

Eisen hüttenprozesse B 2, 203

(ii) 鉄と鋼 39 (1953) 1171

5) 小池: (i) 鉄と鋼 39 (1953) 948

鋼の高温加工強度に関する研究 (II)*

(各種鋼材の高温変形抵抗)

井上 勝 郎**

STUDIES ON THE HOT-WORKING STRENGTH OF STEELS (II)

(High-Temperature Deforming Strength of Various Steels)

Katsuro Inouye

Synopsis:

By the use of the high-temperature and high-speed tensile testing machine mentioned in report No. 1 (Tetsu-to-Hagané vol. 41 (1955) No. 5, p. 506~515), the author performed tensile tests of the following combinations in regard to 15 kinds of steels (refer to Table 1) to be used for seamless tubes.

Speed \ Temp.	77/S	7/S	0.8/S
1230°C			
1030			
830			

For all of these, the author obtained both the nominal stress-strain curve and the true stress-natural strain curve. The values of deforming stress (at 20% strain) were listed in Table 2. These data conformed to those of other authors already developed.

Among such factors as deforming stress σ , deformation (strain) ϵ , deforming speed $\dot{\epsilon}$ and temperature (absolute) Tk , the author obtained the following equation.

$$\sigma = k \cdot \epsilon^n \cdot \dot{\epsilon}^m \cdot e^{A/Tk}$$

In this report the above relation was fully discussed.

I. 緒 言

第1報*** に於いて述べた高温高速度引張り試験装置を使用し、実用各種鋼材について高温引張り試験を行い、高温変形抵抗を求めたので、その結果を述べる。

II. 試験材料及び試験条件

試験材料として選んだのは Table 1 に示す 15 鋼種である。筆者はマンネスマン法による継目無し鋼管製造に従事しているので、試験材料も鋼管用素材から選んだが、この 15 鋼種で現在実用されている鋼管用材料は殆んど全部尽きている。試験材は直径 100mm 程度の実用材料より代表的成分のものを選び、之を直径 25mm の丸棒に鍛造し、Table 1 に示した熱処理を施して標準

組織にした後、旋盤加工により試験片を削り出した。試験片の常温の機械的性質は Table 1 に示す通りである。

試験条件は第1報の Table 1 に基き、変形速度は 77/S, 7/S 及び 0.8/S, 試験温度は 1230°C, 1030°C 及び 830°C とし、各鋼種毎に両条件の組合せの9条件に於ける値を求めた。既に述べた様に、之で実際の圧延鍛造、製管、押し出しその他の高温塑性加工で実現される条件を十分にカバーする事ができる。実験は各条件共 2~3 回のくりかえしを行い、再現性を確認した。

* 昭和 29 年 10 月塑性加工専門講演会に於て講演

** 日本特殊鋼管株式会社

*** 鉄と鋼昭和 30 年 5 月号 506~515.

Table 1. Testing Materials

No.	Type of steel	Chemical Composition (%)									Heat Treatment	Tensile strength in room temp. kg/mm ²	Elongation % in 50mm
		C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Al			
1	Low carbon steel (Rimmed)	0.16	0.01	0.52	0.015	0.021	—	—	—	—	900°C, A.C.	44.9	40.0
2	Low carbon steel (Killed)	0.12	0.33	0.55	0.010	0.023	—	—	—	—	" "	48.8	39.2
3	SAE 1035	0.38	0.26	0.55	0.014	0.020	—	—	—	—	850°C, A.C.	62.4	28.4
4	SAE 4140	0.38	0.31	0.83	0.020	—	—	1.07	0.22	—	900°C→F.C.→600°C→A.C.	81.0	25.8
5	Bearing race steel	0.92	0.19	0.29	0.018	—	—	1.31	—	—	"	96.8	11.2
6	Free cutting steel	0.19	0.02	1.04	0.023	0.240	—	—	—	—	900°C, A.C.	43.4	38.2
7	0.5 Mo steel	0.15	0.20	0.57	0.011	—	—	—	0.47	—	"	50.6	36.9
8	1Cr-0.5 Mo steel	0.16	0.27	0.56	0.016	—	—	1.11	0.51	—	900°C→F.C.→600°C→A.C.	53.3	35.5
9	2.25Cr-1 Mo Steel	0.12	0.29	0.52	0.018	—	—	2.29	1.03	—	"	71.5	21.1
10	5Cr-0.5Mo steel	0.09	0.25	0.45	0.020	—	—	4.65	0.67	—	"	50.4	36.3
11	3% Al steel	0.08	0.33	0.42	0.012	0.006	—	—	—	2.52	600°C, A.C.	54.9	14.2
12	13Cr steel	0.06	0.41	0.70	0.017	—	—	12.43	—	—	900°C→F.C.→600°C→A.C.	51.8	21.2
13	25Cr steel	0.08	0.86	0.80	0.029	—	3.22	23.87	1.69	—	900°C, A.C.	70.1	29.8
14	18-8 steel	0.06	0.57	1.21	0.032	—	9.42	18.69	—	—	1100°C, W.Q.	57.5	65.5
15	18-8- Mo steel	0.07	0.90	1.57	0.039	—	10.60	17.40	2.60	—	"	63.0	57.0

III. 変形抵抗の測定値

第 I 報に述べた方法と手順により、すべての場合について見掛けの応力・歪曲線及び真応力・歪曲線を求めたが、ここにはそのうちの 2, 3 の結果を例示する。

Fig. 1 は低炭素キルド鋼, Fi. 2 は 18-8Mo 不銹鋼の各条件に於ける見掛けの応力・歪曲線である。之が高温高速引張り試験によつて求め得たものであつて、図にみる如く再現性はかなりよい。

