

自動車用ディーゼル機関バルブの自動盛金

川 上 登
長 谷 川 孝
後 藤 武 司

Automatic Metallic Coating of Diesel Engine Exhaust Valve

Noboru KAWAKAMI
Takashi HASEGAWA
Takeshi GOTOH

An automatic spraying equipment for metallic coating has been developed and used to apply a SAMALITE (a nickelchromium base self-fluxing alloy) coating upon the Diesel engine valves. The metal sprayed valves put to the practical use for motor and dump trucks proved excellent. Automatic spray coating of SAMALITE is particularly suitable for the protection of structural parts used for motor cars and machines, which require a high resistance to corrosion and wear

1. ま え が き

自動車用内燃機関は、最近ますます高速回転、高出力化の傾向にあり信頼性の高い高性能エンジンの要求が強くなってきている。それに伴ないエンジンバルブの作動温度も上昇しバルブに加わる負荷も大となり、変形、腐食、摩耗などによる事故も生じやすくなる。その対策としてステライト盛金などのハード・フェーシングの採用は有効な手段である¹⁾²⁾³⁾。

しかしながら、ステライトなどの排気弁への盛金は熟練者の手加工によるのが現状であり、均一処理が難しく生産効率が悪く従って、コストが割高になることは避けられないものと考えられる。ステライト盛金加工が自動化されないのは、ステライトそのものが棒状であることに原因すると判断される、我々はこの点に注目し、ステライトと同等以上の耐食性、耐摩耗性を有するニッケル基の硬化盛金用溶射合金粉末（商品名：サマライト）の開発に成功し⁴⁾⁵⁾、更に粉末を使用する自動車用内燃機関用排気弁のフェース面の自動盛金装置は、従来ステライト盛金で問題となっていた自動化という難問の解決ばかりでなく、盛金表面が平滑でありしかも均一厚みであるためその後の切削加工費の低下をも招来するものであ

る。

更に我々は、本装置及びサマライトの実用性を検討するため、本装置にて盛金加工した排気弁について実車組込み試験を行い、剥離、吹抜けなどのフェース面の損耗状況を調査するとともに、現行排気弁との比較を行なった。以下、それらの結果について詳述する。

2. 自動車用ディーゼルエンジンバルブの盛金法

エンジンバルブに要求される性能として、特に重要な物性は、高温強度、高温における耐食性及び高温硬さでありこれらが充分でないと、フェースの変形、摩耗などが起こり吹抜け、バーニングの原因となる。その対策としてステライト盛金などのハードフェーシングが採用されるわけであるが、ステライトはコバルト基で高価なものであるばかりでなく、棒状であるため連続自動化の障害となっている。この二点に注目し、耐食、耐摩耗性に優れた性質を有するニッケル基の自溶性合金の開発を試みこれに成功し⁴⁾、サマライトの商品名で現在販売しているものである。Table 1 のサマライト(V)は特にディーゼル機関の排気弁に改良したものであり、Fig. 1はその高温硬さを示す。この合金は、ニッケルを主成分と

Table 1 Chemical composition of SAMALITE (V)

| Grade | Chemical composition (%) | | | Hardness (H _R C) | Coating of valve |
|--------------|--------------------------|-------|--------------|-----------------------------|----------------------|
| | Ni | Cr | B. Si. other | | |
| SAMALITE 3 V | 80—85 | 8—12 | 7—8 | 25—35 | valve face |
| 4 V | 76—81 | 10—14 | 9—10 | 30—40 | valve stem seat ring |
| 5 V | 72—77 | 12—16 | 11—12 | 40—50 | valve head seat ring |
| 6 V | 69—74 | 14—18 | 12—13 | 50—60 | top of stem |

SAMALITE 5(V) is used to spray coating ship engine valve and coating truck engine valve.

Table 2 Motoring test condition and its results

| Cylinder No. | Material of exhaust valve (coating material of face) | Material of valve seat | Wearing depth (mm) |
|--------------|--|----------------------------------|--------------------|
| 1 | 21—4 N (SAMALITE. 5) | SUH 4 B (H _R C 45—51) | 0.03 |
| 2 | " | | 0.02 |
| 3 | 21—4 N (STELLITE. 12) | | 0.01 |
| 4 | " | | 0.01 ⁵ |
| 5 | 21—4 N (uncoated) | | 0.06 |
| 6 | " | | 0.09 |

Specification of test engine : DA 640, Running time : 200 hr (continuously) Rotation numbers of engine : Idling (10min)~2300 rpm (20 min)
Water temperature : 90~95°C

