ホットスプレーガンの機能について (第1報)

河内 衛*・藤岡 武夫*・渡辺 彦*

Spraying Mechanism of Hot Spray Gun

Mamoru KOHCHI, Takeo FUJIOKA and Gen WATANABE

To study the spraying mechanisms of spray guns, a series of researches on the influence of painting conditions such as quality of paints, spray distances and air pressure on the spray pattern, distributions and amounts of spray, thickness of coating painted, and size of spray mist was carried out.

The relations between paint nozzles and air caps, as well as the anti-abrasion properties of paint nozzles and needles were also studied.

結 言

スプレー塗装に際しては被塗装物に対して最も適したスプレーの形状、噴霧の分布、塗膜の厚さ、荒塗り仕上げに対する噴霧量の多少、噴霧粒の大小を選択しなければならない。ところがこれらのことは塗料の条件(混合度、温度、粘度)、塗装距離、空気圧力やガンの構造等によつても異なる。ホットスプレーはコールドスプレーにくらべシンナーの量を少くして加温によつて塗料粘度を下げて霧とするのであるが、本研究においては国産品と外国製品の比較をし、且つホットスプレーの時の最も適当な吹附条件、ガンの使用法、ガンの構造等を知るために、その第1段階として先づ4種類(国産はI-I、I-IIの2種類、外国製品はB-I、B-IIの2種類)のホットスプレー用ガンを用いて、ホットスプレー吹き付けを行うときの噴霧機構を研究した。次にガンの構造がその性能に及ぼす影響およびガンの耐久性について調べた。

I. ガンの構造

使用したガンは構造に多少の差異はあるが、その作用は殆んど同一である。写真1はその中のB-Iの断面図である。尚B-I、I-Iは比較的大きい塗装面のものに適し、B-II、I-IIは中小製品に適している。

II. 噴霧機構と塗粒の状態

i. 噴霧機構

先づ噴霧機構を調べるために噴出空気の代りに炭酸ガスを用いシュリーレン法によつて写真撮影を行つた。

写真2はI-IIを用いて炭酸ガスのみを圧力40psiで噴出した場合の空気キャップの出口付近を示している。

写真3は同じ条件で炭酸ガスによつて透明塗料を吸込ませて噴霧させた時の状態である。写真2でノズル出口の処で塗料の吸出される部分が真空状態になつてゐることがわかる。写真3で同じ箇所が黒くなつてゐるのは塗料である。

写真1 スプレーガン断面図

1. 塗料ノズル	9. 主空気弁
2. 側面空気弁	10. 引金
3. 塗料針弁用発條	11. 主空気通路
4. 握り	12. 塗料及び側面空気調整つまみ
5. 主空気噴出孔	13. 塗料吸入孔
6. 塗料針弁	14. 圧縮空気送入口
7. ガン頭部	
8. 空気キャップ	

写真2 CO₂ のみ(丸吹) 写真3 CO₂ と塗料(丸吹)

写真4はB-IIを用いて空気圧力 40 psi で丸吹きにした噴霧状態をクセノンガス球を用いた瞬間放電閃光装置により露出約2万分の1秒で撮影した瞬間写真である。

* 東京都立工業奨励館

これによると噴霧の流れが粗密波の様な状態になり、中央部と外周部の飛散状態が違うことがわかる。

写真 4

写真5~7は塗料圧力 8 psi とし、空気圧力を夫々 5, 15, 30 psi に変化した時の霧化の変化する状態を示す。

写真 5 塗料圧力 8 psi, 空気圧力 5 psi

写真 6 塗料圧力 8 psi, 空気圧力 15 psi

写真 7 塗料圧力 8 psi, 空気圧力 30 psi

写真8~10は塗料の代りに水を使つて精度の低い場合の噴霧化の状態を示す。水の圧力は 3 psi, 空気圧力は夫々 5, 15, 30 psi である。両者共空気圧力 30 psi 以下では粒径の大きいものが存在していることがわかる。

平吹きにする場合には側面の空気孔より空気を噴出させてそれによつて円錐の噴霧の流れを偏平におしつぶすのであるが、その作用を次に示す。

写真 8 水圧力 3 psi 空気圧力 5 psi

写真 9 水圧力 3 psi 空気圧力 15 psi

写真 10 水圧力 3 psi 空気圧力 30 psi

写真11, 12は I-I による平吹きの時のジュリーレン写真で、写真11は炭酸ガスのみを圧力 40 psi で噴出させた場合、写真12は同じく透明塗料を吸出させて噴霧させた状態を示している。