次に此の結果により、最大荷重点迄を真応力・歪曲線に換算したものが、Fig. 3 及び Fig. 4 である。之が求める高温変形抵抗の値を示すものであつて、此の図から各加工度、温度及び速度に対する変形抵抗を求める事ができる。他の鋼種についての同様の図は紙面の制約上省略し Table 2 に加工度 20% に於ける各変形条件の変形抵抗の一覧表を示す。実用上は此の値で大体充分である。

次に此の様にして求めた全鋼種の変形抵抗と加工度、変形速度及び温度の各変形条件との関係を検討する。

IV. 加工度と変形抵抗

加工度 (歪み) を対数歪 ϵ で、変形抵抗を真応力 σ で

表現すると、両者の間には次の関係がある。

$$\sigma = K_1 \cdot \epsilon^n \dots\dots\dots(2.1)$$

この関係は第 I 報 Fig. 11 に 1 例を示したが、15 鋼種のどの温度と速度の組合せについても成立する事を確かめた。n の値は、鋼種、温度及び変形速度で異なるが実験結果によると、普通 0.25 前後である。

(2.1) 式が成り立つのは、鋼材は高温でも加工硬化性を有するという事である。この事は先に池島¹⁾も注意しているが、高温変形に際し留意すべき事実である。加工硬化の程度は材質と変形条件により異なるが、之を示すには、真応力・歪曲線の傾斜を以てするのが妥当である。一般に加工硬化とは、変形の増加に伴う変形抵抗の増加を意味するから、之は当然である。この傾斜は、(2.1) 式より

$$H_w = \partial\sigma/\partial\epsilon = n \cdot K_1 \cdot \epsilon^{n-1} = n \cdot \sigma/\epsilon \dots\dots\dots(2.2)$$

である。(2.2) 式より明らかな如く、加工硬化度は ϵ 即ち加工度により異なる。今代表的な値として加工度 20% の値 $H_w=0.20$ を計算してみると、当然鋼種により此の値は広く変化するが、一般的傾向として、加工硬化度は高温低速度のとき小さく、低温高速度程大きい。仮に 1230°C—0.8/S の時の硬化度を 1 とし、之に対する他の条件の時の硬化度の比を求めると、どの鋼種も大体

似た値となり、その平均値は Table 3 の如くである。即ち此の表の値が変形条件による硬化度の変化を示すとみてよい。

V. 変形速度と変形抵抗

高温に於ける鋼の変形抵抗 σ は変形速度 $\dot{\epsilon}$ と共に著しく増加するが、両者の関係を示す実験式には、古来次の2型式が用いられている。

$$\sigma = K \cdot \ln \dot{\epsilon} \dots\dots\dots (2.3)$$

$$\sigma = K_2 \cdot \dot{\epsilon}^m \dots\dots\dots (2.4)$$

(2.3) 式は Ludwik²⁾, Nadai³⁾, Miller⁴⁾等が用いたものであり、(2.4) 式は Gensamer⁵⁾, Hollomon⁶⁾, 池島¹⁾等が用いている。現在一般に認められている所では、後者の方が広い速度範囲について成立する様である。筆者の実験データについて両者を比較した結果では、両者の優劣は明らかでなく、いずれをとつても実用上の差はなかつた。然し数式取扱上(2.4)式の方が便利なので、筆者は此の型式で整理する事とした。

(2.4) 式は書き換えれば、

$$\ln \sigma = K' + m \ln \dot{\epsilon} \dots\dots\dots (2.5)$$

である。従つて $\ln \sigma$ と $\ln \dot{\epsilon}$ は直線関係となる。今回の実験結果について之を調べてみると、全鋼種と温度を通じて、直線関係は良く成り立つ。Fig. 5 はその例として、キルド鋼と 18-8-Mo 鋼の 1230°C, 1030°C 及び 830°C の場合を示したものである。他の鋼種も同様である。此の直線の傾斜は(2.4)式の m であつて、変形抵抗の速度に対する感受性を示す。全鋼種のすべての変形条件に於ける m の値を求めて検討すると、 m の値には次の特徴がある。

- イ) m の値は 0.05~0.25 の間であり、普通 0.10~0.17, 平均 0.15 と考えてよい。
- ロ) 一般に温度が低い程、 m の値は小さい。

