

【射出成形金型の取付研究-その1】

2023年6月28日

ビジネス・ソリューション・スクエア株式会社

佃 昇

1. はじめに

射出成形用金型を射出成形機に取り付ける作業に関して、その内容を分析し、取付に使用する機械要素や治具類についての仕様上の差などを明らかにし、金型取付作業標準の内容充実、向上に寄与したく本稿を作成した。

2. 金型を取り巻く力学的環境

金型には<表-2.1.>に示した 6つ の力が作用する。

金型を安全に使用するためにはこれらの力の中で①～④の力を管理する必要がある。

【表 2-1. 金型に作用する力】

番号	記号	力の内容
①	N	金型締付力;金型をプラテン面に締付ける力
②	F_m	金型質量; W_m に作用する重力
③	F_{fr}	プラテン金型取付面と金型ベースプレートとの間の摩擦力
④	F_{op}	型開力;金型を開こうとする力
	F_{clp}	型締力;金型を締付ける力
	F_{inj}	射出力;樹脂圧に応じて金型を開こうとする力

2. 1. 4つの力

1) 金型締付力;N

金型をプラテン面に締付ける(取り付ける)力。基本は、プラテンパンチ面に設け

られたねじ穴を利用してボルトで止められる方式とし、 N はボルトの締付により発生する軸力である。ボルトの数は、固定側、可動側とも 4 本で止めることを前提とする。ねじサイズは、プラテンねじ径欄に示した 3 種類 (M12, 16, 20) である。

2) 金型重力; F_m

使用する成形機で定められている搭載可能な最大金型質量 W_m に作用する重力 F_m が求められる。なお、 W と F の添え字 mm 及び mf はそれぞれ可動プラテン側と固定プラテン側とを指す。

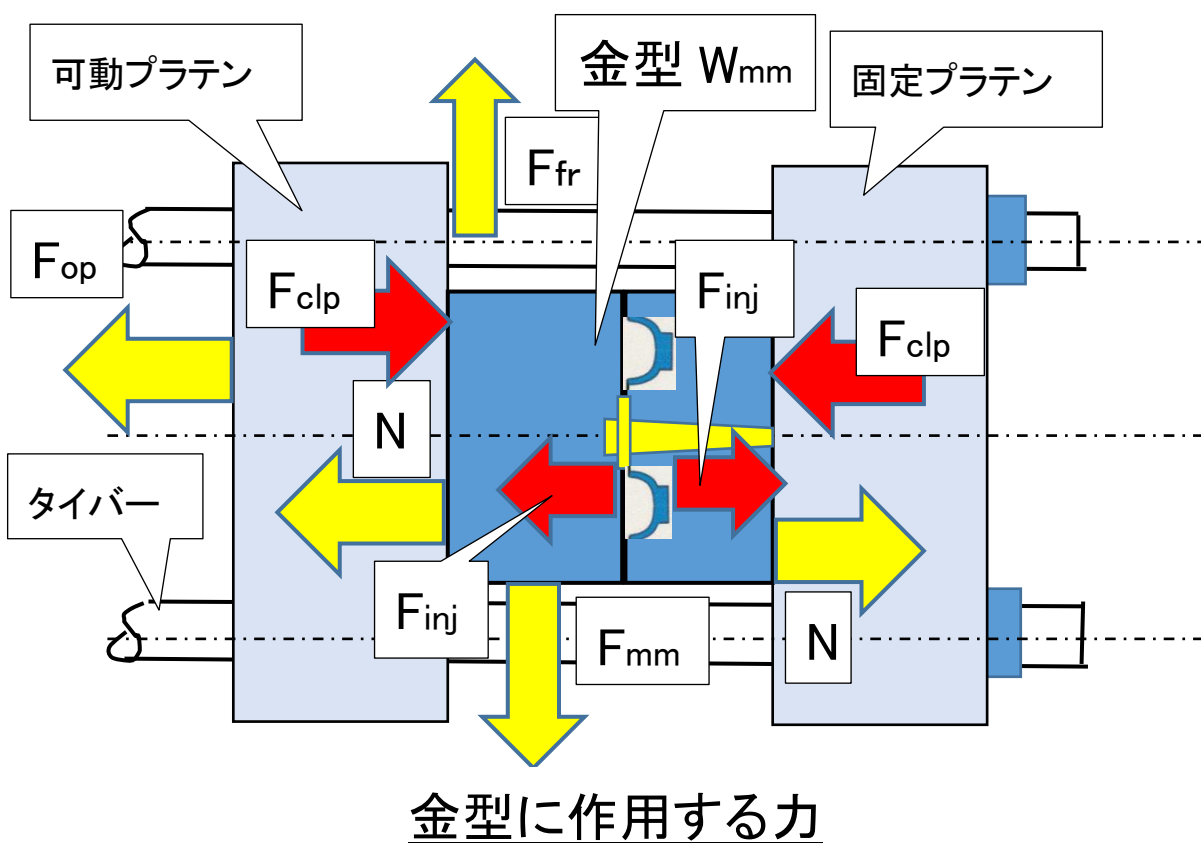
3) 静摩擦力; F_{fr} (静摩擦係; μ_s)

