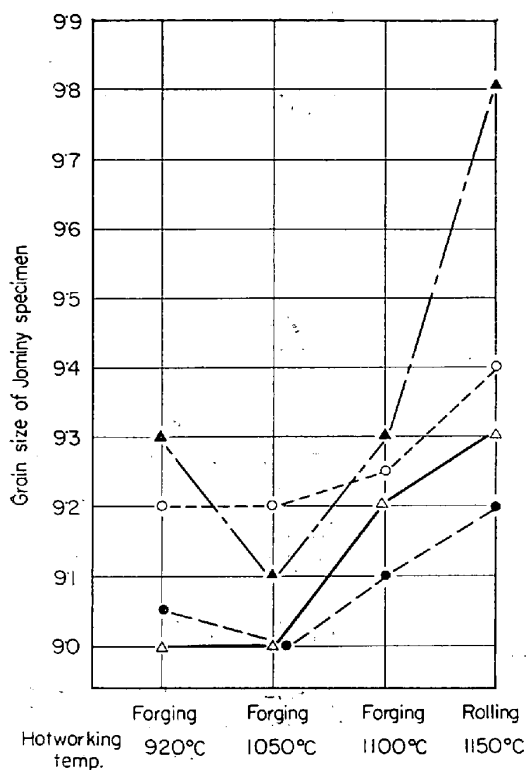


Fig. 2. Relation between hotworking condition and grain size of Jominy Specimen.

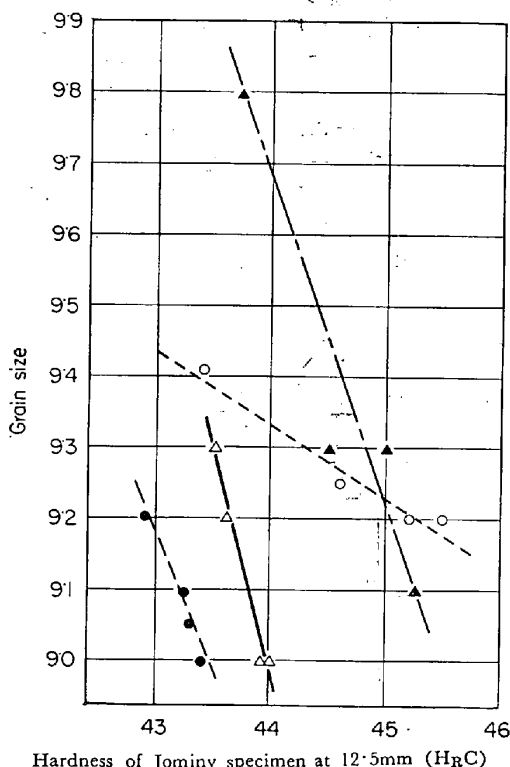


Fig. 3. Relation between hardness and grain size of Jominy Specimen.

の判定は各熱間加工条件で2回繰り返し、それぞれから2コの試験片を採取し、焼入試験を行なった。4コのJominy試験についておのおの10視野測定し、平均粒度をもとめた。

鍛伸材については、鍛伸開始温度および終止温度の変化に対し結晶粒度の変化は少ないが、圧延材は鍛伸材に比し結晶粒度は細くなる。

Fig. 3は結晶粒度と焼入かたさの関係を示すが、どの試料も結晶粒が細粒になるにしたがつて、焼入れかたさは低下する。これは芥川³⁾の説明とよく一致する。

4. 実験結果の考察

前述の実験結果から試験片の熱履歴により、焼入性の相違することが確認されたが、この原因として熱履歴の相違による結晶粒度の変化が大きく影響することが認められる。したがって、本実験での焼入性の変化を考察する場合結晶粒度の変化に注目し、この熱履歴の影響を説明することが必要である。熱間加工条件と結晶粒度の変化を考察すると、135mm鋼片までは同一熱履歴であり結晶粒度は変わらない。したがって結晶粒度を変える要因は135mm鋼片以後の熱間加工条件にあると考えられる。結晶粒度の成長、あるいは成長抑制について足立⁴⁾はAIN析出粒子の大きさとオーステナイト結晶粒度およびその粗大化挙動の間には明らかな相関のあることを認め、Alキルド鋼においては、熱処理によつてAIN粒子はその細粒化作用をいちじるしく変化させるほどにその大きさ形態を変化すること、また素組織によつて影響されることに注意すべきであるといっているように、結晶粒度はAINの析出挙動に大きな影響を受ける。したがって本実験において、加熱条件の相違により結晶粒度が変化する現象をAINの析出挙動の点から考察すると、次のように理解することができる。