* 但し文献 4), 5), 6) はクリープ試験程度の低速—中温度の変形についての所論である。

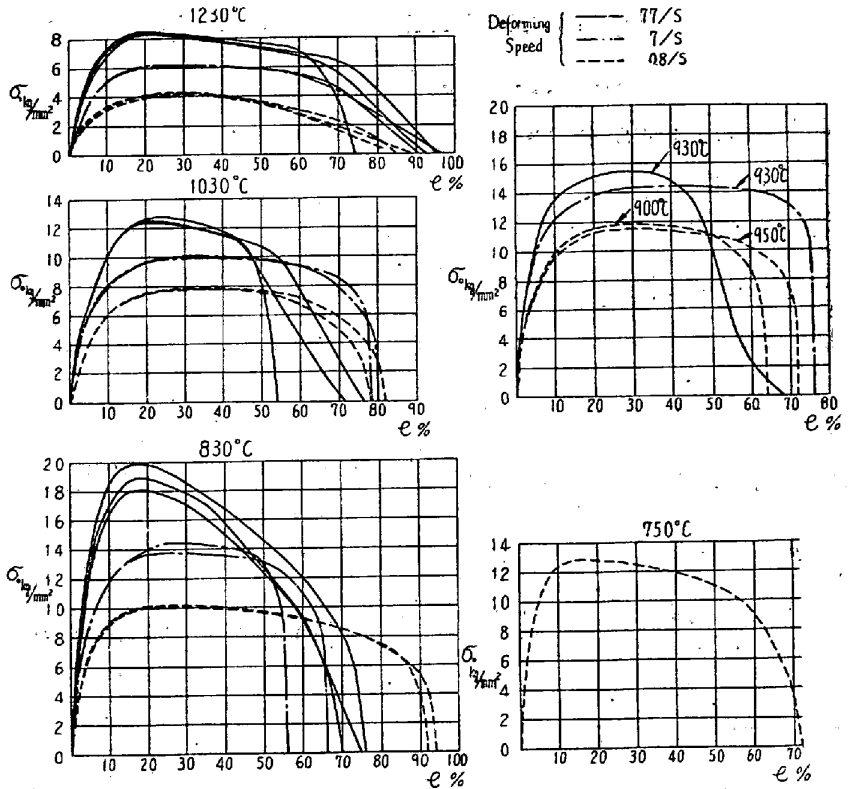


Fig. 1. Nominal stress (σ_0) —Conventional strain (ϵ) of low carbon killed steel

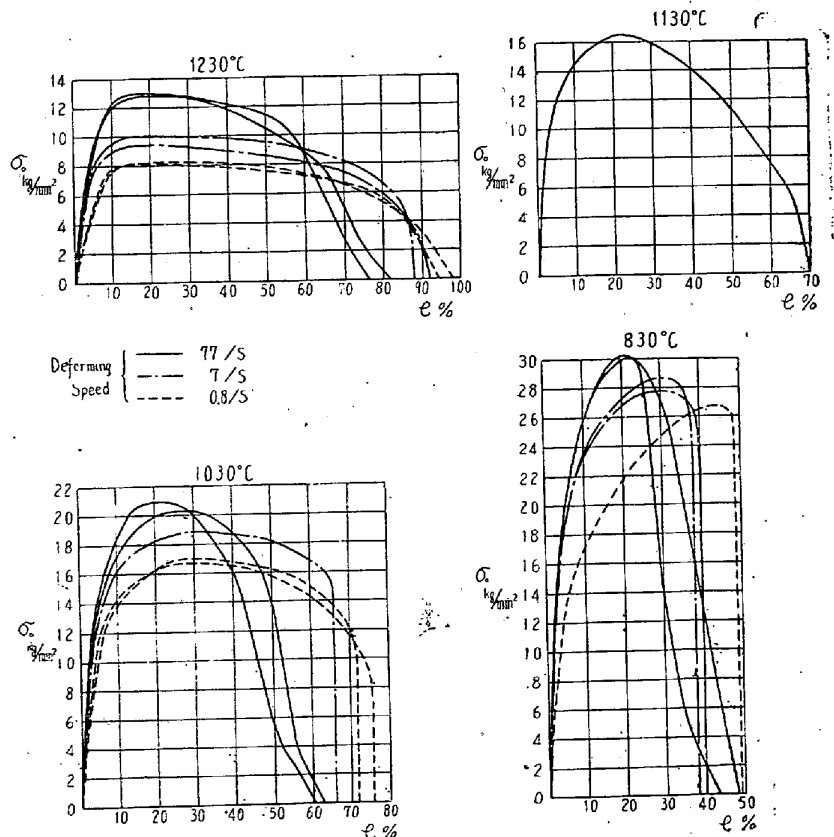


Fig. 2. Nominal stress (σ_0) —Conventional strain (ϵ) curve of 18-8-Mo steel

Table 2. Deforming stress of various steels at 20% strain (σ in kg/mm²)

Rimmed steel			
Deforming Speed	77/S	7/S	0.8/S
Temp. °C			
1230	10.6	6.0	4.8
1030	15.5	11.3	7.8
930	18.1	16.0	10.9
830	24.7	17.7	11.5
750	—	—	18.8

Killed Steel			
Deforming Speed	77/S	7/S	0.8/S
Temp. °C			
1230	10.1	7.3	4.8
1030	14.8	11.6	9.0
950	—	—	13.3
930	17.9	17.2	—
900	—	—	13.9
830	23.1	16.6	—
750	—	—	15.9

SAE 1035			
Deforming Speed	77/S	7/S	0.8/S
Temp. °C			
1230	11.1	7.0	4.7
1030	15.4	11.4	9.3
900	—	—	14.4
850	—	—	17.2
830	27.6	21.9	—

SAE 4140			
Deforming Speed	77/S	7/S	0.8/S
Temp. °C			
1230	11.4	7.7	5.0
1030	17.5	13.2	9.8
830	28.8	23.6	19.0

Bearing Race Steel			
Deforming Speed	77/S	7/S	0.8/S
Temp. °C			
1230	10.0	6.3	4.4
1030	17.3	12.6	8.6
830	33.0	26.6	21.1

Free Cutting Steel			
Deforming Speed	77/S	7/S	0.8/S
Temp. °C			
1230	11.9	7.2	4.5
1030	16.3	11.6	8.1
930	17.9	15.9	11.9
830	25.8	17.5	12.5
730	—	—	14.8

0.5 Mo Steel			
Deforming Speed	77/S	7/S	0.8/S
Temp. °C			
1230	10.5	7.9	5.8
1030	17.6	13.4	10.9
930	20.4	18.3	16.7
830	25.6	21.8	17.7
730	—	—	24.3

1Cr—0.5 Mo Steel			
Deforming Speed	77/S	7/S	0.8/S
Temp. °C			
1230	10.1	8.2	5.9
1030	17.4	13.8	10.1
930	21.1	19.8	15.0
830	27.2	23.1	19.0
700	—	—	30.3

2.25Cr—1Mo Steel			
Deforming Speed	77/S	7/S	0.8/S
Temp. °C			
1230	11.2	8.3	6.1
1030	17.8	13.4	10.6
940	23.2	20.3	16.8
830	25.5	24.1	21.0

5Cr—0.5Mo Steel			
Deforming Speed	77/S	7/S	0.8/S
Temp. °C			
1230	11.3	8.8	6.1
1030	17.7	14.3	10.8
930	21.1	19.4	17.1
830	31.1	23.8	—
760	—	—	19.8
730	—	—	21.2

