

マグネシウムダイキャスト利用によるタイプライタ部品の機械加工の省力

Magnesium Diecastings Create No-Machining Type-writer Parts

山田 泰生* 藤田 賢二* 清水 元治*
Yasuo Yamada Kenji Fujita Motoharu Shimizu

要 旨

マグネシウムの軽量化以外の特質を利用して、鋳物精度が機械加工精度に挑戦できる限界を求め、**JI S** 機械加工精級精度 $\pm 0.050\text{mm}$ に近い精度を有するタイプライタのベルクランク溝(みぞ)——活字レバーをガイドする多数の溝を有するくし歯状の部品で直線形と曲線形がある——を取り上げ、溝幅寸法と溝ピッチ寸法についてダイキャスト金型を製作し、各種の鋳造実験を行なった。

その結果、金型構造、金型工作精度など金型工作技術に留意すれば、マグネシウムダイキャストの鋳物精度は機械加工精度を満足することが確認された。

1. 緒 言

マグネシウムは、軽いという点が大きな特長として取り上げられる反面、他の特質——特に寸法安定性、鋳造性がまさっている点の理解が不足している。鉄の比重の $\frac{1}{4}$ 、アルミニウムの $\frac{2}{3}$ と軽量であることは最大のメリットであることは疑いのないところであるが、マグネシウムは寸法の経時変化がきわめて少なく、また鉄との親和性がない性質からダイキャストの場合、金型への焼付きがなく型寿命が長くなるのみならず、設計上、壁および穴の抜こう配を小さくすることができ、極端な場合には抜こう配0の設計も可能である。この性質は、鋳造精度が機械加工精度に近づいたことになり、機械加工を省略するという大きなメリットを生み出してくることが予想される。

日立金属株式会社熊谷工場では、マグネシウムダイキャストの鋳物精度がどこまで機械加工精度に肉薄するかを定量的に把握(はあく)する目的で、比較的高精度を要求され、また現在多大の機械加工工数を必要としているタイプライタ部品を取り上げ、各種の実験を行ってきた。

タイプライタには、活字レバーをガイドするための多数のくし歯を有するベルクランク溝と呼ばれる部分があり、現状では直線形は、アルミ押出し機で、曲線形は、アルミダイキャスト材で粗材を成形し、ともに機械加工によりくし歯を製作している。このくし歯状溝のピッチ寸法、溝幅寸法は表1に示すように高精度を要求している。

表1 ベルクランク溝の寸法公差

	直線形 (mm)	曲線形 (mm)
溝幅寸法	$1.0 \begin{matrix} +0.12 \\ +0.05 \end{matrix}$	$1.0 \begin{matrix} +0.1 \\ -0 \end{matrix}$
溝ピッチ	4.0 ± 0.1	$\theta \pm 7'$

ダイキャストの鋳物精度を決定する因子は、

- (1) 金型の設計法、工作精度、熱処理ひずみ、縮みしろ設定、抜こう配の付加など金型そのものに基因するもの。
- (2) 湯口ゲート位置および押出しピン位置による鋳造方案に基因するもの。

