

川崎製鉄技報

KAWASAKI STEEL GIHO

Vol.11 (1979) No.4

厚板・形鋼兼用自動ショット塗装設備の開発

Development of Automatic Shot Blast and Spray Painting Line for both Plates and Shapes at Mizushima Works of Kawasaki Steel Corp.

瀬戸 恒雄(Tsuneo Seto) 柴田 克巳(Katsumi Shibata) 大部 素宏(Motohiro Obu)
中西 輝行(Teruyuki Nakanishi)

要旨：

1978年7月より稼動している形鋼の自動ショット・塗装設備は、鋼板用として使用していたものを形鋼兼用設備に改造したものである。従来H形状の自動ショット・塗装に対しては除錆の不確実なことと塗膜厚みむらが問題とされていたが、ブローオフ装置を用いた除錆方法、ショット粒除去方法の確立および、塗膜厚みのばらつきが少なくなり塗料原単位の低い3頭ガン方式の開発による優れた自動塗装技術の確立により解決し、形鋼の鋼板の兼用設備として国内で初めて実用化に成功したものである。

Synopsis：

An automatic shot blast and spray painting equipment, the first of its kinds in Japan as available for both plates and H-shapes, has been successfully operating since July, 1978 when it was remodeled from the one solely for plates. Difficult problems involving descaling, uniform painting, and others were solved by the following method: descaling by the use of blowing-off mechanism, development of cleaning method of blasted shot and development of tripple gun system for uniform paint film thickness and lower paint consumption.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

本文は次のページから閲覧できます。

厚板・形鋼兼用自動ショット塗装設備の開発

Development of Automatic Shot Blast and Spray Painting Line for both Plates
and Shapes at Mizushima Works of Kawasaki Steel Corp.瀬戸 恒雄*
Tsuneo Seto柴田 克巳**
Katsumi Shibata大部 素宏***
Motohiro Obu中西 輝行****
Teruyuki Nakanishi

Synopsis:

An automatic shot blast and spray painting equipment, the first of its kinds in Japan as available for both plates and H-shapes, has been successfully operating since July, 1978 when it was remodeled from the one solely for plates. Difficult problems involving descaling, uniform painting, and others were solved by the following method; descaling by the use of blowing-off mechanism, development of cleaning method of blasted shot and development of tripple gun system for uniform paint film thickness and lower paint consumption.

1. 緒 言

近年ショット・塗装処理した形鋼の需要が増加している。当社でもこれに対処するための設備が必要となった。形鋼、特にH形鋼の塗装はその形状の複雑さから、従来は手塗装で処理されていたが手塗装では塗膜厚みのばらつき、作業環境の悪さ、能率が悪い、などの問題があった。また現有の鋼板用ショット・塗装設備能力に余力がある点から、

- (1) 本設備を鋼板と形鋼の兼用設備とする
- (2) 形鋼も自動塗装を行う

ことを目標に開発を進めた。その結果、形鋼に対する除錆技術、ショット粒除去技術の確立によりショットブラスト直後での自動塗装が可能となった。さらに塗膜厚みのばらつきが少なく、塗料原単位の優れた塗装方法を確立し、鋼板と形鋼兼用の自動ショット・塗装ラインの実用化に成功した

ので、ここに至るまでの経過と2, 3の操業実績について報告する。

2. ショット設備の検討

Table 1 にショットブラストの設備仕様を示す。Fig. 1 に示す鋼板用ショット・塗装ラインを改造

Table 1 Specification of the shot blast machine

	Plate	H-shapes
Material size (mm)	Thickness: 4.5~30	150×75 ~ 900×300
	Width: 900~3300	100×100~500×500
	Length: 2500~18000	Length: 2500~25000
Table speed (m/s)	3.0~5.0	2.0~5.0
Shot blast units	605 kg/min × 6 units	
Descaling ratio	Sa 2½	

* 水島製鉄所企画部設計室主任(掛長待遇)

*** 水島製鉄所厚板圧延部第1厚板課課長

(昭和54年7月20日原稿受付)

