

Fig. 4. Relation between dimension of crack and elongation ( $\delta_u$ ).

は亀裂の発生がみられるが、70 mm 以上では R が大なるほど成形しやすくなり、とくに 80 mm 以上では肉厚変化率も 45% 程度できわめて良好な結果が得られる。これは Blank corner の R が小さいと、局部的に肉厚が変化するのにひきかえ、80R~90R では変形範囲が広がるため、R の大きいほど単位体積当りの歪み量が小さくてすむためと考える。一方、成形した後の張出し寸法は、上述と同じ理由により R の大きいものほど大きくなる傾向にある。

#### 4.4 熱間引張特性と成形性の関係

K-1, S-1, S-3 および R-2 を用い、500~800°C における一様伸びと実型プレスによる成形性の関係について検討した。このうちプレス温度 750°C の結果を示す Fig. 4 によれば、一様伸びの値が約 40% 以上を示すものには、亀裂の発生が認められない。このように、一様伸びの値によって熱間成形性の良否が判断できる。

#### 4.5 熱間成形による機械的性質の変化

K-1, K-2, S-1, S-3, R-1, R-2, R-3 を用い、成形前後における機械的性質について検討した結果によると、熱間成形により降伏点、引張強さは約 1 kg/mm<sup>2</sup>、伸びは約 2~5%、疲労限は約 1~2 kg/mm<sup>2</sup> 低下するが、衝撃値はほとんど変化なく、対象とした成形条件では材質に対し影響の少ないことが確かめられた。

#### 5. 成形性に対する検討と考察

上記の結果によると、A<sub>1</sub> 変態点付近での成形性は C および Mn 量に依存し、このうち後者の影響は無視できないように思われるので、C が等しく Mn のみが異なる試験材 S-1 と S-2 を用い、組織および成形性について検討した。各試験料を 800°C に加熱し、15 min 保持したのち、それぞれ 10°C/sec, 5°C/sec および 2°C/sec (プレス時の冷却速度にはほぼ等しい) の割合で、700°, 650°, 600°, 550°, 500°C まで冷却し、ただちに水冷して検

した結果によると、各試験料とも冷却速度によつて変態完了時期の異なることが認められるほかは、試験料による組織の差はほとんどみられず、成形性の相違を組織に関連し考察することは困難のように思われた。しかし、熱間におけるビッカース硬さ試験によると、Mn の多い、S-1 は、とくに 500°C 付近で著しく高い値を示すので、この温度域では S-2 に比べ、変形しにくいことが考えられ、さらに実際のプレス作業では、動的変形を伴うので、この 500°C 付近の硬化現象は、より高温側に現われることが十分予想される。次に 600~800°C の温度範囲での熱間引張試験によると、一様伸びの大小は Mn 量によつて明らかに異なり、Mn の少ない S-2 の一様伸びは、Mn の多い S-1 より、いずれの温度においても大きい。なお実型プレス試験で、一様伸びの大きいものほど成形が容易である事実と上記結果からすると、Mn 量は熱間成形性と密接な関係にあることが考えられる。以上を総合すると、Mn の多少は A<sub>1</sub> 変態点付近における成形性を左右し、その量が多いほど材質を硬化させ、変形しがたくする。

#### 6. 結 言

作業時とほぼ等しいプレス条件で熱間成形に適する鋼種および成形方法について検討した結果を要約すると、次のごとくである。

- (1) 低炭素鋼の熱間成形性は C および Mn 量に依存し、これらの成分が少ないほど成形性はよく、とくに C 0.20% 以下、Mn 0.60% 以下のものは成形しやすい。
- (2) 成形温度は成形のしやすさと作業性から考えて、600~700°C 付近が適当である。
- (3) Blank の形状、仕上げなどに若干の工夫を払えば、成形性を著しく向上させることができる。

#### (141) 低炭素鋼の高温加工性におよぼす微量元素の影響

住友金属工業、中央技術研究所

工博 田上 豊助・河合 忠二

Effect of Tramp Elements on the Hot Workability of Low Carbon Steels.

Dr. Toyosuke TANOUÉ and Chuji KAWAI.