* 日立金属株式会社熊谷工場

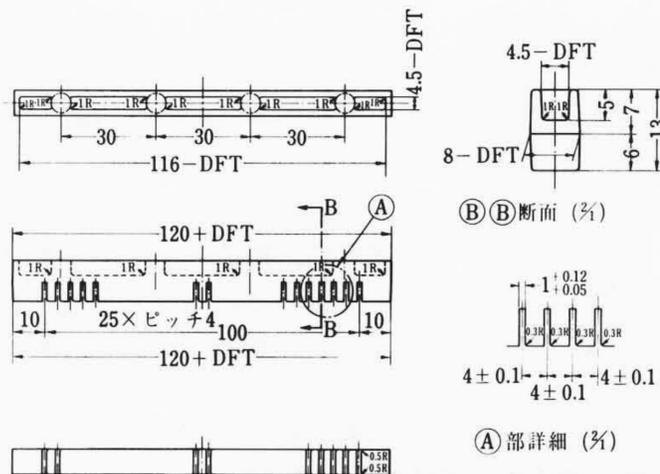


図1 直線形ベルクランク溝

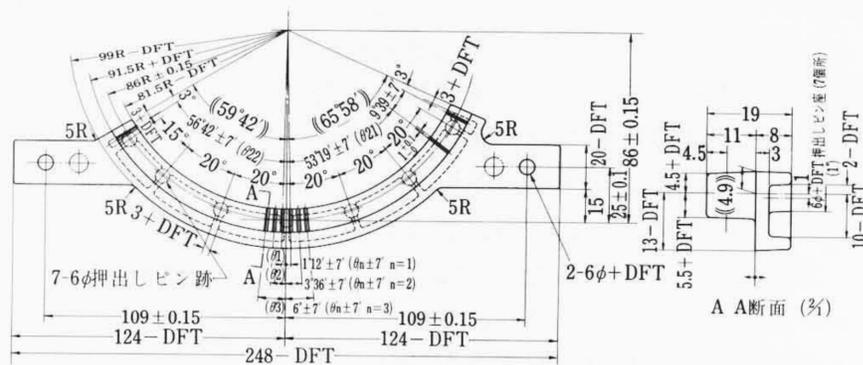


図2 曲線形ベルクランク溝

- (3) 湯温、鋳造サイクル、キュアリング時間、射出速度などショットごとの鋳造条件の相違によるもの。

の3項目に大別される。さらにこの3因子をまとめれば(1)(2)項の固定因子と(3)項の変動因子とに2大別することもできる。いずれにしてもマグネシウムダイキャストの鋳物精度の限界を求め、金型の加工精度以下、できる限り要因を取り上げて実験的な検討を加えた。

2. 直線形ベルクランク溝に関する実験(図1)

この実験では金型工作精度を鋳物公差の $\frac{1}{4} \sim \frac{1}{6}$ とし、縮みしろはA Z91B材通常の縮みしろ $\frac{1}{1,000}$ にて設定し、くし溝部の抜こう配は“0”とし、熱処理ひずみをなくするため熱処理後、型加工を行なうなど金型に基因するばらつきをできるだけ少なくするような金型を設計した。

また、できた金型の工作精度をチェックする目的で金型を直接大形工具顕微鏡により測定し、表2の結果を得た。

表2 直線形ベルクランク溝の金型寸法精度

		溝 寸 法 (mm)	ピ ッ チ 寸 法 (mm)
製 品 要 求 寸 法		1.000 $\begin{matrix} +0.12 \\ +0.05 \end{matrix}$	4.000 ± 0.1
金 型 図 面 寸 法		1.050 $\begin{matrix} +0.02 \\ -0 \end{matrix}$	4.020 ± 0.015
金 型 寸 法	平 均 値	1.044	4.020
	標 準 偏 差	0.010	0.005
	最 大 値	1.062	4.032
	最 小 値	1.017	4.007

この金型を使用し、寸法精度に影響を及ぼすと考えられる鑄造条件を選んで実験計画法により割り付けを行ない鑄造実験を行なった。鑄造条件は次のとおりである。

- (1) 湯温は、660~740℃の3水準とした。
- (2) 鑄造サイクルはプランジャの射出開始から次回の射出開始までをストップウォッチで測定し、25~35秒の3水準をとった。
- (3) キュアリング時間は型閉めをしている時間であり、自動タイマによりセットされ4~8秒の3水準とした。
- (4) プランジャ速度はその移動偏位量を電気抵抗値に変換し、補償抵抗としてストレイン・ゲージを入れ、動的ひずみ計により電磁オシログラフに記録させ、1.0~1.8m/sまで変化させた。
- (5) 金型温度は、寸法精度に影響することが容易に推定されるが、型温はキュアリング時間、鑄造サイクル、湯温によって左右される二次的因子となるので、型温を変動因子として取り上げず、金型内にセットした熱電対により検出し、高速度記録計にその変化を記録させた。なおこの金型には、型温保持のため電熱ヒータが内蔵されている。

