

被覆アーク溶接時に発生する溶接ヒュームについて

松 田 一 夫*, 長 谷 川 正 義*

On the Welding Fume Occurring in Shielded Metal-Arc Welding

Kazuo MATSUDA* and Masayoshi HASEGAWA*

(Received September 24, 1974)

By using various types of coated electrodes, the occurrence of the welding fume is examined for painted and non-painted steel plates.

The results are as follows: 1) The welding fume is generated most furiously by the use of high cellulose and iron powder iron oxide type electrodes, secondary by ilmenite and low hydrogen type electrodes, and most slightly by lime-titania and high titanium oxide type electrodes, in both cases of painted and non-painted plates. 2) The quantity of the welding fume generated from the plates painted with mixed black paint, wash primer and zinc chromate primer is about 1.2~1.6 times of that of non-painted plates. 3) The particles occurring in the welding fume by low hydrogen type electrode are small, in general, and several particles form a secondary particle of comparatively small size. The particles by other coated electrodes, however, form secondary particles of larger size, arborescent in form. 4) A larger quantity of F^- , CaO , Na_2O and K_2O , soluble in water is contained in the welding fume by low hydrogen type electrode as compared to those by other coated electrodes.

1. 緒 言

近年、鉄鋼構造物は日々に大型化、巨大化して大型の鋼材の接合が必要となると同時に、鋼材の高張力化が進み、また、特殊用途の低合金鋼の使用も年々増加している。このために、溶接部に侵入する酸素量の少ないことがますます重要となり、低酸素系被覆アーク溶接棒の使用量も年々増加の一途にある。

周知のように、被覆アーク溶接時に発生する溶接煙中のガスは主として CO_2 と H_2O である。これは溶接棒被覆剤の大きな役割りの、アークを空気からしゃへいするための手段として発生させるものである。すなわち、低酸素系溶接棒では、溶接棒の被覆剤中に多量の炭酸塩を配合して溶接中アーク熱によりこれを分解し多量の炭

酸ガスを発生させ、低酸素系以外の溶接棒では炭酸塩のほかに有機物を用いてその分解および燃焼によって CO_2 および H_2O を発生させ、シールドの効果をあげるものである。これらのガスは有害ではないが、鉄アークの高温においては有害ガスとして CO , NO などが生成する可能性もあるといわれる。しかし、これらの有害ガスの生成はきわめて微量であって、人体に影響する限度よりはるかに低いといわれている。

溶接時に発生する溶接煙中の目に見える部分は、一般に溶接ヒュームあるいは単にヒュームといわれる固体微粒子である。これは母材、溶接棒の金属および溶剤（フラックス）が高温によって溶融、蒸発して金属蒸気およびフラックスを構成する物質の蒸気となり、ものによっては急速に酸化され、冷却されて微細な固体粒子状態となり、この粒子のルーズな集合状態として煙状となった

*機械・生産機械工学科 (Department of Mechanical Engineering)

ものと推察され、溶接作業者がこれをおる程度吸入することは避けられない。溶接ヒュームを多量に吸入した時、頭痛、発熱などの急性症状を示す場合があり、また長時間にわたる場合には、慢性症状としていわゆるじん肺発生の危険性もあるとして、溶接煙の有害性の問題が最近特に注目されはじめ、溶接公害や作業環境の観点から、溶接ヒューム対策が積極的になされようとしており、これらの問題に関する研究¹⁾²⁾³⁾も多く見られる。

現在、被覆アーク溶接煙の有害性の問題は、この溶接ヒュームのみを対象として考えてはば間違いないとされており、本研究では、低水素系および低水素系以外の各種被覆アーク溶接棒を用い、表面が清浄な鋼板（無塗装鋼板）および種々の表面処理物質を塗布した鋼板（塗装鋼板）の被覆アーク溶接時に発生するヒュームについて、ヒューム発生量の測定、電子顕微鏡によるヒュームの観察およびヒュームの化学分析を行ない、使用溶接棒の種類、溶接条件、表面処理物質の種類などによる影響を調べ、比較検討した。

第2表 各種被覆アーク溶接棒心線の化学組成

溶接棒の種類	被覆剤の系統	棒径 (mm)	化 学 組 成 (wt.%)					
			C	Si	Mn	P	S	Cu
D 4301	イルミナイト系	4.0	0.08	0.004	0.47	0.007	0.016	0.03
D 4303	ライムチタニヤ系		0.07	0.004	0.49	0.004	0.014	0.03
D 4311	高セルローズ系		0.08	0.004	0.49	0.009	0.011	0.06
D 4313	高酸化チタン系		0.07	0.004	0.51	0.008	0.015	0.03
D 4316	低 水 素 系		0.08	0.004	0.46	0.004	0.013	0.03
D 4327	鉄粉酸化鉄系		0.10	0.004	0.56	0.009	0.011	0.09

第3表 各種被覆アーク溶接棒被覆の化学組成

溶接棒の種類	被覆剤の系統	棒径 (mm)	化 学 組 成 ¹⁾ (wt.%)										
			SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	TiO ₂	CaO	MgO	ZnO	Na ₂ O	K ₂ O	F ⁻
D 4301	イルミ ナイト系	4.0	16.26	2.67	18.38	16.81	12.03	0.04	1.67	0.02	3.51	1.78	—
D 4303	ライム チタニヤ系		17.03	2.81	19.00	10.18	18.69	0.07	3.50	0.01	3.41	1.68	—
D 4311	高セル ローズ系		16.27	3.03	12.96	7.49	8.84	0.06	2.94	0.01	4.56	2.41	—
D 4313	高酸化 チタン系		18.53	4.78	4.61	6.74	20.88	0.02	1.00	0.01	3.31	2.59	—
D 4316	低 水 素 系		5.78	1.11	31.73	3.54	5.15	26.24	0.18	0.01	2.95	2.22	7.50
D 4327	鉄粉酸化鉄系		20.44	3.29	35.79	12.93	2.11	0.01	1.37	0.01	3.48	2.07	—

注：1)：3回の分析値の平均を示す、試料重量：約100mg

また、種々の表面処理物質を鋼板表面に塗布して用い、塗布しない場合との比較を行なった。表面処理物質としては、調合黒ペイント、ウオッシュプライマー（さび止め塗料）、ジंकクロメートプライマー（亜鉛含有塗料）およびグリースの4種類を用いた。

溶接電源としては、容量500Aの垂下特性の交流アー

2. 供試材料および溶接電源

本実験に使用した母材は、板厚6mmの軟鋼 SS41材で、その化学組成を第1表に示す。

第1表 供試母材の化学組成

供 試 材 料	板厚 (mm)	化 学 組 成 (wt.%)				
		C	Si	Mn	P	S
母材（軟鋼SS41）	6.0	0.18	0.04	0.69	0.014	0.021

被覆アーク溶接棒としては、棒径いずれも4.0、5.0および6.0mmのイルミナイト系(D 4301)、ライムチタニヤ系(D 4303)、高セルローズ系(D 4311)、高酸化チタン系(D 4313)、低水素系(D 4316)および鉄粉酸化鉄系(D 4327)の6種類の軟鋼用被覆アーク溶接棒を用いた。低水素系溶接棒は300～350℃、そのほかの被覆溶接棒はすべて70～100℃に1時間溶接前に乾燥した。これらの被覆アーク溶接棒の心線および溶接棒被覆の化学組成を第2表および第3表に示す。

