

Table 1. Various roll crown and roll wear.

| Crown     | Top roll         |                               |                                | Bottom roll      |                               |                                | Rolling material shapes and rolling works |
|-----------|------------------|-------------------------------|--------------------------------|------------------|-------------------------------|--------------------------------|---|
|           | Crown width (mm) | Crown highness to radius (mm) | *Wear amount at roll body (mm) | Crown width (mm) | Crown highness to radius (mm) | *Wear amount at roll body (mm) |   |
| a         | 1500             | 1                             | -1.25                          | 2000             | 1                             | +0.20                          | good                                      |
| b         | 1800             | 1                             | -1.15                          | 2000             | 1                             | +0.10                          | good                                      |
| c         | 2000             | 1                             | -1.10                          | 2000             | 1                             | -0.30                          | good                                      |
| d         | 1800             | 1.5                           | -0.68                          | 2000             | 1                             | -0.15                          | good                                      |
| Flat roll | 0                | 0                             | -2.26                          | 0                | 0                             | -1.00                          |   |

\* The wear amount is difference for roll body end.

に当り、Table 1 に示すような、数種類のクラウンを試作し、それらのロール摩耗形状、圧延材料の形状、圧延作業状況等について、比較検討した。

すなわち、上ロールクラウンは 4 種類を試作し、クラウン巾は、それぞれ 1500~2000 mm、高さは半径で 1 mm と 1.5 mm としたが、これはロールの撓みのみを考慮した場合と、これに摩耗量を加味した場合とで、クラウン高さを変えた。下ロールはクラウン巾 2000 mm、高さは半径で 1 mm の 1 種類とした。

これら 4 組のロールの使用結果、Table 1 の d クラウンの組合せが、最適であつた。特にロール摩耗時の材料端部のフィッシュテール状が減少し、材料中厚も材料巾 2000 mm 以上で 2~3 mm 減少した。また巾出しが容易となり、4 段仕上圧延機での第 1 パスのバタツキもなく、良好な結果が得られた。

しかし、現在の当所ロール旋盤の切削作業面からは、ロールクラウンの高さは半径で 1 mm の場合が、最も切削能率が良いので、Table 1 の b クラウンの組合せを使用している。

#### 4. 結 言

厚板仕上圧延機における、寸法精度ならびに鋼板歩留に影響する大きな因子として、特に粗圧延機のロールクラウンを取上げて、検討、試験を行なつた。その結果、ロールの撓み、摩耗、および熱膨張の三者を合成して、当厚板工場の作業条件に、最適な 2 段粗圧延機ロールのクラウンを計算し、これにより、試験を行ない、予定通り圧延材料の良好な形状と圧延作業性の向上を得ることができた。

#### 文 献

- 1) 高橋: 塑性と加工, 1 (1960) 1, p. 39
- 2) M. D. STONE: Iron and Steel Engineer, 8 (1965), p. 73

## (140) 低炭素厚鋼板の熱間成形性について

日本鋼管, 技術研究所

○両角不二雄・松下 久雄

〃 鶴見製鉄所

松原 博義・久保田秀人

On the Hot Formability of Low Carbon-Steel Thick Plates.

Fujio MOROZUMI, Hisao MATSUSITA,  
Hiroyosi MATSUBARA and Hideto KUBOTA.

### 1. 結 言

熱間成形においては材料や温度が適当でないと、薄肉現象や亀裂が発生する。このため適正鋼種の選択と成形方法の確立は實際上重要な事柄となるので、筆者らは製品と同一形状が成形できる実型プレス試験により 2, 3 の検討を試みた。本報は実用性の広い低炭素鋼の熱間成形性と材質との関係について究明した結果について述べる。

### 2. 製品の寸法, 形状

対象とした製品は鉄道車輛台枠に用いる側バリで、これは 2 枚の厚鋼板を熱間でプレス成形し、所定寸法に切断のうえ両面を溶接によつて組立てる。その寸法は厚さ 9 mm、巾約 450 mm、長さ約 3150 mm の大形のもので、成形後の形状を Photo. 1 に示す。