2.1 型温に関する実験結果とその検討

固定型、可動型とも型温の最高値はショット直後にあり、キュアリング時間終了とともに急速に低下し、次のショットによりまた上昇する。1サイクル中の温度変化の幅は15~31℃であり、最高温度は206~232℃とこれも26℃の幅内にあった。

型温に対する影響では、鑄造サイクルが寄与率50%以上で、次いでキュアリングタイム、湯温の順となっている。プランジャ速度は、当然の結果として型温には無関係である。

各ショットサイクルでの型温を推定してみると図3のようにショットサイクルが短くなれば型温は上昇するが、ショットサイクルが長くなると型温に対する影響は大きくなり、型温の定常状態は30秒以下のショットサイクルで220℃となっている。

2.2 寸法精度に関係する実験結果と検討

(1) 型温と寸法精度

2.1で得られた固定型、可動型の各サイクルの最高指示温度と寸法精度との間には関係が見られない。また累積ピッチ公差についても関係は認められない。一般に鑄物公差は、型温と比例関係にあり、

$$\Delta \epsilon \approx (\alpha_M - \alpha_D)(t_{D1} - t_{D2})$$

なる関係が想定される。

α_M, α_D : Mg合金および金型材料の熱膨張係数

t_{D1}, t_{D2} : 型 温

この式より算出される値は $\Delta \epsilon = 0.0003$ であり、この値は寸法測定誤差内に含まれてしまい、相関が見いだせないものと思われる。

(2) 鑄造要因と寸法精度

型温同様、取り上げた鑄造要因のいずれとも関係を見いだせないで、寸法精度を推定によって求めてみると図4のようになる。

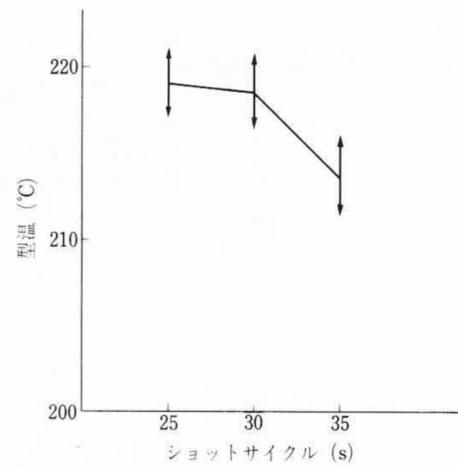


図3 型温に及ぼすショットサイクル

寸法 (mm)	要求	金型			鑄物		
		溝幅	ピッチ	溝幅	ピッチ	溝幅	ピッチ
溝幅	1.050	1.014	1.085	1.120	0.966	1.031	1.096
ピッチ	4.000	4.005	4.020	4.035	3.946	4.002	4.058

図4 直線形の寸法精度結果

型寸法、鑄物寸法とも統計的処理による(平均値 $\pm 3\sigma$)によって推定されている。ピッチ寸法は要求公差内に収まっているが、溝幅寸法は、中央値のずれとともに精度範囲も要求値の0.070mmを越え0.130mmとなっている。中央値のずれは、型設計時の設定値をずらすことにより容易に改善できるので、このずれを修正して寸法精度範囲のみに絞って整理してみると表3のようになる。

表3 溝・ピッチ寸法精度範囲

	溝 幅 寸 法 (mm)	ピ ッ チ 寸 法 (mm)
鑄 物 精 度	0.130	0.113
型に基因する寸法精度	0.060	0.030
鑄造に基因する寸法精度	0.070	0.082

表4 ゲート前後の寸法精度

		ゲ ー ト 付 近 (mm)	ゲ ー ト より 離 れ た と こ ろ (mm)
鑄 物	平 均 値	1.033	1.029
	標 準 偏 差	0.023	0.019
金 型 平 均 値		1.046	1.042