ク溶接機を用いた。

3. 実験方法および実験結果

3-1 溶接ヒューム発生量の測定

実験装置としては、被覆溶接棒と母材との間隔および溶接棒の運棒角度を任意に保持することができ、かつ、溶接棒は軸方向にスライドさせることができる溶接棒保

持器を作製した。これを電動台車に取付け、自動的に走行させてシングルビードを溶接した。写真1はその外観を示したものである。

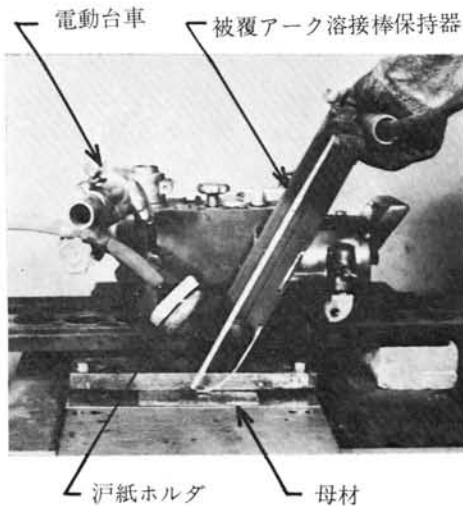


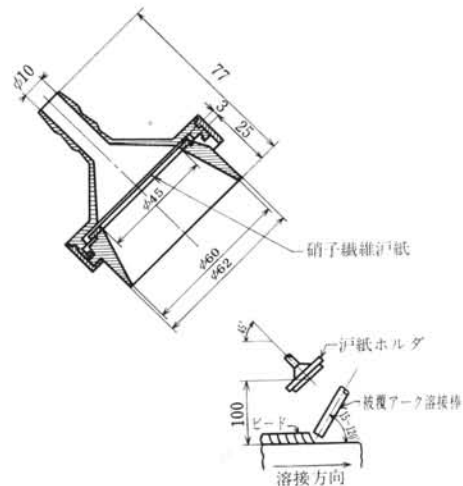
写真1 自動被覆アーク溶接装置



写真2 溶紙ホルダを用いた溶接ヒューム捕集装置

また、ヒューム発生量の測定方法としては、写真2に示す溶紙ホルダを用い、前述の各種被覆アーク溶接棒で、第1表に示す化学組成を有する板厚6mmの50×150mm短冊型無塗装鋼板（ミルスケールを平面研削盤で完全に除去し、表面が清浄な状態の鋼板）および前述の種々の表面処理物質を塗布した鋼板上にビード溶接した場合に発生するヒュームの重量を測定した。測定位置はアーク発生位置の直上100mmとし、第1図に示す内径45mmの溶紙ホルダを同図に示すように取付け、真空ポンプ（吸引速度55.0ℓ/min）を用いて一定量（10ℓ）

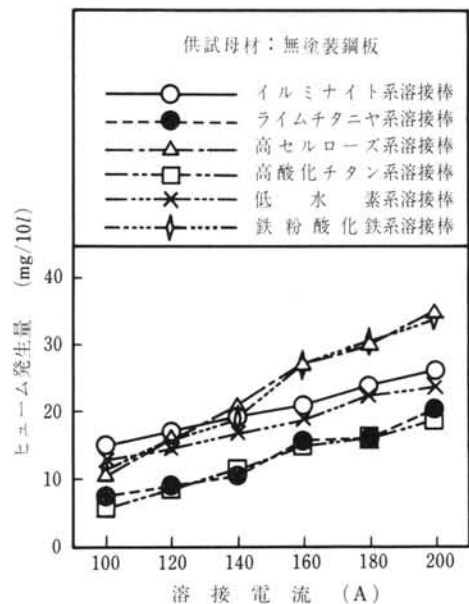
のヒュームを溶紙ホルダ内の硝子繊維溶紙（厚さ0.30mm、気孔径0.0080mmおよび繊維直径0.0003mm）を通して吸引し、吸引後溶紙ホルダから溶紙をはずし直ちに秤量した。なお、溶紙はデシケータ（常温常圧）中で24時間以上乾燥後秤量し、これを溶紙ホルダに取付けた。



第1図 溶紙ホルダの形状および寸法 単位:mm

(i) ヒューム発生量におよぼす溶接電流の影響

第2図は前述の各種被覆アーク溶接棒を用い、無塗装



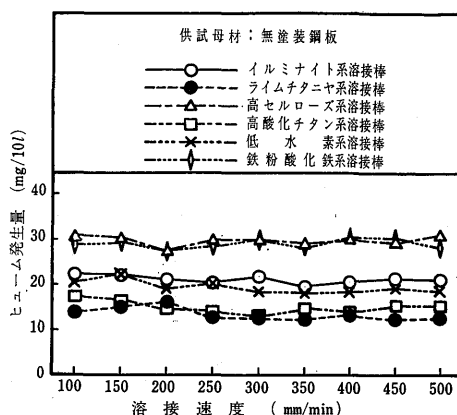
第2図 各種被覆アーク溶接棒によるヒューム発生量におよぼす溶接電流の影響

注：棒 径：4.0mm
アーク電圧：22~46V
溶接速度：200mm/min
運棒角度：60°

鋼板上にビード溶接した場合のヒューム発生量におよぼす溶接電流の影響を調べた結果を示す。いずれの溶接棒による場合も、溶接電流の増加とともにヒューム発生量はほぼ一様に増大する傾向が認められる。これは、溶接電流の増加はアークに与えるエネルギーの増加を意味し、アークが広がることによりアークの温度は上昇して、前述の蒸気の発生が多くなるためにヒュームの発生量も増加するものと思われる。また、各種被覆溶接棒によるヒューム発生量を比較すれば、溶接電流140A以上では被覆剤の相違による差は顕著で、高セルローズ系と鉄粉酸化鉄系溶接棒による場合は19.25~35.28mg/10ℓで最も多く、イルミナイト系と低水素系溶接棒による場合がこれに次ぎ、ライムチタニヤ系と高酸化チタン系溶接棒による場合が最も少なく10.60~20.75mg/10ℓの値である。

(ii) ヒューム発生量におよぼす溶接速度の影響

第3図は溶接電流160Aに一定として、溶接速度がヒューム発生量におよぼす影響を調べた結果を示す。いずれの溶接棒による場合も、溶接速度によるヒューム発生量の変化は余り認められない。しかし、被覆剤の相違による差は、第2図の場合と同様の傾向が認められる。



第3図 各種被覆アーク溶接棒によるヒューム発生量におよぼす溶接速度の影響

注：棒 径：4.0mm

溶 接 電 流：160A

アーク電圧：24~44V

運 棒 角 度：60°

第4表 無塗装鋼板による各種被覆アーク溶接棒の単位溶融量当りおよび単位時間当りのヒューム発生量

溶接棒の種類	被覆剤の系統	棒径 (mm)	鋼板の表面状態	ヒューム発生量※ (mg/1g溶接棒)	溶融速度※ (g/sec)	ヒューム発生量※ (mg/sec)
D 4301	イルミナイト系	4.0	無 塗 装	2.84	0.63	1.79
D 4303	ライムチタニヤ系			2.28	0.61	1.39
D 4311	高セルローズ系			4.09	0.57	2.33
D 4313	高酸化チタン系			2.31	0.58	1.34
D 4316	低 水 素 系			4.05	0.41	1.66
D 4327	鉄粉酸化鉄系			3.45	0.67	2.31