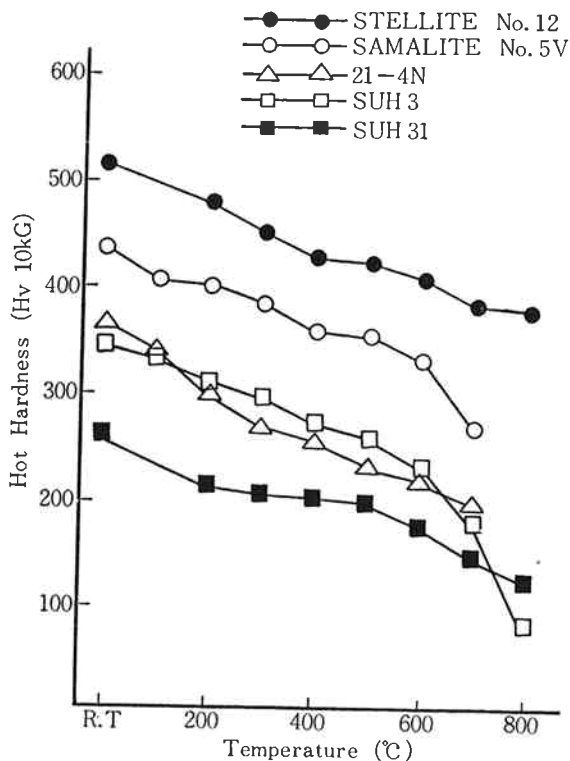


Fig. 1 Hot hardness of material

するためコバルト基のステライトより安価であり、かつ形状が粉末でしかも自溶性合金であるため酸素—アセチレンガス炎により容易に盛金することができ、自動化が可能である。

自動盛金機の設計及びその機構については後述するが、盛金層の耐剥離性を予備的に調査するため、モータリングテストを行ったところ Table 2 に示すように、200時間の連続運転の結果、剥離することなく、また摩耗量も現行品の盛金なし21—4 N鋼より著しく少なく、充分使用に耐えるものと推定された。一般に自動盛金装置(フェーズウェルド方式)による盛金は、Fig. 2 に示

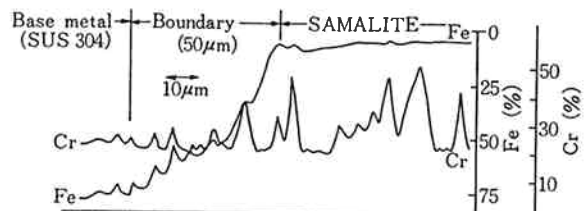


Fig. 2 Distribution of Cr and Fe on SAMALITE spray coating surface analyzed by the electron probe X-ray micro analyzer

すように、境界部は単なる機械的接着ばかりでなく、母材とほどよく融着し約50 μ mの中間合金層を生成し剥離はないと言える。

3. 自動盛金装置の設計

従来のステライト盛金加工は、熟練者の確保、高熱労働対策、さらに、工程の連続化が難しいなどの問題がある。これらの問題を解決すべく自動盛金装置の試作を行った。

まず、自動給粉器及び盛金トーチとしてC社、E社さらには米国特許⁶⁾⁷⁾に発表されたものもあるがいずれも給粉の定量性の問題、粉末貯蔵ホッパーにおけるブリッジの発生などの点から、連続長時間作業には不適當であるが、各種のディーゼルエンジンバルブに対してサマライト(V)の盛金を行う場合の最適溶射条件、とくに溶射速度(単位時間当りの所要粉末量)を決定するためのC社の溶射トーチを使用して溶射実験を行った。このトーチの給粉の機構は、レバーの開閉によりホッパー下部の給粉孔を調節するもので、均一な給粉量は得難いが、盛金条件の概略を把握するには充分である。実験の結果、傘径40mmのバルブの場合、最適の給粉量は10g、盛金時間は50秒また傘径32mmのバルブでは5g、盛金時間は30秒であった。従来のステライト盛金の場合、傘径32mmのバルブではステライトの使用量約5g、盛金時間は約25秒である。

次に連続作業が可能な溶射装置を開発するため、給粉器とトーチを切り離し前者に対しては定量性、再現性に優れたオート・フィダーの開発を行い、さらにトーチとしては充分な粉末吸引力を有するエセクター方式の開発に成功し、両者を連続することにより給粉量を5~40g/minの範囲の任意の値に正確に調整することができるようにした。

盛金トーチの炎の状況は、ステライト盛金の場合と同様、Fig. 3(2)に示すように、心炎と環元炎の比が1:3程度であることが好ましく、さらに盛金の状況はFig. 3(1)に示すように母材の汗ばんだ状態、サマライト盛

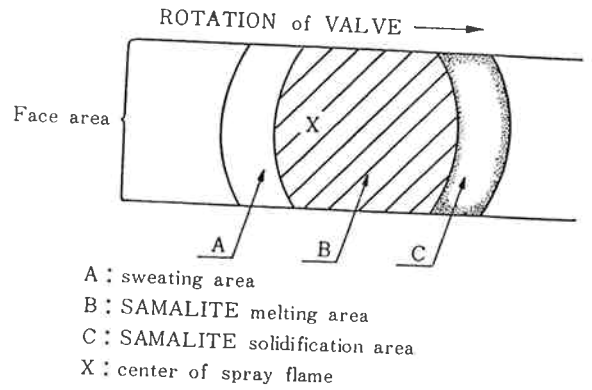


Fig. 3(1) Schematic view of spray coating

金・溶融域、さらにサマライトの凝固となるように被盛金材(バルブ)は、ゆっくりと自転させる必要がある⁸⁾。この自転速度は、盛金時間の約90%の時間で1回転するような速度であることが望ましい、これは最初と最後を重複させることにより盛金層の収縮に対する余肉を与えるためである。

