射出成形機部品用材料とその表面処理

荒木田 豊*¹、三浦 毅*²

Materials and Their Surface Treatment for
Injection Molding Machine Parts

Yutaka ARAKIDA*¹, Tsuyoshi MIURA*²

成形材料の多様化にともなう射出成形機部品の損傷問題を取りあげ、
主要な成形機部品用材料およびそれらの表面処理法の選択の仕方および
開発状況について紹介する。

1. まえがき

たとえばガラス繊維入りプラスチック（GFRP）のような充填材を混入したプラスチックを射出成形すると、成形機部品のスクリーやシリンダが、写真1および写真2に示すように、しばしば短期間のうちに著しく腐食もしくは磨耗される。この問題はGFRPの生産量の増加¹⁾にともなって、かなり早くから指摘されていたものであり²⁾、内外においてその損傷機構の究明と対策とに関する研究が続けられている^{3) 4)}。

その後、工業製品による事故からユーザーを保

護するため制定されたUL規格の運用の強化⁵⁾にともない、GFRPをも含むプラスチックの難燃化、金属粉末やセラミックス粉末などの充填によるプラスチックの機能化が活発に行われるようになり、前者では腐食、後者では磨耗の問題が一層クローズアップされている。

とくに最近注目をあびてきた、エンジニアリングセラミックス部品の製造プロセスへの射出成形機の応用においては、その部品の耐食・耐磨耗への考慮なくしては、その実用が考えられないほど条件が厳しくなっている。

このように成形材料の変遷はめまぐるしく、それに即応して成形機部品用材料およびその表面処

写真1 磨耗したスクリー

写真2 磨耗したシリンダー

*¹ ㈱日本製鋼所機械電子技術研究所 所長 工博
*² 同上 第2研究室
〒736 広島市安芸区船越南1-6-1
☎ 082-281-1211

* The Japan Steel Works, Ltd.
6-1, Funakoshi-minami 1-chome, Aki-ku,
Hiroshima-shi, Hiroshima 736

理の開発が活発に行われてきた。

本稿では、射出成形機のスクリーやシリンダなど重要部品に充当されるべき材料とその表面処理法がどのように選択され、開発されてきたかについて述べ、参考に供したい。

2. 射出成形機部品の損傷機構の解析

成形機部品の損傷問題の発端となったのはABS樹脂が急速に普及しはじめた1967年頃で、それを射出成形する窒化処理したスクリーやシリンダの流体輸送域がABS樹脂の添加剤などの熱劣化で生成した脂肪酸などによって腐食される⁶⁾というものであった。

その後GFRPによる、引き続いて難燃化GFRP

による、さらに最近ではセラミックス調合物による成形機部品の損傷問題が発生し、それらの損傷形態の分析⁷⁾⁸⁾が行われてきた。

表1は、当社が製造販売した射出成形機において経験した、充填材入りプラスチックによるスクリーやシリンダなどの損傷形態を総括したものである。

表1にみられるように、スクリーやシリンダなどの損傷部位、損傷形態および損傷程度は、成形する充填材入りプラスチックによって異なる。後述する各種充填材入りプラスチックの損傷性評価の結果から裏付けられるように、損傷性のもっとも著しいものはセラミックス調合物である。

表1 射出成形機部品の損傷形態

充填材入り樹脂	機械部品	損傷部位	損傷形態	損傷程度
GFRP	スクリー	固体輸送域 遷移域 流体輸送域	研磨耗 研磨耗 エロージョン	中 中 小
	シリンダ	固体輸送域 遷移域 流体輸送域	研磨耗 研磨耗 エロージョン	小 小 小
	逆流防止リング	押金との接触面 外周面	圧潰→エロージョン 凝着磨耗→エロージョン	中 中
難燃化GFRP	スクリー	固体輸送域 遷移域 流体輸送域	腐食・研磨耗 研磨耗 エロージョン・コロージョン	大 中 中
	シリンダ	固体輸送域 遷移域 流体輸送域	腐食 研磨耗 エロージョン・コロージョン	大 中 大
	逆流防止リング	押金との接触面 外周面	圧潰→エロージョン コロージョン 凝着磨耗→エロージョン コロージョン	大 中
セラミックス調合物	スクリー	固体輸送域 遷移域 流体輸送域	研磨耗 研磨耗 エロージョン	特大 大 大
	シリンダ	固体輸送域 遷移域 流体輸送域	研磨耗 研磨耗 エロージョン	大 大 大
	逆流防止リング	押金との接触面 外周面	圧潰→エロージョン 凝着磨耗→エロージョン	特大 特大