3% Al Steel			
Deforming Speed	77/S	7/S	0.8/S
Temp. °C			
1230	7.1	4.2	3.0
1030	15.3	8.3	6.7
830	34.6	23.9	16.0

13 Cr Steel			
Deforming Speed	77/S	7/S	0.8/S
Temp. °C			
1230	8.2	5.6	4.7
1030	15.8	14.0	10.8
940	21.4	—	13.4
830	26.4	19.3	13.8

Table 2. Deforming stress of various steels at 20% strain (σ in kg/mm²)

25 Cr Steel			
Deforming Speed	77/S	7/S	0.8/S
Temp. °C			
1230	8.4	4.5	2.9
1030	13.0	9.4	7.3
830	25.6	21.3	15.5

18-8 Steel			
Deforming Speed	77/S	7/S	0.8/S
Temp. °C			
1230	13.1	10.3	7.6
1130	17.6	—	—
1030	21.2	18.4	15.0
830	30.3	25.8	23.0

18-8Mo Steel			
Deforming Speed	77/S	7/S	0.8/S
Temp. °C			
1230	16.1	12.3	10.2
1130	19.6	—	—
1030	24.3	21.9	19.6
830	36.1	32.1	26.5

Table 3. Ratio of work-hardening coefficient.

Rate of strain	77/S	7/S	0.8/S
Temp. °C			
1230	2.0	1.3	1.0
1030	3.0	2.0	1.5
830	5.0	3.0	2.5

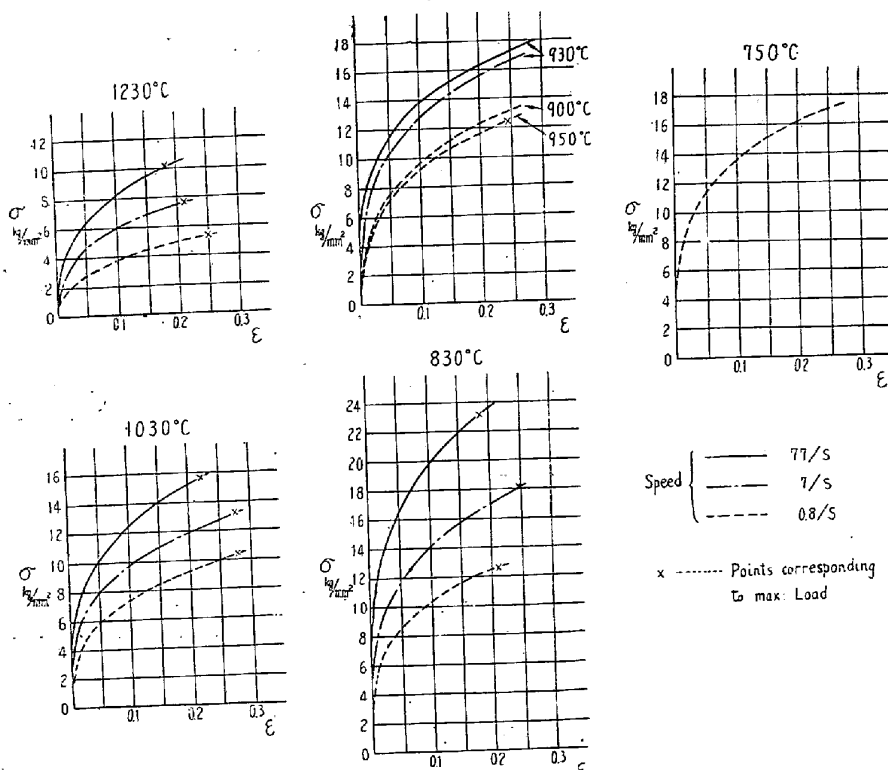


Fig. 3. True stress (σ) - Natural strain (ϵ) curves of low carbon killed steel

一般に変形抵抗が速度に敏感なのは、高温変形の特徴であつて、常温変形では m は 0 に近い。従つて上記の特徴は各鋼種についての我々の常識と一致した結果である。

VI. 温度と変形抵抗

変形抵抗は温度の低下と共に著しく増加する。両者の関係を広い温度範囲にわたつて簡単な数式で表現する事は困難であるが、800~1200°C の温度範囲ならば次式でかなりよく表現できる。

$$\sigma = K_3 \cdot e^{A/T_k} \dots\dots\dots (2.6)$$

或いは

$$\ln \sigma = K' + A/T_k \dots\dots\dots (2.7)$$

但し T_k は絶対温度で表現した変形温度、 K_3 及び A は常数である。

今回の実験データ全部について此の関係をチェックした所、全鋼種と速度について満足すべき結果を得

た。Fig. 6 はその結果の 1 例を示すものであつて、夫々特徴のある例である。

(a) は 1%Cr-0.5%Mo 鋼であるが、此の鋼は 870°C 附近に A_3 点があり、それ以上では r 相、以下では $r+\alpha$ 相である。此の場合 r 相 1 相の温度範囲たる 1230~900°C の間では (2.6) 式が成立し、 α 相の出現と共に変形抵抗は異常低下し、不連続となる。之は昔から知られている事実であるが Fig. 6 に明瞭に現われて

- ハ) 加工度の影響はごく小さい。
- ニ) 18-8, 18-8-Mo 鋼, 中 Cr-Mo 鋼, 13Cr 鋼は 1230°C の高温度に於いても m の値が小さい。18-8 系不銹鋼の 830°C に於ける m の値は特に小さい。
- ホ) 1035 鋼, ベアリングレース鋼, 快削鋼, 4140 鋼 25Cr 鋼等は温度による m の差が大きい。
- ヘ) 18-8 系不銹鋼, 13Cr 鋼, アルミ鋼, 低炭素鋼は温度による m の差が大きい。

