



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	焼入硬化能の計算法に関する研究
Author(s)	武林, 英夫; Takebayashi, Hideo; 吉田, 宏 他
Citation	北海道大學工學部彙報, 7, 181-189
Issue Date	1952-09-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/40518
Type	departmental bulletin paper
File Information	7_181-189.pdf



焼入硬化能の計算法に関する研究

武林英夫 吉田 宏

(May 19, 1952)

Calculation of the Ideal Critical Diameter

Hideo TAKEBAYASHI and Hiroshi YOSHIDA

A method was described for computing the ideal critical diameter DI from the standard end-quench test result.

DI Values obtained for commercial steels, except for the deep-hardened steel, by the method here presented agreed closely with those calculated by the Grossmann's method, respectively.

Therefore, it may be stated that such a method would be convenient to predict the DI value without knowing the analysis and the grain size. Although various expressions of hardenability have been suggested, the authors should here like to emphasize the new expression of hardenability in view of utility.

Ⅰ 緒 言

或る焼入法により、この鋼種では如何なる直径の試料を用うると、丁度その中心部が50%マルテンサイトになるかと言う事、換言するとこの鋼の臨界寸法と、今行つた焼入法は如何なる焼入強烈度であるかを導く基礎となる量として Grossmann¹⁾ が提唱せる理想臨界直径がある。この理想臨界直径を直接的に求める事は、可成り煩雑であり間接的に求める方法として、多くの方法が提案されている。^{2) 4)} 最近 Grossmann-Bogehold²⁾ は鋼の化学組成とオーステナイトの結晶粒度より、理想臨界直径を算出する方法を提唱している。併しこの方法は化学組成を得る分析の手間と、オーステナイトの結晶粒度を決定する複雑性を有するため、著者等は Jominy Test³⁾ より間接的に理想臨界直径を簡易に推定する方法と前者より決定せる理想臨界直径の値とを比較検討してみた。次に Jominy 硬度曲線が得られた場合、焼入法の表示として色々な方法が有るが、⁴⁾ 夫等は何れも實用性に乏しいので著者等は最も實用性が有ると考ふる表示法を提案する。

II 化學組成と結晶粒度より理想臨界直 徑を求める方法

Grossmann²⁾ は廣汎な實驗結果より化學組成とオーステナイトの結晶粒度とより、鋼の理想臨界直徑を算出する方法を示した。この方法は鋼の炭素含有量と結晶粒度の函數として理想臨界直徑が表わされる事を前提條件とする。若し他の元素が存在しないなら、炭素量と結晶粒度が、理想焼入する時中心部が50%マルテンサイトになるような丸棒に對して計算される。冷却能が無限大であるというような理想焼入の如き焼入強烈度は、純粹思考的なもので實際には得られない。併しこのような焼入強烈度は他の焼入強烈度の標準として役立つ事は容易に理解される。このように定義する時、理想臨界直徑に對する添加元素の影響は、各元素に對する或る係數を乗ずる事により計算出来る。著者等は L. H. Bogehold の編算せる Table により理想臨界直徑を求めた。この計算法を例示すると下記の如くである。

組 成	分 析 値	係 數
C	0.39 (Grain Size 8)	0.195
Si	0.25	1.18
Mn	0.95	4.17
Ni	0.54	1.20
Cr	0.50	2.08
Mo	0.20	1.60

よつて求むる理想臨界直徑は、これ等の係數の積である。即ち

$$0.195 \times 4.17 \times 1.18 \times 1.20 \times 2.08 \times 1.60 = 3.84 \text{吋}$$