### 3. 試験方法

#### 3.1 試験装置

実型プレス試験に用いた装置の概要を Table 1 に示す。

#### 3.2 成形方法

成形試験はプレス機に取付けた金型に、ガス炉中で加熱した試験材をすみやかにのせ、上下方向より加圧して行なつた。この場合、プレス温度は、あらかじめ鋼板に熱電対を埋め込み、加熱抽出後の温度降下と抽出時間の

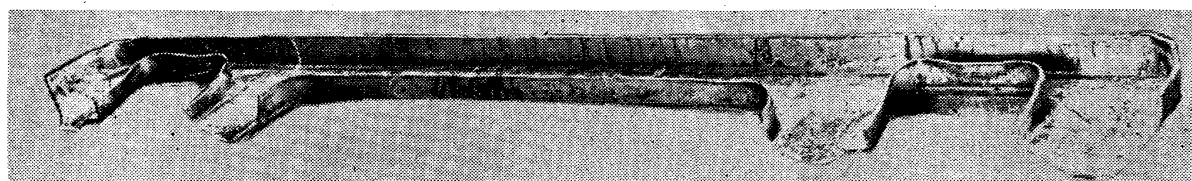


Photo. 1. Shape of frame manufactured by hot forming.

Table 1. Summary of hot forming apparatus.

| Designation   | Dimension        |           |
|---------------|------------------|-----------|
| Press machine | Max. pressure    | 500 t     |
|               | Stroke           | 750 mm    |
|               | Press speed      | 45 mm/sec |
|               | Main motor       | 245HP     |
| Gas furnace   | Max. temperature | 1300°C    |

Table 2. Chemical composition of test pieces.

| Test piece No. | Composition |      |      |       |       |
|----------------|-------------|------|------|-------|-------|
|                | C           | Si   | Mn   | P     | S     |
| K-1            | 0.14        | 0.18 | 0.62 | 0.009 | 0.022 |
| 2              | 0.14        | 0.22 | 0.63 | 0.017 | 0.022 |
| S-1            | 0.16        | 0.03 | 0.88 | 0.014 | 0.026 |
| 2              | 0.16        | 0.04 | 0.60 | 0.009 | 0.026 |
| 3              | 0.16        | 0.05 | 0.62 | 0.022 | 0.022 |
| 4              | 0.18        | 0.03 | 1.03 | 0.011 | 0.023 |
| R-1            | 0.13        | tr   | 0.37 | 0.005 | 0.020 |
| 2              | 0.17        | tr   | 0.50 | 0.006 | 0.019 |
| 3              | 0.20        | tr   | 0.48 | 0.014 | 0.019 |
| 4              | 0.23        | tr   | 0.49 | 0.006 | 0.015 |

Table 3. Measurement value of check analysis, solid nonmetallic impurities and grain size. (Check analysis)

| T. P. No. | Ni    | Cr    | Mo | Ti | Nb | Cu   |
|-----------|-------|-------|----|----|----|------|
| A-2       | 0.020 | 0.005 | tr | tr | tr | 0.09 |
| A-3       | 0.013 | 0.005 | tr | tr | tr | 0.08 |
| A-5       | 0.013 | 0.005 | tr | tr | tr | 0.08 |
| A-8       | 0.012 | 0.003 | tr | tr | tr | 0.06 |

| T. P. No. | Sn    | Pb | Sb | As    | T. Al | T. N   |
|-----------|-------|----|----|-------|-------|--------|
| A-2       | 0.005 | tr | tr | 0.023 | 0.008 | 0.0037 |
| A-3       | 0.004 | tr | tr | 0.032 | 0.010 | 0.0028 |
| A-5       | 0.005 | tr | tr | 0.032 | 0.007 | 0.0029 |
| A-8       | 0.003 | tr | tr | 0.040 | 0.012 | 0.0029 |

## (Solid nonmetallic impurities)

| T. P. No. | d 60×400 | Remark             |
|-----------|----------|--------------------|
| A-2       | 0.18     | Sulphide, Silicate |
| A-3       | 0.29     | //                 |
| A-5       | 0.23     | //                 |
| A-8       | 0.21     | //                 |

