

終りに本研究に当り種々指示および指導され且つ発表を許可せられた株式会社日本製鋼所専務取締役柳武氏、常務取締役小林佐三郎工学博士、取締役室蘭製作所長皆川孝光氏および同所次長近藤八三氏に深謝すると共に種々助言と便宜をあたえられた同所製鋼部長松本茂樹氏および製鋼課長守川平四郎氏に謝意を表す。なお実験の遂行に当られた研究部曾我政雄、竹林朝雄、須藤実、梁川保雄、星剛の諸氏にお礼申し上げる。

(昭和 32 年 11 月寄稿)

文 献

1) Reports of Committe on Heterogeneity of

Steel Ingots: Report Nos, 1-6*8, Iron and Steel Inst, (1926) (1939)

2) J. H. Diekenson: J. Iron & Steel Inst., 113 (1926), 177

3) A. Hultgren: Trans. A.I.M.E., 176 (1948), 173

4) 小林: 鉄と鋼, 22 (1936), 688

5) 同 上, 25 (1939), 745

6) A. Hays & J. Chipman: Trans. A.I.M.E., 135 (1939), 85

7) 八幡製鉄: 学振 19 委, 2428, 2639, 2736

高温度における鋼の変形能に関する研究(I)*

(高温換り試験についての研究)

森 島 達 明**

STUDY ON THE HOT-DUCTILITY OF STEELS (I)

(Study on the Hot Twist Test)

Tatsuaki Morishima

Synopsis:

As a method to evaluate hot-ductility of steels, hot twist test was adopted and study on its test was performed.

The design and construction of the testing apparatus, procedure of test and the form of test specimens were described.

Some tests were carried out to confirm the reproducibility, accuracy of test results and availability of this test.

In these tests, the following results were obtained.

(1) The apparatus used showed fairly good reproducibility and accuracy of test results.

(2) This test was proved to be more useful and sensitive to evaluating hot-ductility of steels as compared with other tests such as high temperature tensile or impact test.

Also in this study, the effect of MnS inclusions on hot-ductility of steels was examined.

In addition, by means of this test, some experiments were performed on the hot-ductility of various carbon and alloy steels.

I. 結 言

鋼の熱間加工において直面する問題は種々あるが、中でも重要な問題は高温度における鋼の変形抵抗についての正確な知識をうることと、加工性の良否、これを変形能といふ言葉であらわすと、この変形能の大小を知ることである。このうち変形抵抗については従来よりかなり進歩した研究が行われている。しかるに変形能については鋼材に生ずる疵とその防止策の点より、熱間加工に従

事している技術者にとって日常最も切実な問題であるにもかかわらず、その基本的研究は余り進んでいない。従来変形能の大小を知る方法としては、(1) 高温抗張試験における伸びまたは絞りを測定する、(2) 高温圧縮試験によつて亀裂の発生状況を調べる、(3) 高温屈曲試験によつて亀裂の発生状況を知る、といったような方法が用い

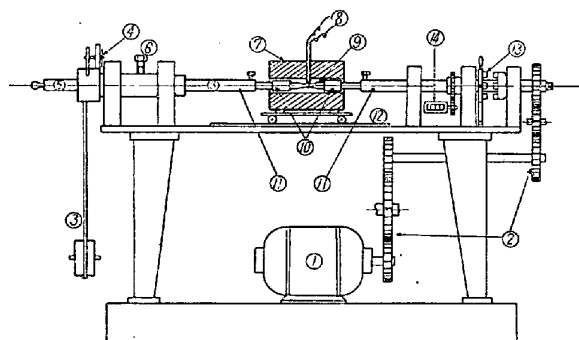
* 昭和 29 年 5 月本会関西支部講演会にて発表

** 住友金属工業株式会社、鋼管製造所

られてきた。しかしこれらの方法は変形能を知る一応の目安とはなるが、実際の加工条件に適合しない点が多いし、また大部分はきわめて定性的な試験にすぎない。そこで筆者は変形能をより正確に測定する一つの手段として最近欧米でもかなり研究が行われている^{2)~10)}、高温振り試験を考えた。現在この振り試験により鋼の高温度における変形能の基本的問題について種々研究中有るが、第1報としてその試験方法の概要と、この試験に関する二、三の実験結果について報告することにする。

II. 高温振り試験機ならびに試験法

振り試験の骨子は丸棒試験片を高温に加熱しておき、試験片の片方は固定し、他端をぐるぐる振つて何回振れて切断するかを見、この振り数の多い少いをもつて変形能の良否を判定するものである。製作した高温振り試験機の構造を Fig. 1 に示す。図の右の部分は振り側で、



- | | |
|--------------------------|-----------------------|
| ① Electric motor (3H.P.) | ⑧ J.J. thermo-couple |
| ② Reduction gear | ⑨ Test specimen |
| ③ Pendulum | ⑩ Coupling |
| ④ Torque meter | ⑪ Chuck |
| ⑤ Slidable shaft | ⑫ Furnace slide rails |
| ⑥ Fix bolt of shaft | ⑬ Clutch |
| ⑦ Heating furnace | ⑭ Revolution counter |

Fig. 1. Hot twist testing apparatus.