注：※：4回の測定値の平均を示す，溶接電流：160A，アーク電圧：24~44V，溶接速度：200mm/min，運棒角度：60°

第4表は溶接電流160Aの場合の各種被覆アーク溶接棒による無塗装鋼板のヒューム発生量を示したものである。同表によれば、高セルローズ系溶接棒の単位時間当りのヒューム発生量は、高酸化チタン系溶接棒による場合に比べ、約1.7倍の値を示し、被覆剤の相違による差は著しいことが認められる。

(iii) ヒューム発生量におよぼすアーク長の影響

第4図は溶接電流160A，溶接速度200mm/minに一定として、アーク長がヒューム発生量におよぼす影響を示す。いずれの溶接棒による場合も、アーク長の増加とともにヒューム発生量はわずかに増大する傾向が認められる。これは、アーク長を長くして溶接するとアーク電圧が高くなり、その上、アークが空気と接触しやすくなるためにヒューム発生量が増加するものと考えられる。ま

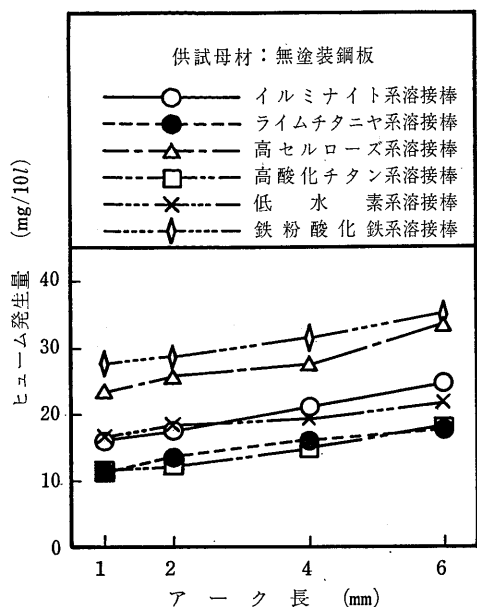
た、この場合も被覆剤の相違による差は、第2図および第3図の場合と同様の傾向が見られる。

(iv) ヒューム発生量におよぼす溶接棒の運棒角度の影響

第5図は溶接電流160A，溶接速度200mm/minに一定として、溶接棒の運棒角度がヒューム発生量におよぼす影響を示す。いずれの溶接棒による場合も、運棒角度が15~90°の範囲では、運棒角度の増加とともにヒューム発生量はわずかに減少する傾向を示し、90°以上の運棒角度においては、わずかに増大する傾向が見られる。

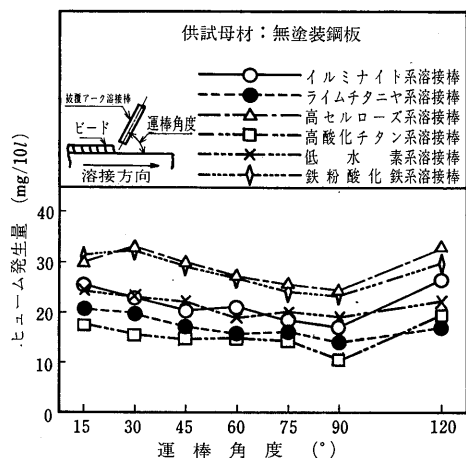
(v) ヒューム発生量におよぼす溶接棒径の影響

第5表は棒径いずれも4.0, 5.0および6.0mmの各種被覆アーク溶接棒を用い、それぞれの適正溶接条件で、無塗装鋼板上にビード溶接した場合の溶接棒の単位溶融量



第4図 各種被覆アーク溶接棒によるヒューム発生量におよぼすアーク長の影響

注：棒 径：4.0mm
溶接電流：160A
アーク電圧：24~50V
溶接速度：200mm/min
運棒角度：60°



第5図 各種被覆アーク溶接棒によるヒューム発生量におよぼす運棒角度の影響

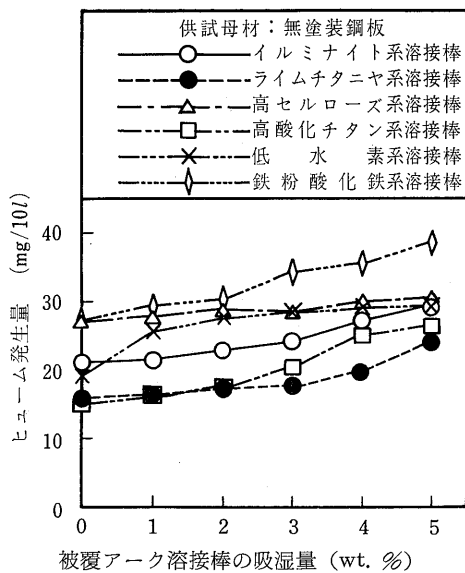
注：棒 径：4.0mm
溶接電流：160A
アーク電圧：24~48V
溶接速度：200mm/min

当りおよび単位時間当りのヒューム発生量を比較して示したものである。棒径5.0mmおよび6.0mmの各種被覆溶接棒の単位時間当りのヒューム発生量は、棒径4.0mmの場合に比べ、棒径5.0mmの場合約1.1~1.3倍、棒径6.0mmの場合約1.2~1.4倍の値を示し、溶接棒径の相違による差

第5表 無塗装鋼板による各種被覆アーク溶接棒の単位溶融量当りおよび単位時間当りのヒューム発生量

溶接棒の種類	被覆剤の系統	棒径 (mm)	鋼板の表面状態	溶接電流 (A)	アーク電圧 (V)	溶接速度 (mm/min)	ヒューム発生量※ (mg/1g溶接棒)	溶融速度※ (g/sec)	ヒューム発生量※ (mg/sec)
D 4301	イルミナイト系	4.0	無 塗 装	160	38~44	200	2.84	0.63	1.79
D 4303	ライムチタニヤ系			〃	34~40	〃	2.28	0.61	1.39
D 4311	高セルローズ系			〃	39~42	〃	4.09	0.57	2.33
D 4313	高酸化チタン系			〃	32~37	〃	2.31	0.58	1.34
D 4316	低水素系			〃	24~26	〃	4.05	0.41	1.66
D 4327	鉄粉酸化鉄系			〃	33~37	〃	3.45	0.67	2.31
D 4301	イルミナイト系	5.0	無 塗 装	210	36~44	250	2.75	0.80	2.20
D 4303	ライムチタニヤ系			〃	34~42	〃	2.28	0.76	1.73
D 4311	高セルローズ系			〃	36~44	〃	3.69	0.70	2.58
D 4313	高酸化チタン系			〃	32~38	〃	2.20	0.75	1.65
D 4316	低水素系			〃	22~28	〃	3.01	0.71	2.14
D 4327	鉄粉酸化鉄系			〃	30~36	〃	2.74	0.93	2.55
D 4301	イルミナイト系	6.0	無 塗 装	250	36~42	300	2.49	1.03	2.56
D 4303	ライムチタニヤ系			〃	34~42	〃	1.90	0.96	1.82
D 4313	高酸化チタン系			〃	30~38	〃	2.12	0.90	1.91
D 4316	低水素系			〃	24~32	〃	2.64	0.84	2.22
D 4327	鉄粉酸化鉄系			〃	32~36	〃	2.60	1.10	2.86

注：※：4回の測定値の平均を示す、運棒角度：60°



第6図 各種被覆アーク溶接棒によるヒューム発生量におよぼす溶接棒吸湿量の影響

注：棒 径：4.0mm
溶 接 電 流：160A
アーク電圧：24～44V
溶 接 速 度：200mm/min
運 棒 角 度：60°

は著しいことが認められる。

(vi) ヒューム発生量におよぼす被覆アーク溶接棒の吸湿量の影響

第6図は溶接電流160A、溶接速度 200mm/min に一定として、各種被覆アーク溶接棒の吸湿量がヒューム発生量におよぼす影響を示す。本実験においては、乾燥した