## (Grain size)

| T. P. No. | Ferrite grain No. | Austenite grain No. |
|-----------|-------------------|---------------------|
| A-2       | 8.0               | 3.6                 |
| A-3       | //                | 2.5                 |
| A-5       | //                | 3.0                 |
| A-8       | //                | 3.0                 |

関係から求めた。また成形中、Blank corner (Fig. 1の④、⑤部)に発生する亀裂の大きさは、形状を近似的に三角形とみなし、面積  $S \text{ mm}^2$  をもつてあらわした。

## 3.3 試験材

低炭素のキルド鋼、セミキルド鋼およびリムド鋼を対象とした。これらの化学成分を Table 2 に示す。

## 4. 試験結果

## 4.1 鋼板の材質と成形性の関係

K-1, S-1, S-3 および R-3 を用い、プレス温度を約 700°C とし Blank 部を溶断のまま成形した Fig. 1 の結果によると、C および Mn 量が比較的低い S-3 の成形性は最もよく、Mn 量の高い S-1 は他のものより劣る。この関係を明らかにするため、これらの鋼板を対象とし、熱間成形性に影響をおよぼすと考えられる化学成分、結晶粒度、非金属介在物等について詳細に検討したが、Table 3 に示すように C および Mn を除く化学成分ならびに他の冶金的因子の間には大差なく、プレス温度 700°C 付近の成形性は主として C と Mn の含有量に依存することが考えられた。このため、さらに C 0.13~0.22%, Mn 0.36~1.00% の炭素鋼 25 チャージを用い、Blank 部を研磨加工し、成形性と C および Mn 量の関係について検討した結果、C 0.20% 以下、Mn 0.60

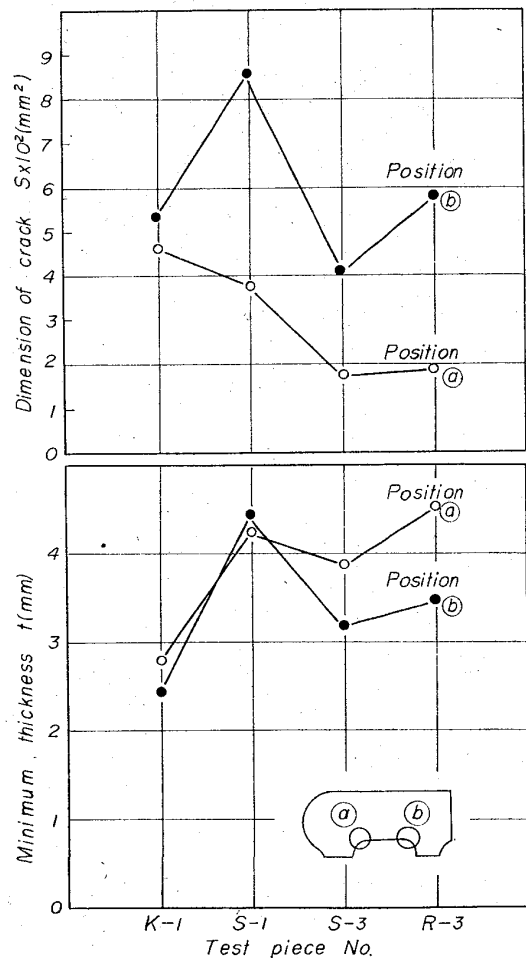


Fig. 1. Dimension of crack and minimum thickness in hot forming, observed in several kinds of steel.