従つて3.84吋がこの鋼の理想臨界直徑である。

III 一端焼入法に依り理想臨界直徑を求 める方法

A) Jominy Test

1938年 W. E. Jominy によりなされた試験法に準據^{2) 5)} して實驗を行つた。試験片は1吋直徑3吋長さの圓筒形標準試験片で、表面は機械仕上後、紙鏝00番で研磨した。試験片は所定の溫度で、爐底に黒鉛板黒鉛粒を順につめ込み酸化を防止しつつ充分に加熱して爐より取り出し、冷却装置の支持台に取り付け(爐より取り出し取り付けまでは3秒以内で本實驗を操作した。) 10分間水流を以つて冷却した。この際試料が全體的に充分冷却しないと焼入部が鈍る憂が有るので、直に試料を水中に冷却した。なお水溫は $12^{\circ} + 2^{\circ}\text{C}$ で行つた。冷却後試料の表面は、互に平行に且つ平滑であるように180度離して0.4mm研磨し、硬度の一連の讀みは試験片の水冷端より順に上部の方向に測定し、3つの値の平均を取つた。William⁶⁾ は硬度の測定間隔は2mm以下の距離では正しい値を與えぬ事を報告している。従つて著者等は硬度の測定間隔を3mmで測定を行い、且つ硬度測定中試験片が動く事のないよう注意して V-Block 上で

測定した。

B) 試験片上の各點に於ける冷却速度

Jominy Test においては試験片上の各點は種々な冷却速度を示す。水冷端より距離を増すと冷却速度が如何に變化するかを測定するため、試験片の冷却端より 5 mm, 15mm, 25mm, 35mm, 45mmの點に徑 2 mm, 深さ2.5mm の孔をドリルで穿け、熱電對の先端をさし込み鑢着した。熱電對と試験片を併に加熱して試験片上の各點における冷却曲線を求めた。この結果は Fig 1 である。

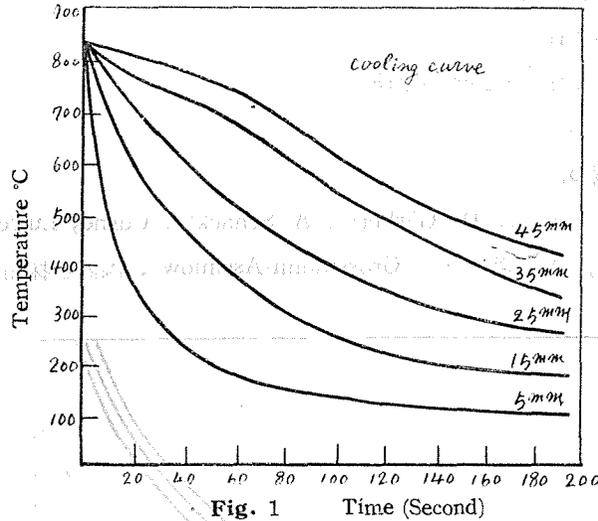


Fig. 1 Time (Second)

Fig 2 は各點における半冷時間を示すものである。半冷時間とは鋼の焼入温度から $\frac{1}{2}$ の温度まで冷却されるに要する時間である。鋼の焼入硬度は半冷時間の大小により定ると假定する。この假定は Grossmann¹⁾ によると非常に良く實驗事實に一致する事が報告されている。

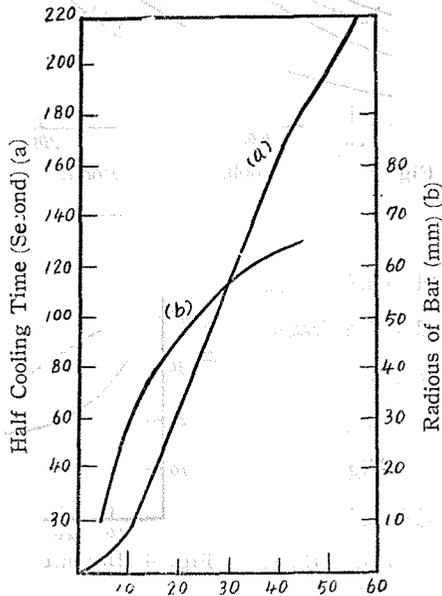


Fig. 2 Distance from water cooled end (mm)

C) 焼入の際における温度変化

今温度 $T^{\circ}\text{C}$ なる温度から 0°C の焼入液に焼入した時, 中心より r の距離にある点の任意の時間 t 秒後における温度 T は, Fourier の熱交換に関する式より求められる。この式は相当複雑な形をしているのでこの式を変化すると次式の如く與えられる。

$$\frac{T}{T_0} = f(hR, at/R^2, r/R)$$

- a : 鋼の熱傳導度
- R : 丸棒の半徑
- r : 中心より任意の距離の半徑
- t : 焼入後の任意の時間
- h : 焼入剤の冷却能

この関係を圖表にしたものは H. Görber⁷⁾, A. Schack⁸⁾, Curney-Luice¹⁾, Grossmann-Assimow¹⁾ の圖表が有るが, 著者等は Grossmann-Assimow の圖表を採用した。これがFig3である。