3. 損傷性評価法

当社では、成形機部品の損傷機構の解析によって得られた知見にもとづいて独自に考案した図1に示した腐食試験装置および図2に示した研磨耗試験機⁷⁾を用いてプラスチックや充填材入りプ

図1 腐食試験装置と試験片

図2 研磨耗試験機と試験片

ラスチックスの腐食性および研磨耗性を評価し、成形機部品用材料およびその表面処理の適否の選択、さらには新材料を開発するためのデータの蓄積をはかっている。

腐食性の評価は、図1に示すような20φ×3mmのSCM 440 鋼製円板を、研磨耗性の評価は、図2に示すような56φ(外径)×40φ(内径)×18mmのSCM440鋼製円板を、研磨耗性の評価は、図2に示すような56φ(外径)×40φ(内径)×18mmのSCM440鋼製リングを試験片として行っている。

4. 充填材入りプラスチックの損傷性

表2⁷⁾は、図1および図2に示した腐食試験装置および研磨耗試験機を用いて評価した、各種充填材入りプラスチックの腐食性および研磨耗性を示す。

表2にみられるように、充填材入りプラスチックの損傷性は、充填材の種類や含有量によって著しく異なる。すなわち難燃化GFRP (RGPA)の腐食性は大きく、また非常に硬く(モース硬さ9.3)、写真3に示すように鋭い角をもつアルミナを多量(90wt%)に含むプラスチック(A-PP)の研磨耗性は著しく大きい。射出成形プロセスに用いるセラミックスに流動性を付与するためにプラスチックなどを加えたセラミックス調合物の多くは、このタイプに属する。

表1および表2にみられるように、成形機部品の損傷形態および成形材料の損傷性はいろいろ異

表2 各種充填材入りプラスチックの腐食性と研磨耗性

分 類	供 試 プ ラ ス チ ッ ク ス			SCM 440 鋼 の 腐 食 率 (mdd)	SCM 440 鋼の 研 磨 耗 減 量 (mg/hr)
	ベースプラス チックスの種類	充 填 材			
		種 類	含有率(%)		
G-PC	PC	ガラス繊維	30	4.2	2.04
RG-PA	PA _{6,6}	ガラス繊維+難燃剤	30	2130	1.20
C-PE	LDPE	カーボン	30	15.5	0.01
T-PP	PP	タルク	40	増 量	0.08
A-PP	PP	Al ₂ O ₃	90	増 量	144.00
F-PP	PP	主にFe ₂ O ₃	40	増 量	3.84
S-PPE	HDPE+APP	シラスセラミックス	75	増 量	1.38
T-PA	PA _{6,6}	タルク	20	2.6	0.50
F-PA	PA _{6,6}	Fe ₂ O ₃	60	0	1.50

写真3 アルミナ入りAPPのSEM像
左)×3000, 右)×9000

なるので、コストや製造難易性などを十分に考慮して、材料およびその表面処理法の選択を行わねばならない。すなわち表3は射出成形機部品に適用の可能性がある耐食・耐磨耗方策の総括である。これらの方策の目的に応じた選択の適正化とその早期実用化が望まれるゆえんである。

5. 主要部品の材料およびその表面処理

5-1 スクリュー材料およびその表面処理

充填材を含まない一般のプラスチックの成形

では、クロムめっき処理を行った鋼や、窒化処理を行った鋼で多くの場合十分な寿命を確保できるが、ガラス繊維（GF）や難燃剤のように研磨耗性や腐食性を有する物質を含むプラスチック、GFRPやセラミックス調合物などの場合には、これらの使用初期にこそ一応の成績を示すものの、硬化有効層が薄いので（高々0.2mm）、早晩めっき層あるいは窒化層が摩滅して、その後は加速的にダメージが進行し、十分な寿命を期待できない⁸⁾。また腐食性環境がこれに加わると、ピンホールからの局部アタックやエロージョンの相乗作用により損耗が加速され、短期間に寿命に達する。

この対策として、図2に示した研磨耗試験機を用いてのGF（30wt%）入りPA6.6に対する各種金属材料および表面処理層の耐研磨耗性の評価試験を行ったが、それらの結果を表4に示す。これらの結果にもとづいて、スクリュー材質およびその表面処理法が選択される。

プラズマ溶射法によって、硬質金属をスクリュー表面に被覆しようとする試みは古くからあった⁹⁾が、溶射皮膜ははく落する⁹⁾という問題があった。

プラズマ溶射よりも粉末の噴射速度が大きいガス爆燃溶射法¹⁰⁾によって硬質金属を被覆させたスクリューは、アメリカで採用された例がある¹¹⁾。しかし、本処理法もプラズマ溶射法と同様に、溶射皮膜の加工、とくに固体輸送域の溶射皮膜の磨きに問題があり、まだあまり普及されていない。