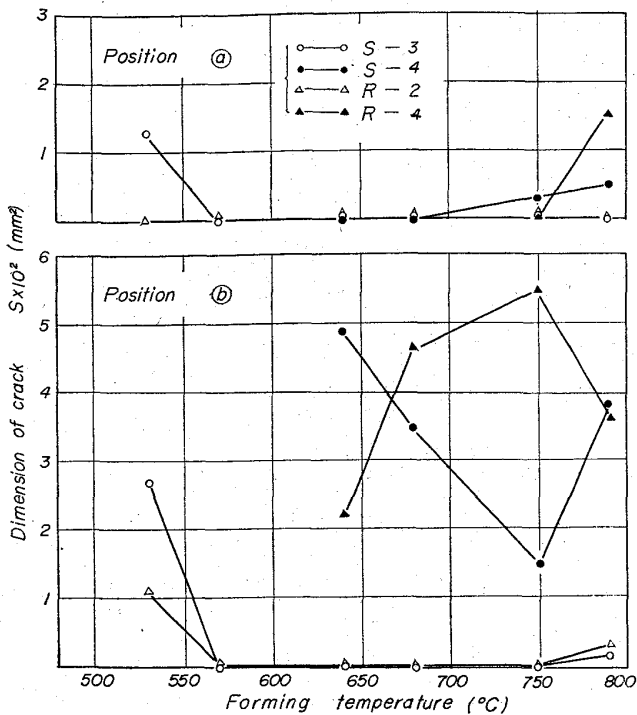


Fig. 2. Relation between dimension of crack and forming temperature.

以下のものには亀裂の発生はほとんど認められず、きわめてよく成形できることが確かめられた。

4.2 プレス温度と成形性の関係

S-3, S-4, R-2 および R-4 を用い、Blank 部を研磨加工し、約 500°~800°C の範囲で成形性と温度の関係について検討した Fig. 2 の結果によると、C または Mn の高い S-4, R-4 はいずれの温度でも成形しにくいですが、S-3, R-2 のごとく C, Mn 含有量の低いものは、成形温度の範囲も広く、600°~700°C で容易に成形できる。

4.3 試験材の加工条件と成形性の関係

加工条件のうち、① Blank 部の仕上げと成形性の関係について、プレス温度約 700°C で K-1, S-3 および R-3 を用い検討した Table 4 の結果によると、破断部肉厚 (または最小肉厚) に対しては、仕上げの影響はあまり認められないが、亀裂の大きさに対しては影響が明らかで、研磨加工により成形性は著しく向上する。

② 材料の方向性と成形性の関係について、K-2, S-1, S-3, R-3 を用い、鋼板の圧延方向およびこれと直角方向から試験材を採取し、Blank 部を溶断のまま、プレス温度約 700°C で比較した Table 5 の結果では、直角方向より採取したものの成形性は圧延方向より採取したものよりすぐれていることがわかる。これはプレス過程での Blank corner の変形、とくに張出し直前での変形がそのとき材料の方向性に依存するためと考える。

③ Blank の形状と成形性の関係について、S-2 および R-1 を用い、プレス温度約 700°C で検討した結果によると、Fig. 3 のように W 型は

Table 4. Relation between finishing grade for blank and hot formability.

| Test piece No. | Finishing grade  | Dimension of crack S x 10 <sup>2</sup> (mm <sup>2</sup> ) |           | Minimum thickness t (mm) |           |
|----------------|------------------|---|-----------|--------------------------|-----------|
|                |                  | Section ③   | Section ⑥ | Section ③                | Section ⑥ |
| K-1            | Cutting Grinding | 4.668   | 5.349     | 2.78                     | 2.46      |
|                |                  | 2.171   | 5.918     | 2.22                     | 1.77      |
| S-3            | Cutting Grinding | 1.780   | 4.121     | 3.89                     | 3.27      |
|                |                  | 0.033   | 0.050     | 4.37                     | 3.77      |
| R-3            | Cutting Grinding | 1.935   | 5.838     | 4.57                     | 3.92      |
|                |                  | 0   | 0.049     | 4.40                     | 3.72      |

Table 5. Relation between sampling direction and hot formability.