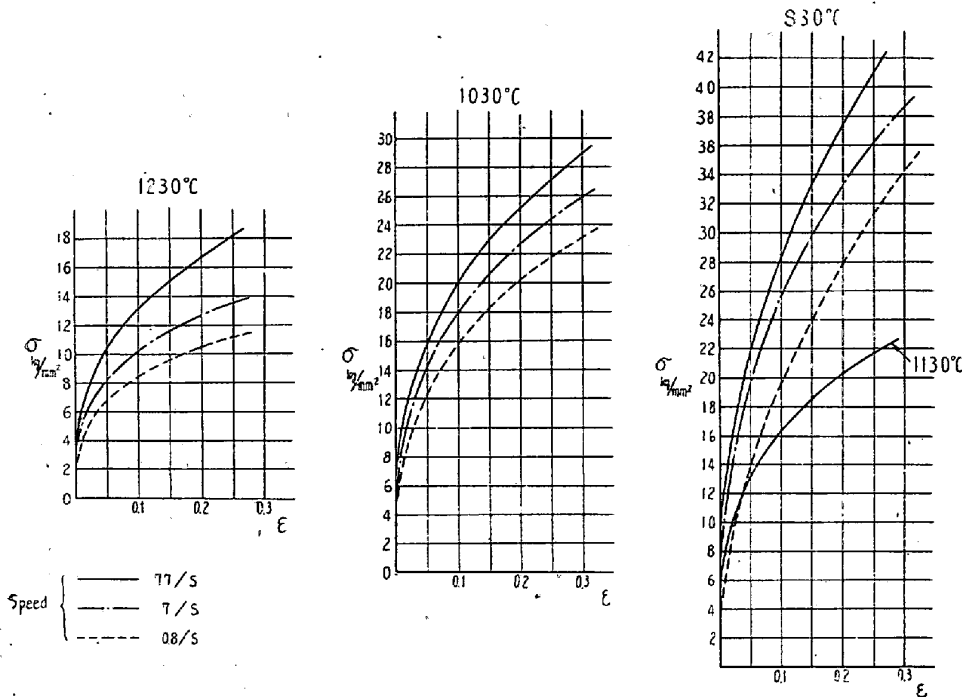


Fig. 4. True stress (σ)–Natural strain(ϵ)curves of 18-8-Mo steel. low carbon killed steel.

いる。15鋼種中1230~830°Cの間で此の現象を示したのは、リムド鋼、キルド鋼、快削鋼、0.5Mo鋼、1Cr-0.5Mo鋼、2.25Cr-1Mo鋼、5Cr-0.5Mo鋼及び13Cr鋼の8鋼種である。之等はすべて850~900°C以上では1相であり*、その範囲内では(2.6)式が成立するが、 α 相の出現以後は別に扱わねばならない。

(b)はベアリングレース鋼であつて、此の鋼は1230~830°Cの間で常に γ 相1相である。従つて全温度範囲にわたつて(2.6)式が成立し、1本の直線で表現できる。1035鋼、4140鋼、ベアリングレース鋼、3%Al鋼及び25Cr鋼が此の型に属する。

(c)は18-8Mo鋼であつて、之と18-8鋼とは組織的には常に γ 相であるが、(2.7)式の直線関係が成立せず、便宜上1050°C附近で2つの直線に分けて考える必要がある。むしろ此の場合の変形抵抗は、温度に正比例すると考えた方が実験結果によく合うようである。

この様に或る種の注意を要するが、高温範囲内で(2.6)式の関係はすべての鋼種、変形速度及び加工度について成立すると考えてよい。AはFig. 6の直線の傾斜であつて、温度に対する変形抵抗の感受性を示し、Aが大きい程温度に敏感である。Aの値をすべての場合について求めた結果を検討すると次の様な特徴を認め得る。

イ) Aの値は $0.35 \sim 0.70 \times 10^4$ の間にあり、普通 $0.4 \sim 0.6$ 、平均 0.5×10^4 と考えてよい。