** 水島製鉄所企画部設計室主任(課長待遇)

**** 水島製鉄所条鋼圧延部条鋼技術室主任(課長待遇)

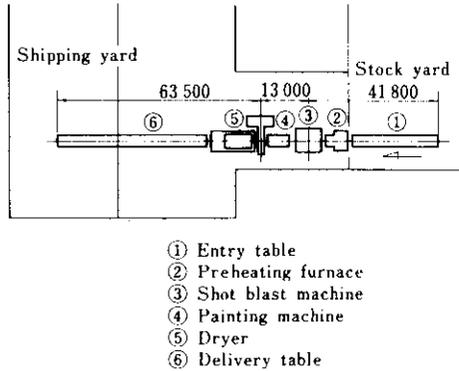


Fig. 1 Layout of the automatic shot blast and spray painting line

し、形鋼と鋼板の兼用設備とすべく、形鋼の確実な除錆方法とショット粒除去方法について検討した。設備検討はH形鋼を主体に行ったので以下、H形鋼を対象に検討過程を述べる。H形鋼の搬送姿勢は

- (1) 塗装後の塗膜保護
- (2) 鋼板用の塗装ガンがローラテーブルの上、下面にあり、この塗装ガンでH形鋼の塗装を行うの理由からH姿勢とした。

2-1 ショット粒密度分布と理論投射密度

投射機より投射されたショット粒の密度は Fig. 2 のような分布を示し、投射角 55°の範囲に投射量の 80%が入っている。投射機と被研掃材が Fig. 3 に示す関係の場合、理論投射密度は Fig. 2 の密度分布より(1)式の関係となる。

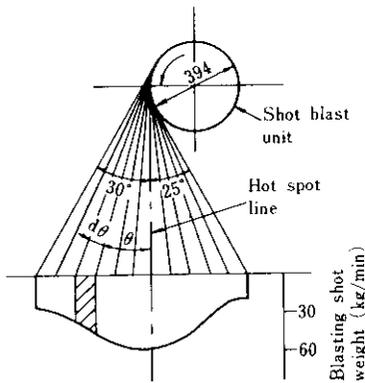


Fig. 2 Blasting shot distribution of one shot blast unit

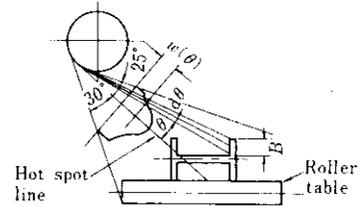


Fig. 3 An example of blasting pattern on H-shapes

$$S = \frac{W}{Q} \times \frac{\int w(\theta) d\theta}{v \times B} \dots\dots\dots (1)$$

- ここで S : 被研掃面の投射密度(kg/m²)
- Q : 投射機の仕様投射量(kg/min)
- W : 投射機の実投射量(kg/min)
- θ : ホットスポットラインからの角度(deg)
- w(θ) : θにおけるショット粒投射量(kg/min·deg)
- B : 被研掃面の幅(m)
- v : 搬送速度(m/min)

計算結果の一例として被研掃材：H600×300、Q=605kg/min、W=550kg/min、投射機6基でのショット粒の平均投射密度分布を Fig. 4 に示す。

2-2 除錆実験

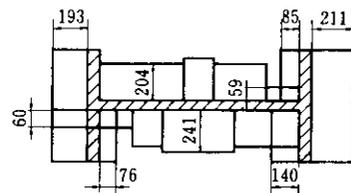
理論投射密度と除錆度の関係を求めるため、実験機にて実験を行った。

2-2-1 実験条件

実験条件を Tabl 2 に示す。除錆度の判定は硫酸銅液法を用いた。

2-2-2 実験結果

第1回実験から下記のことが判った。



Size: 600×300
Figures show the density (kg/m²)

Fig. 4 An example of blasting-shot density distribution on the surface of H-shapes

Table 2 Condition of scale-off test

	First test	Second test
Material size (mm)	H 600×300 H 300×300	H 600×300 H 300×300
Table speed (m/min)	3	2
Descaling ratio	Sa 2½	
Shot blast units	6	
Blasting shot	Steel blasting shot Grain size: 1~1.2mm	
Air blowing unit	Not used	used