左の部分は試験片固定側である。振り電動機①から減速歯車②を通じて与えられる。回転数は歯車の減速比を変えることによつて 50~600 r.p.m. に変化出来る。また手廻しを行えばさらに遅い回転数がえられる。試験片固定側には振り力計③、④があり、この振りとの力の平衡によつて試験片に加わる振りをとめ、同時にトルクを測定する。試験片固定側のシャフト⑤はボルト⑥を緩めると左右に移動することができる。試験片を炉中⑦に装入するときは、装入しやすいようにシャフト⑤を左に移動させておく。試験片は両端にカツプリング⑩をつけて炉中に装入するが、装入後はカツプリング両端をチャック⑪に固定する。試験に到るまでの試験片の加熱中は、

加熱による試験片の膨脹を許しうるように、ボルト⑥は緩めたままにしておく。試験片の温度の測定は炉の上から降した J. J. カップル⑧で行う。炉の温度勾配は炉の中心から左右 30mm 以内は $\pm 5^{\circ}\text{C}$ である。実際に試験片を振る方法は試験片を所定温度、時間に加熱後、試験片固定側のボルト⑥をしめ試験片を固定し、モーター①を回転し、クラッチ⑬を入れる。試験片が何回か振れて切断したときは振り⑨が下に降るのでいつ切断したかがわかり、そのときクラッチを外して回転をとめる。この場合の振り数、すなわち破断回数は振り側のシャフトに取りつけた回転計⑭でよむ。またトルクは上述のごとく振り力計で測定する。なおトルクについては材料の変形強度の点から興味ある問題とは考えられるが、本研究で問題にすることは材料の変形に要する力ではなしに、変形能に関する問題であるので、以下本論文では振り数のみを取上げ、トルクについてはふれないことにする。

つぎに実験に用いた試験片の寸法を Fig. 2 に示す。

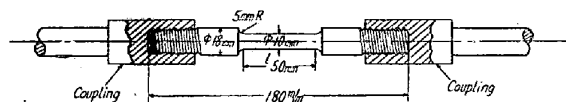


Fig. 2. Standard test specimen.

試験片の形状については試験機の容量、加熱炉の温度勾配、試験片製作上の難易等により変つてくると考えられるが、本研究では試験片各部の寸法について、最適寸法をうるための種々予備実験を行い、その結果標準試験片として Fig. 2 に示すごとき寸法とした。試験片中央の直径 10mm、長さ 50mm の部分が振られる部分であるが、この振り部の長さは炉の温度勾配の関係上あまり長くすると、温度が試験片軸方向に不均一となり、試験片が一様に振れなくなる欠点がある。

III. 試験結果

1. 再現性

この試験機で振り数についてどの程度の再現性あるいは精度がえられるかを知るために、低炭素鋼および 18-8 ステンレス鋼について、一つの試験条件でほぼ 10 本宛の試験を行つた。1本1本の試験はなるべく試験の機会を変えて行うようにした、試験の結果を Table 1 に示す。

表からわかるように、振り数のばらつきについては振り数が 20 回程度以下の比較的少い所では、平均振り数に対しそのばらつきは%にすれば最高 $\pm 10\%$ 程度であり比較的大きな値となるが、実際の振り数では $\pm 1.0 \sim 1.5$ 回程度となつている。また振り数が 40 回程度以上の所では、そのばらつきはほぼ $\pm 5\%$ 程度となつている。こ

Table 1. Reproducibility of twist values.

Steels	Test temperature (°C)	Revolution speed (r.p.m.)	Twist values of each test specimen					Average of twist values	Deviation from average	
									Twist number	%
Low carbon steel (C=0.1%)	1000	100	40 39	42 38	42 40	40 42	41 40	40.5	+1.5 -2.5	+3.7 -6.2
	1200	〃	120 129 127	126 124	119 121	130 124	131 132	125.7	+6.3 -6.7	+5.0 -5.3
18-8 stainless steel	1100	〃	12 11	13 11	12 11	11	12	11.7	+1.3 -0.7	+11.1 -6.0
	1250	〃	21 18	21 19	20 20	20 20	19 20	19.8	+1.2 -1.8	+6.1 -9.1

の程度のばらつきは必ずしも十分とはいえないが、この研究の性質から考えると、これでも比較的良好ではないかと思われる。この程度であれば実験上特に支障はないと考えられる。ときにはこの値が非常にばらつくこともあるが、このような場合は試験片に割れあるいは非金属介在物の局部的偏析等があった異常な場合である。通常は一つの試験条件について1本宛の試験であるが、このような場合は更に2~3本宛の試験を追加し、その異常性を確めることにした。