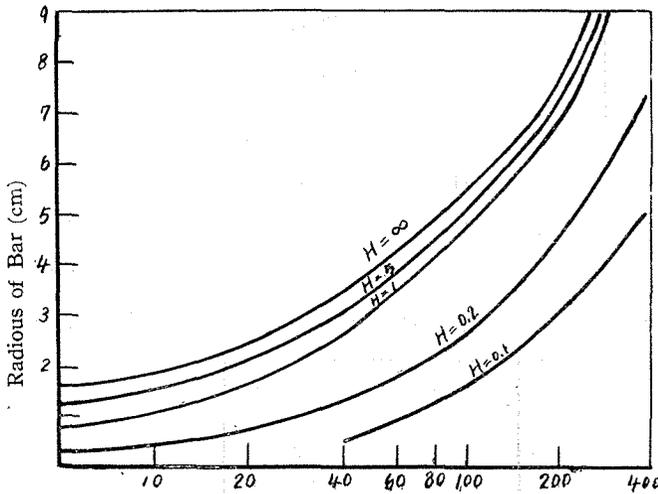


Fig. 3 Half cooling time (Second)

D) 計算法

今 Jominy Test より Fig4 の如き硬度曲線(a)が得られたとする。Fig2より水冷端から或る距離における半冷時間が求まる。

例へば水冷端より10mmの点では半冷時間は30秒である事が知られる。次にFig3の Grossmann-Assimow の半冷時間と丸棒の半徑との関係から各半徑の丸棒の中心の冷却速度が求まる。この場合理想臨界直徑を求め

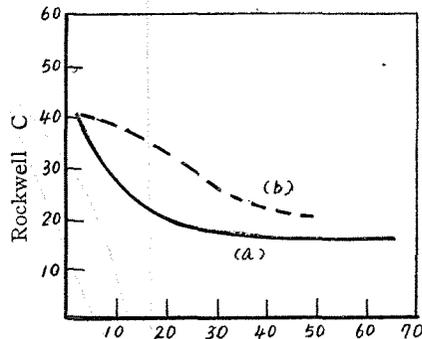


Fig. 4 Distance from water cooled end (mm)

Radius of Bar (mm)

るのであるから、焼入強度は $H = \infty$ とらねばならない。上例の丸棒の半径30mm の中心冷却速度は、半冷時間が30秒である事がわかる。即ち Jominy Test の試験片の冷却端から10mm の點の半冷時間と半径30mmの丸棒の半冷時間とは等しい事が知られる。

鋼が同じで同じ冷却速度で冷却された場合は同一硬度を有するものと考えられるから、従つて水冷端より10mmの點の硬度と半径30mmの中心硬度とは相等しいと考えられる。

同様にして水冷端から各點までの距離と夫々の點における硬度と等しい中心硬度を有する丸棒の半径との関係はFig 2 の(b)で示す曲線が得られTable 1 の如くなる。

Table 1

水冷端からの距離 (mm)	半 冷 時 間 (秒)	丸 棒 の 半 徑 (mm)
5	10	18
10	30	30
15	50	38
20	70	46
25	90	54
30	120	60
35	142	63
40	165	65

この曲線から直ちにFig 4 の中心硬度曲線 (b) が得られる。

Grossmann¹⁾ の理想臨界直径についての定義によれば、理想焼入せる場合の丸棒の中心組織が丁度50%マルテンサイトになるような丸棒の直径が理想臨界直径である。しかし炭素含有量と50%マルテンサイト組織の硬度との関係は、Fig 5 に示す如き関係にあるから²⁾ 従つて或る炭素含有量の丸棒の理想臨界直径はFig 5 と中心硬度曲線より求められるのである。