型に基因する精度は溝寸法が悪く、これは金型設計および工作精度に再検討の余地を残している。

型に基因しない精度は、溝・ピッチ寸法ともほとんど同一の0.070~0.080mmとなっており、金型による寸法精度が鑄物精度を左右していることがわかる。

(3) 湯口および押しピン位置と寸法精度

ゲート位置10個所とゲートから離れたところ10個所の溝寸法をとり測定した結果は、表4のようになっている。このデータを解析したところ、ゲート前の鑄物寸法が0.0003~0.0075mm大きくなっている。これは金型温度がゲート前が高く、くしの肉部の収縮が大きくなり、その分だけ溝部の幅が大き

なっているため、ゲートはできるだけ全面均一に設定することが望ましい。また押しピンの位置との関係では、有意差が認められなかった。

3. 曲線形ベルクランク溝に関する実験(図2)

直線形に比べて曲線形は、金型のひずみが出るのが予想されたので、型構造はリング入子合せ方式の特殊構造としたほかは、直線形の金型設計とほぼ同一である。

表5 金型設計の要点

		直線形	曲線形
金型に基因する 鋳物公差	型設計法(ピッチ) (溝)	研 磨 } の入子 フライス } 合せ法	フライス } の入子 研 磨 } 合せ法
	熱処理ひずみ	熱処理後加工	熱処理後加工
	加工精度	鋳物公差の $\frac{1}{4} \sim \frac{1}{6}$	鋳物公差の $\frac{1}{3} \sim \frac{1}{4}$
	縮みしろ	$\frac{1}{2} \times 0.000$	$\frac{1}{2} \times 0.000$
	抜こう配	0	0

表6 曲線形ベルクランク溝の金型寸法精度

		溝幅寸法 (mm)	ピッチ偏位角度
製品要求寸法		$1.000^{+0.1}_0$	$\theta \pm 7'$
金型図面寸法		$1.040^{+0.03}_0$	$\theta \pm 3'$
金 型 寸 法	平均値	1.072	$\theta + 0'24''$
	標準偏差	0.013	1'30"
	最大値	1.099	$\theta + 2'55''$
	最小値	1.032	$\theta - 2'59''$

金型の精度チェック結果は表6のとおりである。

溝ピッチは、角度 θ により表示されているので、各表示ピッチ角度との偏位角度をもって寸法精度とした。

この金型により、ショットサイクル、キュアリング時間、湯温の3 鋳造要因を取り上げ、各2水準の実験計画法により鋳造実験を行なった。

ショットサイクル： 30 s, 40 s
 キュアリング時間： 8 s, 14 s
 湯 温： 690°C, 740°C

型温は直線形と同様、独立因子として取り上げず、各実験ごとに型内蔵の熱電対によって測定した。

3.1 型温に対する鋳造条件の影響

型温には湯温が大きく影響し、次いでショットサイクルが影響を与えている。この結果は、直線形の場合とほぼ同様の結果であるが、湯温が大きく影響を与えたのは直線形に比べて、製品形状が大きく、したがって注入重量が大きくなり溶湯の持っている熱容量が大きくなったためである。