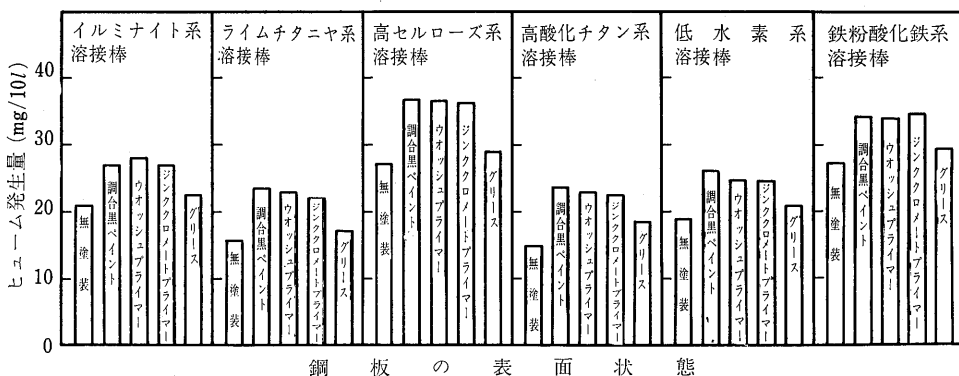
被覆溶接棒の吸湿前の重量測定後、屋外に放置あるいは水中に浸漬して吸湿させた後の重量を測定し、被覆剤重量に対する吸湿増加率を求め、これを吸湿量として推定したものである。イルミナイト系、ライムチタニヤ系、高セルローズ系、高酸化チタン系および鉄粉酸化鉄系溶接棒による場合は、吸湿量の増加とともにヒューム発生量はほぼ一様に増大する傾向が認められる。しかし、低水素系溶接棒による場合は、吸湿量が1%までは吸湿量の増加とともにヒューム発生量は著しく増大する傾向を示し、1%以上の吸湿量においては、わずかに増加する傾向が見られる。

(vii) ヒューム発生量におよぼす鋼板の表面処理物質の影響

鋼板表面は次のように処理し、種々の表面状態とした。

- 調合黒ペイント塗装鋼板：鋼板表面に調合黒ペイントを24時間間隔で2回塗布して、厚さ約0.1mmの様な塗膜をつくった。
- ウオッシュプライマー（さび止め塗料）塗装鋼板：鋼板表面にウオッシュプライマーを1時間間隔で6回塗布して、厚さ約0.1mmの様な塗膜をつくった。
- ジंकクロメートプライマー（亜鉛含有塗料）塗装鋼板：鋼板表面にジंकクロメートプライマーを1時間間隔で3回塗布して、厚さ約0.1mmの様な塗膜をつくった。
- グリース塗装鋼板：鋼板表面にグリースを塗布して、厚さ約0.1mmの様な塗膜をつくった。

第7図は溶接電流160A、溶接速度 200mm/min に一定



第7図 各種被覆アーク溶接棒によるヒューム発生量におよぼす鋼板の表面状態の影響

注：棒 径：4.0mm、溶 接 電 流：160A、アーク電圧：24～48V、
溶 接 速 度：200mm/min、運 棒 角 度：60°

として、各種被覆アーク溶接棒を用い、前述の種々の表面処理物質を塗布した鋼板上にビード溶接した場合のヒューム発生量を比較して示したものである。各種被覆溶接棒による調合黒ペイント、ウオッシュプライマーあるいはジンクロメートプライマー塗装鋼板のヒューム発生量は、イルミナイト系、ライムチタニヤ系、高セルローズ系、高酸化チタン系、低水素系および鉄粉酸化鉄系溶接棒による場合、それぞれ 26.78~28.15mg/10ℓ, 21.85~23.75mg/10ℓ, 36.40~36.68mg/10ℓ, 22.43~23.88mg/10ℓ, 24.60~26.23mg/10ℓ および 34.00~34.

85mg/10ℓ で、各種被覆溶接棒による無塗装鋼板のヒューム発生量に比べ、それぞれ約1.3倍, 1.4~1.5倍, 1.3倍, 1.5~1.6倍, 1.3~1.4倍および1.2~1.3倍の値を示している。しかし、グリース塗装鋼板のヒューム発生量は、イルミナイト系、ライムチタニヤ系、高セルローズ系、高酸化チタン系、低水素系および鉄粉酸化鉄系溶接棒による場合、それぞれ22.38mg/10ℓ, 17.10mg/10ℓ, 29.00mg/10ℓ, 18.40mg/10ℓ, 20.60mg/10ℓ および 29.55mg/10ℓ で、無塗装鋼板のヒューム発生量に比べ、それぞれ約1.1倍, 1.1倍, 1.1倍, 1.2倍, 1.1倍および1.1

第6表 塗装鋼板による各種被覆アーク溶接棒の単位溶融量当りおよび単位時間当りのヒューム発生量

溶接棒の種類	被覆剤の系統	棒径 (mm)	鋼板の表面状態	ヒューム発生量※ (mg/1g 溶接棒)	溶融速度※ (g/sec)	ヒューム発生量※ (mg/sec)
D 4301	イルミナイト系	4.0	調合黒ペイント塗装	3.68	0.65	2.39
			ウオッシュプライマー塗装	3.97	0.66	2.62
			ジンクロメートプライマー 塗装	3.76	0.66	2.48
			グリース塗装	2.91	0.67	1.95
			無塗装	2.84	0.63	1.79
D 4303	ライムチタニヤ系	4.0	調合黒ペイント塗装	3.64	0.61	2.22
			ウオッシュプライマー塗装	3.33	0.64	2.13
			ジンクロメートプライマー 塗装	3.43	0.61	2.09
			グリース塗装	2.50	0.62	1.55
			無塗装	2.28	0.61	1.39
D 4311	高セルローズ系	4.0	調合黒ペイント塗装	6.17	0.54	3.33
			ウオッシュプライマー塗装	6.00	0.56	3.36
			ジンクロメートプライマー 塗装	6.23	0.54	3.39
			グリース塗装	4.75	0.55	2.61
			無塗装	4.09	0.57	2.33
D 4313	高酸化チタン系	4.0	調合黒ペイント塗装	3.56	0.61	2.17
			ウオッシュプライマー塗装	3.23	0.64	2.10
			ジンクロメートプライマー 塗装	3.52	0.58	2.04
			グリース塗装	2.52	0.66	1.66
			無塗装	2.31	0.58	1.34
D 4316	低水素系	4.0	調合黒ペイント塗装	6.33	0.40	2.53
			ウオッシュプライマー塗装	5.53	0.43	2.38
			ジンクロメートプライマー 塗装	5.87	0.39	2.29
			グリース塗装	4.42	0.43	1.90
			無塗装	4.05	0.41	1.66
D 4327	鉄粉酸化鉄系	4.0	調合黒ペイント塗装	4.60	0.68	3.13
			ウオッシュプライマー塗装	4.16	0.74	3.08
			ジンクロメートプライマー 塗装	4.23	0.71	3.00
			グリース塗装	3.51	0.75	2.63
			無塗装	3.45	0.67	2.31