ロ) 変形速度が大きい程Aは小さい。

ハ) Cr-Mo鋼、ベアリングレース鋼、各種不銹鋼、Al鋼はA

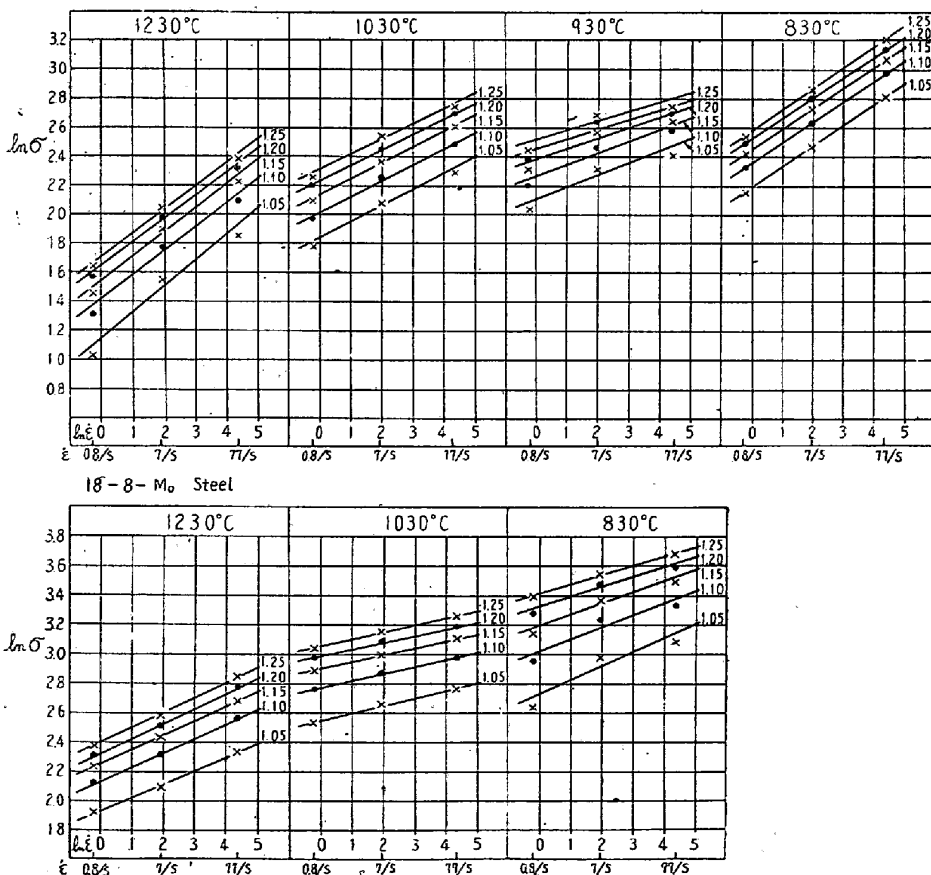


Fig. 5. Relations between σ and $\ln \epsilon$

* 13Cr鋼はやや特別で、この温度範囲では常に $\alpha + \gamma$ 相であるが、 α 相の量が温度と共に変化する。

が大きくて $0.5 \sim 0.7 \times 10^4$, 炭素鋼は小さく $0.35 \sim 0.6 \times 10^4$ である。

VII. 変形抵抗の一般式

変形抵抗と加工度, 速度及び温度との関係は, 夫々 (2.1), (2.4) 及び (2.6) 式で表現できる事がわかったので, 之等3つの主要条件を綜合した一般式を次の様を書く事ができる。

$$\sigma = K \cdot \epsilon^n \cdot \dot{\epsilon}^m \cdot e^{A/Tk} \dots \dots \dots (2.8)$$

K, n, m, A は材質毎に定まる常数であつて, n, m 及び A は既に述べた様な特性を持つている。

(2.8) 式が成立するので, 今回の実験条件の中間の変形条件を与えられて, その場合の変形抵抗を問われても, 之を内挿して計算する事ができる。それには指定された材質についての Fig. 5 及び Fig. 6 を用いて, 図上で内挿する方法が便利である。

今迄に発表された高温変形抵抗の一般式は数が少ないが, Zener-Hollomon⁷⁾ 及び池島¹⁾ は (2.8) 式と同型の式を発表している。

尙, MacGregor-Fisher⁸⁾ は $20 \sim 600^\circ\text{C}$, $0.5/\text{S} \sim 9.5 \times 10^{-7}/\text{S}$ の中温低速度の変形に対して, 次の型式の Velocity-modified temperature (T_m) を提唱し, 之により変形速度と温度を1つの変数に統一できると言っている。

$$T_m = T_k [1 - K \cdot \ln(\dot{\epsilon}/\dot{\epsilon}_0)] \dots \dots (2.9)$$

筆者の結果を用いて 2, 3 の鋼種について此の事を検討してみた所, 完全とは言えないが T_m によつて一通り両者をまとめ得る事をみとめた。従つて velocity-modified temperature は高温高速度変形に対しても一応認めてよい提案であろう。

VIII. 他の結果との比較

鋼の高温高速度に於ける変形抵抗として今迄発表された値は数が少ないが, 池島¹⁾ 及び Hennecke⁹⁾ は数種の鋼について圧縮エネルギー法により, Nadai-Manjoine³⁾ は軟鋼及び 18-8 不銹鋼について高速引張り試験による値を示している。又 Siebel-Fangmeier¹⁰⁾ は板の圧延圧力の測定より変形抵抗を求めているが, その中, 板厚/ロール径が 11.2% の大きい場合は純粋変形抵抗に近いと考え