- (1) 被研掃面へのショット粒の入射角は 30° 以下では除錆効果がない。
- (2) 理論投射密度が 80kg/m^2 以上あればSa 2½(スウェーデン規格)は満足する。除錆度と理論投射密度の関係をFig. 5に示す。

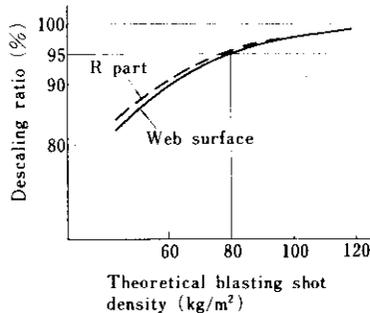


Fig. 5 Relation between descaling ratio and blasting shot density

- (3) ショット粒のはね返り効果がある。例えば広幅H形鋼では計算上、R部近傍がフランジの影となり除錆残りが懸念されたが、ショット粒のはね返りにより十分除錆された。
- (4) ウェブとフランジで囲まれたU字形溝部内の残留ショット粒は、特にウェブR部近傍からフランジ内面部の除錆効果を妨げる。
- (5) ショット粒吹落しが十分でなく、ウェブ上面にショット粒残りが多い。

実験結果よりショットブラスト直後で塗装を行うためには上記の(4)、(5)の対策が必要である。

2・3 問題点の対策

2・3・1 溝部の除錆

ウェブ上面R部近傍からフランジ内面にかけての未除錆の原因は、ショット粒が堆積し、投射されたショット粒が被研掃面に直接当たらないためである。この対策としてはFig. 6に示すブローオフ装置を設置し第2回実験を行った。その結果ヘッダ圧 1.0kg/cm^2 、空気量 $10\text{m}^3/\text{min}$ 以上、ウェブ面とノズル間隔が 500mm 以下、ノズル吹付角 $\theta=20\sim 45^\circ$ の条件のブローオフ装置を使用すれば全面Sa 2½の除錆度が得られた。

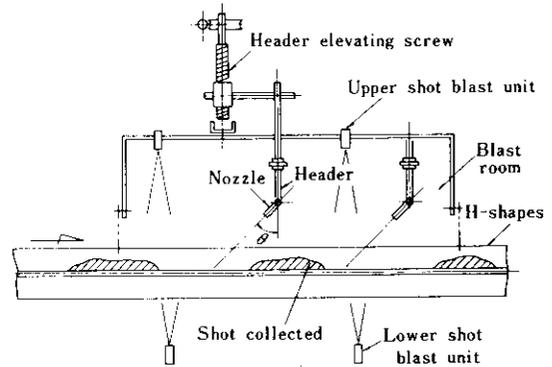


Fig. 6 Air blowing header in blast room

2・3・2 ショット粒の吹落し

溝部に堆積したショット粒を除去する方法として、

- (1) ブローオフとスクリーフィーダの併用方式
- (2) スクレーパーとブローオフの併用方式
- (3) エアブロー方式

などがあるが、作業性、設備費、メンテナンス性から(3)の方式を採用しFig. 7に示す装置とした。

Fig. 7に示すノズル配列、ノズル形状とし、ノズル吹出し風速 80m/s 以上でかつ、ノズル先端とウェブ上面間が 300mm 以下であればショット粒は確実に吹落せる。

