

アルミニウム合金のミグ溶接時に発生するスマットが 溶接継手に与える影響

Influence of Smut Generated during MIG Welding of Aluminum Alloys on Welded Joints

高橋 潤也, 中島 均, 宇都宮 昭弘, 藤井 信之

Jyunya Takahashi, Hitoshi Nakashima, Akihiro Utsunomiya and Nobuyuki Fujii

1. はじめに

5000系アルミニウム合金のミグ溶接では、スマット(黒い粉末状の物質)が発生することが知られている。このスマットに関しては、1998~1999年にかけて軽金属溶接協会の施工法委員会で詳しく検討が行われている^[1-3]。その中で、スマットが溶接部の機械的強度に与える影響についてもすでに検討が行われ、「多層溶接を行う場合、前のパスで発生したスマットを除去しなくても、溶接継手強度に変化を及ぼさない」と結論付けている。しかし、その際に対比された試験片数は各2本であったことから、実験に参加していた研究者からも更なる試験片数が欲しかったとの声を聴く機会があった。

ここでは、信頼性の確認を目的に、スマットの有無における試験片を各々20本作製し、機械的特性への影響について検討を試みた。

2. 施工法委員会の報告（溶接継手強度への影響）^[3]

以下が当時行われた実験内容と結果である。

板厚 8 mm×板幅 100 mm×板長さ 200 mm の A5083P-O を供試材とし、A5183-WY(径 1.6 mm)の溶接ワイヤを用いて、片面から2パスのミグ溶接を行った。

1パス目の溶接で発生したスマットをそのままに残して2パス目の溶接を行った場合と、1パス目に発生したスマットをワイヤブラッシングで除去してから2パス目

の溶接を行った場合について、継手引張試験を行った。表1は、JIS5号試験片による継手引張試験結果を示したものであり、1パス目のスマットの残存の有無による継手強度の差は認められない。以上のことから、(中略)溶接継手強度に変化を及ぼさないことが明らかとなった。

3. 実験

3.1 概要

突合せ溶接試験片を作製し、その試験片に対しX線透過試験を実施した。そして溶接欠陥が無いことを確認した突合せ溶接試験片から引張試験片及び曲げ試験片を作製した。その後、引張試験及び曲げ試験を実施し、スマットの有無による機械的特性の差異について検討した。

引張試験については、JIS Z 3121(突合せ溶接継手の引張試験方法)^[4]に準拠し行った。曲げ試験については、JIS Z 3122(突合せ溶接継手の曲げ試験方法)^[5]に基づき側曲げ試験を実施した。側曲げ試験を採用した理由は、表曲げ及び裏曲げ試験に比べ、ビード間のポロシティ、割れ及び融合不良の溶接欠陥を発見し易いためである。

3.2 試験材料

本実験ではアルミニウム合金 A5083P-O 材を用いた。試験片寸法を図1に、化学成分を表2に示す。試験片板厚については、スマットの有無による溶接部への影響を

表1 引張試験結果(A5083P-O, 8.0 mm 片面2パス溶接)

資料 No.	引張強さ (MPa)	耐力 (MPa)	伸び (%)	破断位置
母材	312	156	24.4	—
1パス目のスマット削除	293	138	20.4	溶接金属
1パス目のスマット有り	284	137	19.6	溶接金属
2-1	296	137	21.6	溶接金属
2-2	281	135	18.4	溶接金属

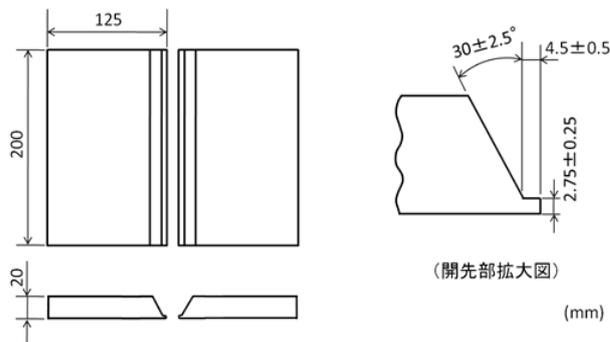


図1 試験片寸法

表2 A5083P-O 化学成分 (wt %)

	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Al
A5083P-O	0.09	0.25	0.02	0.62	4.5	0.08	0.04	0.02	残

表3 A5183-WY φ1.2 mm 化学成分 (wt %)

	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Al
A5183-WY	MAX 0.40	MAX 0.40	MAX 0.10	0.50-1.0	4.3-5.2	0.050-0.25	MAX 0.25	MAX 0.15	残