2. 他の試験方法との比較

振り試験がどの程度有効な試験であるかどうかを確めるために、他の変形能の良否を判定する試験方法と比較しながら、二、三の実験を行つた。

(1) 高硫黄鋼についての実験

実験の対象として低炭素、高硫黄鋼を選び、鋼の変形能におよぼすSの影響を振り試験がどの程度敏感に判定しうるか検討することにした。実験に用いた材料の化学成分をTable 2に示す。これらはいずれも50kg高周波炉で溶製したものである。

No. 1~No. 4はMn/Sをほぼ10程度の一定とし、Mn/Sを比較的高くして非金属介在物はいずれもMnSの型にし、順次Sを高めたものである。この実験で特にこのような材料を用いたのはつぎのような理由による。

鋼の赤熱あるいは高温脆性におよぼすSの影響については多くの研究もあり¹⁾またよく知られた事実であるが、なお研究を要する点も残されている。その一つとしてつぎのようなことが考えられる。鋼中のSはFeSからMnSの型になると鋼の変形能はよくなることは事実である。しかしMnSになつた場合でも、変形能におよぼす影響がなくなるわけではなく、MnSの場合には鋼中に存在するMnSの量が問題になると考えられる。すなわちSが低く、したがつてMnSの少ない場合には、変形能に対する影響は比較的少いと考えられるが、Sが高くMnSの多い場合には、当然変形能が悪くなることが予想される。従来の研究ではFeSがMnSになると変形能がよくなるということだけで、MnSの場合については余り詳しく調べられていない。そこでこの実験は振り試験の有効性を知ることがを目的としたものではあるが、同時にNo. 1~No. 4のごとく非金属介在物はMnSとし、順次Sを高めMnSを多くしたような材料で、MnS量と変形能の関係について検討してみることにした。またTable 2においてNo. 5~No. 7の材料は主としてこれらの材料と比較することを目的としたものである。No. 5はSは高いがMnを低くし、Mn/Sの値を1.72よりも小さくして、非金属介在物はFeSの型にし、MnSの場合との比較に供したものである。No. 6はS

Table 2. Chemical analyses of high-sulphur, low-carbon steels (%).

No.	Steels	C	Si	Mn	P	S	Cu	Mn/S
1	0.05 S ~ 0.5 Mn	0.18	0.29	0.62	0.014	0.051	0.13	12.1
2	0.10 S ~ 1.0 Mn	0.18	0.24	0.99	0.012	0.099	0.14	10.1
3	0.15 S ~ 1.5 Mn	0.20	0.34	1.60	0.014	0.159	0.15	10.1
4	0.20 S ~ 2.0 Mn	0.20	0.29	1.91	0.014	0.200	0.15	9.6
5	0.15 S ~ 0.2 Mn	0.11	0.01	0.20	0.011	0.134	0.12	1.5
6	0.03 S ~ 0.5 Mn	0.16	0.22	0.49	0.014	0.024	0.12	20.4
7	0.03 S ~ 2.0 Mn	0.16	0.20	1.95	0.015	0.020	0.14	

の低い普通鋼で、これらの高S鋼に対してSの影響のないものである。また No.7 はSは低くし、Mnのみを最も Mn の高い No.4 に対応するようほぼ 2% 程度に高めたものである。これは No.1~No.4 のごとく Mn/S を一定にしSを高めた場合必然的に Mn も高くなり、S以外に Mn 自体の変形能におよぼす影響もあるかも知れないので、その影響をみようとしたものである。

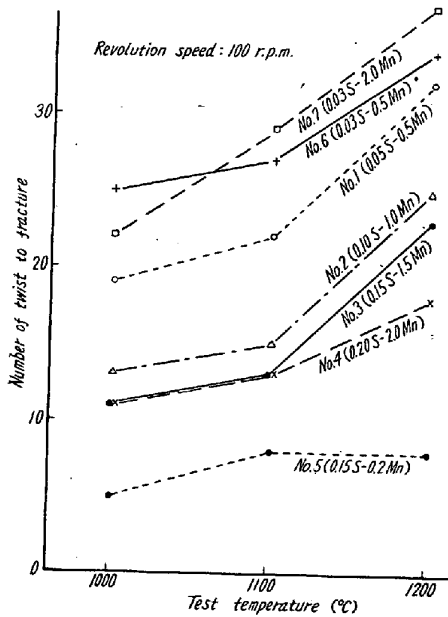


Fig. 3. Results of hot twist test on high sulphur, low carbon steels.

