UDC 621. 783: 66. 04
681. 325

連続加熱炉におけるスキッド・マーク 解消のための試算

後 藤 和 之*

Calculation for Elimination of Water Cooled Skid Marks in Continuous Slab Heating Furnace

Kazuyuki Gotô

Synopsis

On operational performance with pusher type continuous heating furnace, there has been much discussions about how to minimize skid marks and temperature difference which can be a factor against the irregularity of strip in thickness during its rolling process and some ideas from these discussions has been put into the practical use. In tackling such problems of less skid marks, it is desirable to go further into the problem on the basis of numerical analysis by employing an existing computer. Then, this article presents a report from our attempted solution of the problem, where the temperature distribution in the sections of skid marks by which the water cooled skid may form on the slab pursuing the various formings by means of the computer analysis.

1. ま え が き

水冷スキッドを有するプッシャ式連続スラブ加熱炉において、スラブに発生するスキッドマーク(温度差)は、圧延時板厚変動の原因になるためその解消方法が種々検討され、すでに実用化されているものもある。

このような問題の解析に当っては、電子計算機による数値解析を基本として検討を進めるのが効果的な方法である。

ここでは水冷スキッドによりスラブに生ずるスキッド・マーク部分の温度分布を、種々のスキッド構成に

ついて計算機を用いて解析し、スキッド・マーク解消方法を検討した結果の一例を報告する。

2. プッシャ式連続加熱炉におけるスキッド・マーク

上下部燃焼式のプッシャ式連続加熱炉は、Fig. 1に示すような構造で大別すると加熱帯と均熱帯よりなっている。炉内に装入されたスラブは、加熱帯ではFig. 2に示すような水冷式のスキッド・レールにより支持されながらその上下面より加熱される。従ってスキッド・レールに接触している部分のスラブの温度は、非接触部分の温度に比較して低く、いわゆるスキッド・マークが発生する。加熱帯にて加熱を完了した、しかし大きなスキッド・マークを残しているスラブは、

昭和45年1月25日受付

* 大同製鋼所高蔵製作所

Fig. 1. Cross section of pusher type continuous slab heating furnace.

Fig. 2. Cross section of water cooled skid.

次に均熱帯に移される。均熱帯は炉床面が十分断熱された耐火物にて構成されており、ここにてスキッド・マークはスラブ内部の熱拡散により順次解消されてゆくが、均熱完了時すなわちスラブ抽出時においてもなおスキッド・マークが残存し、圧延時の板厚変動の原因になっている。

Fig. 3. Heating curve of slab in continuous heating furnace with conventional water cooled skid rail.

炉内におけるスラブの昇熱過程を計算機により数値解析した一例を Fig. 3 に示す。計算式については、すでに発表されているように、スラブの内部における熱伝導については炉長方向では熱の移動はないものとしての2次元不定常熱伝導の基本方程式

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = C^2 \left(\frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial y^2} \right) \dots \dots \dots (1)$$

より数値計算を行なうべく導いた差分方程式により、また炉とスラブ表面との間の熱授受は Stefan-Boltzmann の式

$$Q = C \cdot F \left\{ \left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right\} \dots \dots \dots (2)$$

による。本図におけるスラブ厚みは225mmで、スキッド・レールは一般に使用されている25mm角の場合について計算したものである。図でわかるようにスラブが均熱帯に入るとスキッド・マーク部は、順次まわりからの熱拡散によって解消されてゆくが、抽出時でもなおマークが残っている。またスキッド・マークの影響のないところについては、スラブ下面の温度が順次低下する。本計算では炉床面からの熱授受がないものとして行なっているから、

実際の加熱炉においてはこの温度低下は更に大きくなるものと考えられる。従ってスラブ抽出時におけるスキッド・マークおよびスラブ上下面の温度差の低減をはかるには、スラブが均熱帯に入る前の加熱帯にてより十分なる加熱を行なうことによって、均熱帯に入る以前にできる限りスラブの中心部まで十分昇熱させることが望ましい。しかし、このような加熱の方法をとってもスキッド・マークを解消することは困難である。