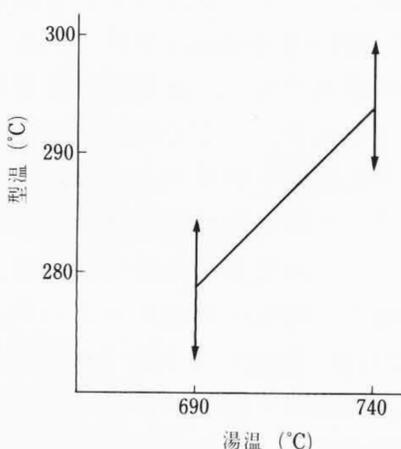


図5 温度と型温の関係

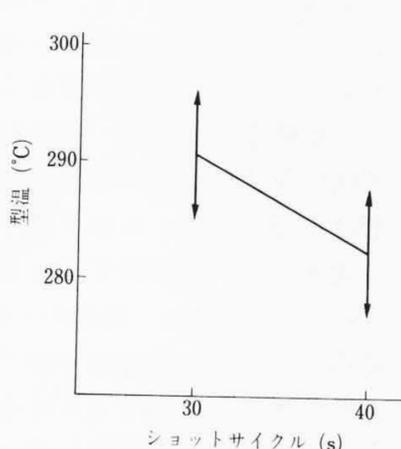


図6 ショットサイクルと型温の関係

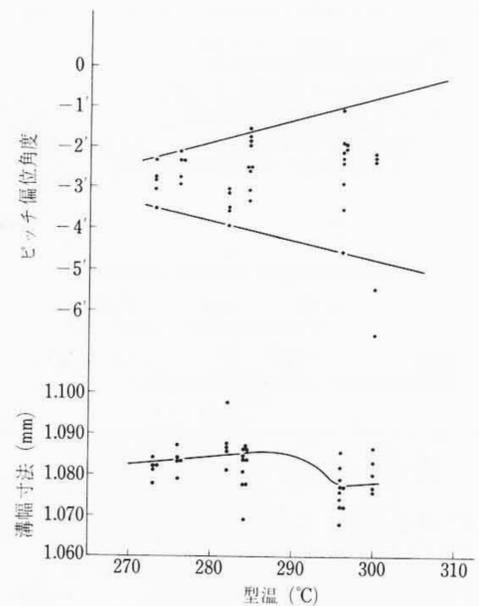


図7 寸法精度に及ぼす型温の影響

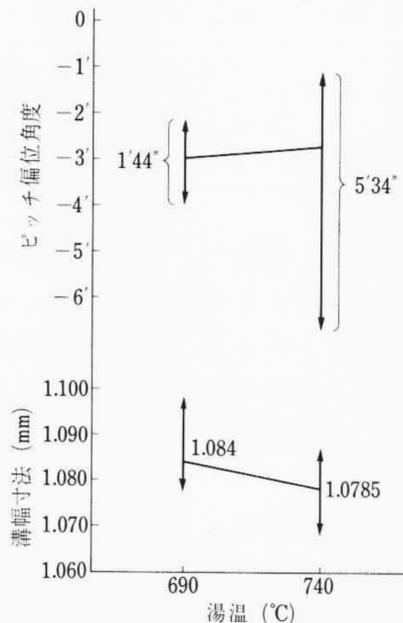


図8 寸法精度に及ぼす湯温の影響

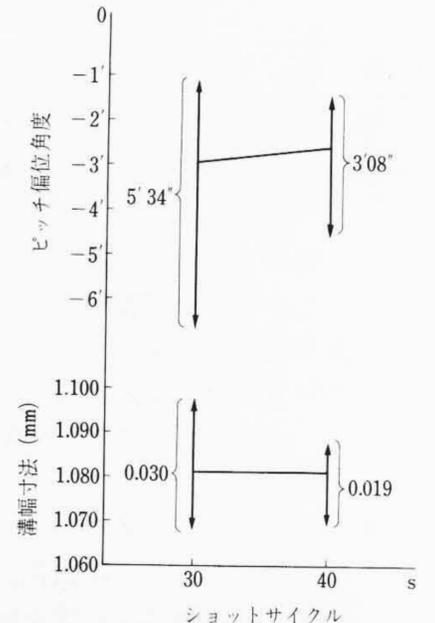


図9 寸法精度に及ぼすショットサイクルの影響

3.2 寸法精度に関する実験結果と検討

(1) 型温と寸法精度

溝幅およびピッチとも、試料1本あたり44個のデータの平均値を、試料数39本について図示したのが図7である。

型温が上昇し300°C近傍になるとわずかながら溝幅が小さくなり、平均値で0.003~0.004mmの減少となっている。また、ピッチ角度は、ばらつきが大きくなり、型温は275°C±5°Cになるよう鋳造条件を設定するのが望ましい。

型温が275°C±5°Cになる鋳造条件は、

湯 温 690°C
 ショットサイクル 40秒

となり、このとき得られる鋳物公差を推定すると次のようになる。

溝幅寸法 1.083mm±0.054mm
 ピッチ偏位角度 ($\theta - 2'43''$) ± 6'