予熱としては、650°C程度まで加熱するのが好ましく、予熱時間は盛金時間及び後述する後熱時間と同一にする必要がある。バーナーの選定も重要であり、予熱不足は粉末の歩留りが悪く盛金不足となる、逆に予熱オーバーの際は、盛金工程の後半に母材の溶け込みが起りピンホールの原因となる、このような欠点は21-4N鋼のような含窒素鋼に著しい⁹⁾。

盛金の条件は、バルブの大きさや盛金層の厚さにより異なるが、一般に被盛金部の下地加工は、Fig. 4に示すように盛金後の切削加工により盛金層の厚さが0.8mm前後になるのが好ましく、盛金層が必要以上に厚い場合は、盛金時に発生する酸化生成物の浮上除去が困難となり、ピンホール発生の原因となる。特に21-4N鋼の場合には、これに注意する必要がある。一般にバルブ傘のような円錐状で、しかも宙釣りの状態のものを盛金する場合には、盛金後半にオーバーヒートの状態となり前述の母材の溶け込みやピンホール発生の原因となり、傘おもてからの空気の吹付けによる冷却が必要となる。傘径30mmの耐熱鋼のバルブを盛金する場合(盛金時間36秒、給粉量6g)冷却に要する空気は、約13 ℓ である。冷却用の空気量および冷却開始の時間は、バルブの形状、材質により変化する。

酸化生成物の浮上時間に関しては、浮上速度Cが(1)式のストークスの法則に従うと仮定すれば、盛金工程におけるサマライトは、3~5秒溶融状態に保持する必要がある。

$$C = 2/9 \cdot g \cdot r^2 \cdot (S_M - S_D) / \eta \quad (\text{cm/sec.}) \dots \dots (1)$$

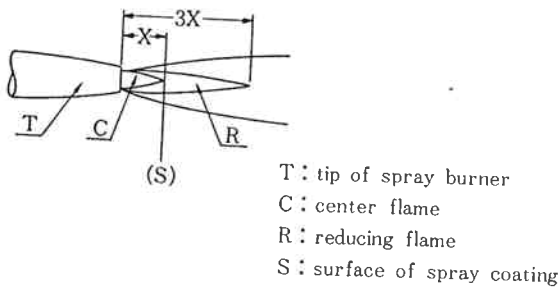


Fig. 3(2) Schematic view of spray flame

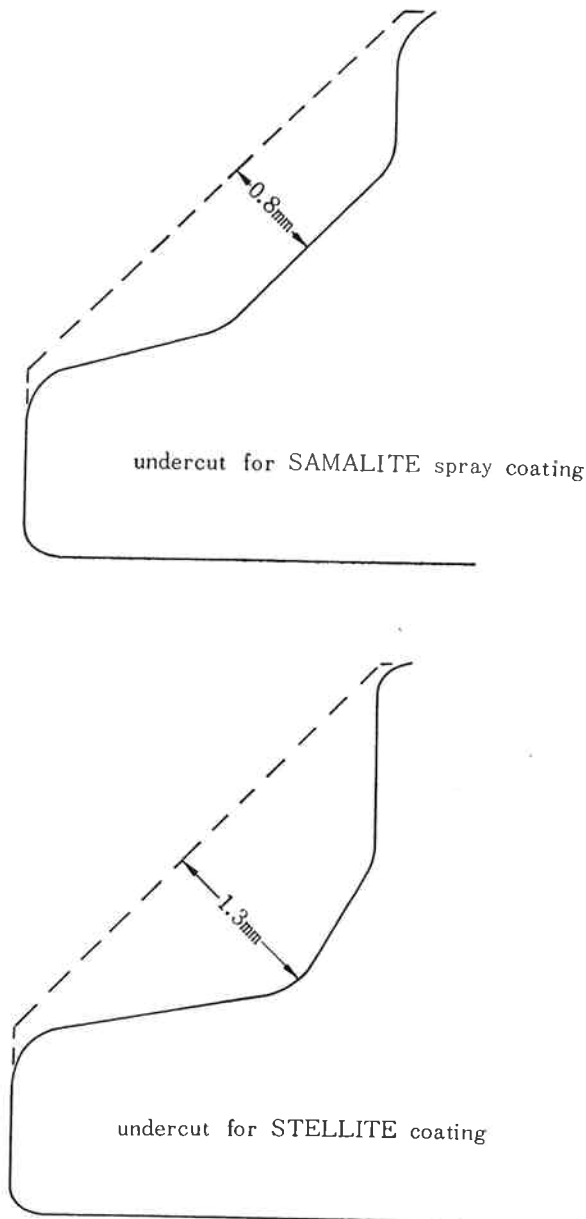


Fig. 4 Undercut of valve face before coating

但し g : 重力の加速度

η : 溶融サマライトの粘度

($\approx 0.04 \text{ g/cm} \cdot \text{sec.}$)

r : 酸化物の半径 ($\approx 10 \mu$)

S_D : 酸化物の密度 ($\approx 2 \text{ g/cm}^3$)