3. スキッド・マークの解消方法

水冷式スキッドにより生ずるスキッド・マークの解消対策として、従来から種々の検討がなされすでに実施化されているものとして次のようなものがある。

- (1) 水冷スキッド・レールを加熱帯の中間にてシフトさせる方法。
- (2) 従来からのスキッド・レールに替ってホット・スキッドを使用する方法。
- (3) 均熱帯炉床面のスキッド・マーク部にトラフバーナを設けて加熱する方法。

すなわち、(1)の方式は加熱帯における水冷スキッド・レールの配置を、加熱帯の中間にて変えることによりそこまでにできたスキッド・マークの面を露出させ、加熱することによって解消するものである。Fig. 4

Fig. 4. Continuous heating furnace with water cooled skid rail shifted.

Fig. 5. Heating curve of slab in continuous heating furnace with conventional water cooled skid rail shifted.

にこのようなスキッド構造をとる加熱炉の例を示す。(2)の方式は従来のスキッド・レールに替って耐熱鋼と断熱材の組み合わせによる、断熱性のよいスキッド・レールを構成し、いわゆるホット・スキッドを使用することにより、スキッド・マークの発生を防止するものである。(3)は水冷スキッド・レールは従来通りのものであるが、均熱帯の炉床面で加熱帯のスキッド・レール延長上炉長方向にトラフを設け、その一端に均熱帯炉床バーナを設けることにより、加熱帯においてできたスキッド・マーク部を直接加熱することにより解消する方法である。

以上のように各種の方法があり、いずれも適切な構造をとればスキッド・マーク解消に効果がある。次にこの中の(1)の方法についての計算機による解析結果を述べる。

4. 水冷スキッドをシフトした場合の効果

Fig. 4に示すような構造の加熱炉、すなわち水冷スキッド・レールを加熱帯中間にてシフトさせた場合のスキッド・マーク解消効果について、従来から用いられている普通的水冷スキッドの場合と比較解析を行なう。検討するスキッド・レール構造としては、次のような場合とした。

- (1) シフト前後共に普通タイプのスキッド・レールを使用する場合
- (2) シフト前は普通タイプ、シフト後は耐熱鋼肉厚レールを使用する場合

計算に使用したスラブ、スキッドなどの条件は次の通りである。

炉温

上部加熱帯	1300°C
下部加熱帯	1330°C
均熱帯	1270°C

スラブ厚さ 225mm

スキッド・パイプ肉厚 20mm

スキッド・レール寸法 (幅×高さ)

普通スキッド 25mm×25mm

肉厚スキッド 25mm×100mm

スキッド・レール熱伝導率

普通スキッド 25Kcal/mh°C

肉厚スキッド 16Kcal/mh°C

加熱時間(在炉時間) 130min

シフト点 スラブ装入後82min

均熱帯入口 スラブ装入後94min

Fig. 6. Heating curve of slab in continuous heating furnace with hot skid rail shifted.

シフト幅

225mm

計算結果よりスラブの昇熱曲線をまとめる
と Fig. 5, 6 のようになる。またスキッド・
レールに直交な断面のスラブ内の温度分布を
各時間毎にまとめると, Fig. 7~9 のよう
になる。すなわち, Fig. 3 および Fig. 7 は,
普通のスキッド・レールを使用した場合のス
ラブ昇熱の状況を示す。Fig. 5 および Fig.
8 は単にシフトのみとし, その前後共に普通
スキッド・レールを使用する場合を示す。こ
の場合には図でわかるようにシフト以降スキ
ッド・マークはスラブ裏面より次第に加熱除去
されてゆくが, 逆にシフト後のスキッドによ
るスキッド・マークが新しく発生する。Fig.
7 と Fig. 8 を比較するとわかるように, こ

Fig. 7. Internal temperature distribution curves of slab in furnace with conventional water cooled skid.

Fig. 8. Internal temperature distribution curves of slab in furnace with conventional water cooled skid shifted.

Fig. 9. Internal temperature distribution curves of slab in furnace with hot skid shifted.

Fig. 10. Continuous heating furnace with hot skid rail shifted and short soaking hearth.

Fig. 11. Continuous heating furnace with only hot rail shifted and no soaking hearth.