プラテンの金型取付面と金型ベースプレートとの間の静摩擦力。プラテンの材質を鋳鉄、金型ベースプレートの材質を鋼とした場合、 μ_s は “0.4” となる。

4) 型開力; F_{op}

金型を開く力。この力は、1) 金型締付力である取付ボルトの軸力を増加する方向に作用するので、ボルトの引張強度を確認しておく必要がある。

【図-2. 1. 金型に作用する力】



2.2. 実機での検討例

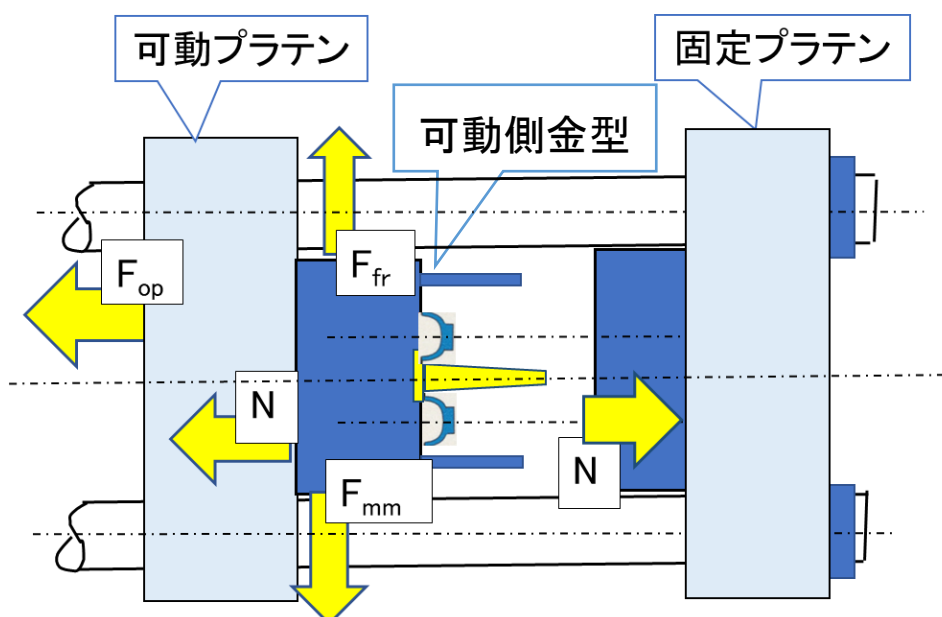
住友重機械の全電動式射出成形機を例に、検討例を以下に示す。

【表-2. 2. 】には、検討に必要な数値で成形機メーカーより提供される数値を示した。

【表-2. 2. 成形機メーカーより提供される数値】

型締力 KN	プラテン・ネジ径 mm	最大金型質量 kg	可動側最大質量 kg	型開力 KN
300	M12	300	200	130
500	M16	490	320	240
750		760	500	310
1000		1,050	700	440
1300		1,290	860	580
1800		1,750	1,160	810
2200		2,800	1,850	670
2500		2,800	1,850	670
2800		3,800	2,500	970
3150		3,800	2,500	970
3500		M20	5,200	3,450
3850	5,200		3,450	1,080
4500	7,500		5,000	1,480
5000	7,500		5,000	1,630

【図-2. 2. 金型が開いた状態】



1) 金型質量と重力及び金型保持力

質量 W_{mm} なる金型を取り付ける時、重力加速度 g により金型が落下しようとする力; F_{mm} が働く。

$$F_{mm} = W_{mm} \times g = 9.8W_{mm} \text{ (N)} \dots(1)$$

この落下を防止するために、可動及び固定プラテンのパンチ面に金型を N なる力で押し付け、プラテンと金型へ重力で落下することを防止する。一スプレートとの間の静摩擦力 により、金型が

プラテンと金型との間の静摩擦係数を μ_s とすると

$$F_s = \mu_s \times N \dots\dots\dots(2)$$

で得られる。 $\mu_s = 0.4$ とする。(鋼と鋳鉄間の静摩擦係数)

押し付け力 N は、可動側金型をプラテンに取り付けいている4本のボルトを定められた適正トルクで締付けた時発生するボルト1本当たり所要軸力である。

この F_s を、ここでは“**金型保持力**”と呼ぶこととするが、金型が安全に成形機上に保持されるためには

$$\underline{\underline{\text{金型保持力; } F_s > \text{金型重力; } F_{mm}}} \dots\dots(3)$$