S_M : 溶融サマライトの密度 ($\approx 8 \text{ g/cm}^3$)

以上の値を代入すると $C \approx 0.3 \text{ mm/sec.}$ となり 0.8 mm の溶射層を浮上するのに約 3 秒を要することになる。

酸化物の浮上除去を完全に行うために、さらに後熱処理を行うことが望ましい。後熱は、その他に盛金層を平滑にし切削工程における工具の寿命を伸ばす点からも有効である。後熱 (最高 $1,200^\circ\text{C}$) 後のバルブの取り外し

は、約 3 分後に行えば 350°C 以下であり、盛金層の表面を傷つけることはない。

4. 自動盛金装置の機構

以上の条件のもとに自動盛金装置を試作した。Fig. 5 はそのシステム図を示し、またその主要部分の外観を Photo. 1 に示す。ガスホルダーより供給された酸素及びアセチレンガスは、空気作動弁を通りフローメータで流量を調整された後、予・後熱トーチ及び盛金トーチに供給される。一方被盛金材のバルブは、Photo. 1 (3) に示すターンテーブルの 180° 離れた 2 カ所に取り付けられ、ターンテーブルの回転とともに半周だけ回転する間に予熱、盛金及び後熱のすべての処理が行われる。したがって 2 個の被盛金材が 1 つのターンテーブルの相対する 2 カ所で同時に盛金させることになる。被盛金材はまず中性炎で予熱された後、被盛金面の面積、盛金厚さなどの条件により決定された給粉速度で供給されるサマライト粉末で盛金される。盛金されたバルブは、前述したように酸化物の浮上除去と盛金層の平滑化のため及び盛金による熱歪の除去のために、中性炎による後熱を行う。被盛金材のセッティング、取り外し、各工程間の移動時間 (最高 1 秒)、予・後熱時間及び給粉量などの条件は全て盛金時間と比例するようになっているため、バルブの大きさが前回と著しく異なっても、盛金時間を数回の予備試験により求めれば直ちに、自動機による盛金作業に入ることができる。しかもバルブの取り外しが不充分なときには、被盛金材の送り機構が停止、酸素・アセチレンガスの供給も遮断される仕組みになっており保全の面でも充分配慮されている。

この装置によれば自動車用エンジンバルブのほとんどの盛金が可能であり、さらに完全に自動化されているため、従来のステライト盛金と比較するとほとんどの問題点が解決され、監視業務のみで充分となる。盛金トーチの開発を含めた自動盛金装置は、優れた利点を有するものと判断され特許出願を行った¹⁰⁾。

5. サマライト盛金バルブの実車組込み試験

サマライトをフェース面に盛金したバルブは、Table 2 に示したように 200 時間のモータリングテストの結果、剥離することなく、現行品 (盛金なしの 21-4 N 鋼) と比べ摩耗も少なく実際の使用に耐えられると判断される。そこで前述した自動盛金装置によりサマライトを盛金したバルブを、現在 運送業社で使用しているトラック、ダンプなどに組込み、走行距離とバルブの損耗状況及び各種機関型式による影響などを調査した。