i) 圧延材から作成し焼入れた試験片の結晶粒度

L. A. ERASMUS⁵⁾によれば、sol. Al=0.014%程度であれば、1075°C程度でほとんど完全に固溶するといっており、またL. S. DARKEN⁶⁾らの値から求めた平衡式で計算しても、sol. Al=0.02~0.03%, sol. N=0.07%程度であれば、1100°C以上では完全に固溶していると考えられる。また完全に固溶したAINは空冷程度の冷却速度において、微細均一に析出するといわれ結晶粒微細化の作用も大きいといわれている⁵⁾⁷⁾。したがって圧延機においては加熱温度が高く、AINは完全固溶後、冷却中に微細均一に析出し結晶粒を微細化せしめるものと思われる。

ii) 鍛伸材から作成し焼入れた試験片の結晶粒度

1050°Cに加熱鍛伸した試験片の結晶粒が最も粗くなるのは、ERASMUS⁵⁾らものべているように、1050°C程度ではAINの固溶が不完全で、AINの核のようなものが残っており、冷却時AINの析出を容易にし、AIN析出粒子は核を中心に析出凝集して大きな粒子となり、結晶粒成長抑制作用が低下するためと考えられる。

1100°Cに加熱鍛伸して試験片の結晶粒が1050°C鍛伸材より細かく、1150°C圧延材より粗いのはAIN粒子より考察すると、加熱温度1050°CとくらべAIN粒子の未固溶粒子が少なく、したがって冷却時微細に析出するが、1150°Cほどには微細にならないためと考えられる。

粒度の現出には、ピクリン酸水溶液に表面活性剤(中性洗剤を使用)を添加した試薬により、もとのオーステナイト粒界を選択的に腐食する方法²⁾を用いた。結晶粒度

同様に920°Cに加熱鍛伸した試験片の結晶粒度が1050°C 鍛伸材より細かく、1150°C 圧延材より粗いのは920°Cでの加熱中に AlN 粒子はやや凝集するが、1050°C 鍛伸材ほどには大きな粒子にならないためであろうと考えられる。

このほか結晶粒度および AlN の析出形態におよぼす要因として、昇温速度、加工比、加工温度、加工終止温度、加工終止後の冷却速度などが考えられるが、昇温速度、加工比、加工終止後の冷却速度は各試験片とも、ほぼ同一であり影響はないと考えられる。加工温度の影響については、SANDERS⁸⁾は $C=0.5\%$ 、 $Cr=0.8\sim 1.10\%$ の鋼で、1205°C 以上では結晶粒は微細化し、組織は均一になるといつており、SCHEMP 与 SHAPIRO⁹⁾は 980°C → 1090°C → 1200°C と高くなるほど粗大化するといっているが、本実験では、加熱温度および終止温度の影響と分離できず明確にできなかつた。同様に加工終止温度については、荒川、小田¹⁰⁾は、1200°C に加熱し圧延した場合、圧延終止温度が 700~900°C の間で低温になるほど結晶粒粗大化温度は低下することを認めているが、本実験では、加熱温度が異なるため、明確ではない。しかし、AlN の析出挙動を考慮した場合、本実験においては加工温度および加工終止温度よりも加熱温度の高低が最も大きく影響しているように思われる。

5. 結 言

鋼の焼入性にあたえる熱履歴の影響を知る目的から、熱間加工条件と焼入性の関係を調査した。その結果次のようなことが明らかになった。

(1) 鋼の熱履歴としての熱間加工条件は焼入性に影響をあたえ熱間加工開始温度 1050°C、終止温度 820°C 附近が最も焼入性を良好にし、これ以上の温度でもまたこれ以下の温度でも焼入性は悪くなる。