生じさせ易くするために、多層溶接を考慮し 20 mm を採用した。

溶接ワイヤには、A5183-WY-φ1.2 mm を用いた⁶⁾。化学成分を表3に示す。ポロシティの発生を防ぐため、新品の物を使用し、溶接終了時には直ちにワイヤを送給装置から取外しデシケータで保管、以降の試験片作製に備えた。

3.3 突合せ溶接試験片の作製

溶接機にはデジタルインバータ制御式ミグ溶接機((株)ダイヘン製DP350)、走行装置には溶接走行キャリッジ(マツモト機械(株)製 MAKO-Z2 型)を使用している。

前処理として、溶接を行う際、溶接部の表・裏面及び接合面をアセトンで脱脂洗浄した。その後ワイヤブラシで酸化被膜を取り除き、再びアセトンによる脱脂洗浄を行った。

突合せ溶接試験片の作製では、冷やし金治具に試験材料を取付け、溶接トーチを走行装置に固定し、下向き姿勢の5層7パス溶接を行った。溶接を行った雰囲気については、湿度60%以下を保った⁷⁻⁸⁾。

図2に実験装置を、表4に突合せ溶接条件⁹⁾を示す。表中、運搬法のSはストリング、Wはウィーピングを表す。スマット無しの試験片については、1パスずつ溶接が終わるごとに、ワイヤブラシを用いてスマットを除去しビードを重ねた。スマット有りの試験片については、何も処理することなくビードを重ねた。

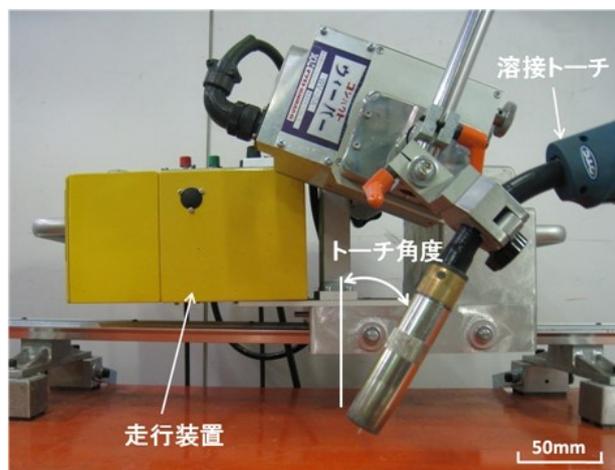


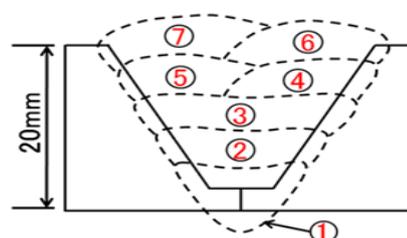
図2 実験装置

表4 突合せ溶接試験片作製条件

溶接姿勢	下向き
ワイヤ突出し長さ	約15 mm
アーク長	3~4 mm
Ar ガス流量	15 l/min
トーチ角度	90°

パス	運棒法	溶接電流	溶接速度	振幅	周波数
1	S	200 A	200 mm/min		
2	W	200 A	200 mm/min	7.5 mm	0.6 Hz
3	W	200 A	200 mm/min	12.5 mm	0.6 Hz
4	W	200 A	230 mm/min	7.5 mm	0.6 Hz
5	W	200 A	230 mm/min	7.5 mm	0.6 Hz
6	W	200 A	230 mm/min	10 mm	0.6 Hz
7	W	200 A	290 mm/min	10 mm	0.6 Hz

(層数及びパス数)



3.4 X線透過試験

3.3 で作製した突合せ溶接試験片については、JIS Z 3105(アルミニウム溶接継手の放射線透過試験方法)¹⁰⁾に基づき、溶接欠陥の有無を確認した。X線透過装置として、携帯式工業用X線検査装置(理学電機(株)製 ラジオフレックス RF-100GSB)を、X線フィルムにはSTRUCTURI X 07PB を使用した。表5にX線透過試験撮影条件を示す。

表5 X線透過試験撮影条件

管電圧	80 kV
管電流	5 mA
露出時間	1.8 min
現像温度	20 ± 1°C
現像時間	5 min
定着時間	5 min

3.5 引張試験片及び曲げ試験片の作製

引張試験片及び曲げ試験片については3.3で作製した1つの突合せ溶接試験片から各々2本採取し、各々計20本作製した。採取位置を図3に示す。採取位置については、JIS Z 3811(アルミニウム溶接技術検定における試験方法及び判定基準)¹¹⁾を基に決定した。