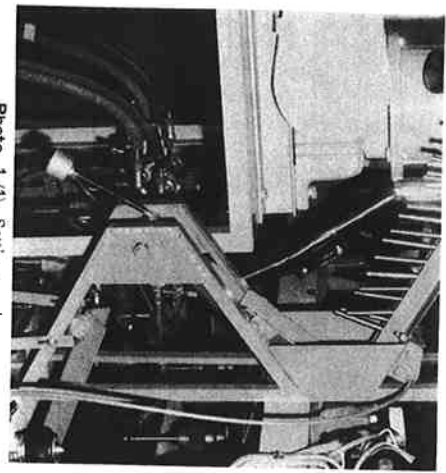


Photo. 1 (1) Setting equipment

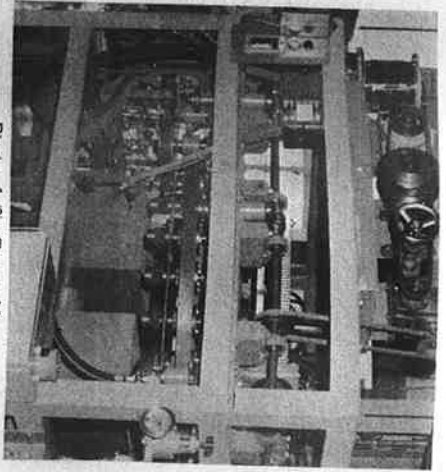
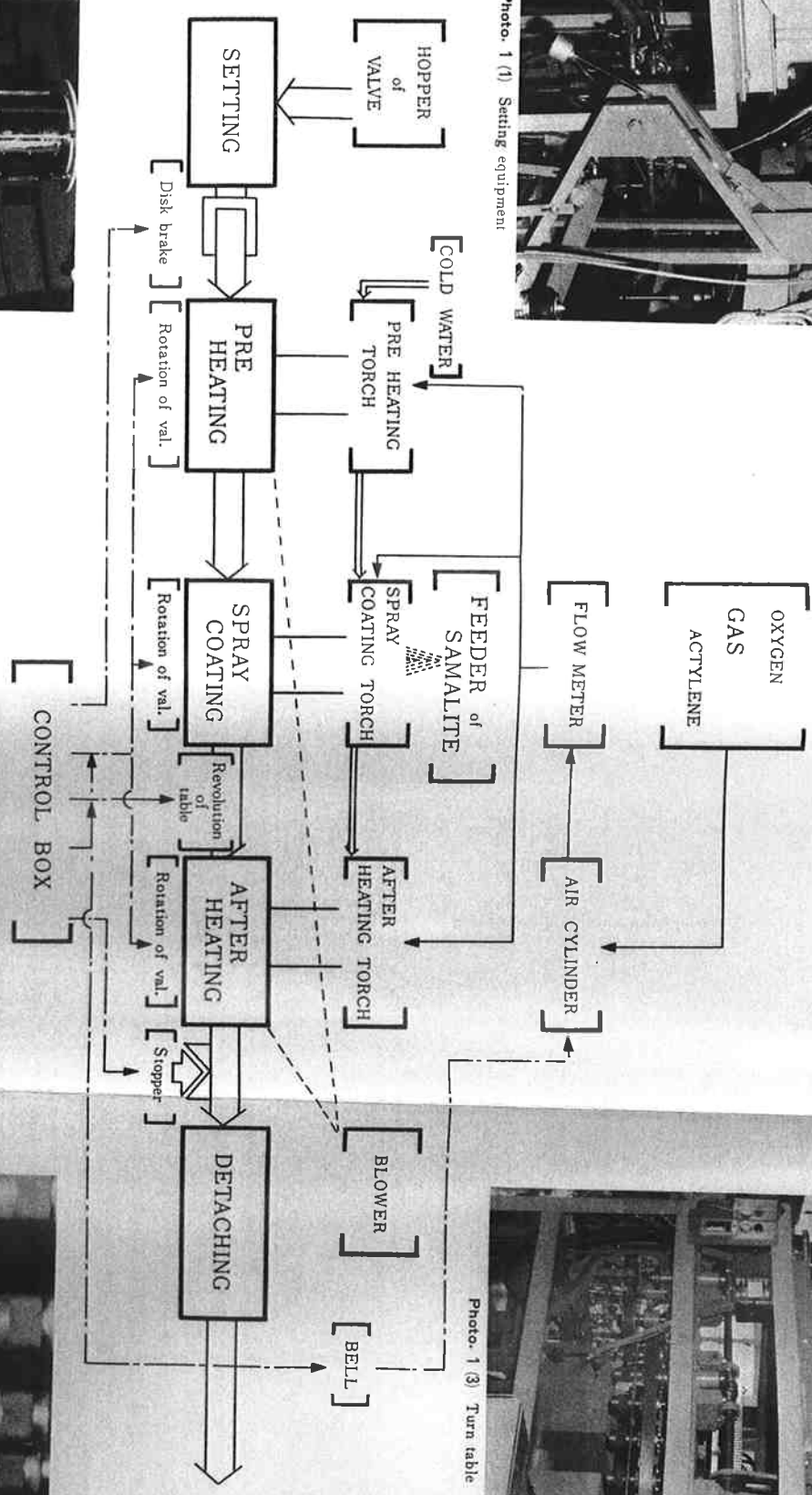


Photo. 1 (3) Turn table

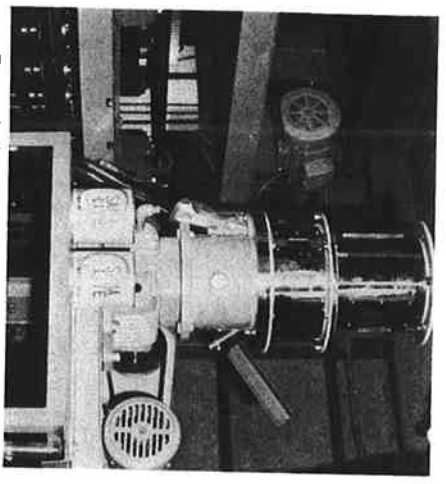


Photo. 1 (2) Feeder of SAMALITE powder

Fig. 5 Mechanism of automatic spray coating equipment

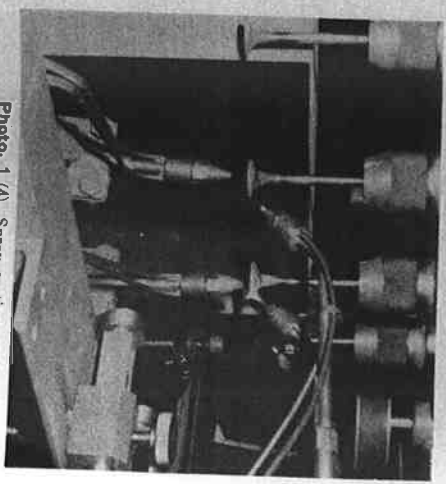


Photo. 1 (4) Spray coating part

(27)