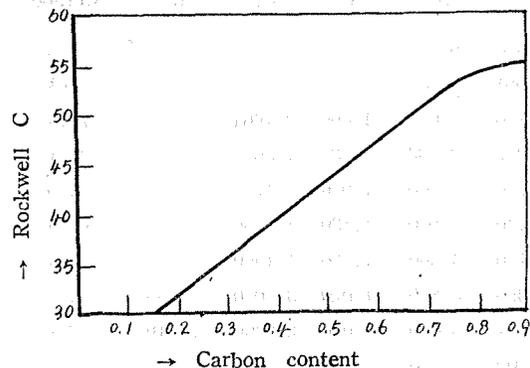


Fig. 5 Relation between 50% Martensite hardness and carbon content

IV 実験結果

実験に使用せる鋼は13種で、成分及び結晶粒度はTable 2 の如きものである。

Table 2

Type	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Grain Size
No1	0.70	0.12	1.50	0.028	0.024	—	—	—	2.2
B 2	0.17	0.14	0.25	0.021	0.018	—	—	—	4.2
B 4	0.60	0.20	0.62	0.012	0.028	0.18	0.54	—	2.8
Y 1	0.27	0.41	0.62	0.014	0.013	0.38	0.17	—	4.8
Y 2	0.57	1.06	1.02	0.018	0.013	0.25	0.08	—	4.4
Y 3	0.77	0.21	0.58	0.044	0.029	0.37	0.36	—	4.5
Y 4	0.44	1.10	1.05	0.013	0.024	0.35	0.07	—	4.2
95	0.28	0.54	0.85	0.008	0.010	0.21	1.35	0.55	4.1
84	0.29	1.20	0.34	0.014	0.012	0.20	1.08	0.41	4.8
Bcr	0.58	0.45	0.28	0.014	0.026	0.23	1.04	—	4.2
B-17	0.27	0.22	0.49	0.034	0.012	2.74	1.04	0.51	4.7
B-19	0.21	0.22	0.50	0.011	0.011	2.50	0.78	0.43	4.5
B-20	0.27	0.22	0.49	0.036	0.011	2.71	0.76	0.59	4.6

オーステナイトの結晶粒度の判定は學振法により行つた。各鋼種について一端焼入によつて得られた Jominy 硬度曲線と, Fig 2 より求められたる中心硬度曲線の結果は Fig 6, Fig 7, Fig 8 の如くなつた。

前述の化學組成による計算結果と, これ等中心硬度曲線より求めた理想臨界直径の結果とを一括して示したのが Table 3 である。

Table 3

Type	Multiplying Factor						DI (mm) Grossmann's Method	DI (mm) Jominy Test	50% Martensite Hardness
	C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo			
No1	0.410	1.070	6.581	—	—	—	71.2	72	51.0
B 2	0.171	1.091	1.833	—	—	—	8.65	9	31.0
B 4	0.360	1.140	3.067	1.066	2.1664	—	73.5	74	48.0
Y 1	0.208	1.287	3.233	1.134	1.3672	—	38.1	51	34.5
Y 2	0.295	1.740	4.400	1.090	1.1700	—	72.9	76	46.0
Y 3	0.365	1.140	2.930	1.130	1.7700	—	62.5	62	52.0
Y 4	0.278	1.770	4.500	1.130	1.1500	—	73.5	75	45.0
95	0.225	1.390	3.830	1.070	3.8080	2.650	328	—	35.0
84	0.208	1.301	5.000	1.070	3.3300	2.410	281	—	35.4
Bcr	0.330	1.102	2.500	1.120	3.2460	—	87	92	48.0
B-17	0.244	1.154	2.633	2.276	2.5336	2.550	381	—	34.5
B-19	0.195	1.150	2.660	2.078	2.6840	2.290	248	—	32.5
B-20	0.207	1.154	2.633	2.249	2.6416	2.670	246	—	34.0