注：※：4回の測定値の平均を示す，塗膜の厚さ：約0.1mm，溶接電流：160A，アーク電圧：24~48V，溶接速度：200mm/min，運轉角度：60°

倍の値を示している。これは、銅板に塗布あるいは付着している物質もヒュームとなるためと考えられる。

第6表は溶接電流160A, 溶接速度200mm/minに一定として、各種被覆アーク溶接棒を用い、種々の表面処理物質を塗布した銅板上にビード溶接した場合の溶接棒の単位溶融量当りおよび単位時間当りのヒューム発生量を比較して示したものである。

3-2 電子顕微鏡による溶接ヒュームの観察

各種被覆アーク溶接棒による無塗装銅板および種々の表面処理物質を塗布した銅板の溶接時に発生するヒュームの電子顕微鏡観察を行なった。

電子顕微鏡観察用試料の採取にあたっては、写真3に示すヒューム採取装置を用い、溶接電流160A, 溶接速度200mm/minに一定として、棒径いずれも4.0mmの各種

被覆溶接棒により溶接箱中でアークを発生し、真空ポンプ(吸引速度55.0ℓ/min)を用いてデシケータ(試料採取容器)中へヒュームを吸引した。電子顕微鏡観察用試料はデシケータ内にシャーレを置き、その中に金蒸着を行なった直径5mmの真空蒸発用カーボンを入れ、10秒間溶接後吸引を停止し、さらに60秒間放置後、カーボンを入れたシャーレのふたを取り去り、20秒間自然に沈降させて試料とした。なお、試料はカーボンおよび金蒸着を行なった。電子顕微鏡として走査型電子顕微鏡(日本電子株式会社製 JSM-U3型)を用いた。

写真4は各種被覆アーク溶接棒による無塗装銅板の溶接時に発生するヒュームの電子顕微鏡写真を示す。イルミナイト系、ライムチタニヤ系、高セルローズ系、高酸化チタン系および鉄粉酸化鉄系溶接棒によるヒュームは、いずれも0.5μ以下の球状粒子が互に連鎖して樹枝状の大きな二次粒子となっている。これに対し、低水素系溶接棒によるヒュームは一般に形が小さく、粒子も単一の形状が多い。また、個別粒子は密集して比較的小さな二次粒子を形成している。

これらの写真から推察されることは、低水素系溶接棒によるヒュームが最も肺内に沈着されやすいであろうことで、低水素系溶接棒によるヒュームの有害性の大きな要因と考えられる。

写真5, 6および7はイルミナイト系、高酸化チタン系および低水素系溶接棒による調合黒ペイント、ウオッシュプライマー、ジंकクロメートプライマーおよびグ

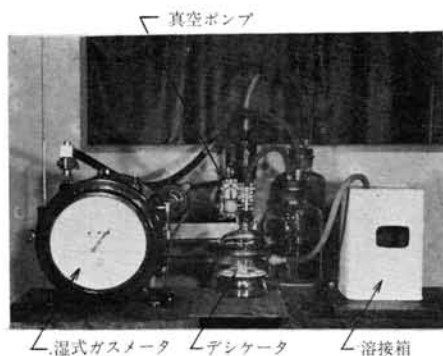


写真3 電子顕微鏡観察用ヒューム採取装置

第7表 各種被覆アーク溶接棒による無塗装銅板の溶接ヒュームの化学組成

溶接棒の種類	被覆材の系統	棒径 (mm)	銅板の表面状態	ヒューム発生量 (mg/sec)	化 学 組 成 ¹⁾ (wt. %)																																											
					SiO ₂				Al ₂ O ₃				Fe ₂ O ₃				MnO				TiO ₂				CaO				MgO				ZnO				Na ₂ O				K ₂ O				F ²⁾			
					可溶性	不溶性	可溶性	不溶性	可溶性	不溶性	可溶性	不溶性	可溶性	不溶性	可溶性	不溶性	可溶性	不溶性	可溶性	不溶性	可溶性	不溶性	可溶性	不溶性	可溶性	不溶性	可溶性	不溶性	可溶性	不溶性	可溶性	不溶性	可溶性	不溶性	可溶性	不溶性												
D 4 3 0 1	イルミナイト系	4.0	無 塗 装	1.79	tr.	15.79	tr.	0.45	1.54	48.97	0.57	0.44	tr.	1.43	tr.	0.15	0.01	0.28	0.04	0.33	4.88	3.21	1.57	2.14	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—												
D 4 3 0 3	ライムチタニヤ系			1.39	tr.	18.39	tr.	0.45	1.69	43.43	0.46	0.58	tr.	3.94	tr.	0.12	0.04	0.65	0.01	0.10	7.53	3.57	2.06	3.38	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—													
D 4 3 1 1	高セルローズ系			2.33	tr.	17.70	tr.	0.38	2.40	37.23	0.23	3.07	tr.	1.25	tr.	0.14	0.03	0.47	0.01	0.15	4.84	4.42	1.34	2.88	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—												
D 4 3 1 3	高酸化チタン系			1.34	tr.	19.87	tr.	0.42	1.40	38.79	0.45	4.63	tr.	2.45	tr.	0.17	0.02	0.25	0.01	0.16	7.36	2.32	2.30	1.13	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—												
D 4 3 1 6	鉄 粉 水 素 系			1.66	tr.	3.73	tr.	0.30	0.02	23.43	0.09	0.54	tr.	1.44	0.05	0.07	0.02	0.18	tr.	0.15	8.81	4.68	11.11	0.06	7.66	6.42	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—												
D 4 3 2 7	鉄粉酸化鉄系			2.31	tr.	19.74	tr.	0.41	1.87	58.40	0.62	2.60	tr.	0.74	tr.	0.19	0.03	0.24	0.01	0.12	4.97	3.35	2.31	3.05	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—												

注: 1) 1) 3回の分析値の平均を示す。試料量: 約50mg。溶接電流: 160A。アーク電圧: 24~44V。溶接速度: 200mm/min。溶接角度: 60°