3. ショット粒原単位の向上

稼働当初は除錆度Sa 2½を確保するため全形

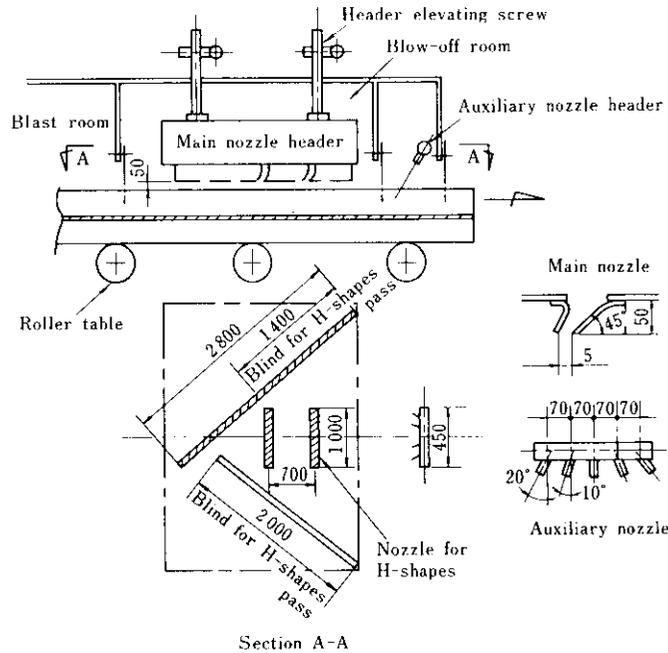


Fig. 7 Shot blow-off mechanism

鋼について、

- (1) 搬送速度：2 m/min
- (2) 投射機：6基
- (3) 1列通し

の条件で操業していたが、ショット粒効率が悪く原単位が高かった。この対策を検討した結果、形鋼サイズに応じて、

- (1) 搬送速度を変える
- (2) テーブル上の搬送位置の変更
- (3) 2列通し
- (4) 投射機使用基数の削減

が可能であることが判った。これらの対策を実施した結果、ショット粒原単位は Fig. 8 のように減少した。

4. 自動塗装装置の開発

4-1 概要

H形鋼は垂直面(フランジ)と水平面(ウェブ)を有するため、直交する2面が同時に塗装される。このため従来の自動塗装方式¹⁾(2頭ガン方式)では塗膜厚みの均一性、塗料原単位の問題があり現

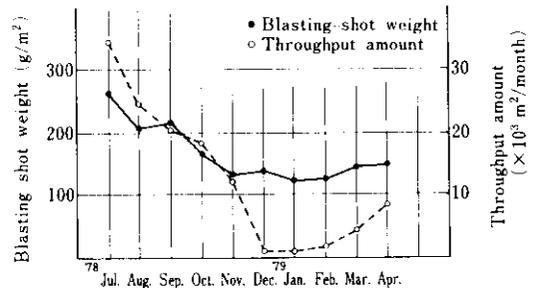


Fig. 8 Throughput amount and blasting shot weight

在まで完成されたH形鋼の自動塗装装置が無かった。この問題を解決したのが当社の開発した自動塗装方式である。この塗装方式は1対の傾斜ガンと1個の垂直ガンを組合せた(Fig. 9 参照)「3頭ガン方式」である。「3頭ガン方式」は既設の鋼板用自動塗装装置に容易に適用できることから、既設の自動塗装装置は鋼板と形鋼の兼用設備として使用できる。