(2) 鋳造要因と寸法精度

直線形では、各鋳造要因とも影響をしていないが、曲線形では、湯温が高い(300°C)と溝幅寸法が小さくなり、ピッチ角度の範囲も広がっている。次いでショットサイクルの影響も出ている。30秒に比べて40秒のほうがばらつきが少ないがその影響はわずかである。キュアリング時間は影響していない。

(3) 寸法精度の推定

溝寸法およびピッチ偏位角度とも、鋳物精度は、要求精度範囲にほぼ近似した値を得たが、中心値の偏(かた)よりは、溝幅で0.080mm、ピッチの偏位角度で2'48"となっている。ピッチ角度は、設計時、縮みしろを折り込まずに鋳物要求ピッ

溝幅寸法 (mm)	要求	1.000 1.050 1.100
	金型	1.033 1.072 1.111
	鋳物	1.025 1.082 1.139
ピッチ偏位角度	要求	-7' 0 7'
	金型	-4'06" 0'24" 4'54"
	鋳物	-9'39" -2'48" 4'03"

図10 曲線形の寸法精度結果

千角度のまま型加工を行なったため、偏位角度はマイナス、すなわち収縮側になって現われている。

表7 溝・ピッチ偏位角度寸法範囲

	溝幅寸法 (mm)	ピッチ偏位角度
鋳物精度	0.114	13' 42"
型に基因する寸法精度	0.078	9' 0"
鋳造による寸法精度	0.036	4' 42"

製品寸法精度を型に基因する精度と鋳造による精度に分割してみると、直線形と同じく型に基因する寸法精度のほうが大きく約70%を占め、金型精度を向上させることが鋳物精度の向上に寄与する条件である一方、鋳造作業によるばらつきは、寸法に対してはきわめて小さく0.036mmと高精度の結果を示している。

(4) 押出しピン、湯口ゲート位置による影響

直線形と同じく湯口位置、押出しピン位置付近とそれ以外の部分の溝幅寸法精度を解析した結果、両者とも寸法精度に影響を与えていない。

4. 鋳物寸法精度に対する金型設計値の検討

直線形、曲線形とも、溝およびピッチ寸法の高精度をねらうには、

(1) 型温の最高値を280°C以下としそのばらつきを20~30°C以内にするよう鋳造条件を設定する。

(2) 湯温は、700°C以下が望ましい。

などの鋳造条件を押える努力をするのは言うまでもないが、金型の寸法精度を上げる努力のほうが有効である。

4.1 金型設計中央値の検討

図4および図10の結果より、鋳物寸法の中央値を要求寸法公差の中央値にスライドさせた場合に、金型の中央値がどこになるか検討したのが図11である。

ここで特異現象が生じているのは、曲線形の溝寸法である。鋳物には凝固収縮があり収縮代だけ大きな型を製作しておくのが通常であり、このマグネシウムダイカストもくし歯が1本1本中子状にはいっているとはいえ、凝固収縮は当然生じているはずである。曲線形の溝寸法もその金型寸法の中央値は1.050mm以上でなくてはならない。この特異現象の原因を探究してみよう。

曲線形ベルクランク溝の金型は、前記したとおりリング状の入子にフライス刃によりスリットを入れ、この溝に平面研磨した板をそう入した構造としている。研磨した板の平行度は精度よく加工され、入子のスリット幅も精度よく加工されているが、詳細に金型を測定したところスリットの垂直度が悪く、一定方向に傾いていることが発見された。

スリットの傾き	平均値	25'
	最大値	56'
	最小値	8' 30"

		直線形	曲線形
溝幅寸法 (mm)	要求	1.050 1.085 1.120	1.000 1.050 1.100
	金型	1.068 1.098 1.128	1.003 1.042 1.081
	鋳物	1.020 1.150	0.993 1.107
		1.085	1.000
ピッチ寸法 (mm)	要求	3.900 4.000 4.106	-7' 0' 7'
	金型	4.003 4.018 4.033	-1'18" 3'12" 7'42"
	鋳物	3.944 4.056	-6'51" 0 6'51"
		4.000	