第8表 各種被覆アーク溶接棒による塗装銅板の溶接ヒュームの化学組成

溶接棒の種類	被覆材の系統	棒径 (mm)	銅板の表面状態	ヒューム発生量 (mg/sec)	化 学 組 成 ¹⁾ (wt. %)																																											
					SiO ₂				Al ₂ O ₃				Fe ₂ O ₃				MnO				TiO ₂				CaO				MgO				ZnO				Na ₂ O				K ₂ O				F ²⁾			
					可溶性	不溶性	可溶性	不溶性	可溶性	不溶性	可溶性	不溶性	可溶性	不溶性	可溶性	不溶性	可溶性	不溶性	可溶性	不溶性	可溶性	不溶性	可溶性	不溶性	可溶性	不溶性	可溶性	不溶性	可溶性	不溶性	可溶性	不溶性	可溶性	不溶性	可溶性	不溶性												
D 4301	イルミナイト系	4.0	調合黒ペイント	2.39	tr.	15.46	tr.	0.37	1.66	42.95	0.53	9.55	tr.	1.54	0.01	0.38	0.01	0.74	0.02	0.19	3.83	6.71	2.21	4.85	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—												
			ウオッシュプライマー	2.62	tr.	16.85	tr.	0.39	1.06	41.27	0.51	9.11	tr.	1.41	0.01	0.23	0.01	1.11	0.32	7.21	3.80	6.41	1.69	5.47	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—												
			ジंकクロメートプライマー	2.48	tr.	15.90	tr.	0.31	1.56	35.71	0.48	9.07	tr.	1.77	0.01	0.21	0.02	2.72	0.57	9.11	3.27	5.66	1.43	5.12	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—												
			グリース塗装	1.95	tr.	14.28	tr.	0.61	1.60	44.50	0.51	9.28	tr.	1.40	0.01	0.33	0.01	1.61	0.01	0.16	3.54	5.42	1.81	7.42	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—												
			無塗装	1.79	tr.	15.79	tr.	0.45	1.54	48.97	0.57	9.44	tr.	1.43	tr.	0.15	0.01	0.26	0.04	0.33	4.88	3.21	3.37	2.14	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—												
D 4313	高酸化チタン系	4.0	調合黒ペイント	2.17	tr.	19.04	tr.	0.69	1.21	31.26	0.43	4.64	tr.	2.52	0.03	0.66	0.01	0.63	0.01	0.03	5.79	8.09	3.17	2.18	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—												
			ウオッシュプライマー	2.10	tr.	20.81	tr.	0.66	1.10	28.59	0.43	4.98	tr.	2.03	0.01	0.14	0.01	1.14	0.77	8.72	4.41	5.85	2.24	8.20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—												
			ジंकクロメートプライマー	2.04	tr.	19.20	tr.	0.58	1.09	26.00	0.40	3.85	tr.	2.63	0.01	0.13	0.01	3.01	1.32	12.27	4.36	6.40	2.31	4.48	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—												
			グリース塗装	1.66	tr.	18.00	tr.	0.41	1.12	31.45	0.42	4.49	tr.	2.30	0.01	0.32	0.02	1.72	0.01	0.08	4.16	6.73	3.12	6.23	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—												
			無塗装	1.34	tr.	19.87	tr.	0.42	1.40	38.79	0.45	4.63	tr.	2.45	tr.	0.17	0.02	0.25	0.01	0.16	7.36	2.23	3.13	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—												
D 4316	低水素系	4.0	調合黒ペイント	2.53	tr.	3.83	tr.	0.56	0.02	18.57	0.01	0.86	tr.	1.63	0.06	16.10	0.02	0.59	tr.	0.10	7.23	3.74	22.14	5.63	6.38	5.71	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—											
			ウオッシュプライマー	2.38	tr.	3.86	tr.	0.68	0.02	15.28	0.01	5.47	tr.	1.83	0.07	13.98	0.01	0.76	0.01	0.49	8.20	23.17	7.48	6.55	5.89	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—											
			ジंकクロメートプライマー	2.29	tr.	3.36	tr.	0.53	0.01	12.34	0.01	5.16	tr.	1.68	0.06	12.57	0.02	0.25	0.01	0.05	4.63	2.75	0.59	4.83	5.57	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—												
			グリース塗装	1.90	tr.	3.13	tr.	0.57	0.04	20.41	0.01	5.77	tr.	1.51	0.09	19.55	0.04	0.79	tr.	0.19	3.75	3.46	22.33	6.90	7.24	6.13	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—												
			無塗装	1.66	tr.	3.73	tr.	0.30	0.02	23.43	0.09	0.54	tr.	1.44	0.05	9.07	0.03	0.18	tr.	0.15	8.81	4.68	18.11	6.06	7.66	6.66	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—												

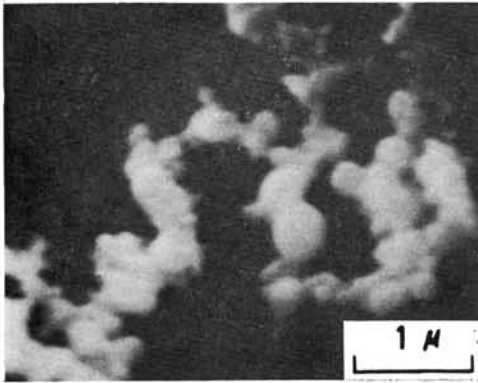
注: 1) 1) 3回の分析値の平均を示す。塗層の厚さ: 約0.1mm。試料量: 約50mg。溶接電流: 160A。アーク電圧: 24~44V。溶接速度: 200mm/min。溶接角度: 60°

リース塗装鋼板の溶接時に発生するヒュームの電子顕微鏡写真を示す。いずれの塗装鋼板から発生するヒュームも、使用溶接棒の種類にかかわらず一般に形状は複雑で、ヒューム粒子は極小のものから樹枝状に大きく連鎖

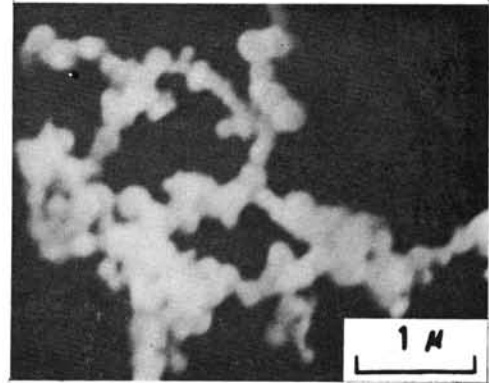
しているものまで多種多様である。

3-3 溶接ヒュームの化学分析

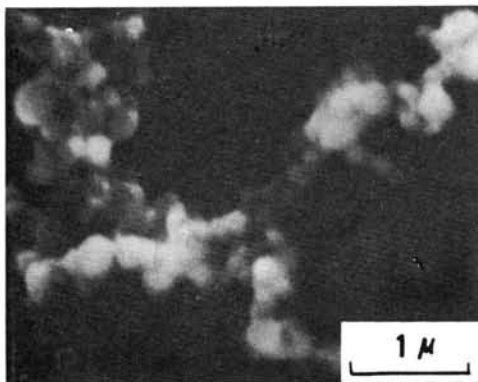
各種被覆アーク溶接棒による溶接時に発生するヒューム量の測定の際に、汙紙ホルダ内の汙紙に付着したヒューム



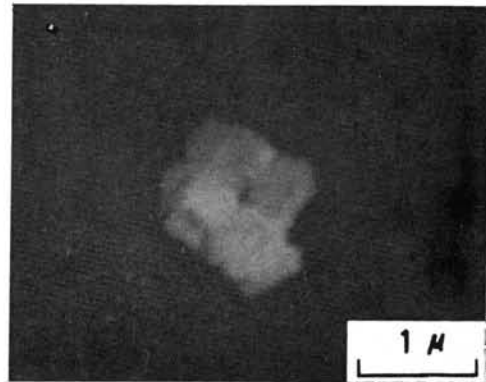
(a) イルミナイト系溶接棒



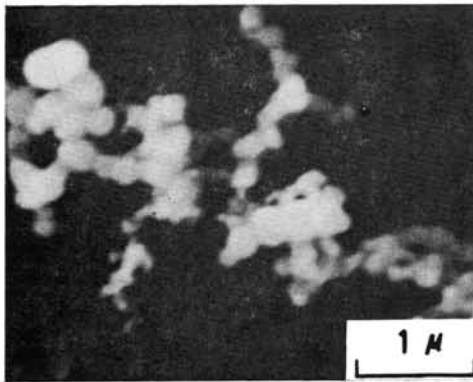
(d) 高酸化チタン系溶接棒



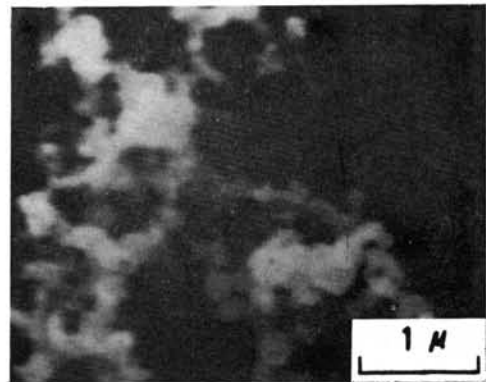
(b) ライムチタニヤ系溶接棒



(e) 低水素系溶接棒



(c) 高セルローズ系溶接棒



(f) 鉄粉酸化鉄系溶接棒

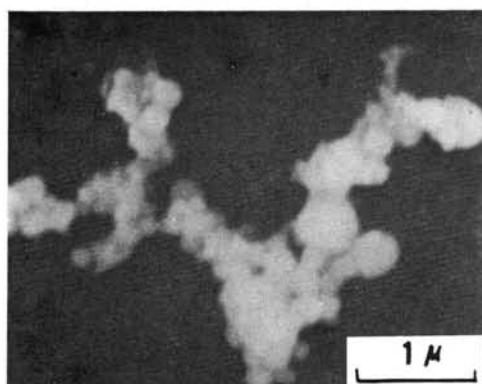
写真4 各種被覆アーク溶接棒による無塗装鋼板のビード溶接時に発生したヒュームの電子顕微鏡写真 ($\times 20000 \times 45$)