(2) この焼入性の相違は、熱間加工条件の相違による結晶粒度の変化が主因であると考えられる。

(3) 熱間加工条件の相違による結晶粒度の変化は、熱間加工温度および終止温度の相違による AlN の析出形態の変化が大きな役割をはたしていると考えられる。

文 献

- 1) 品質管理便覧：規格協会，p. 171~176
- 2) 本間，田部，工藤，山下：鉄と鋼，51 (1965) 5, p. 1069.
- 3) 芥川：日本機械学会誌，昭和31年9月，p. 25
- 4) 足立：日本金属学会誌，30 (1966) 1, p. 399
- 5) L. A. ERASMUS: Iron and Steel, Oct. (1966), p. 477
- 6) L. S. DARKEN, R. P. SMITH and E. W. FILER: J. Metals. 3 (1951), p. 1174
- 7) 雑賀，深川：熱処理，6 (1966), p. 162
- 8) W. E. SANDERS: Trans. Amer. Soc. Metals, 22 (1934), p. 1051
- 9) R. SCHEMP 与 C. L. SHAPIRO: Trans. Met. Soc., Amer. Inst. Min., Met. & Pet. Eng., 125 (1937) Iron and Steel Div. 41
- 10) 荒川，小田：学振19委，6269

テーパードワイヤの各種製造法について*

(テーパードワイヤの製造に関する研究—II)

東京大学工学部 工博 五 弓 勇 雄

東京大学大学院 齋 藤 好 弘

富士製鉄 小 椋 学

On the Manufacturing Processes of Tapered Wires

(On the manufacturing of tapered wires—II)

Dr. Isao GOKYU, Yoshihiro SAITO and Satoru OGURA

1. 緒 言

第1報¹⁾では A-51 型ローラーダイスによる正方形断面テーパードワイヤの製造方法について報告したが本報においては正方形，正六角形，円形断面を有するテーパードワイヤの各種製造方法について総括して報告する。

2. 実 験 方 法

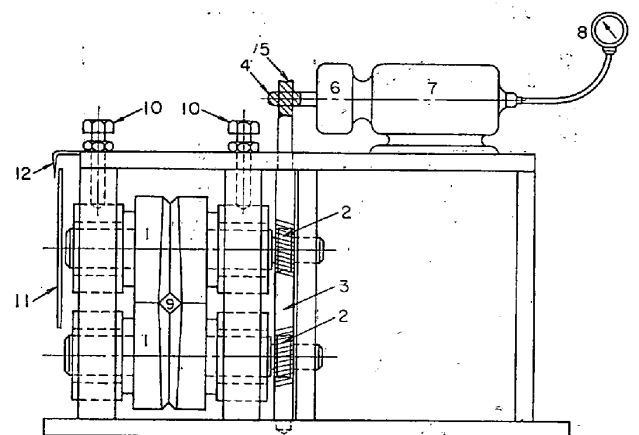
2.1 実験装置

本実験では A-51 型ローラーダイスの他に新たに開発，試作した回転式可調整ダイスおよび絞り式可調整ダイスを製造装置として用いたのでこれらの構造の概要を述べる。

なお引抜には第1報と同様にドローパーチを用いた。

2.1.1 回転式可調整ダイス²⁾

回転式可調整ダイスの構造を Fig. 1 に示す。外周部にテーパ付孔型を有する2個のローラーを相対して設けることによりダイス孔が構成されている。この2個のローラーの軸がウォームおよびウォーム歯車，連結歯車，減速機を通じて動力モーターに連結されており，同期して互いに逆方向に徐々に回転することによりダイス孔の断面積または断面形状あるいはその両者が連続的に変化するようになっている。ダイス孔の形状はローラー外



1 Square grooved rollers 2 Worm gears 3 Worm 4, 5 Connecting gears 6 Reduction gear (1/300) 7 Motor 8 Tachometer 9 Die bore 10 Adjusting bolts 11 Dial 12 Pointer

Fig. 1. The structure of the continuously rotating adjustable die with square grooved rollers.

* 第72回講演大会にて発表：講演番号 203. 昭和41年11月10日受付