4-2 塗装方式の特徴

一般に使用されている塗装方式は、1対の傾斜ガンから成る2頭ガン方式である。この方式でH形鋼の塗装を行うには、1対の傾斜ガンでフラン

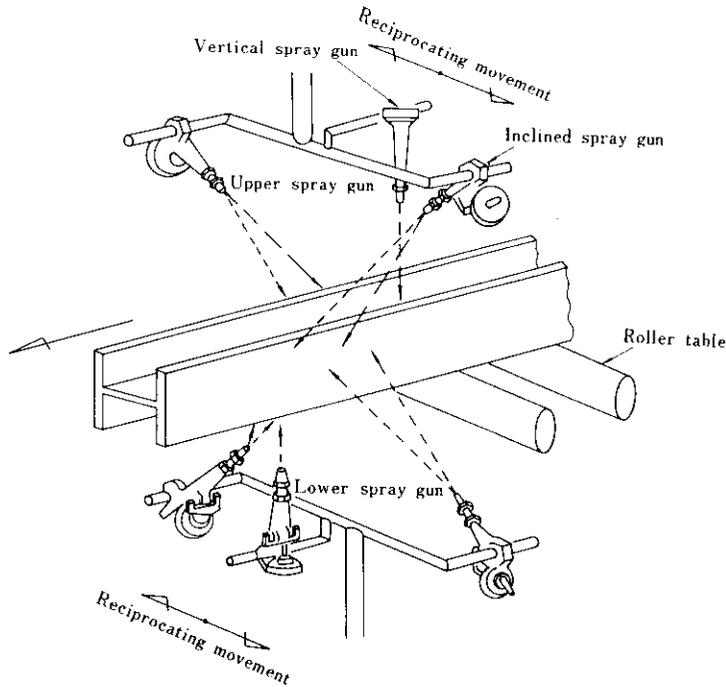


Fig. 9 Tripple gun system

ジ面とウェブ面を同時に塗装するため、傾斜ガンは適当な傾きが必要である。両面の塗装時間を同一にする理論的な傾き角は45°であるが、塗料噴霧吐出圧およびガンと被塗装面の垂直距離を一定としたとき、ガンの傾き角が変わることにより、被塗装面とガンとの距離および塗料の被塗装面に対する入射角が変化し、その結果、距離効果(ガンから吐出された塗料が被塗装面に到達するまでに周囲に逃げていく割合)と、はね返り効果(ガンと被塗装面との距離、および被塗装面への塗料の入射角が変わることによる塗料のはね返る割合)から成る塗料付着効率の最大値は Fig. 10 のように 45°以下となる。

したがって塗料付着効率を良くするには傾斜ガンの傾き角を45°以下とする必要があるが、傾き角が45°から外れるとウェブとフランジ面の単位長さあたりの塗装時間が異なり、塗膜厚みに差ができる。

また Fig. 11 に示すように、ウェブ面はフランジの影になり、一方のガンのみで塗装される面(A)と1対のガンで塗装される面(B)とで塗膜厚みの差が生じる。3頭ガン方式はこれらの問題を1対

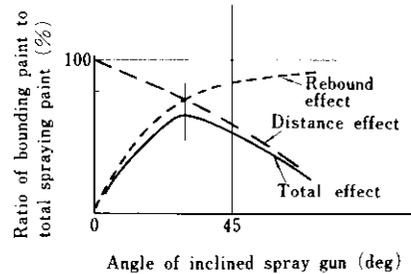


Fig. 10 Relation between ratio of bounding paint to total spraying paint and inclined angle

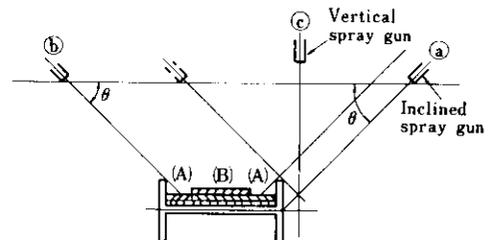


Fig. 11 Schema of paint film thickness on web surface by tripple spray gun system

の傾斜ガンと1個の垂直ガンをガンサポートに取付け、ガンサポートを被塗装材の幅方向に往復運動させ、ウェブ面の塗装は垂直ガンで行い、塗料

付着効率の良い傾き角とした傾斜ガンでフランジ内、外面を塗装することにより解決した。

3頭ガン方式の特徴は、

- (1) 各面間および面内塗膜厚みのばらつきが少ない
- (2) 塗装制御精度がよく塗料原単位が低いなどである。両方式の塗膜厚みの実績を Table 3 に示す。

4-3 自動塗装方式の開発経過と塗膜厚実績

H形鋼の自動塗装を行ううえで重要な点は、

- (1) 各面間および面内塗膜厚みのばらつきが少ない
 - (2) 塗料原単位が低い
- ことである。実験により塗膜厚みのばらつきの少ない塗装条件がつかめたので、ここにその検討経過と塗膜厚み実績を述べる。

4-3-1 面間および面内塗膜厚みの均一化

面間および面内塗膜厚みのばらつきを次の(1)~(3)に分け検討を行った。

- (1) フランジ内面とウェブ面の塗膜厚み

フランジ内面は傾斜ガンで、ウェブ面は垂直ガンで塗装される。その単位長さあたりの塗装時間は、

$$t_F = \frac{1}{\tan \theta} \times \frac{1}{v} \dots\dots\dots (2)$$

$$t_W = \frac{1}{v} \dots\dots\dots (3)$$

ここで t_F, t_W : フランジ内面およびウェブ面の塗装時間(min/m)
 θ : 傾斜ガンの傾き角(deg)
 v : 塗装ガンの送り速度(m/min)