図11 金型設計の中央値の検討

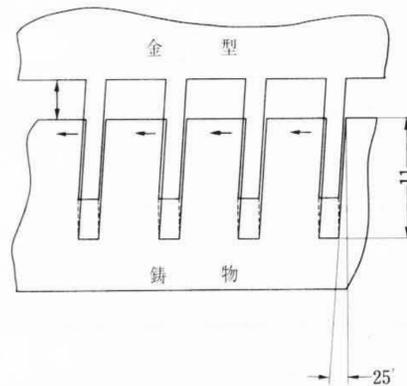


図12 アンダーカットの影響

このよう配は、一面は型開放時アンダーカットとなって、製品に“かじり”現象を生ずるはずである。このアンダーカット部がそのまま製品の塑性変形となって出たとすると、

$$11.0 \times \tan 25' = 0.080(\text{mm})$$

となり溝幅は、金型寸法に比べて溝部の収縮分を差し引いて、

$$0.080 - 0.013 = 0.067(\text{mm})$$

大きくなることになる。実際には、この溝幅の拡大量は0.008mmとわずかの量の伸びと出ているのは、アンダーカット部はその全量が塑性変形にならず、一端は開放されているため弾性変形がほとんどとなっていることを示している。これはマグネシウムの鉄に対する親和性のなさや潤滑性の良好なこと、熱容量が小さいために急速に剛性が発生することによるものであり、製品にもほとんど“かじり”現象は生じていないが擦(こす)り跡が認められた。

金型のスリット加工時のアンダーカットは、フライス刃切込みにおける逃げであり、フライス刃形状と切削条件に対する検討が不十分の結果である。このアンダーカットがないと仮定した場合の曲線形金型の溝幅設計中央値は、

$$0.042 + 0.013 + 0.008 = 0.063(\text{mm})$$

となるはずである。

またこの25'のアンダーカットによる塑性変形量は、0.021mmとアンダーカット量の約1/4となっている。

4.2 金型工作公差の検討

直線形、曲線形とも、今回の実験でピッチ公差はいずれも満足しているが、溝幅公差がいずれも0.015~0.030mmはずれている。もちろん今回の推定の幅は±3σの範囲であり、直線形で公差外の発生確率は約11%、曲線形で1%である。ここで両者の溝部の型構造を比較してみると図13のように溝部を形成するのは、直線形は片面はフライス削り後手仕上げ、片面は平面研磨面、曲線形は両面とも、平面研磨面となっている。測定された金型精度は、直線形が0.060mm、曲線形が0.078mmで、精度は直線形がよいが、鋳物公差は逆に直線形が悪くなっている。鋳造に基因する精度は、両者の差はないと考えられるので直線形の片側のフライス手仕上げの工作精度が原因して、平行度が悪く、測定位置による誤差が鋳物精度を悪くしたものと思われる。したがって曲線形のような研磨板そう入方式とすれば、鋳物精度は、約0.015mm改善さ

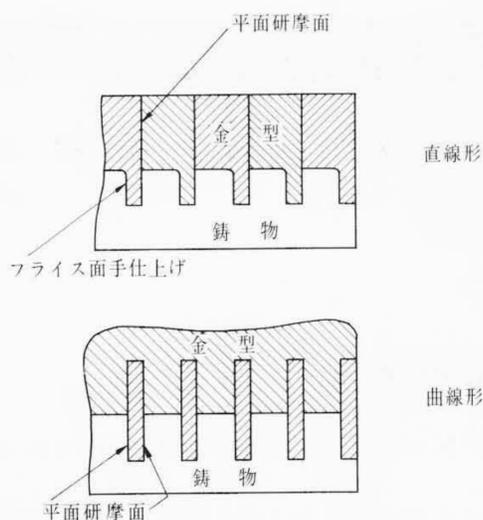


図13 金型構造の相違

		直線形	曲線形
溝幅寸法 (mm)	要求	1.050 1.085 1.120	1.000 1.050 1.100
	金型	1.059 1.098 1.137	1.024 1.063 1.102
	鋳物	1.037 1.133 1.085	1.002 1.098 1.050
ピッチ寸法 (mm)	要求	3.900 4.000 4.100	-7' 0' 7'
	金型	4.003 4.018 4.033	-1'18" 3'12" 7'42"
	鋳物	3.944 4.056 4.000	-6'57" 0 6'57"