Table 3 Condition of SAMALITE spray coating on diesel engine valve face

| Practical truck engine | Specification of ex. valve | | | Material of valve face (coating material) | Condition of SAMALITE spray coating on valve face | | | | |
|--------------------------------------|----------------------------|-----------|--------|---|---|----------------|---------------------------|--------------------------|---|
| | Seat dia. | Stem dia. | Length | | Time | Rotation speed | Charging rate of SAMALITE | O ₂ flow rate | C ₂ H ₂ flow rate |
| | mm | mm | mm | | sec. | sec/r | g/min | ℓ/min | ℓ/min |
| C-221(I) | 32 | 8 | 115.8 | SUH31B (SM) | 45 | 40 | 5 | 8.1 | 6.0 |
| SD ₃₃ ²² (N) | 32.5 | 8 | 117 | 21-4N (ST)(SM) | 45 | 40 | 6 | 8.1 | 6.1 |
| DSI(M) | 37 | 9 | 137 | 21-4N (SM) | 48 | 43 | 10.5 | 9.3 | 6.8 |
| DA ₆₄₀ ¹²⁰ (I) | 40 | 10 | 144 | 21-4N (SM) | 53 | 48 | 12 | 9.8 | 7.1 |
| UD5(N) | 35 | 8 | 142.6 | 21-4N (ST)(SM) | 45 | 40 | 9 | 8.8 | 6.6 |
| DH100(I) | 48.5 | 12.2 | 174 | SUH31B (SM) | 68 | 63 | 16.5 | 12.4 | 9.2 |
| DA640(Inlet) | 44 | 10 | 144 | SUH3B (SM) | 53 | 48 | 12 | 10.4 | 8.0 |
| DB1(M) | 45 | 12 | 176.5 | SUH31B (SM) | 68 | 63 | 12 | 11.9 | 8.9 |
| DC2(M) | 50 | 12 | 175 | 21-4N (SM) | 68 | 63 | 12.5 | 11.9 | 8.9 |

I: ISUZU N: NISSAN M: MITSUBISHIFUSO
 (coating material) SM: SAMALITE ST: STELLITE
 Gas (O₂, C₂H₂) flow rate is total (pre, spray and after heating)

本試験に使用した車は、Table 3 に示すように“いすず”“三菱ふそう”“ニッサンディーゼル”の車種の代表的なものである。現行品との比較は、耐熱鋼単身の場合には、サマライト盛金弁との比較、ステライト盛金弁についてはステライトとサマライトの比較となる。

[1] 試験結果

実車組込みに先だち盛金加工したバルブの種類及び盛金条件は、Table 3 に示す。傘径 32 mm で45秒、傘径 50 mm で68秒の盛金時間でありまた給粉速度は、それぞれ 5 g/min, 12.5 g/min であった。Table 4 は、実際に組込みを実施した車種 (10台) 及びサマライト盛金弁の取り付け気筒番号、エンジンの仕様及び走行結果を示す。実際にバルブを回収したのは“いすず”“三菱ふそう”の2メーカー6車種であり、T/95/DD (三菱ふそう、日向運輸) のように現在走行中の車もある。

実車組込み試験の結果は、吹付け及び折損などのバルブの故障¹⁾による試験中止もなく、盛金層の母材から剥離もなかった。Photo. 2 は、特に走行距離の長い車の排気弁の外観、また Table 5 はピーニング、カップニングの状態を示すが、サマライト盛金の効果は SUH31B, 3B 及び21-4N と比較すると明らかである。このことは Table 6 のフェース面の摩耗へこみ深さからも明瞭で、サマライト盛金バルブの摩耗量は、21-4N 鋼の1/4~1/10, SUH31B 鋼の1/3であり、特に走行距離が長く

なるほど、その差が明確となる。しかしステライト#12 盛金バルブと比較すると、サマライト盛金の方が摩耗量はやや多くなっている。この傾向は、モータリングテストの結果と同様で、Fig. 1 に示したように高温硬さがステライトより少し小さいことがその原因の一つと考えられる。

Photo. 3 は盛金層及び傘中央部の組織を示す、サマライト盛金による組織の変化はとくに見られず、また硬さの測定結果でも盛金による変化は認められなかった。その他試験後のシートフレ及び軸径の測定結果でも差は認められなかった。

以上述べたように現行バルブ (盛金なし) との差は走行距離が長くなるほど明確となり、今後エンジンの高速化、高出力化とともに、サマライト盛金の有効性はさらに増大するものと推察される。