の関係が常に成り立つ必要がある。

押し付け力 N は、型開力 F_{op} が作用すると、押し付け力 N が型開力分増加したのと同様な効果が締付ボルトに生ずる。

つまり、締付ボルトに作用する引張力が、 N から N_{max} へと増加したことになるのだが、この値が当該ボルトの許容最小引張力を超えていないことを確認する。

$$N_{max} = N + F_{op} \dots\dots(4)$$

押し付け力 N は一般の射出成形機では、①プラテン面に設けられたネジ穴を利用してボルトで金型を締付け、ボルトに発生する軸力を押し付け力 N として利用するか、②金型クランプを用いて、そのクランプ力を押し付け力 N を求める、という方法がある。

金型をプラテン面に取り付けるボルトの締付トルクを T_f 、この締付トルク T_f より発生する軸方向の力を N とすると

$$T_f = K \times N \times d \dots\dots(5)$$

また N は次式で求められる。

$$N = S_d \times \sigma_y \dots\dots(6)$$

ここで S_d ; ねじの有効断面積 (mm^2)

σ_y ; 許容最小引張応力(単純引張応力による破損応力)

1, 220 MPa とした

N 軸方向の荷重

d ねじの外径

σ_1 ねじ材の許容引張応力

d_1 ねじの谷径

とすれば、谷の断面において次式が成り立つ。

$$\sigma_1 = N / (\pi/4)d_1^2$$

$$\text{あるいは } N = \sigma_1 (\pi/4)d_1^2$$

【表-2. 2. 1) 並目ねじの仕様】

並 目 ね じ			
ねじの呼び d (mm)	ねじピッチ P (mm)	有効断面直径; d _s (mm)	有効断面積; S _d (mm ²)
M12	1.75	10.36	84.29
M16	1.5	14.59	167.18
M20	2.5	17.65	244.66

$$d_s = d - 0.9382P$$

$$S_d = (\pi/4)((d_1 + d_2)/2)^2$$

$$=(\pi/4) d_s^2$$

$$=(\pi/4) (d - 0.9382P)^2$$

2) 軸力の計算

前頁の【表-2. 2. 1) 】と(6)式を用いて、本稿の対象となる成形機の金型締付ボルト3種類(M12, 16, 20)の軸力と、同じく(5)式を用いて適正締付トルクを求める。

【表-2. 2. (2) 軸力を求める】

	軸力 N (N)	有効断面積 S _d (mm ²)	許容引張応力 σ _{min} (N/mm ²)
M12	102,480	84	1,220
M16	203,740	167	1,220
M20	298,900	245	1,220

【表-2. 2. (2) 締付トルクを求める】

	締付トルク T _f (N・m)	トルク係数 k	軸力 N (N)	ねじ呼び径 d (m)
M12	246	0.2	102,480	0.012
M16	652	0.2	203,740	0.016
M20	1,196	0.2	298,900	0.020

ここで求めた、軸力と締付トルクの値は以下のように活用する。

金型を成形機の正しい位置に保持する“金型保持力”の源泉となる金型締付力を発生する。その保持力が十分かどうかの判定は頁 5 に示した (3)式で判定する。

1) 締付トルク

成形現場での金型交換作業を行うにあたり、作業の安全性と確実性、作業効率を求めるうえで作業標準の準備は必須である。その作業標準の一つの資料が、金型取付ボルトの締付方法である。

その作業標準に目標値を与えるのが、このボルト締付トルクである。

2. 3. シリーズ全体の把握

前項の計算結果をシリーズ全体に展開すると各型締め力で示される型式ごとの所要軸力や金型保持力が求められる。

【表-2. 3. (1) 締付軸力の計算】

型締め力 KN	プラテン ネジ 呼び径 mm	軸力を求める(③ = ①+②/④、 ⑤ = ④×③)				
		発生軸力 ① kN	型開力 ② kN	残留軸力-1 ③ kN	ボルト数 ④ n	残留軸力-2 ⑤ kN
300	M12	103	130	119	8	103
500	M16	204	490	234		204
750	M16		760	243		204
1000	M16		1,050	259		204
1300	M16		1,290	276		204
1800	M16		1,750	305		204
2200	M16		2,800	288		204
2500	M16		2,800	288		204
2800	M16		3,800	325		204
3150	M16		3,800	325		204
3500	M20	299	5,200	434		299
3850	M20		5,200	434	299	
4500	M20		7,500	484	299	
5000	M20		7,500	503	299	