表3 充填材入りプラスチック成形機部品の硬化方策

類 別	種 別	内 容	実用性
薄い層を硬化	め っ き 法	複合めっき(NiP+SiC)	△
		物理蒸着(イオンプレーティング)	×
	溶 射 法	プラズマ溶射, ガス爆燃溶射	△
かなり厚い層を硬化	ハードフェーシング	溶接肉盛, ガス溶射	△
	鋳 造 法	遠心鋳造	○
全体を硬化	焼 入 れ, 焼 も ど し	合金工具鋼およびその改良品	○
	焼 結 法	硬質合金焼結	△

○ 実用済
△ 試作検討中あるいは一部実用化
× アイディア段階

表4 ガラス繊維(30%)入りPA_{6,6}に対する各種金属材料および表面処理層の耐研磨耗性

金 属 材 料		SCM 440 鋼に対する 相 対 耐 研 磨 耗 度
母 材	処 理	
SCM 440	焼入れ、焼もどし	1.0
SCM 440	クロムめっき処理	5.1
SCM 440	複合めっき(NiP+SiC)処理	6.2
SACM 645	窒化処理	7.1
SNCM 415	浸炭処理	5.0
S 35 C	ホウ化処理	4.2
SUS 403	プラズマ溶射処理(メテコ 72 F)	15.6
SUS 403	ガス爆燃溶射処理(LW-1N)	21.3
SUS 403	ステライト No. 1 溶接肉盛	10.8
SUS 440 C	焼入れ、焼もどし	6.2
LS 2 ^{注)}	焼入れ、焼もどし	10.2

注) ㈱日本製鋼所開発スクリュー材

表4にみられるように、クロムめっき処理面よりも耐研磨耗性がすぐれている複合めっきは、GF入りポリアミドの成形に有用である¹²⁾といわれている。しかし本処理法で得られるめっき皮膜の厚さは、クロムめっき法でのそれと同様に薄いので、大幅な寿命の増大は望めないとみられる。

いっぽうガス溶射法⁹⁾¹³⁾や溶接肉盛法¹⁴⁾で、スクリュー表面に硬質金属をかなり厚く(0.5~2mm)被覆することが試みられている。また、このような処理法に適する新しい硬質金属¹⁴⁾も開発されている。ただこれらのスクリューは、硬質金属をスクリューの全面に被覆すると、スクリュー表層部が高温になるためスクリュー母材の材力が低下し、大きなトルクがかけられないので、用途が限られる点を考慮する必要がある。

またスクリューのねじ山頂部をこれらの方法で硬化し、他の部分をめっき被覆あるいは窒化処理したスクリュー¹⁵⁾があるが、前述したように薄い硬化層が存在し、その部分の寿命によりスクリュー全体の寿命が決まってしまう場合が多いので使いにくい。

以上のような背景を踏まえて、当社においてはスクリューの深部まで硬化が可能で、表4に示されているようにその硬化部の耐研磨耗性が非常にすぐれているために、高性能化が期待できるスクリュー材“LS2”を開発⁸⁾した。

写真4は“LS2”スクリューの断面組織を示

写真4 LS2の断面顕微鏡組織 ×400

したものである。写真4にみられるように、このスクリューは緻密な焼もどしマルテンサイト中に、潤沢な残留炭化物を均一に分散させたもので、これらの炭化物がすぐれた耐磨耗性をもたらす。

“LS2”スクリューは、GFRPの成形にはもちろんのこと、セラミックス調合物の成形に用いても有効である⁸⁾¹⁶⁾ことが実証されている。

5-2 シリンダ材料およびその表面処理

一般のプラスチック材料の成形に用いられる、いわゆる標準シリンダは窒化処理を行った鋼である。しかし、GFRPの生産量の増加とともにシリンダの損傷問題も増えてきたために、1960年代の終り頃にはアメリカでは、全射出成形機の75%がシリンダ内面に硬質金属をかなり厚く(1~3mm)被覆したバイメタリックシリンダになっ