以上の材料について行つた振り試験の結果を Fig. 3 に示す。No.1~No.4 では No.1, 2, 3, 4 の順に振り数が減少しており、S が高くなるほど、したがつて MnS が多くなるほど変形能が悪くなることを示してい

る。非金属介在物を FeS にした No.5 はこれらの MnS 系に比べると振り数が少く、さらに変形能が悪くなつている。一方普通鋼の No.6 はこれらの高 S 鋼に比べると変形能は良好である。また Mn のみを高めた No.7 の振り数はほぼ No.6 と同程度である。したがつてこの程度の Mn% であれば変形能に対する影響は余りないことがわかり、No.1~No.4 ではSのみの影響を考えればよく、Mn 量の相違の影響については特に考える必要はないと思われる。以上の結果から FeS の場合には極端に変形能が悪くなるが、MnS の場合でも S が高く非金属介在物が多い場合には、相当変形能が悪くなるのがわかる。

つぎに振り試験の結果と比較するために、同じ材料で高温シャルピー試験および高温抗張試験を行つた。その結果を Fig. 4 および Fig. 5 に示す。高温シャルピー試験の場合、屈曲部の状況は No.1~No.4 において、No.1, No.2 は 1000~1250°C の間でいづれも亀裂が発生していない。No.3, No.4 は 1200, 1250°C では亀裂が発生していないが、1000, 1100°C では僅かに亀裂が発生している。この結果 1000°C, 1100°C, における亀裂の発生状況からみて、高温シャルピー試験の場合にも、S が高くなるほど変形能が悪くなる傾向はわからないこともないが、その差は余り明瞭でなく、振り試験の場合ほどはつきりしない。なおこの場合 No.6 は亀裂は発生していないが、No.5 は完全に破断している。高温抗張試験の場合は伸び、絞りとも大差がなく、この場合は変形能の差があまり明瞭でない。

(2) 2相合金鋼についての実験

鋼を熱間加工する場合、その加工温度で組織が2相になる鋼ないし合金鋼は、均一相の場合よりも変形能が悪くなることはよく知られている¹²⁾。ここではこの問題を取上げ、2相であるために変形能が悪くなるのが、他の試験法と比較した場合、振り試験ではどの程度敏感に判定しうるか検討した。実験に用いた材料はオーステナイト系 17-12-Mo ステンレス鋼で、その化学成分を Table 3 に示す。

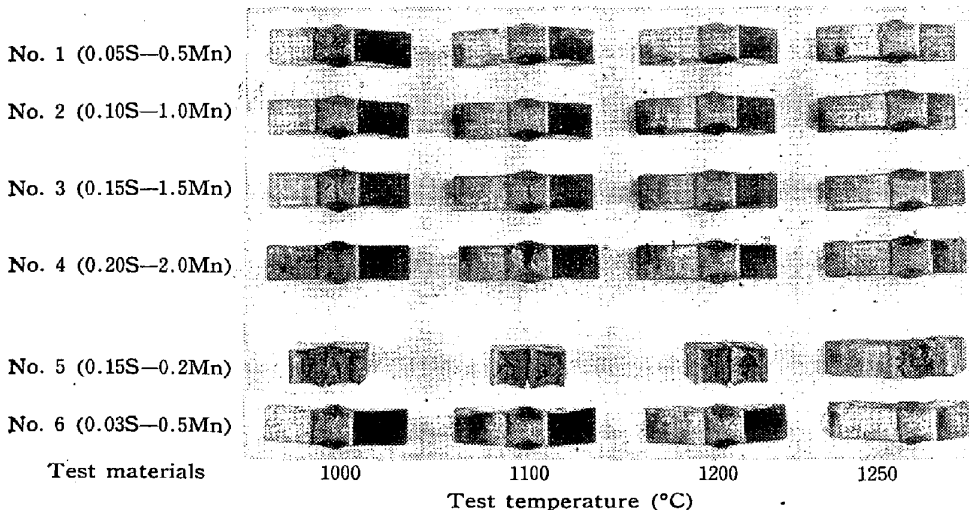


Fig. 4. Result of high-temperature Charpy impact tests on high-sulphur, low-carbon steels.

Aは均一なγ組織のもので、BはMoを高めγ+αの2相の組織としたものである。これらの材料は50kg高周波炉でA

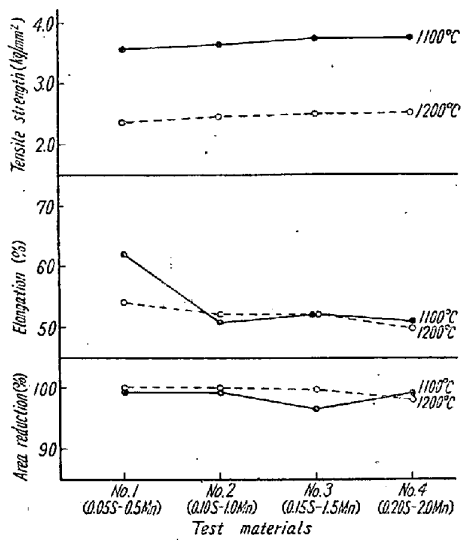


Fig. 5. Results of high-temperature tensile test on high sulphur, low carbon steels.