#### 1. 緒 言

マンネスマン方式による製管は厳しい加工条件のもとで行なわれるため、高温加工性の良好な材料が要求される。高温加工性におよぼす材質の影響の一つとして、微量元素の影響が考えられる。微量元素含有量と高温加工性との関係は明らかにされていないので、これらの関係を調査する目的で実験を行なった。

試験対象とした微量元素は、As, Sn, Zn, Pb, P および Mo である。高温加工性は、高温ねじり試験による破断ねじり回数値で測定した。

#### 2. 試 料

高周波電気炉によつて低炭素鋼 (0.10~0.13% C, 0.18~0.23% Si, 0.45~0.55% Mn, 0.010~0.014% P, 0.020~0.028% S, 0.10~0.14% Cu) を母材として As, Sn, Zn, Pb, P および Mo をそれぞれ 0.038~0.53%

0.019~0.45%, 0.002~0.048%, 0.005~0.28%, 0.012~0.986%, または 0.01~4.84% を含有する 50 kg 鋼塊 37 本を溶製した。50 kg 鋼塊を 20 mm  $\phi$  に鍛造後 (鍛造比: 約 43), 焼準し, 平行部 10 mm  $\phi$   $\times$  50 mm, 曲率半径 5 mm のねじり試験片を削り出した。

### 3. 実験方法

次に示す実験条件のもとでねじり試験を行ない, 破断までのねじり回数によつて高温加工性を表わした。

ねじり回転数 300 rpm  
 試験温度 1000, 1100, 1200, 1300°C  
 昇温時間 15 min  
 保持時間 30 min  
 試験片両端温度差  $\pm 5^\circ\text{C}$  以内

### 4. 実験結果および考察

実験結果を Fig. 1~4 に示す。破断までのねじり回数 (以下単にねじり回数と呼ぶ) におよぼす各微量元素含有量の影響について以下検討する。

#### 4.1 As 含有量の影響

ねじり回数は As が 0.038~0.068% の範囲ではほとんど変化しないが, 0.12% になれば減少し, 含有量の増加とともに減少しつづけるが, 減少率は小さくなる。0.53% As では比較材の約 30% になる。0.068% 以下では温度の上昇にともないねじり回数は増加するが, 0.12% 以上では 1200°C において極大値を示し, 1300°C, 1100°C, 1000°C の順に減少している。

ねじり回数が極大値を示す温度は Fe-C-As 3 元状態図における  $\gamma$  相領域の As 固溶量のもつとも広い 1200°C

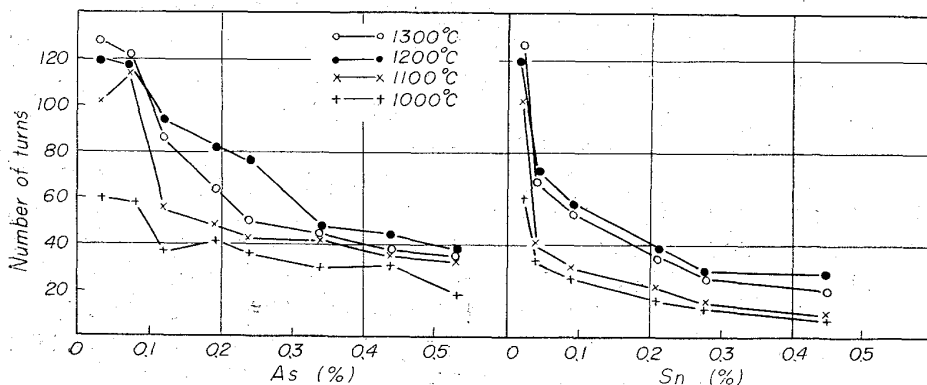


Fig. 1. Effect of arsenic and tin on the hot workability.

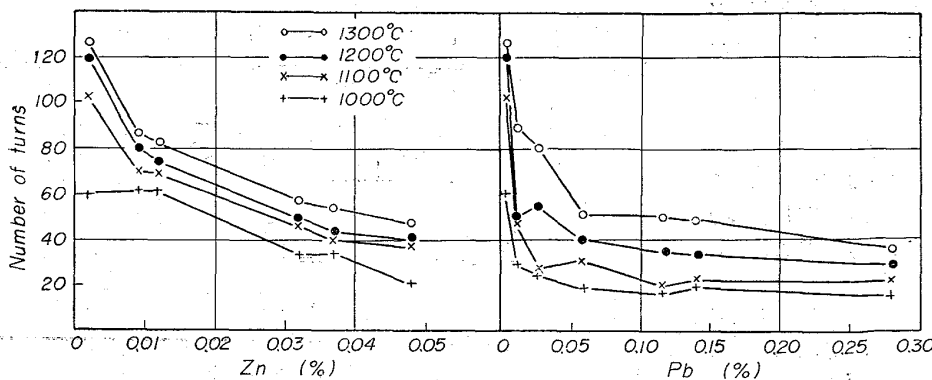


Fig. 2. Effect of zinc and lead on the hot workability.