| Test piece No. | Sampling direction | Dimension of crack S x 10 <sup>2</sup> (mm <sup>2</sup> ) |           | Minimum thickness t (mm) |           |
|----------------|--------------------|---|-----------|--------------------------|-----------|
|                |                    | Section ③   | Section ⑥ | Section ③                | Section ⑥ |
| K-1            | Long. Trans.       | 4.668   | 5.349     | 2.79                     | 2.46      |
|                |                    | 0   | 0.167     | 1.73                     | 1.91      |
| S-1            | Long. Trans.       | 3.080   | 8.600     | 4.40                     | 4.45      |
|                |                    | 5.565   | 4.155     | 5.35                     | 3.31      |
| S-3            | Long. Trans.       | 1.780   | 4.121     | 3.89                     | 3.27      |
|                |                    | 0.230   | 0         | 3.58                     | 4.35      |
| R-3            | Long. Trans.       | 1.935   | 5.833     | 4.57                     | 3.92      |
|                |                    | 4.257   | 0.216     | 4.26                     | 1.95      |

U型より局部変形を起こしやすいため、成形性は一般に劣る。U型の場合は corner の半径 R が 70 mm 以下で

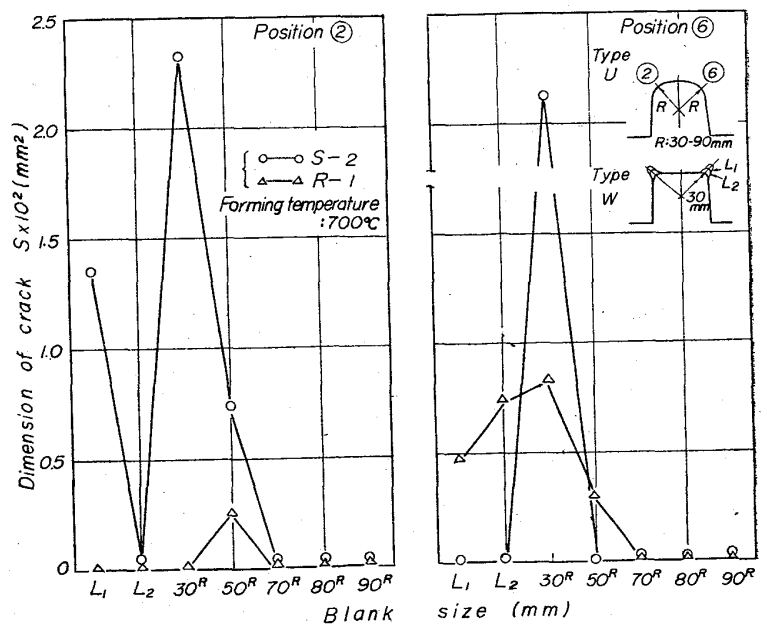


Fig. 3. Relation between dimension of crack and blank size in hot forming.

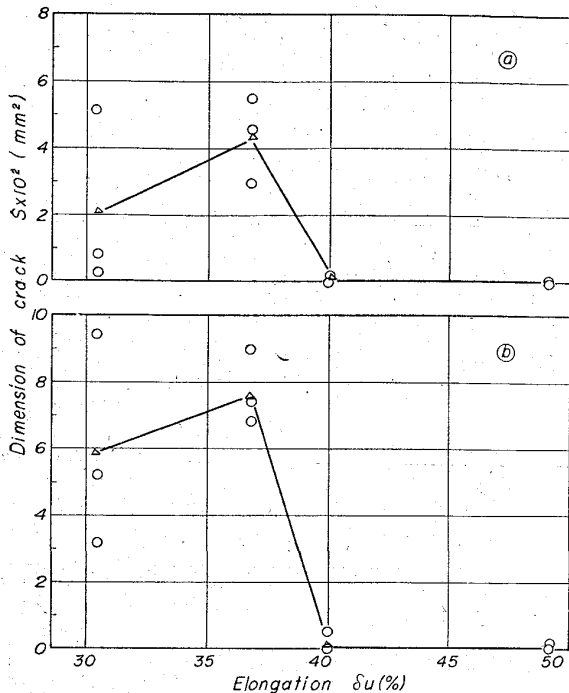


Fig. 4. Relation between dimension of crack and elongation ( $\delta_u$ ).

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 における一樣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、一樣伸びの値が約 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、一樣伸びの値によつ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、一樣伸びの大小は Mn 量によつて明らかに異なり、Mn の少ない S-2 の一樣伸びは、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、一樣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%