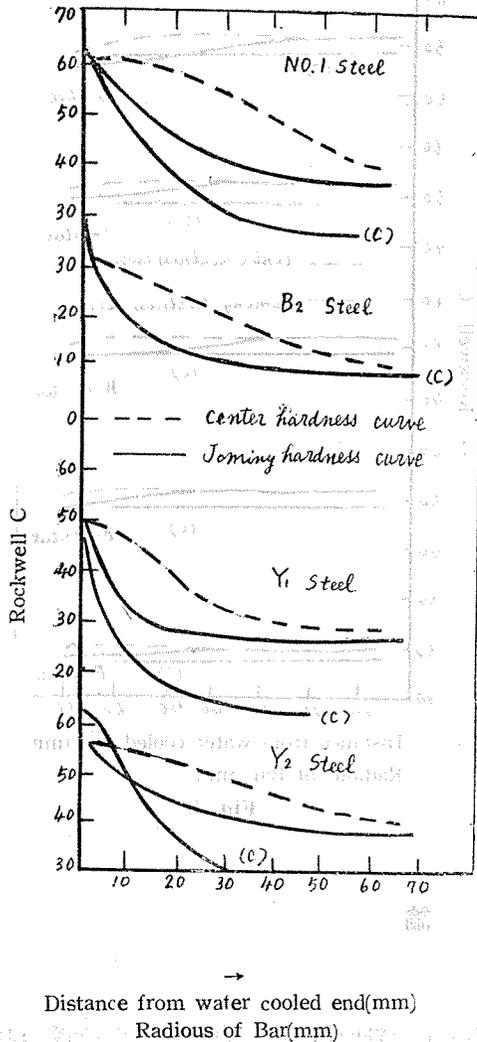


Fig. 6

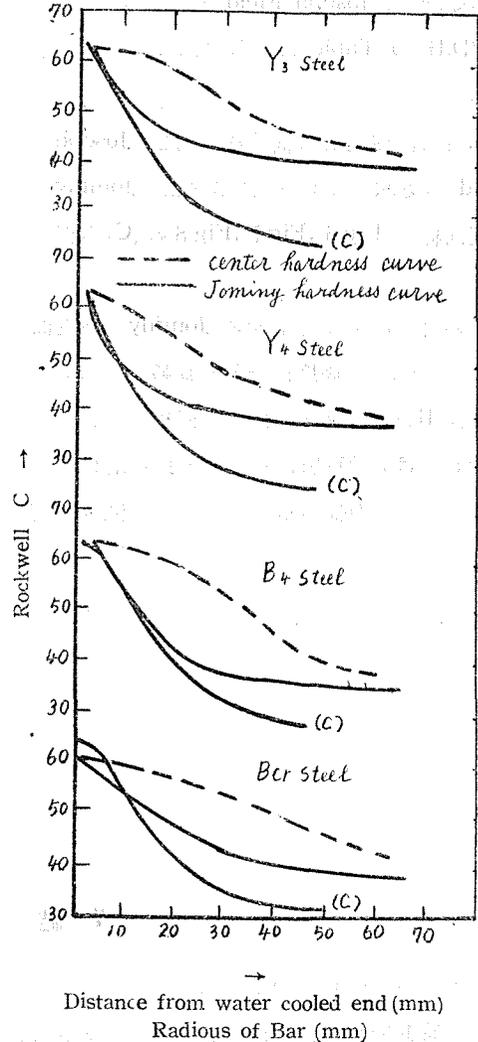


Fig. 7

兩者の理想臨界直徑を比較すれば、硬化能の極めて大なる鋼を除いては殆んど一致した値が得られた。自硬性の鋼に対しては、Jominy Test そのものが硬化能を見るには不適當であり、従つて理想臨界直徑を求める事は困難である。

なほ Joseph Field^{23, 4)}は Jominy 硬度曲線を化學組成より計算によつて推定し得る事を示した。J. Field の計算法は次の假定を基礎としている。

- i) Jominy の試験片の焼入端での硬度 (I.H.) は鋼中の炭素含有量の函數である。
- ii) Jominy の焼入端から他の距離での硬度 (D.H.) は試験せる鋼の炭素含有量、添加元素含有量、結晶粒度の函數である。
- iii) I.HとD.Hとの比は理想臨界直徑の函數である。

従つて理想臨界直徑の値が既知であると、Jominy 試験片の冷却端及び冷却端から他の距離

での硬度は, Joseph Field の計算せる I.H/D.H の Table より計算により求める事が出来る。

本実験に使用せる試験片に對し Joseph Field の方法により算出した推定 Jominy 硬度曲線は Fig 6 ,Fig 7 ,Fig 8 の (C) の線である。

この計算により推定せる Jominy 硬度曲線と, 實測せる硬度曲線とを比較すると, B₂鋼, B₄鋼, 及び硬化能が極めて大きい鋼に對しては, 計算値は實測値と比較的良く一致するが, その他の鋼は相當大きな開きがある。