次に採取した試験片を図4のように加工した。引張試験片寸法については、突合せ溶接試験片の板厚が20 mmであったため、JIS Z 3121 1A号試験片で規定されて

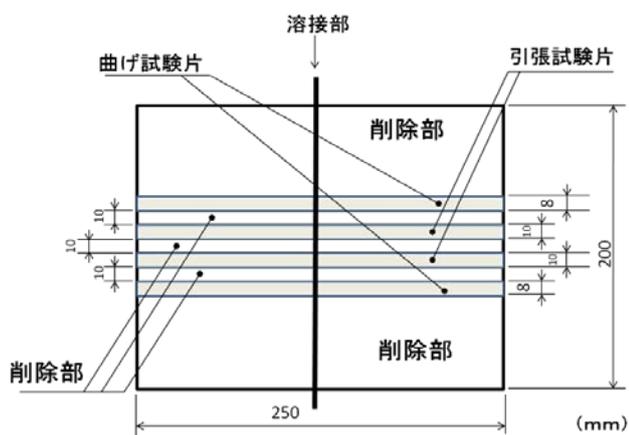
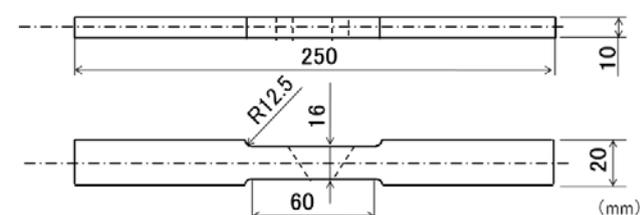
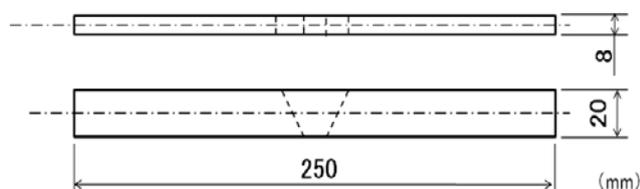


図3 突合せ溶接試験片における引張試験片及び曲げ試験片採取位置



(a) 引張試験片



(b) 曲げ試験片

図4 引張試験片及び曲げ試験片寸法

いる試験片幅 12 mm をより広く取り 16 mm とした。曲げ試験片寸法については、JIS Z 3811 に基づいている。

4. 結果及び考察

本実験では、溶接層数 5 層(7 パス)で突合せ試験片を作製した。施工法委員会で報告された試験片は 2 層(2 パス)で作製されたものである。よって、今回作製された試験片は、よりスマットの影響を受け易いと考えられる。スマット無しにおける引張試験結果を表 6 に、スマット有りにおける引張試験結果を表 7 に示す。

平均値、標準偏差はスマット無しで 299 ± 8.4 MPa、スマット有りで 297 ± 8.0 MPa、破断は全て溶接金属から生じていた。母材の引張強度については 3 本試験し、平均値、標準偏差は 340 ± 2.5 MPa であった。図 5 に纏めた引張試験結果を示す。以上の結果から、委員会報告^[3]と同様に、スマットの有無により引張強度に差は認められないという結論に至った。一方、委員会報告^[3]における継手効率は、スマットの有無にかかわらず約 92 % であったが、

表 6 スマット無し試験片の引張試験結果

試験片番号	引張強度 (MPa)	破断位置
1	294	溶接金属
2	287	溶接金属
3	286	溶接金属
4	286	溶接金属
5	289	溶接金属
6	297	溶接金属
7	291	溶接金属
8	295	溶接金属
9	306	溶接金属
10	317	溶接金属
11	300	溶接金属
12	310	溶接金属
13	302	溶接金属
14	306	溶接金属
15	306	溶接金属
16	301	溶接金属
17	302	溶接金属
18	303	溶接金属
19	301	溶接金属
20	301	溶接金属
平均	299	
標準偏差	8.37	
継手効率(%)	87.9	

表 7 スマット有り試験片の引張試験結果

試験片番号	引張強度 (MPa)	破断位置
1	290	溶接金属
2	291	溶接金属
3	281	溶接金属
4	281	溶接金属
5	287	溶接金属
6	288	溶接金属
7	297	溶接金属
8	295	溶接金属
9	299	溶接金属
10	301	溶接金属
11	301	溶接金属
12	298	溶接金属
13	299	溶接金属
14	304	溶接金属
15	302	溶接金属
16	303	溶接金属
17	310	溶接金属
18	303	溶接金属
19	306	溶接金属
20	299	溶接金属
平均	297	
標準偏差	8.02	
継手効率(%)	87.3	