図14 鋳物寸法精度と金型設計値

機械加工	JIS 中級	-0.200 -0.100 0 0.100 0.200 0.300
	JIS 精級	[Narrower tolerance range]
ダイカスト	普通級	[Wide tolerance range]
	精級	[Medium tolerance range]
	今回得られた精度	-0.200 -0.100 0 0.100 0.200 0.300

図15 機械加工精度とダイカスト精度

れ、0.115mm程度まで向上するはずである。

また、前項で述べたように曲線形には、スリットにアンダーカット部分があり溝幅に対して0.021mm±0.028mmの塑性変形を与えている。これによる鋳物精度の悪化量をはずして考えれば、鋳物精度は、

$$0.114 - (0.028 \times 2 \times \frac{1}{3}) = 0.095(\text{mm})$$

となるはずである(図14)

5. 結 言

マグネシウムダイカストを利用し、鋳物精度が機械加工の精度の領域にどの程度まで接近できるかという目的で、高精度なタイプライタ部品の試作を行なった結果、金型構造、金型工作精度など金型工作技術に留意すれば、機械加工精度精級を満足することが確認された(図15)

今回得られた要点を列記すると次のようになる。

- (1) 金型工作には、機械加工面のみを利用し手仕上げをやらないうような金型設計をする。
- (2) 抜こう配0は、局部的に可能である。
- (3) 金型設計中央値を得た。
- (4) 鋳造に基因する精度は金型精度に比べて約1/2であり、0.030~0.050mmの程度で精度はよい。

終わりに臨み、金型製作面で種々協力していただいた日立金属株式会社熊谷機装工場機器製作ショップのかたがたに深く謝意を表す。

参 考 文 献

- (1) 管野、植原：ダイカストと金型鋳物の研究(未刊行)
- (2) 丸善編：ダイカスト技術便覧



■ 鋳造技術関係特許一覧(ただしNプロセス鋳型関係を除く)

登録番号	公告番号	名 称	登録番号	公告番号	名 称
特 421325	38-20848	耐火性泥状物の凝固方法	特 609692	45-36672	重錘移替装置
特 606084	45-31541	焼成鋳型の製作方法	実 816687	41-11667	鋳造品の湯口研削機
特 606122	45-34020	焼成鋳型用材料	特 448255	40-506	切断整形装置
特 458826	40-8134	鋳型模型定盤の基準孔穿孔方法	特 548448	44-41	鋳型造型機における模型定板取付方法
特 424961	38-25957	鋳型製造方法	実 772291	39-38711	手押式注湯用取鍋台車
特 490805	41-17119	馬蹄形状物自動羽布研削装置	特 306830	37-15197	堅型炉における装入材料レベル測定方法
実 818663	41-14062	羽布車	特 531366	38-13762	対摩耗鋳鉄
特 493299	38-23908	分割スキーズヘッド付造型機	特 410875	38-4155	アシキュラー鋳鉄の焼房し処理方法
特 555691	44-9362	鋳型ばらし装置	特 425532	39-312	微細黒鉛組織を有する鋳鉄鋳物を製造する方法
特 566691	44-22281	鋳枠昇降装置	特 432919	39-12550	熔融状態より常温までの連続冷却過程における変態点測定用熱膨張計
特 567958	44-22802	型抜き速度制御装置および型抜き振動機作動時間制御装置	特 468150	39-25270	球状黒鉛を含む鋳鋼の製造方法
特 567959	44-22803	砂型用締め機の型抜き装置	特 468151	39-25887	球状黒鉛を含む鋳鋼ロールの製造法