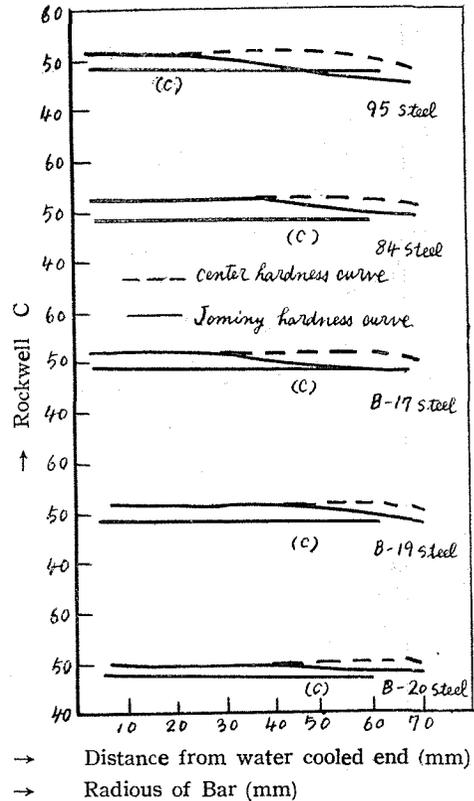


Fig. 8

V 結 論

以上の実験から次の事が結論される。

i) 理想臨界直径算出に當つては, 硬化能が大なる自硬性の鋼では, Jominy 法は適應されぬが, その他の鋼は Jominy 法と Grossmann の方法と比較すると殆んど一致した値を得た。

ii) Jominy 法は Jominy 硬度曲線が得られると簡易に理想臨界直径が求められ, 且つ又焼入強烈度を變えた場合, 即ち水冷, 油冷, 空冷等の場合の臨界直径をも算出可能であるため, 極めて有効な方法と考えられる。

次に各種鋼の Jominy 硬度曲線が得られた場合, 焼入性の表示法が色々有るが, 夫等は何れも實用性に乏しい。従つて著者等は水冷端より或る距離で丁度50%マルテンサイトになる點までの距離を以つて焼入性の表示とすると良い事を提案する。即ち $J_{13} = 52.5$ の如く表示する。この意味は水冷端より13mmの處が50%マルテンサイトで且つその點の硬度は $Re\ 52.5$ である事を示す。このように表示すると Fig 2 圖を用いて, その鋼の理想臨界直径を求める事が可能であるからである。

最後に Joseph Field の計算により Jominy 硬度曲線を求める方法と, 實測による Jominy

硬度曲線とを比較してみると、相等大きな差異を生ずる事が認められる。J. Field は計算の基礎として前項に示したような假定を設けているが、実際にはその假定が完全にあてはまる事はない。併しこの事實を考慮に入れても、その差異は余りにも大き過ぎるので、著者等は Y_1 鋼を完全焼鈍せるときの硬度を測定した處 $Re16$ であつた。また Y_1 鋼の計算法による最底硬度は $Re12$ で、前者と比較して $Re4$ 低目の値を示している。この事實より計算による方法は實測値より低目になる事が考えられる。

又計算値と實測値とが良く一致する鋼もあれば相等大きな開きを生ずる鋼もある。従つて計算法の基礎となる J. Field の求めた $I.H/D.H$ の Table は再検討を要すると考えられる。

本實驗は昭和25年度に行われたもので、種々御便宜を與えられた北海道工業試験場の諸氏に深く感謝の意を表する。

文 献

- 1) M. A. Grossmann : A. S. M. Symposium of the Hardenability 1938
- 2) M. A. Grossmann and L. H. Bogehold : A. I. S. I. 1948
- 3) W. E. Jominy : A. S. M. Symposium of the Hardenability 1938
- 4) Edward. E. Fess : A. S. M. Symposium 1946
- 5) A. S. T. M. : 1946
- 6) Gordon. T. William : A. S. M. 1940
- 7) H. Görber : V. D. I. 1925
- 8) A. Schack : Stahl und Eisen 1930
- 9) Edgar. C. Bain : Functions of the Alloying Elements in Steel, 1939