ここで、残留軸力-1および -2 とは、

残留軸力-1 = <締付トルクによるもの> + <最大型開力作用によるもの>

残留軸力-2 = <ボルト締付トルクによるもの> を示す。

続いて、金型保持力及び金型保持力が妥当であることの検証例としての静摩擦力を全シリーズにわたり求める。

【表-2. 3. (2) 金型保持力の試算】

型締力 KN	可動側 最大質量 W _{mm} (kg)	ボルト数	① 静摩擦 係数 μs	② 発生軸力	③ 金型保持力 '③=②*① F _s (kN)
				N (kN)	
300	200	4	0.4	103	41.2
500	320	4	0.4	204	81.6
750	500	4	0.4		
1000	700	4	0.4		
1300	860	4	0.4		
1800	1,160	4	0.4		
2200	1,850	4	0.4		
2500	1,850	4	0.4		
2800	2,500	4	0.4	299	119.6
3150	2,500	4	0.4		
3500	3,450	4	0.4		
3850	3,450	4	0.4		
4500	5,000	4	0.4		
5000	5,000	4	0.4		

2. 4. 金型保持力試算結果の評価

2. 3. 項までの分析結果を評価すると以下の通りである。

【表-2. 4. 金型保持力の判定の結果】

金型保持力 (余裕率= F_s/F_{mm})				
型締力	可動側 最大質量	重力	金型 保持力	保持力 判定
KN	W_{mm} (kg)	F_{mm} (kN)	F_s (kN)	$F_s > F_{mm}$ ();余裕率
300	200	0.5	41.2	○(82.4)
500	320	0.8	81.6	○(102.0)
750	500	1.2	81.6	○(68.0)
1000	700	1.7	81.6	○(48.0)
1300	860	2.1	81.6	○(38.9)
1800	1,160	2.8	81.6	○(29.1)
2200	1,850	4.5	81.6	○(18.1)
2500	1,850	4.5	81.6	○(18.1)
2800	2,500	6.1	81.6	○(13.4)
3150	2,500	6.1	81.6	○(13.4)
3500	3,450	8.5	119.6	○(14.1)
3850	3,450	8.5	119.6	○(14.1)
4500	5,000	12.3	119.6	○(9.7)
5000	5,000	12.3	119.6	○(9.7)

3. 分析結果まとめ(第 1 回)

金型をプラテンに取り付ける基本形としての、以下の取付方法は妥当である。

□ ボルト本数

- ・ 六角穴付ボルト(強度区分 12.9)8 本
 = 固定側 4 本、可動側 4 本

□ 使用治工具

- ・ 六角棒スパナ (M12, M16 及び M20 用)
- ・ トルクレンチ
- ・ 1メートル&2メートルの鉄パイプ

【表-3. 金型取付ボルト】

JIS B 6701-1992 の規定		本報検討結果		
対象機種 型締力	金型 取付ボルト	締付トルク(N・m) (kgf・m)	金型保持力 (kN)	余裕率
294kN 未満 (30tf)	M12	246 (25)	41.2	82
294kN(30tf)以上 2942kN(300tf)未満	M16	652 (66)	81.6	102~13
2942kN(300tf)以上 5884kN(500tf)未満	M20	1,196 (122)	119.6	14~10

4. おわりに

各種販売されている金型取付クランプの最適な製品の選択のために、金型取付の分析を行っている。

まず基本となる、金型を横型射出成形機に取り付ける基本的な方法としての、プ

ラテンへの直付法について分析した。

ここで明らかになったことは、

- 1) このプラテン直付法で発生するボルトによる発生軸力が、今後の金型クランプ治具検討の基本になること。
- 2) JIS で規定されている型締力ごとのプラテン金型取付ボルトサイズのボルトの破壊強度も重要な検討事項であること。
- 3) 金型取付ボルトの金型を保持する力については、機種によりばらつきはあるが余裕率として“10～100”の余裕があることになっている。ボルトの締付については、めねじ側、おねじ側の表面の状態、潤滑状態、座面の状態など不確定要因が多いため、少なくとも金型取付時のボルト締付トルクについては、数値を定め管理状態に置いておく必要がある。

余裕率は、以下で定義している。

余裕率 = (取付ボルトにより発生する金型保持力) / (実際に必要な保持力)

今回は、第 1 報として『金型取付の基本;ボルトによるプラテンへの直付』について分析結果を報告した。

次回以降、『取付ボルトの破壊強度;対型開力との関係』

『各種金型クランプの比較検討』などを報告する予定である。

参考文献;

- ・住友重機械 技術資料 『全電動小型射出成形機 SE-EV-A,』
『全電動中型射出成形機 SEEV-A-HD』
- ・住友重機械 技術資料 『設置の準備ガイド』
- ・養賢堂 山本 晃著 『ねじ締結の理論と計算』
- ・MIKI PULLY 技術資料『629, 631, 633』