成分のものを溶解し、溶鋼の半分はそのまま鑄造し、残り半分は Mo を高め B 成分として鑄造したものである。Fig. 6~Fig. 8 はこれらの材料について行つた振り試験、高温シャルピー試験および高温抗張試験の結果を示す。振り試験の場合両者の変形能の差はきわめて明瞭で

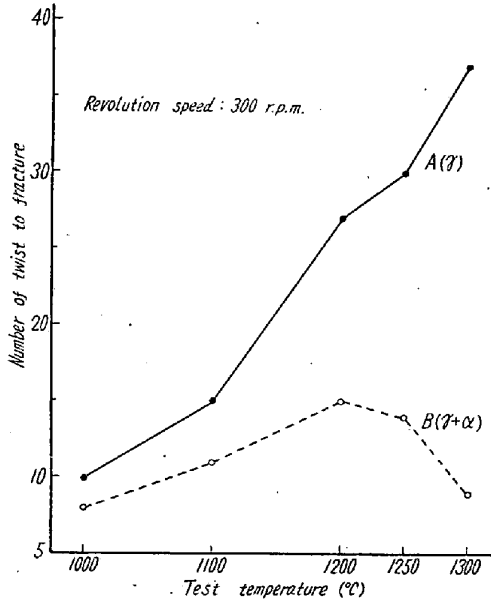


Fig. 6. Results of twist test on stainless steels with single and duplex phase.

Table 3. Chemical analyses of stainless steels subjected to experiments on two-phase alloy steels (%).

Mark	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo
A	0.03	0.66	1.63	0.015	0.018	0.03	12.37	16.99	0.94
B	0.04	0.64	1.44	0.015	0.016	0.02	11.75	16.25	3.80

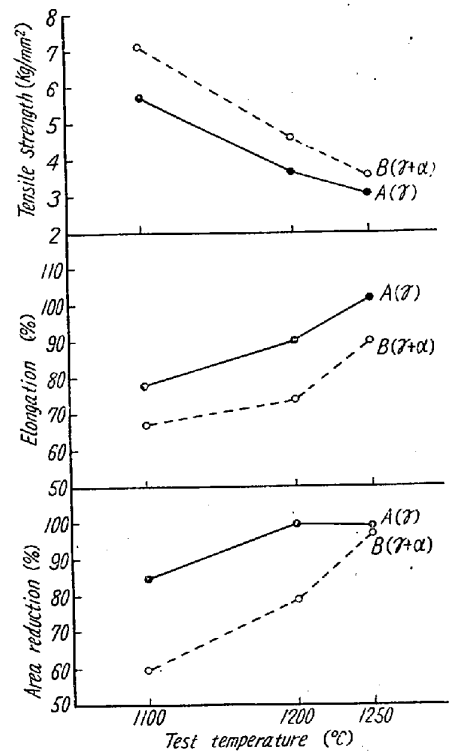


Fig. 7. Results of high temperature tensile test on stainless steels with single and duplex phase.

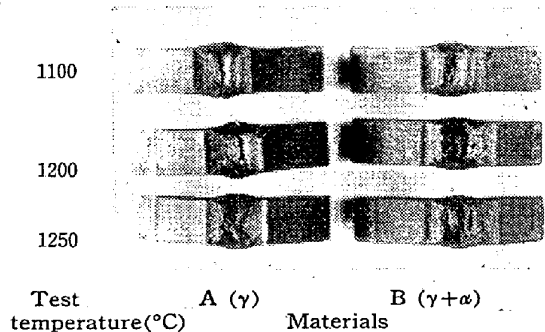


Fig. 8. Results of high-temperature Charpy impact tests on stainless steels with single and duplex phase.

ある。γ均一相のAはγ+αのBに比べると振り数が多く、振り数は温度とともにほぼ直線的に増加している。Bは全体的に振り数が少く、かつ1200°C附近までは比較的α量が少いが、1200°C以上の高温ではα量が増加するので、1200°C附近を最高として、それより高温で

は振り数が減少している。そのため両者の差は高温になるほど顕著である。高温シャルピー試験の場合、亀裂の発生状況は両者の間に僅かに差が認められるが、その差は余り明瞭でない。高温抗張試験の結果は伸びおよび絞りで両者の間に差が見られる。しかしその差は温度に対してほぼ平行的であり、振り試験のごとく、温度の影響に対する明瞭な差は認められない。