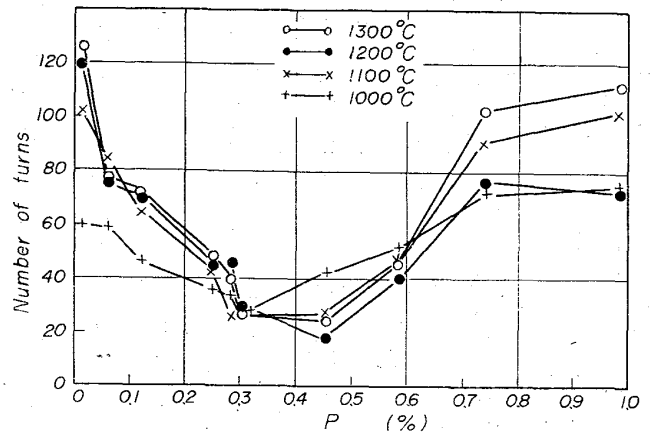


Fig. 3. Effect of phosphorus on the hot workability.

と一致している。As が固溶する場合にも高温加工性は飽和溶解度と関係があるものと思われる。

#### 4.2 Sn 含有量の影響

ねじり回数は Sn 含有量が増加すれば減少する。ことに 0.019~0.040% の範囲における減少が著しく, 約 1/2 になつている。0.040% 以上では 1200°C において極大値が認められる。As と同様に Sn のフェライト生成作用によるものであろう。

#### 4.3 Zn 含有量の影響

ねじり回数は Zn 含有量が 0.002~0.009% になれば, 約 70% に減少し, さらに含有量が増加すれば, ほぼ直線的に減少している。温度が高くなるほどねじり回数は増加している。Zn は As および Sn とは異なり, Fe-Zn 2 元状態図において  $\gamma$  相領域が遥かに広いため飽和溶解度の影響が認められなかつたものと考えている。

#### 4.4 Pb 含有量の影響

ねじり回数は Pb 含有量が 0.012% になれば, 約 40~60% まで急激に減少し, さらに Pb 含有量が増加すれば減少して行くが, その減少程度は比較的小さくなる。いずれの場合にも高温になるほどねじり回数は高くなつている。

#### 4.5 P 含有量の影響

ねじり回数は P 含有量が増加すれば, 減少するが, 0.455% (1000°C の場合には 0.298%) において約 20 回の極小値を示し, P 含有量がそれ以上になれば, 逆に増加し, 0.986% P ではほぼ比較材 (0.012% P) に近い値を示す。

Fe-P 2 元状態図にねじり回数を記入して Fig. 5 に示す。P が 0.118% までは  $\gamma$  単相領域であり, P 含有量の増加とともに減少している。As および Sn の場合と同じ傾向を示している。0.455% もしくは 0.298% においてねじり回

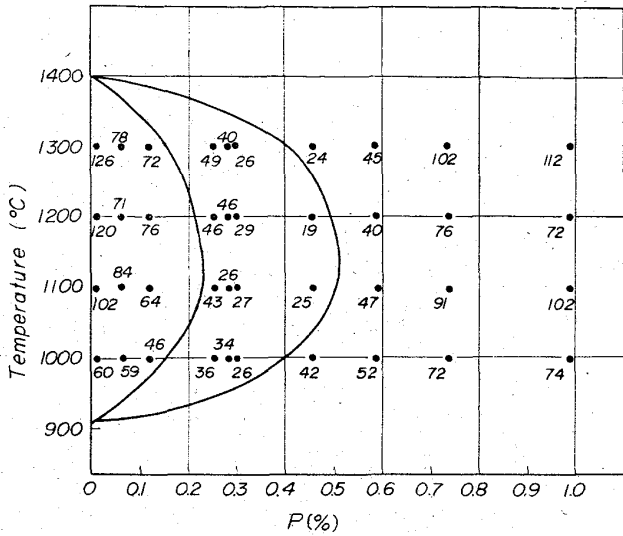


Fig. 4. Relation between Fe-P phase diagram and number of turns.