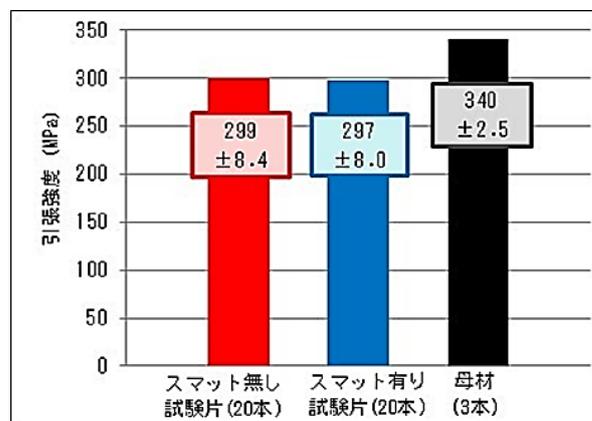


図5 引張試験結果

今回のそれは約 87~88 % とやや低い傾向を示した。この理由については、層数・パス数による溶融金属量の増加に伴う確率的要因や軟化がより進んだためと考えている。

図 6 に曲げ試験(側曲げ試験)結果の例を示す。

スマットの有無による試験片各 20 本を作製後、側曲げ試験を実施した。その後、JIS Z 3811 の判定基準による以下の 4 項目について評価を行った。(i) 割れが 3.0 mm 以下である。(ii) 3.0 mm 以下の割れの合計長さが 7.0 mm 以下である。(iii) ブローホール、割れの数 10 個以下である。(iv) アンダカット、溶込み不良、介在物、酸化物の巻込みなどが著しくないか。

その結果、スマットの有無にかかわらず、全試験片に

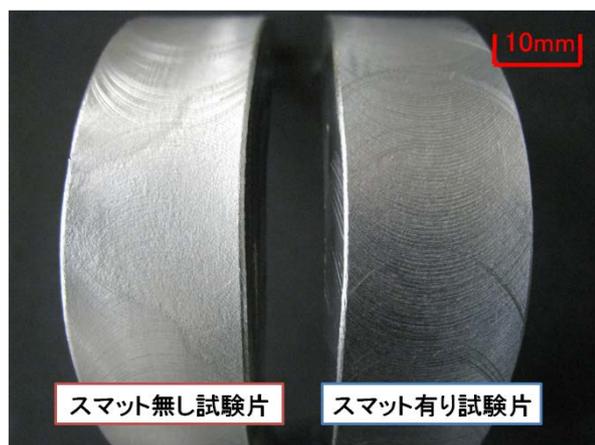
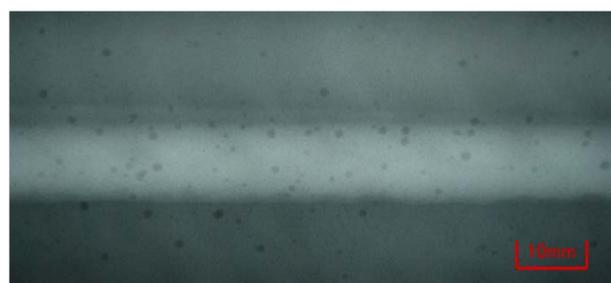


図6 曲げ試験結果の例

において合格基準が満たされていた。委員会報告^[3]の中では、曲げ試験は行われていなかった。しかし、引張試験同様、曲げ特性にも差異は認められなかった。

本実験前にスマットと融合不良の関係を問う体験談を聞いたことがあった。しかし、溶接電流 200 A を使用した場合、全試験片において融合不良が生じることは無かった。融合不良は溶接電流が低いため、あるいはトーチ角度やトーチ運搬法などの施工法に問題があったため生じたと考えられる。

以上のように、スマットの有無において溶接部の機械的特性に差異は生じないことが確認された。しかし、湿度については考慮すべき点があった。図7に湿度約 80 % の環境で作製した突合せ溶接試験片の X 線透過試験フィルムを、図8に湿度約 50 % の環境で作製したそれを示す。



(溶接条件は表4である)

図7 X線透過試験フィルム(湿度約 80%)



(溶接条件は表4である)

図8 X線透過試験フィルム(湿度約 50%)

両試験片ともにスマット有りで作製されたものである。湿度以外の溶接条件は全て同じである。図7ではポロシティが大量発生しているが、図8ではポロシティがほぼ無いことが確認できる。スマットは粉末状の物質であるため水分を吸収しやすい特性を有していると思われる。湿度約 80 % の環境では水分を吸収し易く、また、溶融アルミニウム中の水素溶解度は凝固時に 1/20 に激減、凝固速度が速いため、気泡の放出が妨げられる^[12-13]。これらのことから、高い湿度では、放出できなかった水分が大量に残り、ポロシティが生じたものと考えられる。今回の突合せ溶接試験片作製に当たり、各ビード間の溶接休止時間は最大で約 1 分である。湿度については十分考慮すべき課題である。