写真11 CO₂ のみ(平吹) 写真12 CO₂ と塗料(平吹)

写真13, 14は I-I を用いて空気圧力 60 psi で噴霧した状態を露出 2 万分の 1 秒で瞬間撮影したものであつて写真13は噴霧流の隋門の短径側面、写真14は隋門長径側面を示している。

写真 13

写真 14

また写真15は空気圧力 60 psi の時の丸吹によるノズル附近の状況を示し、写真16は偏平とした時の短径側より空気によつてつぶされる部分(矢印)を示している。

写真 15

写真 16

これらのことから先づ塗料噴出ノズルの外周の主空気孔より噴出する圧力空気によつて塗料が吸出され、この塗料柱は速度の速い空気によつて若干細く延ばされ且つ速度を附加されるものと考えられる。また空気は塗料柱の外周に触れて塗料を飛散微粒化し、微粒化された塗粒は空気流によつて塗装面の方に飛んで行く。ノズル出口附近で塗料柱に触れる空気は早い、速くにおいて触れる程相対速度は低く微粒化作用も低減する。また空気は速度分布も中央部が速く、外周に至るに従つて遅くなり、従つて微粒化作用の低い、即ち塗粒径の大きいものは中央に多くて飛行速度も速いが、塗粒径の小さいもの程外周部に多くて空気流れに浮遊し易く且つ逃げ易いと考えられる。このことは次の ii, iv の実験によつて更に確められる。

ii. 塗粒分布と塗膜厚さの分布

スプレーガンで吹きつけた噴霧の粒径分布並びに塗膜厚さの分布を調べるために写真17に示す様な装置を用いた。即ちスプレーガンから一定距離の所に紙、板あるいはガラス板を置き、その中間にスプレーガンに接して一定時間吹きつけるために2枚の切欠きをつけたブリキ板を電氣的に夫々定つた時間に動く様にしてスプレーガンの霧の形状、塗粒分布、塗膜厚さ等を調べる場合の条件を出来るだけ一定にした。

本実験ではガラス板に噴霧量に応じて $\frac{1}{5}$ 秒乃至 $\frac{1}{10}$ 秒に適当な時間を選んで吹きつけた。

写真 17 一定時間吹付け用のシャッター装置

写真 18

写真 19

写真 20

写真18, 19は I-II を用いて空気圧力 60 psi で吹きつけた場合を示している。

写真20は B-II の空気圧力 60 psi による平吹きの場合の写真であるがパターンの形状はあまりよくない。

この様にパターンの形が不規則になるのはノズル孔, 中央空気孔, 補助空気孔, 側面空気孔等の不良, 或いはごみ等による不均一または長期使用による各部の摩耗等の諸種の原因によって生ずる。

写真21~26は塗粒分布を調べるためにガラス板に $1/10$ 秒以下の時間吹きつけたものを顕微鏡で見たものである。使用ガンは I-I で空気圧力 60 psi で吹きつけたものであつて、塗装距離 9" と 12" のものの中心部、中心部より 30mm, 60mm の部分の塗粒分布状態で中心部

より遠ざかる程、また塗装距離が大きくなる程塗粒密度が粗になることがわかる。

写真27~29は空気圧力 20, 40, 60 psi の場合の塗粒分布を見たもので、夫々単位時間の噴霧量が違うから塗粒密度を比較しても意味はないが、粒径の大小分布を比較してみると、空気圧力が大きくなる程均一になっていることがわかる。

写真30は空気圧力 40 psi で塗料弁を絞つて噴霧量を減じたものであるが、これを写真28と比較すると粒径の小さいものが多いことがわかる。即ち一定空気圧力の下で塗料弁を絞ると粒径が小さいものが多くなることがわかる。

写真 21 距離 9" 中心部

写真 24 距離 12" 中心部

写真 22 距離 9" 中心部より 30mm

写真 25 距離 12" 中心部より 30mm

写真 23 距離 9" 中心部より 60mm

写真 26 距離 12" 中心部より 60mm

写真 27 空気圧力 20 psi

写真 28 空気圧力 40 psi

写真 29 空気圧力 60 psi

写真 30 空気圧力 40 psi 塗料少量

B-II 空気圧力 40psi 吹附距離 9"