の新しいスキッド・マークの大きさはシフトしない場合のものほとんど変わらない程度のもとなりスキッド・マークの位置がシフトあとの位置に移ただけで、スキッド・マーク解消に対してあまり効果がないと考えられる。旧スキッド・マークの解消の程度、また新スキッド・マークの発生の程度は、シフト点以降のスキッドの長さによって変化する、長くなるほど旧スキッド・マークの解消は完全になるが新スキッド・マークが前のに劣らないくらい大きくなる。逆に短い場合は新マークは小さくてよいが、旧マークの十分な解消ができない。

Fig. 6 おらび Fig. 9 は、シフト後に耐熱鋼肉厚レールを使用した場合を示す。この場合シフト後のスキッド・レールにより発生するマークは、Fig. 8 の場

合と比較して小さくなり均熱帯侵入時点におけるマーク部の最低温度は 817°C が 1120°C と上昇し、かつマークの分布範囲も非常に限られた部分になる。また均熱完了時点におけるスラブの温度差を比較すると次のようになる。

スラブ温度		
最高温度	最低温度	差
(1) 普通スキッドの場合		
1257°C	1177°C	80°C
(2) シフトのみの場合		
1257°C	1188°C	69°C
(3) シフト後に肉厚レールを使用した場合		
1257°C	1205°C	52°C

以上のように水冷スキッドでシフトのみ行なった場合は、スキッド・マーク解消にあまり効果的でないが、シフト以降に肉厚レールを使用しレールの断熱性を良くすれば比較的良好な結果が得られる。

(3) の肉厚レールをシフト後のスキッドに使用する場合、それによる新しいスキッド・マークの発生が少ないので、シフト以降のレールの長さは長い方がシフト前のレールによるスキッド・マークの解消を十分に行なうことができる。したがって炉の形としては Fig. 10 のようにシフト後のスキッドを長くし、均熱炉床の短いものにするのがよい。適当なシフト点、あるいは、均熱炉長などについては上述の伝熱計算を行なうことによって決定できる。

シフト以降の肉厚レールはその材質の耐熱性耐摩耗性を考慮し、できうる限り断熱性をよくしていわゆるホット・スキッド構造にすれば、スキッド・マーク解消に非常に効果的である。完全なホット・スキッドを使用すれば、加熱帯に続く均熱炉床は不要となり Fig. 11 のように均熱帯も上下部燃焼式の加熱炉とすることができる。

5. む す び

プッシュ式連続加熱炉におけるスキッド・マーク解消方法の一案として、上述のようなスキッド・レールをシフトする方法について計算機により解析比較を行なった。その結果、シフト以降のスキッド・レールにホット・スキッドを使用することにより比較的良好な結

果が得られた。上述の計算を行なった程度の構造の耐熱鋼製肉厚レールを実際の加熱炉に使用した結果、従来のスキッド構造の場合に比較し圧延時のスキッド・マーク部の温度差を約2/3にすることができ、この値は

上述の計算結果に近いものが得られた。したがってこのようなホット・スキッドの使用法をとれば比較的経済的にプッシュ式加熱炉のスキッド・マークを解消できると考えられる。

UDC 669. 14. 018. 5
669. 26. 71. 1. 017

15Cr—3Al—Fe系電気抵抗材の研究

加藤哲男*, 草加勝司**, 工藤軍治***
市瀬隆司***, 山田誠吉****

Study on 15Cr—3Al—Fe type Electric Resisting Alloy

Tetuo Katô, Katushi Kusaka, Gunji Kudô
Takashi Ichise and Seikichi Yamada

Synopsis

The Cr-Al-Fe type alloy for electric resisting material has been needed for electric resistor because of its long service life under relatively high temperature, oxidation resistance and also lower cost.

Its cold workability, however, is poor since it contains much Al. Therefore, the authors investigated this problem through the experiment of impact properties.

- (1) It is possible to let the impact value under room temperature higher if we make Al about 3%, and C less than 0.07% at 15% chromium considering its specific resistance.
- (2) It is desirable to be cold-rolled with 40% reduction for annealing.
- (3) Anisotropy of specific resistance for direction of rolling of its cold rolled alloy is slightly recognized.

昭和44年2月18日受付

* 大同製鋼中央研究所, 工博

**

*** 大同製鋼株王子工場

**** 〃 渋川工場