で表され、(2)、(3)式より塗膜厚みを均一にするには、

- (a) 傾斜ガンの傾き角を調整する。
- (b) 傾斜ガンと垂直ガンの塗料吐出量を適正化することが必要である。

v が一定であればフランジ面の塗装を行う傾斜ガンは単位時間あたりの塗料吐出量を少なくし、塗装時間を長く、即ち θ を小さくした方が塗膜厚みは均一となる。また塗料付着効率もフランジ面に対してガンの吹付け角が垂直($\theta=0$)に近い方がよいが、傾き角を小さくするとガンと被塗装面との距離が大きくなり、距離効果のため付着効率が悪くなる。さらにガンの傾き角は塗料はね返り効率にも関係する。この関係を示したのが Fig. 10 であり、塗料付着効率より適正な傾斜ガンの傾き角が求まる。塗料吐出量は塗料付着効率の関係もあり実験により決定した。吐出量制御は当初、吐出ポンプが共通であったため、ガンチップのサイズを

Table 3 Comparison of paint film thickness by spray gun systems

	Double spray gun system				Tripple spray gun system				Tripple spray gun system				
	\bar{x}	σ	Max.	Min.	\bar{x}	σ	Max.	Min.	\bar{x}	σ	Max.	Min.	
Material size	H 600×300				H 600×300				H 600×300				
Spray gun inclination	33°				30°×2, 90°				30°×2, 90°				
Spray gun tip size	163T615				163T615, 163T613				163T615, 163T613				
Pumping pressure	2.6 kg/cm ² ×30				2.2 kg/cm ² ×14				2.2 kg/cm ² ×14				
Supply quantity (cc/30 s)	(a)180 (b)170				(a)120 (b)130 (c)90				(a)120 (b)120 (c)80				
Guaranteed minimum film thickness	15μ				15μ				15μ				
Flange inside	22.00	5.449	28	15	20.34	2.791	25	16	18.59	1.998	23	16	
Web surface	(A) part in Fig. 11	17.44	1.713	21	15	19.88	1.452	22	16	17.31	1.130	19	16
	(B) part in Fig. 11	28.50	1.658	31	25	19.94	1.088	22	18	17.44	1.116	19	16
	Average of web part	21.13	5.483	31	15	19.90	1.342	22	16	17.35	1.127	19	16
Average in all	—	—	—	—	20.08	2.060	25	16	17.85	1.652	23	16	

変えることにより行っていたが、現在は傾斜ガンと垂直ガンに専用のポンプを設けて吐出量制御を行っている。塗膜厚みの実績については **Table 3** に示したとおりである。

(2) ウェブ面内の塗膜厚み

Fig. 11 に示したように、ウェブ面内の塗膜厚みは1対の傾斜ガンで塗装される面(B)と一方のガンのみで塗装される面(A)とで厚み差がでる。しかし傾斜ガンの吐出量制御と傾き角の適正化を図ったこと、およびフランジ内面からの塗料のはね返りにより実際の膜厚差は少ない(**Table 3** 参照)。

(3) フランジ外面の塗膜厚み

Fig. 12 に示すようにフランジ上部は表面用塗装ガン、下部は裏面用塗装ガン、中央部は両方の塗

装ガンで塗装されるので、

- (a) 表面、裏面用塗装ガンの吐出量の差
- (b) 塗装ガンの塗装開始、終了タイミングの違い

により塗膜厚差が生じる。

吐出量制御、塗装タイミング制御を表面、裏面用塗装ガンごとに行い、実験で適正值を求めた。

Table 4 に塗膜厚み実績値を示す。

4・3・2 塗装制御方法

Fig. 12 に示した垂直ガンと傾斜ガンの塗料吐出制御は単独で行い、いずれも垂直ガンの位置、つまり A, A' 点で垂直ガンが、B, B' 点で傾斜ガンが ON, OFF する。この塗装制御精度を上げることにより塗膜厚みのばらつきが減少し、塗料原単位も向上する。