表5 各社のバイメタリックシリンダの成分と硬さ

商品名と社名	ライニング材	特 性	主 成 分	硬さ(H _R C)
<NALLOY> 日本製鋼所(日本)	NALLOY 50	耐磨耗, 耐食	Ni+Co+Cr+B	45 ~ 50
	NALLOY 60	耐磨耗	Fe+Ni+B	58 ~ 64
	NALLOY 60 S	耐磨耗, 耐食	Ni+Cr+B	55 ~ 60
	NALLOY 80 C	高耐磨耗, 耐食	Fe・Cr・B+Ni	53 ~ 65
<H-ALOY> 日立金属(日本)	H-10	耐磨耗	Fe+Ni+B	55 ~ 63
	H-50	耐磨耗, 耐食	Co+Cr+B	50 ~ 59
<REILOY> Reiloy Metal(西独)	REILOY 112	耐磨耗	Fe+Ni+B	64
	REILOY 200	耐磨耗, 耐食	Co+Ni+Cr+W+B	59
<XALOY> Xaloy(アメリカ)	XALOY 101	耐磨耗	Fe+Ni+B	58 ~ 64
	XALOY 306	耐磨耗, 耐食	Ni+Co+Cr+B	48 ~ 54
	XALOY 800	高耐磨耗, 耐食	WC+Ni	50 ~ 64
<BERNEX> Berna-Bernex(スイス)	A 110	耐磨耗	Fe+Ni+Cr+B	60 ~ 66
	C 240	耐磨耗, 耐食	Ni+Co+Cr+B	49 ~ 53
<BRUX> Brookes(イギリス)	BRUX 100	耐磨耗	Fe+Cr+B	58 ~ 64
	BRUX 600	耐磨耗, 耐食	Ni+Co+B	48 ~ 54

た¹⁷⁾。これに対しわが国では、バイメタリックシリンダの普及は比較的おくれしていた¹⁸⁾。

しかし現在ではGFRPなどの充填材入りプラスチックの成形には、バイメタリックシリンダがかなりの率で用いられるようになっている。現在一般に使用されている、主要なバイメタリックシリンダの成分と硬さを表5に示す。

表5にみられるように、バイメタリックシリンダのライニング材は、それらの特性によって3つに大別される。1つはFe基合金で、高硬度で耐磨耗性にすぐれているが、耐食性に劣るものである。2つめは、Ni基、Co基あるいはNi-Co基にCrおよびBを添加して、耐磨耗性と耐食性を兼備したものである。3つめは、Ni基に硬質粒子を分散させることによって、非常にすぐれた耐磨耗性と耐食性とを与えたものである。

代表的なものとしては、当社が東洋鋼板㈱と共同で開発した“NALLOY80C¹⁹⁾”がある。それをライニングした硬化層の断面組織を写真5に示す。この組織はNi基合金のマトリックス中に、非常に硬いFeCrB粒子(Hv1300~2000)を均一に分散させたものであり、これらがすぐれた耐磨耗性をもたらす。

表6は当社が自社製のN70型射出成形機に各種

写真5 NALLOY80Cの断面顕微鏡組織
×200

のシリンダを装着し、GFを30%含むPA6.6を成形し、それらの実用性を評価した結果である。

表6にみられるように、いずれのバイメタリックシリンダも窒化処理したシリンダに比べて耐磨耗性がすぐれており、バイメタリックシリンダでは、Fe基合金の“NALLOY60”，Ni-Co基合金の“NALLOY50”，Ni基合金の“NALLOY60S”，Ni基合金のマトリックス中にFeCrB粒子を分散させた“NALLOY80C”の順に耐磨耗性が向上している。

とくに硬質粒子分散強化タイプの“NALLOY80C”の耐磨耗性はすぐれており、これはセラミ

表6 ガラス繊維(30%)入りPA_{6.6}を成形した時のシリンダの寿命

シリンダの材質		成形プラスチック(トン)	シリンダ径の増大量(mm)	備 考
窒 化 処 理 鋼		1.6	0.28	使 用 不 能
バイ メ タ リ ッ ク シ リ ン ダ	NALLOY50	4.6	0.28	使 用 不 能
	NALLOY60	2.4	0.28	使 用 不 能
	NALLOY60S	5.8	0.022	使 用 中 推定成形可能プラスチック量(70トン)
	NALLOY80C	25.5	0.05	使 用 中 推定成形可能プラスチック量(150トン)

ックス射出成形機に用いても、実用性が十分にあることが確認されている¹⁶⁾。

成形材料の磨耗性が増大するにつれて、“NALLOY80C”のような硬質粒子分散タイプのバイメタリックシリンダが、今後ますます普及するものと思われるが、この種のシリンダでも、分散させる粒子の材質や形状によって、それ自身の耐磨耗性は同じでも、相手に与えるダメージの大きさには差があることに注意すべきである。