以上高S鋼ならびに2相合金についての二つの実験結果からわかるように、高温シャルピー試験あるいは高温抗張試験の場合には、変形能の良否の差を十分見出だせないような場合、あるいは不明瞭のような場合でも、振り試験では明瞭な差が認められる。したがって振り試験は従来用いられてきたような他の試験法に比べると、必ずしも例外的な現象はないとは断定できないが、より明瞭かつ微細に変形能の差を知ることが可能であり、はなはだ有効な試験方法であることがわかる。

3. 二、三の炭素鋼および数種の合金鋼についての試験結果

以上の実験では試験機の精度、その有効性あるいは試験条件等、主として振り試験法自体の問題について検討してきたが、つぎにこの試験により若干の材料についてその変形能を調べた。試験に供した材料は二、三の炭素鋼、数種の低合金鋼およびステンレス鋼で、その化学成分を Table 4 に示す。これらの材料は通常管材として使用されるものである。

振り試験の結果を Fig. 9 に示す。この場合振り速度は 100 r.p.m. で試験を行つた。炭素鋼および低合金鋼の結果では、低炭素リムド鋼は別として、低炭素キルド鋼、0.2 Mo 鋼、1Cr-0.5 Mo 鋼、5Cr-0.5Mo 鋼、2¹/₄ Cr-1Mo鋼の順に振り数が

が少なくなつており、合金元素が多くなるとともに変形能が悪くなるのがわかる。低炭素リムド鋼は低炭素キルド鋼に比べると振り数が少く変形能が劣る。これはリムド鋼には内部に不純物の偏析が多いためと考えられる。

ステンレス鋼の結果では、オーステナイト系ステンレス鋼は全般的に見ると、その振り数は低合金鋼より少く炭素鋼、低合金鋼に比べるとかなり変形能が悪いことがわかる。個々の鋼種では 18-10, 18-12-Mo, 18-12-Cb の順に振り数が少く変形能が悪くなる。特に Cb 入は変形能が悪い。18-12-Ti は比較的溫度の低い 1100~1200 °C で最高の振り数を示し、この附近で最も変形能がよく、これより高温になると振り数が減少し変形能が悪くなる。低温ではむしろ 18-10 ステンレス鋼よりも振り数が多く変形能がよい。他の三つの鋼種では低温からほぼ 1250°C 附近まではいづれも温度の上昇とともに振り数も増加する傾向を示しているが、18-12-Ti はかえつて低温で振り数が多い。この点 Ti 入の場合は他の鋼種に比べると変形能の様相がかなり異つていようように考え

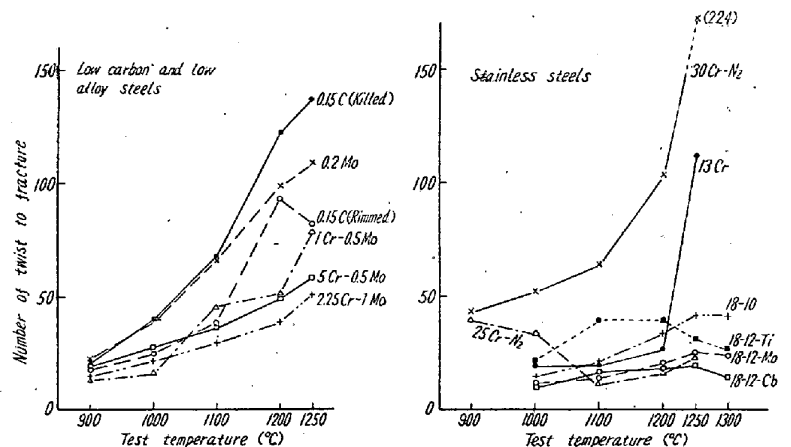


Fig. 9. Hot-twist characteristics of various steels. (Revolution speed: 100 r.p.m.)

Table 4. Chemical analyses of steels subjected to hot twist test (%)