5. まとめ

- 1) 引張試験及び曲げ試験結果により、スマットの有無によって溶接部の引張強度及び曲げ性能に差異は認められなかった。
- 2) スマットと融合不良の関係も認められなかった。
- 3) 湿度が高い環境での溶接では、スマットの有無によってポロシティの発生量に差が生じた。湿度が高い環境でのスマットには十分な注意が必要である。

注

この資料は、2015年1月に発行された「軽金属溶接」に技術報告として掲載された内容を再構成したものである。

参考文献

- [1] (社) 軽金属溶接構造協会 施工法委員会：アルミニウム合金の MIG 溶接時に発生するスマットの研究(その1), 軽金属溶接, Vol.36, No.9(1998).
- [2] (社) 軽金属溶接構造協会 施工法委員会：アルミニウム合金の MIG 溶接時に発生するスマットの研究(その2), 軽金属溶接, Vol.36, No.10(1998).
- [3] (社) 軽金属溶接構造協会 施工法委員会：アルミニウム合金の MIG 溶接時に発生するスマットの研究(その3), 軽金属溶接, Vol.37, No.3(1999).
- [4] 日本規格協会：JIS Z 3121 突合せ溶接継手の引張試験方法(1993)。
- [5] 日本規格協会：JIS Z 3122 突合せ溶接継手の曲げ試験方法(1990)。
- [6] 寺本富彦：気孔の生成におよぼす施工条件の影響, 軽金属溶接, No.112(1972)。
- [7] 阪口章, 中山繁, 神崎信行：アルミニウム合金溶接部の気孔発生に及ぼすシールド条件の影響, 軽金属溶接

接, No.137(1974).

- [8] 内田彰：アルミニウム溶接における気泡の発生と原因, 軽金属溶接, No.4 (1963).
- [9] 斎藤伸自：デジタルパルスミグ溶接機を用いたアルミニウム合金の溶接—溶接技術検定における推奨溶接条件の検討—, 職業能力開発総合大学校研究論文 (2011) .
- [10] 日本規格協会：JIS Z 3105 アルミニウム溶接継手の放射線透過試験方法 (2003).
- [11] 日本規格協会：JIS Z 3811 アルミニウム溶接技術検定における試験方法及び判定基準 (2000) .
- [12] 接合・溶接技術 Q&A1000 編集委員会：接合・溶接技術 Q&A1000 株式会社産業技術サービスセンター (1999).
- [13] 蓑田和之, 入沢敏夫：アルミニウム合金溶接部の気孔が機械的性質に及ぼす影響, 軽金属溶接, Vol.14, No.4(1976).

(原稿受付 2019/XX/XX, 受理 2019/YY/YY)

*高橋 潤也, 修士 (工学)

職業能力開発総合大学校, 能力開発院, 〒187-0035 東京都小平市小川西町 2-32-1 email:j-takahashi@uitech.ac.jp
Jyunya Takahashi, Faculty of Human Resources Development,
Polytechnic University of Japan, 2-32-1 Ogawa-Nishi-Machi,
Kodaira, Tokyo 187-0035.

*中島 均, 博士 (環境科学)

職業能力開発総合大学校, 能力開発院, 〒187-0035 東京都小平市小川西町 2-32-1 email:nakashima@uitech.ac.jp
Hitoshi Nakashima, Faculty of Human Resources Development,
Polytechnic University of Japan, 2-32-1 Ogawa-Nishi-Machi,
Kodaira, Tokyo 187-0035.

*宇都宮 昭弘, 学士 (工学)

静岡職業能力開発促進センター, 〒422-8033 静岡県静岡市駿河区登呂 3-1-35 email:Utsunomiya.Akihiro@jeed.or.jp
Akihiro Utsunomiya, Shizuoka Polytechnic Center, 3-1-35 Surugaku-Toro, Shizuoka, Shizuoka 422-8033.

*藤井 信之, 博士 (工学)

職業能力開発総合大学校, 能力開発院, 〒187-0035 東京都小平市小川西町 2-32-1 email:nfujii@uitech.ac.jp
Nobuyuki Fujii, Faculty of Human Resources Development,
Polytechnic University of Japan, 2-32-1 Ogawa-Nishi-Machi, Kodaira,
Tokyo 187-0035.