ームの化学分析を行なった。溶接ヒューム中の SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MnO , TiO_2 , CaO , MgO , ZnO , Na_2O および K_2O の分析は原子吸光光度法で, F^- の分析はジルコニウム-アリザリン法により行なった。

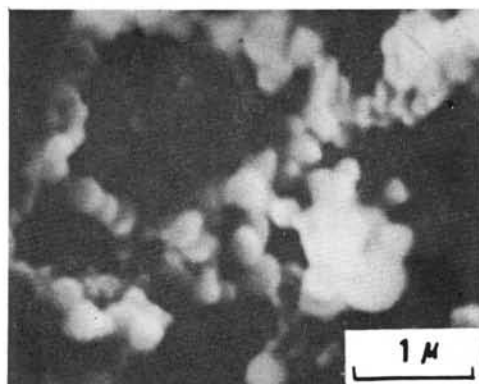
第7表は溶接電流160A, 溶接速度200mm/min の場合の各種被覆アーク溶接棒による無塗装鋼板の溶接時に発生するヒュームの分析値の一例を示す。鉄鋼の溶接では酸化鉄(Fe_2O_3)がヒュームの主成分であろうことは容易に推察できることであるが, 著者らが別に行なっている研究⁴⁾によれば, フラックスを用いない CO_2 あるいは $\text{CO}_2\text{-O}_2$ アーク溶接では約67%が酸化鉄である。被覆アーク溶接では, 溶接棒被覆の組成がヒュームの組成に大きく影響しており, Fe_2O_3 の量は低水素系以外の溶接棒による場合40.19~60.27%で, 低水素系溶接棒による場合23.65%の値まで減少している。ほかに低水素系溶接棒によるヒュームの特色は, スラグ生成成分としての螢石(CaF_2)に起因するフッ素(F^-)を14.08%含

でいること, アルカリ成分(Na_2O , K_2O)の含有量が多いこと, CaO が多く(9.12%), SiO_2 が少ない(3.73%)こと, また, それらに起因する水に可溶な成分が著しく多い(約35%)ことで, 組成のこのような特異性もヒュームの有害性の度合を左右するものと考えられる。

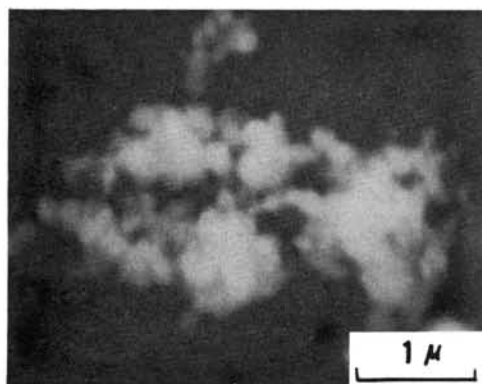
第8表は溶接電流160A, 溶接速度200mm/minに一定として, イルミナイト系, 高酸化チタン系および低水素系溶接棒を用い, 前述の各種表面処理物質を塗布した鋼板の溶接時に発生するヒュームの分析値の一例を示す。ウオッシュプライマーおよびジंकクロメートプライマー塗装鋼板から発生するヒュームは, ZnO をそれぞれ6.50~9.49%および8.02~13.59%含んでいるが, 調合黒ペイントおよびグリース塗装鋼板から発生するヒュームには ZnO はほとんど含まれていない。また, K_2O の含有量は, 無塗装鋼板のヒューム中の K_2O の量(3.71~22.17%)に比べ, いずれの溶接棒および塗装鋼板の場合も高い値(6.53~28.65%)を示している。これは



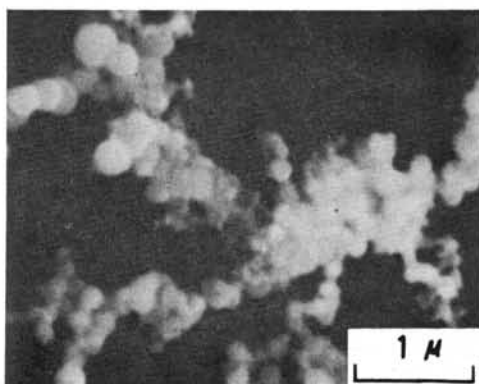
(a) 調合黒ペイント塗装



(c) ジंकクロメートプライマー塗装

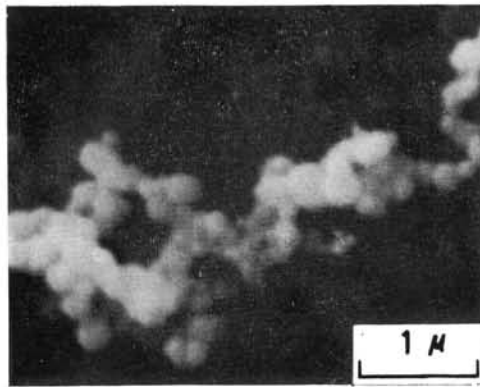


(b) ウオッシュプライマー塗装

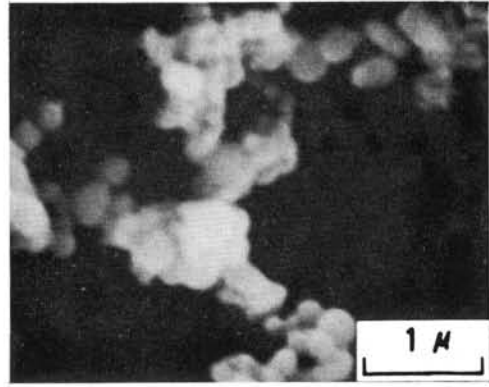


(d) グリース塗装

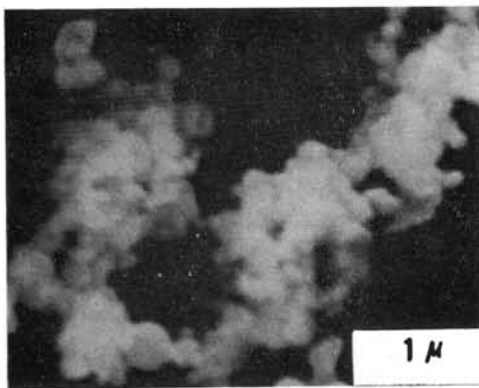
写真5 イルミナイト系溶接棒による各種塗装鋼板のビード溶接時に発生したヒュームの電子顕微鏡写真 ($\times 20000 \times 45$)