第1図 丸吹, 中心断面 塗膜厚さ分布

第2図 平吹: 長径断面 III

第3図 平吹, 短径断面 I

第4図 平吹, 短径に平行な断面 II

次に塗膜の厚さの分布であるが第1図～第4図は B-II を用いて空気圧力 40 psi で鋼板を 9" の距離におき約 $\frac{1}{2}$ 秒吹きつけた時の塗膜厚さの分布図で、第1図は丸吹きの場合、第2図は平吹きの場合に長径方向に測つた場合、第3図は同じく短径方向に測つた場合、第4図は同じく平吹きの場合に長軸中心より 50 mm の所で短径方向に測つた場合を示す。

これらが示すように丸吹きの場合は中心部に集中的に塗料が吹きつけられ、平吹きの場合は塗膜分布に急激な変化はない。従つて広い面積に亘つて平滑な塗装面を得るには平吹きの方がよい。

iii. 塗粒温度

ホツトスプレーは 70°C 附近に熱せられた塗料が吹き出され、その塗粒は溶剤の蒸発、および空気によつて冷却され、塗装面に至つてはほぼ室温に近くなるといわれるがこれを確認する意味で調べてみた。たゞ正確な意味の塗粒温度を測定することは難しいが、本実験では直径 0.1 mm 太さのアルメルクロメルの熱電対をガンのノズル出口から 1 吋毎に 8 吋迄の各地点におき瞬間最高温度を測定した。

吹附条件は空気圧力 40 psi で I-I, I-II, B-II を使用して丸吹の場合と平吹きの場合（側面空気孔を一杯

第5図 各種ガンにおけるホットスプレー中の塗粒温度

に開く)とについて比較した。第5図はその結果を示す。

図に見るように約 72.5°C の塗料は噴出によつて急激に温度降下をなし1時の所で既に約 $\frac{1}{2}$ の25~35°Cになっているが8吋では室温（約10°C）迄には達しなかつた。また丸吹きと平吹きでは平吹きの方が一般に空気の影響を多く受けて温度が低くなっている。

iv. 塗装距離と塗料附着力

一般に塗装では塗料の無駄が経費の面に重大な影響を

写真 31 塗料附着力測定の実験

第 6 図

もつため塗料の逃げが問題となる。そこで写真31に示すように塗料吹付け方向に対して直角に金属板を置き金属板の下部に塗料が垂れて失われないように溜りを設け、吹附距離を色々変えて一定時間吹付け使用した塗料量と附着した塗料量とを比較して見た。第6図は I-II による結果を示す。これより丸吹きの方が平吹きの場合よりよく附着し、吹附距離は小さい方が良く附着することがわかる。

写真 32 鉄板に吹附中の塗料の逃がっている状態

写真32は 9" の距離にある金属板に垂直に吹き付けた時の瞬間写真であるが、吹付けられた塗料の中、微粒のものは風に運ばれて逸散する状態がよく見られる。

これらのことより塗装面に塗料が附着するには或る程度の大きさが必要であつて微粒となつた塗料は空気流れによつて速度を附加され塗装面に吹付けられる。ところが余り微粒となると空気の流に浮遊して運ばれ塗装面にぶつからないで逃げるものも生ずる。また平吹きのように偏平にすると長径方向の広がり角度が増大し、塗粒関係速度も低くなり、空気量も多くなるので逸散する率も増大するものと思われる。従つて塗装距離及び吹附方法は塗料の逃げに非常に関係があるので塗装形状に対して最もよい方法を考える必要がある。

III. ガンの構造の影響（塗料ノズルと空気キャップの関係）

前項の実験よりわかる如く塗装に当つては塗装面の形状目的に応じて塗装の条件を加減する必要がある。本実験では I-I, I-II, B-I, B-II の各種について塗料ノズルと空気キャップの関係を調査した。

写真33はその実験装置でコンプレッサーより送られた空気は圧力調整装置によつて所要の圧力に調整され空気量測定用ノズル (German Orifice) を通つてガンに接

写真 33 スプレーガンの吸込圧、空気消費量測定装置

続される。ノズル前後の圧力差は水柱で測定し、空気流れにより生じた塗料吸込圧力は水銀柱により測定した。

i. 塗料ノズルの空気キャップに対する位置の影響並びに塗料ノズルと空気キャップの間隙の影響

本実験では I-I の現在使用している寸法を基準とし

第7図 ガン先端部の断面図

て第7図の如く空気キャップの孔徑 d とノズル先端部が空気キャップより突出している量 a とを種々変化させて組合せ、突出量 a と間隙との影響を調べてみた。

突出量 $a = -0.2, -0.1, 0, +0.1, +0.2, +0.3, +0.4, +0.5\text{mm}$ に対し孔徑 $d = 3.2, 3.3, 3.4, 3.5, 3.6, 3.7\text{mm}$ を組合せて空気圧力の変化に対する塗料吸込圧力と空気消費量との関係を調べた。第8図および第9図はその代表的なものの例である。