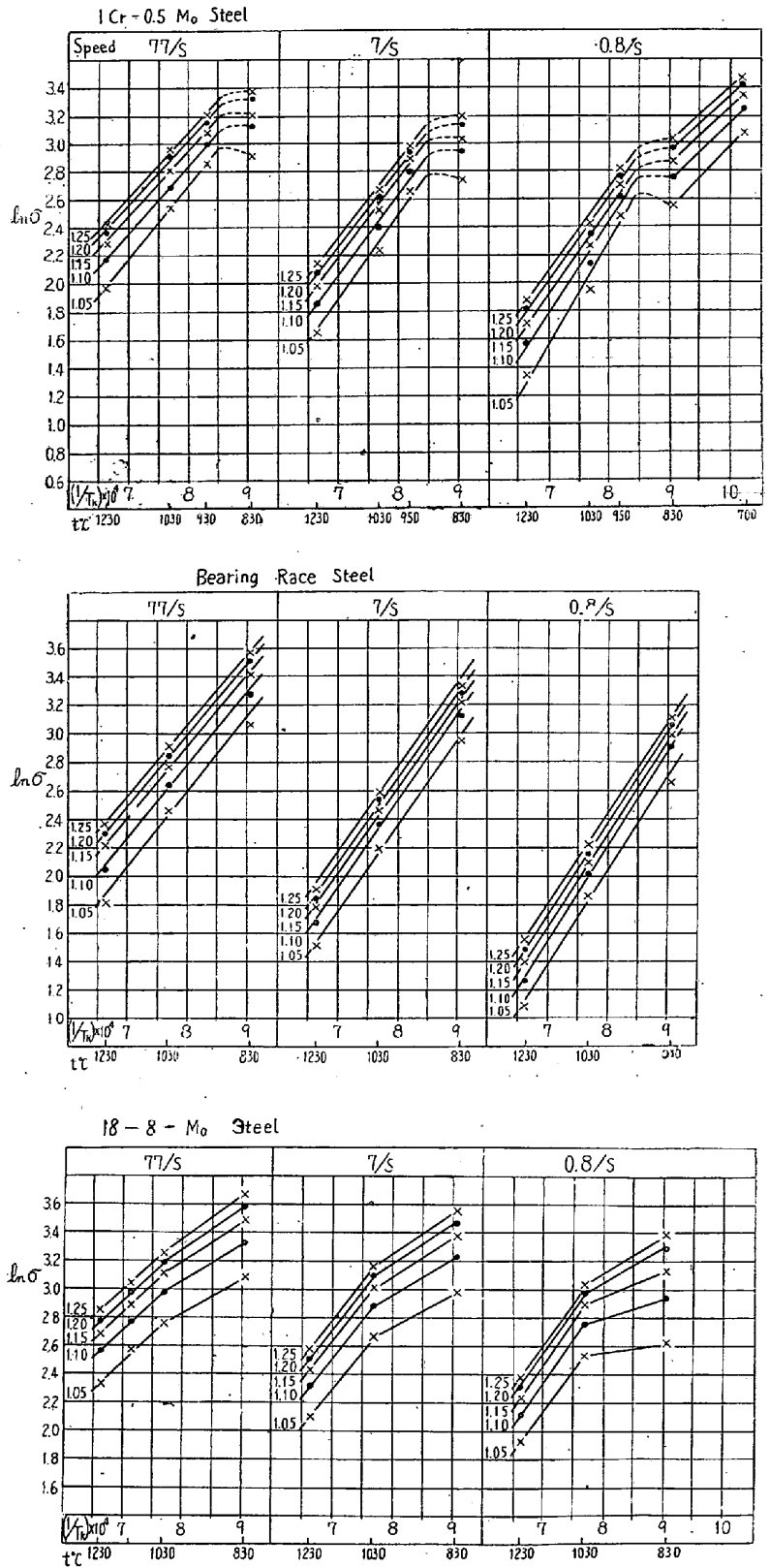


Fig. 6. Relations between $\ln \sigma$ and $1/T_k$

られる。之等のデータは実験した変形条件が筆者と異なるが, VII節に述べた方法によつて, 筆者のデータより同じ条件に対する値を求めて比較した結果が Fig. 7 である。図中直線が筆者のデータである。各データは大体に

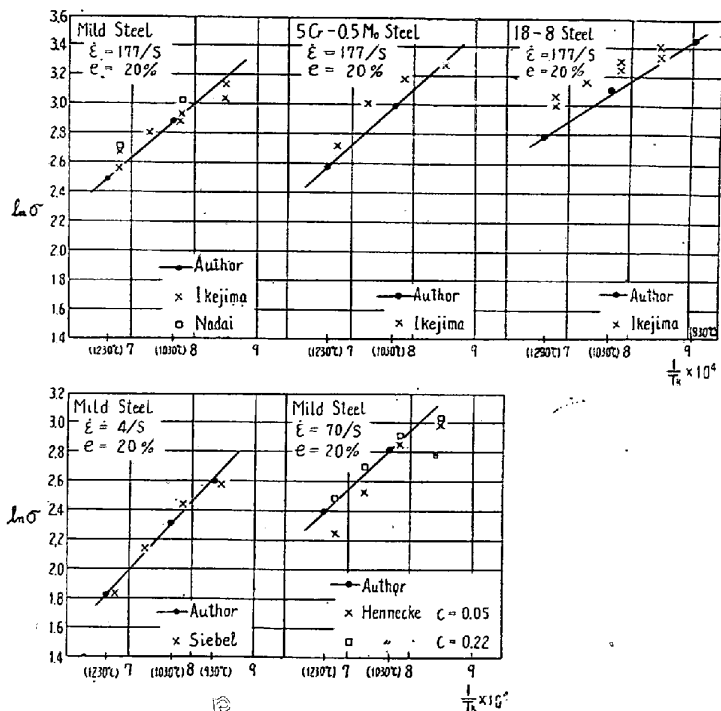


Fig. 7. Comparisons of deforming stress with another data in the same conditions.

於いて合致しているとする事ができる。尚、Nadaiは引張強さのみを示しているため、その時の歪みを20%と仮定して真応力に換算した。

IX. 変形抵抗と材質

今迄に述べた変形抵抗の値を、材質による差という見地から検討してみる。正確には σ - ϵ 曲線を相互に比較すべきであるが、便宜上、加工度20%に於ける変形抵抗を代表値として、変形速度別に比較する事とした。

Table 1 に示した15鋼種の中、低炭素リムド鋼、キルド鋼、1035鋼及び快削鋼は炭素鋼に属する。この4鋼種の変形抵抗を比較してみると、常に大体同じ値を示し、1つの群と見る事ができる。但し詳しく見ると、C%が高い程幾分変形抵抗が大きく、その傾向は高速変形の時やや明らかであつて、C=0.12%とC=0.38%を比較して1~2kg/mm²の差がある。然し中速度及び低速度では殆んど差がない。Fig. 8 に炭素鋼として示した線は、以上4鋼種の平均値である。

耐熱用Cr-Mo鋼は0.5Mo鋼を含めて4鋼種ある。之等はすべての場合に1kg/mm²以内の差で同一の変形抵抗を示すので、之を1つの群として扱う事ができる。この平均値をFig. 8にCr-Mo鋼として記入してある。Cr-Mo鋼群は炭素鋼群よりも常に変形抵抗が大きいが、1230°Cの高温では差は殆んどなく、低温になる程差が大きい。1000~900°Cでは2kg/mm²程度の