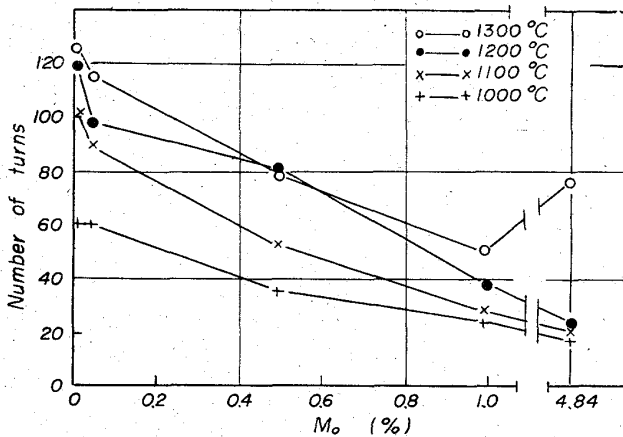


Fig. 5. Effect of molybdenum on the hot workability.

数が極小値を示しているのは  $\alpha + \gamma$  の 2 相領域になるためであろう。オーステナイト系ステンレス鋼においては、すでに確認されている<sup>1)2)</sup>、0.587% もしくは 0.455% 以上になれば、P 含有量の増加とともにねじり回数が増加しているのは  $\alpha$  単相領域になるためであろう。

4.6 Mo 含有量の影響

ねじり回数は Mo 含有量が増加すれば、Mo 含有量とほぼ反比例して減少する。1300°C において 0.98% の場合よりも 4.84% の場合のほうが、ねじり回数が増加している。P の場合と同様に  $\alpha$  単相組織を呈するためである。

5. 結 言

低炭素鋼の高温加工性におよぼす微量元素 (As, Sn, Zn, Pb, P, Mo) の影響を総括すれば次のようになる。

(1) As, Sn, Zn, Pb および Mo の含有量が増加するとともに、高温加工性は低下する。とくに As 0.068~0.12%, Sn 0.019~0.040%, Zn 0.002~0.009%, Pb 0.005~0.012%, Mo 0.01~0.05% の範囲における加工性の低下が著しい。As および Sn については 1200°C 付近において加工性もつとも良く、Zn, Pb および Mo については実験温度範囲内で温度が高くなるほど加工性

は良くなる。

(2) P 含有量が増加すると、 $\gamma$  単相および  $\gamma + \alpha$  2 相領域においては加工性は低下するが、さらに含有量が増加し、 $\alpha$  単相領域になれば、加工性は逆に向上する。極小値を示す P 含有量は 1000°C において約 0.3%、1100°C~1300°C において約 0.5% である。

文 献

- 1) F. K. BLOOM: Metal Progress, 59 (1951), p. 250
- 2) 森嶋: 高温における二、三の鋼の変形能について (昭和 36 年)

(142) キルド鋼極厚鋼板内部に発生したマクロ的欠陥について

日本製鋼所, 室蘭製作所

田辺 潤平・○福本 勝

Macroscopic Defects in Heavy Plate of Killed Steel.

Junpei TANABE and Masaru FUKUMOTO.

1. 緒 言

キルド鋼極厚鋼板に発生する欠陥はロール疵, 落込等の表面疵と砂疵, ガス系欠陥等の内部欠陥とに大別される。表面疵は原因が比較的判然としているため対策を講じやすいが、内部欠陥については不明な点が多い。したがって、この内部欠陥の発生原因を究明することは、きわめて重要であり、製品々質向上に不可欠な問題である。本報では過去数年間に当社において普通キルド鋼極厚鋼板の内部に発生したマクロ的欠陥について、その性状, 混入物等を調査した結果およびその発生原因に対する 2, 3 の考察を述べる。

2. 調査方法

2.1 調査対象鋼板

調査鋼板は塩基性平炉およびエル式電気炉にて溶製したキルド鋼極厚板である。製品重量は 6~12 t, 板厚は 30~50 mm である。化学成分は Table 1 に示すごとく普通鋼で、脱酸には Al と Si を用いたものである。なお鋼塊は押湯枠付ケースに鑄込まれたものである。

調査は 36 枚の事故品について行なつたが、その内訳を Table 2 に示す。

2.2 試験片および混入物試料採取要領

圧延後、ガス切断面に現われた欠陥、および UST (超

Table 1. Composition of plates, %.

| C         | Si        | Mn        | P      | S      |
|-----------|-----------|-----------|--------|--------|
| 0.10/0.15 | 0.15/0.30 | 0.60/0.70 | <0.030 | <0.030 |

Table 2. Numbers of plates checked.

| Furnace                   | Position of defects |                      | Total |
|---------------------------|---------------------|----------------------|-------|
|                           | top side of ingot   | bottom side of ingot |       |
| Basic open hearth furnace | 9                   | 9                    | 18    |
| Electric furnace          | 9                   | 9                    | 18    |