これらより考察すると、

i. 空気孔間隙の大小（孔徑 d の大小）は吸込圧力に対し必ずしも一様の関係になく突出量 a と関連して最大のものがあるが概して $3.4\text{mm}\phi$ のものが最大を示している。

ロ. 突出量 a の大小も吸込圧力に対し必ずしも一様の関係になく間隙の大小と関連して最大のものがある。

ハ. 空気圧力と吸込圧力とは必ずしも比例関係を示さず空気圧力の高い時吸込圧力が大きいものでも空気圧力が低い時他より低くなるものもある。突出量 a が負のもの

第8図 空気圧力に対する吸込圧および空気消費量

第9図

のは一般に空気圧力が高くなっても吸込圧力があまり増大しない。

ニ. 空気消費量は空気圧力に比例し、突出量には関係なく孔徑（間隙）が大きくなるに従って増大する。

即ちノズル及びキャップの間隙より流出する空気流れはその間隙寸度および突出量の割合によつて流れの状態が違い、吸込圧力に最も効果のある関係寸度が存在することとなる。このガンの使用圧力は $40 \sim 60\text{psi}$ ($2.8 \sim 4.2\text{kg/cm}^2$)であるから突出量 $a = 0.5\text{mm}$ 、孔徑 $d = 3.4\text{mm}\phi$ （間隙片側 0.2mm ）が最もよい。

ii. I-I, I-II, B-I, B-IIの吸込圧力及び空気消費量の比較

上記の塗料吸込圧力の実験は中央空気孔のみのものの

結果であるが、実際には空気キャップにはこの他に補助空気孔が2乃至数個あけてあり、また側面よりスプレー形状を扁平にするための側面空気孔を左右各1個或いは2個あけたものがある。補助空気孔の作用は充分明らかにし得なかつたが、中央空気孔より出たスプレーは広がり角が大きくなるのでこれを多少補助するためと微粒化作用並びに塗粒冷却に関係あるものと思われる。今迄の研究では微粒化作用には大した変化が認められない。塗粒冷却には影響し、塗装面仕上には関係すると思われるが、今のところはつきりした結論を述べる迄には至っていない。

塗装作業の標準化をはかるには噴霧の条件が一定でなければならない。ガンの調節には空気圧力を選択すること、塗料弁を調節すること、側面空気孔の開閉、或いはこれに作用する空気圧力を加減すること等がある。空気圧力が、一定の場合には一定の吸込圧力が保持されるべきで、側面空気孔を開けた場合に塗料噴出量が変化してはならない。I-I、I-II（特に I-I）は途中空気通路が狭いために側面空気孔の開閉によって吸込圧力が変化する。B-II は充分な空気通路をとつてあるので変化が少い。

第10図及び第11図は I-I の各種の空気キャップについて側面空気孔を開けた時と閉めた時の吸込圧力及び空気消費量の変化を示したもので、空気孔が多い程吸込圧力が減っている。

第12図及び第13図は I-II について同様の実験を行ったもので I-I よりは悪くない。

第14図及び第15図は B-I、B-II についての同様の実験結果で側面空気孔の開閉によって吸込圧力は殆んど変化がない。

国産品 I と外国製品 B を比較するに同じ空気圧力では B の方が吸込圧力は大きく先端突出量 a は B-I は 0.45

第 10 図

第 11 図

第 12 図

mm, B-II は 0.36 mm であつて非常によい所を使用している結果と思われる。

尚 B 製品は 空気消費量が 比較的多いように 思われるが、単位塗料当りの空気消費量は必ずしも多くはない。従つて I 製品は空気通路の断面積を大にして抵抗を少くし、夫々空気孔の作用を充分活用させるようにすべきである。

第 13 図

第 14 図

IV. 塗料ノズル及び針弁の耐久性について

国産品は外国製品に比し耐久性において格段の差異があるとのことであったのでスプレー性能に直接関係がある塗料ノズルと針弁の調査を行った。

i. 材質調査

I 製品は S55C 炭素鋼を焼入したもので、硬度は $H_v = 728$ (最小) である。

B 製品は 0.1 % C 程度の低炭素鋼の内側に 0.05mm 前後の厚さに滲炭処理を施したもので芯部の硬度は $H_v = 230 \sim 280$ であった。