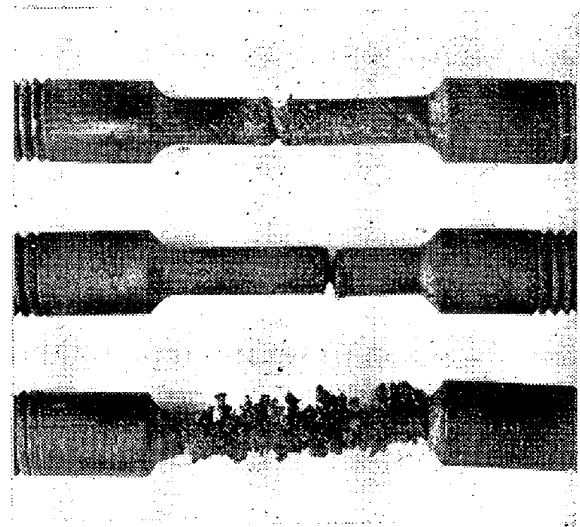
Steels	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	Others
Low-carbon and low alloy steel	0.15C (Killed)	0.14	0.20	0.47	0.012	0.023	0.15			
	0.15C (Rimmed)	0.14	0.01	0.36	0.012	0.028	0.15			
	0.2 Mo	0.13	0.19	0.45	0.013	0.007	0.18		0.15	
	1Cr-0.5 Mo	0.11	0.34	0.52	0.010	0.007	0.17		0.92	0.34
	2.25Cr-1 Mo	0.11	0.29	0.47	0.018	0.008	0.17		2.37	1.07
	5 Cr-0.5 Mo	0.11	0.28	0.56	0.018	0.008	0.17		4.50	0.33
Austenitic stainless steel	18-10	0.05	0.55	1.33	0.025	0.010	0.12	9.64	18.05	
	18-12-Mo	0.06	0.47	1.31	0.030	0.010	0.10	12.08	16.60	2.38
	18-12-Ti	0.05	0.42	1.47	0.025	0.008	0.08	11.63	17.95	Ti=0.26
	18-12-Cb	0.05	0.61	1.60	0.020	0.008	0.10	10.62	18.46	Cb=0.66
Ferritic stainless steel	13 Cr	0.07	0.61	0.51	0.031	0.006	0.16	0.11	12.15	
	25 Cr-N ₂	0.09	0.48	0.75	0.025	0.014	0.12		24.45	N ₂ =0.190
	30 Cr-N ₂	0.06	0.65	0.34	0.017	0.011	0.10		29.75	N ₂ =0.161

られる。

フェライト系ステンレス鋼については、13% Cr 鋼は 1200°C までは振り数が漸次増加し、1250°C の高温になると振り数は急激に増加している。この場合試験温度全体を通じて鋼の組織は $\gamma + \alpha$ の 2 相であつたが、1250°C になると α が非常に多くなる。25% Cr-N₂ 鋼は、振り数は 900、1000°C では多いが、1100°C 以上では減少する。この場合 1100°C までは均一なフェライト組織であつたが、1100°C 以上では γ が出て $\alpha + \gamma$ の 2 相の組織となつており、高温で変形能が悪くなるのはこの組織的な影響と考えられる。一般にフェライト系ステンレス鋼は特に Cr が高い場合、あるいは Cr はそう極端に高くなくとも N₂ を含まないような場合は別として、通常高温では $\alpha + \gamma$ の 2 相の組織を示す場合が多く、しかもその組織は僅かな成分の変動あるいは温度の変化により変化しやすい。既によく知られているように、鋼の変形能はこの組織上の変化の影響をうけることが大きくこの点フェライト系ステンレス鋼の変形能については、他の鋼種と異つた複雑な面があるように思われる。30% Cr-N₂ 鋼は、振り数は温度が高くなるとともに多くなるが、特に高温で振り数がいちどるしく多くなる。この場合組織は試験温度全体にわたつて完全な α 組織であつた。

なおフェライト系ステンレス鋼の場合には、一部試験片の切断状況に他の鋼種では見られない特異な現象が見られる。たとえばここで試験した 30% Cr-N₂ 鋼の場合、あるいはここでは試験していないが 15~18% Cr-N₂ 鋼の 1200°C 以上の場合のように、組織が $\alpha + \gamma$ の 2 相でなく完全な α 組織、あるいはそれに近い状態の場合には、低温では生じないが 1200°C 以上の高温になると、試験片振り部の表面に多数の不規則な突起が生ずる。その状況を他の鋼種の切断状況とともに Fig. 10 に示す。このような場合には、振り部は振り中に次第に細くなり、試験片は容易に切断せず、振り数が極端に多くなる。フェライト組織を示すものに限つて、しかも高温でなぜこのような現象を示すか、その理由についてはよくわからない点があり、またその理由をここではまだ十分調査していない。しかし切断状況がこのようなのはただ特異な様相を示す場合、切断までの振り数がそのままの値で果して真の変形能を示しているものであるかどうかは疑問が残る。

以上試験の結果、各種鋼種の成分的な面から見た、その変形能の状況ないし性質をかなりよく知ることができた。しかし高温における鋼の変形能は単に成分的な間



Top; Low carbon steel
Middle; 18-10 stainless steel
Bottom; 30 Cr-N₂ stainless steel

Fig. 10. Fractures of hot twist test specimens of several steels.
(Test temperature: 1200°C)

題のみで一義的に定まるものではなく、成分以外にたとえば製鋼条件あるいは加熱条件等、その他の要素によつても影響される点が多い。したがつてこの結果は各種鋼種の変形能の一般的傾向を示すものではあるが、その数値は必ずしも絶対的なものではなく、個々の鋼種についてその変形能の様相を一層よく知るためには、さらに詳しい試験が必要と思われる。