6. 自動盛金加工の経済的評価

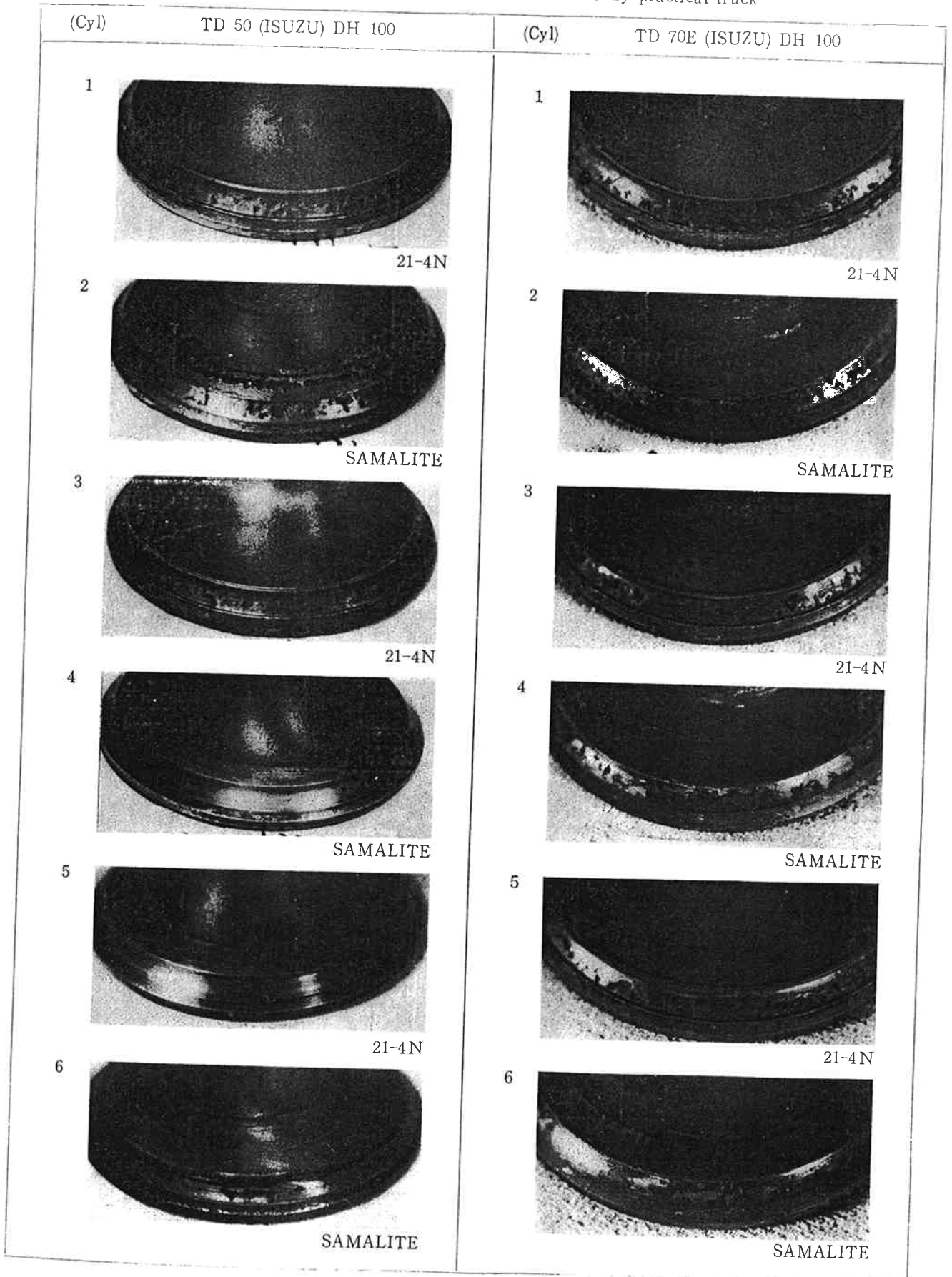
以上のように、本装置によりサマライト (5V) を盛金したバルブが現行バルブと比較し数段優れていることが実車試験の結果判明した。本装置を使用し自動車用ディーゼルエンジンバルブにサマライトを盛金加工する場合、従来のステライト盛金と比較し技術的問題、生産性及び盛金費を含めた経済的評価を行なった結果が Table 7 である。本装置による盛金は、大巾なコスト低下

Table 4 Practical truck test condition and its result

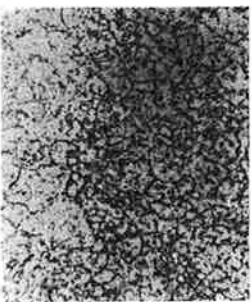
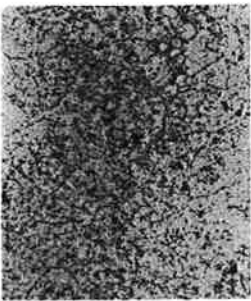