第 15 図

写真 34 磨耗試験装置

その他に磨耗試験用として SK2 を使用して焼入焼戻したもの、SH80A に 0.3 mm 滲炭し、焼入焼戻の条件を夫々変えたものも同時に試験した。

ii. 磨耗試験

磨耗試験は写真34の如き装置で磨耗材として軽油 5 ガロン (18l) 中にアランダム #300 を 1.5 kg 混入したものを回転ポンプで塗料ノズルに圧送した。その結果は第 1 表の通りであった。これによつて明らかなようにノズルの磨耗に関しては国産の方がよいが、之は外国製品は滲炭層が薄いためと思われる。尚製品の均一性の上からは脆炭の恐れを少なくする意味では SK2 が無難であろう。

針弁に関しては顕微鏡で調べた範囲では単に光沢を増したのみで磨耗と認められる程度の形状および表面の変化はなかった。以上の如くノズル、針弁は材質的に見てむしろ国産品の方が良好のように思われる。

第1表 摩耗試験結果

種 類	材 質	塗料ノズル 孔径摩耗量
I-I No.1 (従来のもの)	ノズル S55C ニードル SK2	30hr後 0.007 mm
I-I No.2	ノズル SK2 ニードル SKS2 820°C 油焼入 130°C 1hr 焼戻	31hr 後 0.006 mm
I-I No.3	ノズル SH80A ニードル SH80A 850°C 1.5hr 液体滲炭 750°C 油焼入 130°C 1hr 焼戻	31hr 後 0.001 mm
I-I No.4	ノズル SH80A ニードル SH80A 850°C 1.5hr 液体滲炭 そのまゝ油焼入 130°C 1hr 焼戻	32hr 後 0
B-I	ノズル 0.1%C 低炭素鋼 ニードル オーステナイト鋼	31hr 後 0.027 mm

iii. その他

耐久性についてはノズル、針弁の摩耗の他にスプレーの不良になる場合も総称していると思われるが、国産品の針弁を支える軸承部の長さが短かくこの所にガタが生ずると針弁先端が垂れ下りスプレーを乱す恐れがある。また空気キャップに塗料が附着し空気孔をふさぐことも起り得る。これらの原因については更に研究する必要がある。

結 び

ホットスプレー塗装としてはガンの機能の影響する処が多く、スプレーガンの構造、微粒化機構、空気孔が塗装に及ぼす影響等未だ多くの基本的問題が残っている。塗装技術が多くの熟練度を要する現在においてこれに関係する諸要因を解決する必要を痛感した。国産スプレーガンは外国製に比較して改良すべき点はあるが、今迄見出した欠点は何れも直ちに改良し得る程度のものである。スプレーガンは塗装面の形状、塗装目的等によつて吹附距離、吹附方法にも考慮を要し、その方法によつては塗料の飛散が非常に関係することがわかつた。

Hot Dipping による鉄鋼材の鉛被覆*〔第3報〕

上 田 益 造**

Lead Coating on Steel by Hot Dipping, III.

Masuzo UEDA

The author applied hot-dip lead coating on steel with the fluxes of NH_4Cl , ZnCl_2 , SnCl_2 and SbCl_3 , and examined the properties of the coatings. This report mainly deals with the result of the experiments done by using ZnCl_2 as flux.

The potential curves were taken under the following conditions:

Bath Concentration.....2.5—10.0% H_2SO_4

Current Density4.45—26.66 mA/cm²

The anode, 15mm×20mm, was placed in the center of the cylindrical cathode of lead plate.

Keeping current density constant the change of potential was measured and plotted taking the time of electrolysis as ordinate.

When the adhesion of lead layer is poor the potential is about 0.2 volts, and when the adhesion is better it is about 3.0 volts.

The existence of the interfacial layer between steel and lead, however, could not be determined by these experiments only.

The tendency that the potential is proportional to the thickness of lead coating is almost the same as in the former researches.

I. 緒 言

フラックスとして NH_4Cl , ZnCl_2 , SnCl_2 , SbCl_3 等を用いて、Hot Dipping により薄鋼板に鉛被覆した試料について、次の如き種々の被覆性状試験を試みた。

1. フェロキシル試液によるピンホール試験
2. 熱天秤を利用した耐酸、耐アルカリ、耐食塩水試験
3. 屈曲、圧延、引張、硬度等の機械的試験
4. 電気分解法による鍍金性状試験
5. 電位差計による鍍金性状試験
6. 顕微鏡による断面観察 等

* 昭和30年10月 日本金属学会秋期大会

**金沢大学工学部