すなわち丸味のあるFeCrB粒子を分散させたものの方が、角ばったWCを分散させたものよりも相手材を傷つけない⁸⁾¹⁹⁾。このことはシリンダと逆流防止リングとの隙間が成形能力に大きく影響を与える²⁰⁾射出成形機にとっては重要である。

5-3 逆流防止リング材料およびその表面処理

逆流防止リングは、射出時に可塑化された成形材料が後方に逆流しないようにするためのチェックバルブの機能を果たす重要な部品である。しかしこのように重要な部品であるにもかかわらず、その損傷問題および対策を記述した文献はあまり見あたらない。GFを30%含むPA6.6の成形において、逆流防止リングの外周面に厚くクロムめっき処理することで磨耗が軽減される²⁾という報告が唯一であろうか。

一般にGFRPの成形の場合には、スクリーと同様に深部まで硬化できるタイプ、たとえば“LS2”が用いられている。しかし最近では、セラミックス調合物のような損傷性の著しい材料を成形することが要求されてきており¹⁶⁾、このような場合には“LS2”でも十分な性能を発揮する

ことができない。

そこでこのような場合には、たとえばFe基複合ホウ化物系硬質焼結合金⁸⁾製の逆流防止リングを用いる。本合金は相手材を傷めない⁸⁾特徴も兼備しており、その効果が期待されている。

6. あとがき

GFRPによるスクリーやシリンダなどの磨耗問題に端を発し、損傷機構の解析、その知見にもとづいて製作された試験装置を用いての材料の評価、得られた結果にもとづいて試作されたスクリーやシリンダの実用評価について述べた。

今後は、さらに伸展するであろうエンジニアリングセラミックス部品の製造プロセスに入り込んで多様化する種々の材料の射出成形に充分対応できるよう、表面処理も含めたより新しい材料の開発が一層望まれる。

またそれと同時に、当然のことながら部材が磨耗されにくい構造²⁰⁾の設計としておくことも必要であることを銘記すべきである。

参 考 文 献

- 1) F. Schumann : Rein. Plast. Congr., 241 (1978).
- 2) R. Ireland: British Plastics, **43**, (2), 75 (1970).
- 3) (社)日本産業機械工業会 プラスチック機械部会: プラスチック機械用スクリーの耐磨耗性に関する調査研究補助事業報告書, 76 (1969).
- 4) G. Lenze: PV, **25**, (4, 6) 209, 347 (1974).
- 5) 西沢 仁: 工業材料, **29**, (6), 19 (1981).

- 6) 三浦 毅: 第27回合成樹脂工業技術発表講演会講演要録, 89 (1981).
- 7) 三浦 毅: 第26回合成樹脂工業技術発表講演会講演要録, 41 (1980).
- 8) 荒木田 豊・近藤嘉一: 金属, **58**, (7), 13 (1983).
- 9) E. Lehmann, H. Salzmann: Kunststoffe, **62**, (1), 10 (1972).
- 10) 田中 清: 金属材料, 11 [3] 52
- 11) M. Naitove: Union Carbide Technical Report, (2), (1978).
- 12) 大竹了雄: 合成樹脂, **28**, (5), 16 (1982).
- 13) G. Thursfield: Modern Plastics, **52**, (10), 94 (1975).
- 14) W.W. McCandless, W.D. Maddy: Plastics Technology, (2) 92 (1981).
- 15) P. Lülsdort: VDI-Bildungswerk, [BW3019] 10.
- 16) 荒木田 豊: 工業材料, **31** (3), 85 (1983).
- 17) W.W. McCandless: Industrie-Anzeiger, **21**, (3), 577 (1969).
- 18) G. Thursfield (大井 章訳): Plastics Age, (4) 85 (1976).
- 19) 三浦 毅, 荒木田 豊, 近藤嘉一, 井手恒幸: 公開特許公報, 昭55-65342.
- 20) 三浦 毅, 大越俊治: 実用新案公報, 昭54-8130.

統計処理プリンター機能付

電解式メッキ膜厚計

モデルGP-08、G-07

新型GP-08は、従来の器械に全自動統計処理プリンターを内蔵し、増々、便利になりました。G-07は計算器が付いており、校正計算、統計処理等の計算(プリント)が簡単に出来ます。

モデル GP-08

モデル G-07

膜厚計の総合メーカー販売輸出 / 英国エルコメーター社総輸入元
電測工業株式会社
 ELEC FINE INSTRUMENTS CO., LTD.
 東京都中野区中央2-47-1 電話(03) 365-0861(代表)
 テレックス 232-3131