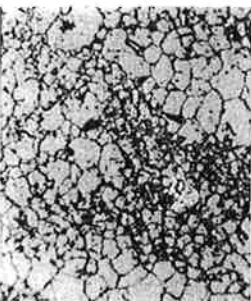
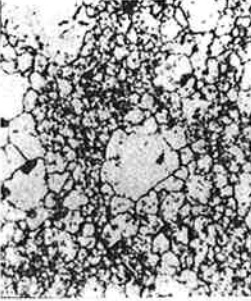
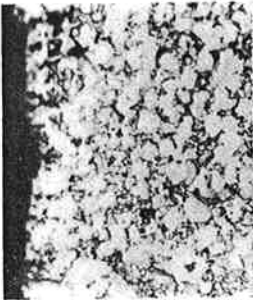
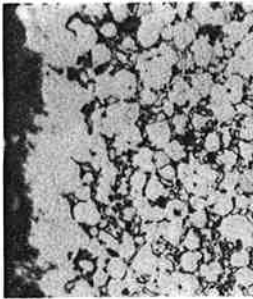
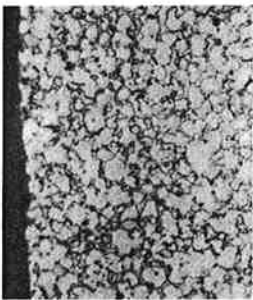
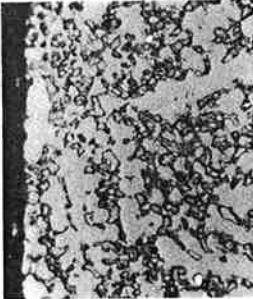
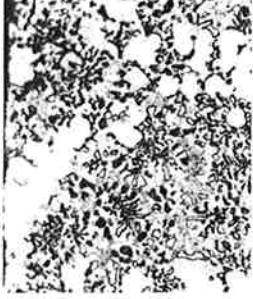
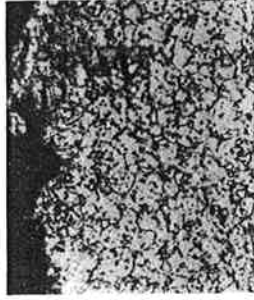
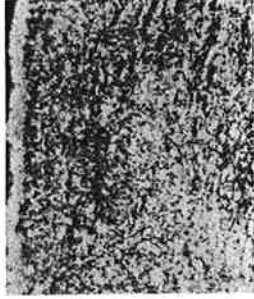


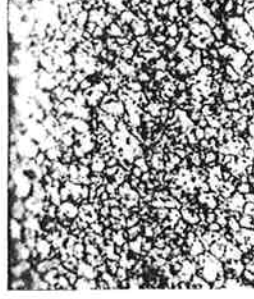
| Truck | Specification of truck (diesel) engine | | | | Assemblage of coated V. | | Condition of truck running | Fuel (Engine oil) | Truck meterage (km) | |
|-------------------|--|-----------------|----------------|----------------------|-------------------------|-------------------|--------------------------------|-------------------------------------|---------------------|-----------------|
| | Spec. of engine | No. of cylinder | Order of spark | Material of valve | Material of valve seat | Coating material | | | | Cylinder number |
| TXD40 truck 6t | DA120 | 6 | 1.4.2.6.3.5 | 21-4 N | Cast. XB | SAMALITE No. 5(V) | 1.3.5 | Hüga-Miyazaki (cements. ores) | D (G.M) | 29,643 |
| TD50 truck 7t | DH100 | 6 | 1.4.2.6.3.5 | " | " | " | 2.4.6 | Hüga-Takanabe (ores) | " | 96,379 |
| T335 dump 7.5t | 6DB1 | 6 | 1.5.3.6.2.4 | SUH3B | Cylinder head | " | 1.3.5 | Route no. 10 (ores) | D (D, G.M) | 77,776 |
| T95/DD tank 11t | 8DC2 | 8 | | 21-4 N | Hard steel | " | 1.3.5.7 | Hüga-Miyazaki (cements) | M (G.M) | 190,412 |
| TXD70E truck 6.5t | DA640 | 6 | 1.4.2.6.3.5 | 21-4 N Inlet (SUH3B) | Cast. XB | STELLITE SAMALITE | 2.4.6 1.3.5 Inlet(1.3.5) | Suburb of Tokyo | MR (Esso) | 215,218 |
| TXD70E truck 6.5t | DA640 | 6 | 1.4.2.6.3.5 | " | " | SAMALITE | 1.3.5 (1.3.5) Inlet | " | " | 97,913 |
| T90Q truck 10.5t | 6DC2 | 6 | 1.2.3.4.5.6 | 21-4 N | Hard Steel | " | 1.3.5 | Route no 4, 13 (fruits) | S (I) | 123,759 |
| TXD50 van 6t | DA120 | 6 | 1.4.2.6.3.5 | " | Cast. XB | " | 2.4.6 | Akita-Aomori 584 km/D (ice creams) | E (I) | 93,533 |
| TD80E van 7.5t | DH100 | 6 | 1.4.2.6.3.5 | SUH31B | " | " | 1.3.5 | Turuoka-Yamagata (articles of milk) | " | 107,126 |
| TD70E van 7.25t | DH100 | 6 | 1.4.2.6.3.5 | " | " | " | 2.4.6 | " | " | 177,561 |

D : Dikyo M : Mitsubishi MR : Maruzen S : Shoseki E : Esso I : Idemitsu

Photo. 2 Surface appearance of valve tested by practical truck



Photo, 3 Microstructures of surface area and center of exhaust valve

| | | | | | |
|-------------------------|--|--|---|---|---|
| | TD 80E (DH 100) | TD 70E (DH 100) | TXD 70E (DA 640) | TD 50 (DH 100) | TXD 50 (DA 120) |
| CENTER |  SUH 31B |  SUH 31B |  21-4N |  21-4N |  21-4N |
| SURFACE SAMALITE coated |  SAMALITE |  SAMALITE |  SAMALITE |  SAMALITE |  SAMALITE |
| SURFACE uncoated |  SUH 31B |  SUH 31B |  STELLITE 12 |  21-4N |  21-4N |