4・4 塗料原単位の低減対策と推移

塗料原単位の低減を目的に以下の対策を実施し、**Fig. 13** に示すように原単位が向上した。

- (1) 形鋼サイズ別ガン間隔の調整とガン傾き角度設定精度向上。

傾斜ガンの傾き角 θ は形鋼サイズにより **Fig. 14** に示す関係から決まり、ガン間隔 L は(4)式となる。

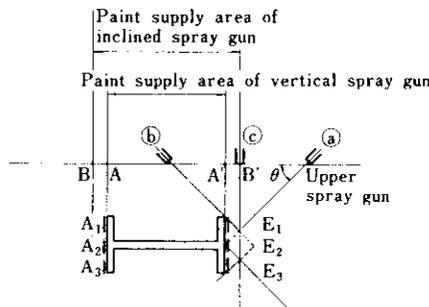


Fig. 12 Painting range of spray guns

Table 4 Paint film thickness on flange surface shown in Fig. 12

Material size	Case 1				Case 2				
	H 600×300				H 600×300				
Spray gun inclination	Upper and lower 30°×2, 90°				Upper and lower 30°×2, 90°				
Spray gun tip size	163T615, 163T613				163T615, 163T613				
	Upper		Lower		Upper		Lower		
Pumping pressure	2.2 kg/cm ² ×14	3.0 kg/cm ² ×14	2.2 kg/cm ² ×14	3.0 kg/cm ² ×14	2.2 kg/cm ² ×14	3.0 kg/cm ² ×14	2.2 kg/cm ² ×14	3.0 kg/cm ² ×14	
Supply quantity (cc/30s)	340		385		320		390		
Guaranteed minimum film thickness	15μ				15μ				
Paint film thickness (μ)		\bar{x}	σ	Max.	Min.	\bar{x}	σ	Max.	Min.
	A ₁ , E ₁	21.75	1.09	23	20	18.13	1.36	20	16
	A ₂ , E ₂	20.00	1.00	22	19	17.56	2.52	22	15
	A ₃ , E ₃	23.38	1.80	28	23	19.00	1.90	22	16
Average	21.71	1.93	28	19	18.23	2.07	22	15	

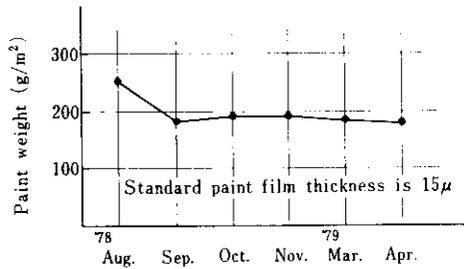


Fig. 13 Monthly change of paint weight per unit area

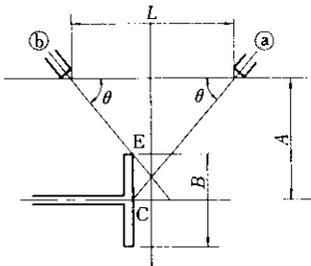


Fig. 14 Inclined guns position adjusting method

$$L = \frac{2A - B/2}{\tan \theta} \dots\dots\dots (4)$$

ここで A : ガン高さ(m)

B : フランジ幅(m)

(4)式よりガン間隔は H 形鋼のフランジ幅、ガン高さ、傾き角に関係するので、ガン傾き角、高

さおよび間隔が容易に精度よく調整できるガンサポートにした。

4.5 自動塗装と手塗装の原単位比較

H600×300 における自動塗装と手塗装の塗膜厚みの実績を Table 5 に示すが、手塗装では塗膜厚みの均一化と塗膜管理が難しいことが判る。

5. まとめ

形鋼の自動塗装装置はすでに L 形鋼、H 形鋼を対象とした設備²⁾が、また形鋼全体を対象とした設備³⁾が設置されている。当社では形鋼自動塗装ラインにおいて、確実な除錆とショット粒除去方法の確立によりショットブラスト直後での自動塗装を可能とした。さらに塗膜厚みのばらつきが少ない 3 頭ガン方式による優れた塗装技術を開発することにより鋼板と形鋼兼用の自動ショット・塗装ラインの実用化に成功した。これまでの検討により確立された技術は、