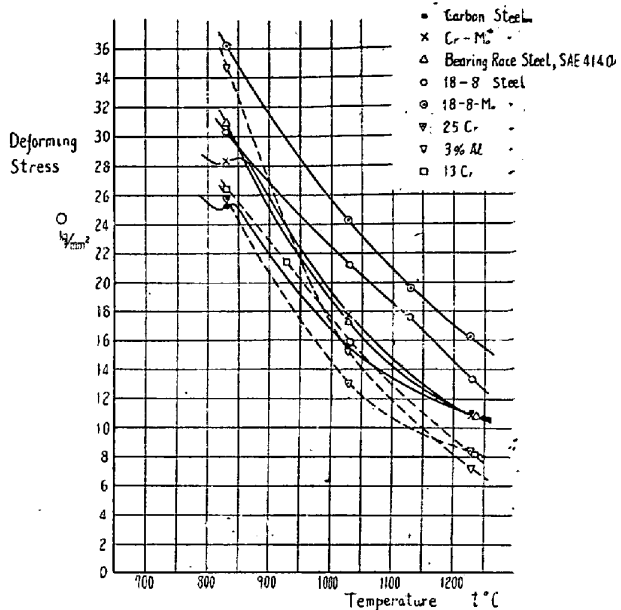


Fig. 8. Deforming stress versus temperature curves of various steels, at 77/S speed and 20% strain.

差があり、800~900°Cでは4~5kg/mm²の差となる。但し2相脆性の範囲では値が異常に低い上にばらつくから注意を要する。

構造用鋼としてのベアリングレース鋼とSAE 4140鋼は殆んど同じ値であつて、炭素鋼と耐熱用Cr-Mo鋼の中間の変形抵抗を有する。但し800~850°Cでは此の2鋼種は2相脆性がないから、炭素鋼及び耐熱用Cr-Mo鋼よりもずっと高い値となる。

18-8及び18-8-Mo不銹鋼は他の鋼種に比べ常に高い値を示す。又18-8-Mo鋼は18-8鋼よりも常に3~6kg/mm²変形抵抗が大きい。

25%Cr鋼及び3%Al鋼は、高温度では変形抵抗が非常に低く、800°Cの低温に近づくと共に急激に上昇する特性を有する。

以上の模様を示す為に、77/Sの高速長変形に於ける変形抵抗値を比較したのがFig. 8である。他の速度の場合もほぼ同様の状況である。

各鋼種の変形抵抗の比は変形条件により異なるので、正確にはTable 2の数值により比較すべきであるが、大体の目安としては、今回の変形条件内で、低炭素鋼に対して耐熱用Cr-Mo鋼は1.2倍、ベアリングレース鋼及び4140鋼は1.1倍、18-8鋼は1.5倍、18-8-Mo鋼は1.8倍、25Cr鋼は0.8倍、3%Al鋼は0.9倍、13Cr鋼は1.1倍程度と考えてよい。(続く)

(昭和30年1月寄稿)

文 献

- 1) 池島俊雄: 高温度に於ける鋼の変形抵抗に関する研究, 昭和 24 年 5 月, 扶桑金属工業報告
- 2) Ludwik, P.: Element der technologischen Mechanik, 1909.
- 3) Nadai, A. and M. Manjoine: High Speed Tension Tests at Elevated Temperatures, J. of Applied Mechanics, 1941, pp. 77~91.
- 4) Miller, R.F.: Influence of Strain Rate on Strength and Type of Failure of C-Mo Steel. Trans, ASM. 1943, pp. 817~848.
- 5) Gensamer, M.: Strength of Metals under Combined Stresses. ASM., 1941.
- 6) Hollomon, J. H.: Tensile Deformation. Trans. AIME. 1945, p. 268.
- 7) Zener, C. and J. H. Hollomon: Plastic Flow and Rupture of Metals, Trans. ASM. 1944 pp. 163~235.
- 8) MacGregor, C.W. and J.C. Fisher: Tension Tests at Constant True Strain Rates, J. of Applied Mechanics, Dec., 1945.
- 9) Hennecke, H.: Warmstauchversuche mit Perlitischen, Martenitischen und Austenitischen Stählen, St. u. E., 1928, pp. 315~316
- 10) Siebel, E. and E. Fangmeier: Versuche über den Formänderungswiderstand und den Formänderungsverlauf beim Warmwalzen von kohlenstoffarmen Flußstahl. Mitt. des K.-W.-Inst. für Eisenforschung, 1930, pp. 225~244.

硼素鋼の研究(I)*

(含硼素 Cr, Cr-Mo 肌焼鋼および強靱鋼の焼入性, 機械的性質および滲炭性について)

小柴定雄**・田中和夫***・稲田朝雄***

INVESTIGATION OF BORON STEEL (I)

Sadao Koshiha, Kazuo Tanaka and Asao Inata

Synopsis:

Effects of B on the transformation, hardenability, quenched and tempered hardness, and mechanical properties etc. of Cr and Cr-Mo case-hardening steels and high-tensile steels were investigated. The results obtained were as follows.

The Ac_1 points were not affected by addition of 0.001 to 0.011% B, but the Ac_3 points were raised, while the Ar points were lowered. In this range of B contents, about 0.003% B is most effective to increase the hardenability.

The quenched and tempered hardness of both Cr and Cr-Mo case-hardening steels containing B was higher than that of those steels contains no B at tempering temperature of 200~300°C, but the hardness of the formers decreased remarkably when tempered at about 400°C at which there was no difference between them. High-tensile steels had the same inclination.

The yielding point and tensile strength increased, while the elongation and reduction and reduction of area decreased by adding B, but the impact value of case-hardening steels decreased and that of high-tensile steels increased a little. The effect of B on carburizing property of case-hardening steels was not so remarkable and the carburized depth increased a little by adding B.

I. 緒言

アメリカにおいては各種肌焼鋼および低合金鋼に微量のBを添加して焼入性を増大せしめ, もつて Ni, Cr, Mo, Mn その他の焼入性増大元素の節減をはかっている。

またわが国においても最近硼素鋼に関する各種の研究が進められているがBの効果については未だ充分究明

* 昭和 29 年 10 月本会講演大会にて発表

** 日立製作所安来工場, 工博

*** 日立製作所安来工場