IV. 総 括

以上高温振り試験に関し種々実験を行つたが、その結果を総括すると次のようになる。

1) 製作した試験機の試験結果の再現性ないし精度は比較的良好で、試験機は十分実験に使用しうることがわかつた。

2) 振り試験は高温抗張試験あるいは高温シャルピー試験等、他の試験方法に比べると、変形能の僅かな差でもより明瞭かつ微細に知ることができ、変形能の良否を知る手段として、振り試験ははなはだ有効な試験方法であることがわかつた。

3) 硫化物系非金属介在物が MnS の場合の鋼の変形能におよぼす影響を知るために、非金属介在物は MnS の型にし、順次 S を高め MnS が次第に多くなるようにした材料について、その影響を調べたが、FeS の場合ほど極端に変形能は悪くないが、MnS の場合でも、S が高く MnS が多い場合には、相当変形能が悪くなることがわかつた。

4) 二、三の炭素鋼および数種の合金鋼について、そ

の変形能を調べた結果、大体の傾向として合金元素が多くなるほど変形能が悪くなり、各種鋼種の変形能の一般的傾向ないしその性質を知ることができた。

最後に本研究を行うにあたり、住友金属鋼管製造所、研究部長、池島俊雄博士の直接の御指導をたまわつた。ここに厚く感謝致します。(昭和 32 年 12 月寄稿)

文 献

- 1) たとえば、池島：“高温度における鋼の変形抵抗に関する研究” 住友金属工業報告，昭和24年5月井上：鉄と鋼，Vol. 41 (1955)，No.5 (p.506)，No.6 (p. 593)
- 2) C. L. Clark: The Iron Age, Vol. 153(1944), March 16, p. 52
- 3) H. K. Ihrig: The Iron Age, Vol. 153(1944), April 20, p. 86
- 4) H. K. Ihrig: Metal Technology, Vol. 12 (1945), Oct., T.P. 1932
- 5) C. L. Clark et al: Metal Technology, Vol. 12 (1945), Dec., T.P. 1839
- 6) F. K. Bloom et al: Metal Progress, Vol. 59 (1951), No.2, p. 250
- 7) E. R. Hughes: J. I. S. I., Vol. 170 (1952), March, p. 214
- 8) C. T. Anderson et al: Journal of Metals, Vol. 5 (1953), No.4, p. 525
- 9) J. Dauvergne et al: Revue de Métallurgie, 51 (1954), No.4, p. 254
- 10) R. H. Henke et al: Journal of Métales, Vol. 6 (1954), No.8, p. 883
- 11) たとえば，A. Niedentahl: Arch. Eisenh., 3 (1929/30), Heft 1, S. 79
池島，森島：鉄と鋼，Vol. 41 (1955)，No. 4, p. 430
- 12) たとえば，前掲文献，6)；池島，森島：住友金属，Vol. 4 (1952)，No.2 p. 33

混粒に関する研究 (II)*

混粒の発生原因について (その 2)

益 子 美 明**

STUDIES ON DUPLEX GRAIN STRUCTURES OF AUSTENITE (II)

Causes of Formation of Duplex Grain Structures in Steels (Part-2)

Yoshiaki Masuko

Synopsis:

Already described in the previous report of the same title. (Refer to the Part-1. p. 476, April, 1958 issue of "Tetsu-to-Hagane".)

IV. AIN 量, 偏析および混粒の相互関係

前項までの検討結果から“混在型の混粒”は結晶粒の成長段階において発生し，“偏在型の混粒”は一次偏析に起因することが大体明らかとなつた。しかしながら、さらに、もし偏析がいちじるしければ AIN が多量に存在する場合にも果して“偏在型の混粒”が発生するかどうか、また反対に AIN が少量に存在する場合もし偏析が少なければ、果して均一な粗粒がえられるかどうか、等の疑問が生ずる。すなわち AIN 量、偏析および粒度形態の 3 者の相互関係が問題となる。これを検討するため

に次のごとき実験を行つた。

タンマン炉 (45 KVA) においてマグネシヤ内張の黒鉛坩堝を使用し、C 0.02%, Si 0.03%, Mn tr., P 0.010%, S 0.017%, Cu 0.01%, Ni 0.06%, Cr 0.08% の純鉄を原料とし C 0.65%, Si 0.30%, Mn 0.65% の炭素鋼 5.5 kg を熔製し、成分調整後 Si-Mn 脱酸、Al 脱酸 (0~0.1%) を行い、その一部 (2kg) は 45 mmφ×100 mm の小金型に鑄込んで急冷凝固せしめ残りを熔解坩堝ごとそのまま炉中で徐冷凝固させた。熔解

* 昭和 31 年 4 月、本会講演大会にて発表

** 住友金属工業株式会社、製鋼所