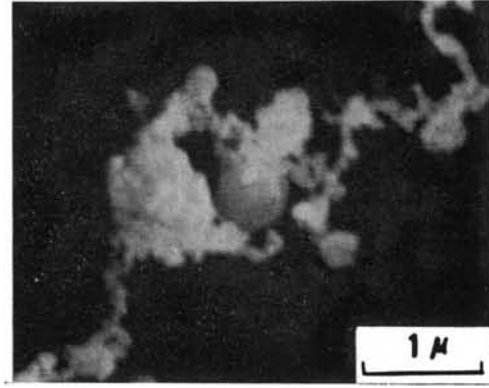
(a) 調合黒ペイント塗装



(c) ジンクロメートプライマー塗装



(b) ウオッシュプライマー塗装



(d) グリース塗装

写真6 高酸化チタン系溶接棒による各種塗装鋼板のビード溶接時に発生したヒュームの電子顕微鏡写真(×20000×45)

鋼板表面に塗布あるいは付着している物質もヒュームとなるためと思われる。

亜鉛メッキ鋼板の溶接など有害なヒュームを発生するアーク溶接については、ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists)の勧告する値が有名で、溶接ヒュームに対する許容濃度を、たとえば鉄ヒューム $10\text{mg}/\text{m}^3$ 、酸化亜鉛ヒューム $5\text{mg}/\text{m}^3$ 、マンガ $5\text{mg}/\text{m}^3$ 、酸化カルシウム $5\text{mg}/\text{m}^3$ 、フッ化物 $2.5\text{mg}/\text{m}^3$ と規定している⁵⁾。

4. 結 言

各種軟鋼用被覆アーク溶接棒による無塗装および塗装鋼板の溶接時に発生するヒュームに関する諸実験を行ない、次の結論を得た。

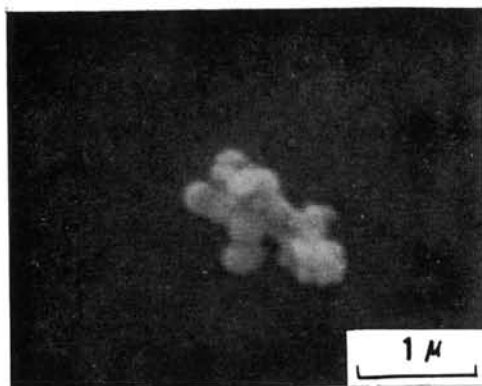
(1) 各種被覆アーク溶接棒による無塗装鋼板のヒューム発生量は、いずれの溶接棒による場合も、溶接電流、アーク長、溶接棒径および溶接棒の吸湿量の増加とともに増大する傾向が認められた。しかし、溶接速度による

ヒューム発生量の変化はほとんど認められなかった。

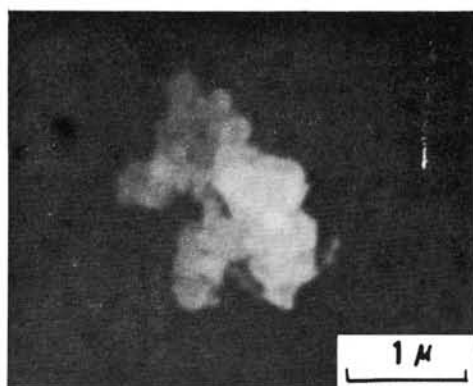
(2) 各種被覆アーク溶接棒による無塗装および塗装鋼板のヒューム発生量は、塗装の有無にかかわらず、高セルローズ系と鉄粉酸化鉄系溶接棒による場合が最も多く、イルミナイト系と低水素系溶接棒による場合がこれに次ぎ、ライムチタニヤ系と高酸化チタン系溶接棒による場合が最も少ない。

(3) 各種被覆アーク溶接棒による調合黒ペイント、ウオッシュプライマーおよびジンクロメートプライマー塗装鋼板のヒューム発生量は、いずれの溶接棒による場合も、無塗装鋼板の場合に比べ、著しく多い(約1.2～1.6倍)ことが認められた。

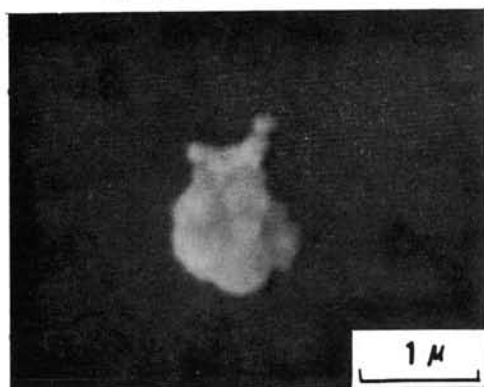
(4) 無塗装鋼板から発生するヒュームは、低水素系溶接棒による場合は一般に形が小さく、粒子も単一の形状が多い。また、個別粒子は密集して比較的小さな二次粒子を形成している。これに対し、ほかの被覆アーク溶接棒によるヒュームは、いずれも 0.5μ 以下の球状粒子が



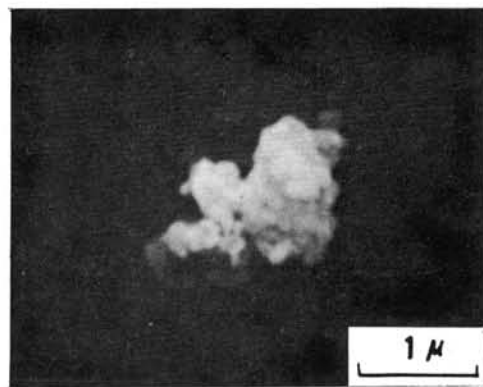
(a) 調合黒ペイント塗装



(c) ジンクロメートプライマー塗装



(b) ウォッシュプライマー塗装



(d) グリース塗装

写真7 低水素系溶接棒による各種塗装鋼板のビード溶接時に発生したヒュームの電子顕微鏡写真
($\times 20000 \times 45$)

互に連鎖して樹枝状の大きな粒子となっている。また、種々の塗装鋼板から発生するヒュームは、使用溶接棒の種類にかかわらず一般に形状は複雑で、ヒューム粒子は極小のものから樹枝状に大きく連鎖しているものまで多種多様である。

(5) 低水素系溶接棒によるヒューム中の F^- 、 CaO 、 Na_2O および K_2O の含有量は、ほかの被覆アーク溶接棒による場合に比べ、著しく多量で、また、それらに起因する水に可溶な成分も著しく多い(約35%)。

本研究は、昭和49年度本学特別研究費の交付により行なわれたことを特に記し、本学関係者各位に対し深甚の謝意を表します。また、本実験の遂行に際して熱心に協力された本学機械工学科卒業研究学生小川信吾君、片山

明君、加藤功君、斉藤輝久君、阪上辰彦君および長谷川武秀君に謝意を表する。

参 考 文 献

- 1) A. Fogh, J. Forst, J. Georg, G. Vinter: "Report on a Danish investigation into the health and working environment of arc welders" *Welding in the World*, Vol. 10, (1972), No.3/4.
- 2) E. N. Gregory: "Arc Welding of Galvanized Steel" *Sheet Metal Industries*, No.7, (1968)
- 3) H. B. Cary: "Basics of safety in arc welding" *Machinery*, Vol. 79, (1973)
- 4) 益本, 松田, 長谷川: "亜鉛メッキ鋼板のアーク溶接", 溶接学会誌, 第42巻(1973), 第12号
- 5) 多田: "ACGIH(1965)の有害物許容濃度表", 労研維持会資料, No.398, 1967.