- (1) H 形状における除錆方法与ショット粒除去方法の確立
- (2) 除錆度とショット粒理論投射密度との関係の確立
- (3) 3 頭ガン方式による塗装技術の確立

Table 5 Comparison of paint film thickness by automatic and hand spray painting

	Automatic spray painting				Hand spray painting				
	\bar{x}	σ	Max.	Min.	\bar{x}	σ	Max.	Min.	
Spray gun inclination	Upper and lower 30°×2, 90°				-----				
Spray gun tip size	Upper and lower 163T615, 163T613				163T319				
Pumping pressure	Upper 2.2 kg/cm ² ×14 Lower 3.0 kg/cm ² ×14				4.0 kg/cm ² ×30				
Guaranteed minimum film thickness	15μ				15μ				
Paint film thickness (μ)	\bar{x}	σ	Max.	Min.	\bar{x}	σ	Max.	Min.	
Flange surface	18.23	2.074	22	15	32.63	3.91	43	27	
Upper side	Flange inside	18.59	1.998	23	16	24.81	4.23	32	19
	Web surface	17.35	1.127	19	16	41.00	6.78	52	26
Lower side	Flange inside	22.38	2.161	26	19	28.00	3.43	34	21
	Web surface	19.21	1.414	22	16	47.19	4.11	56	40
Average in all	18.81	2.366	26	15	37.76	9.06	56	19	

(4) 形鋼と鋼板の自動ショット・塗装を同一設備で行う技術の確立などである。

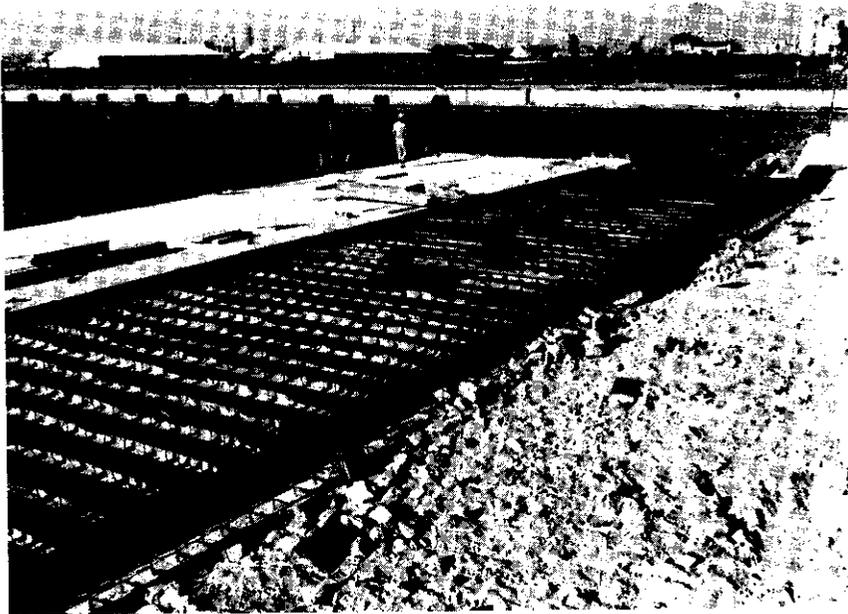
今後さらに塗膜厚みの均一化を図るとともに、効率的な形鋼のショット・塗装を行っていく。

参 考 文 献

- 1) 川崎製鉄㈱：特開昭 54-16545「形鋼の自動塗装設備」
- 2) 尾山、入江ら：日本鋼管技報，No.59，(1976)，137
- 3) 鉄鋼界，29 (1978) 5，51



H埋込桁による栈橋渡橋



H形サイズ：H396×199×7×11

当社エンジニアリング事業部が受注した播磨肥料配送センター岸壁工事(兵庫県)