

特集 ケーブルインサート部に防水性を付与する成形溶着技術*

In-process Pigtail Seal by Injection Molding

荒井 毅
Tsuyoshi ARAI
中島 淳生
Atsuo NAKAJIMA

神谷義孝
Yoshitaka KAMIYA

古橋正至
Masayuki FURUHASHI

若林宏之
Hiroyuki WAKABAYASHI

Due to the recent trends toward size reduction, multifunctional parts and connector unification of automotive parts, the insert-molding method that is conducted together with coil or cable insertion is becoming extremely popular. In this case, a waterproof structure is indispensable. We started the development of In-process Pigtail Seal Technology that can realize a waterproof structure without the need for a post process.

Key words : Injection molding, Insert molding, Seal, Cable, In-process

1. 緒言

近年、自動車業界では安全性、環境対策ニーズ向上に伴い安全制御やエンジン制御に不可欠な各種センサの生産が増加している。これらは生産性に優れた射出成形による樹脂製筐体内部にセンサ機能を内蔵した構造が主流であり、車両足回りやエンジンルーム内に設置されるため、筐体には内部機能を保護するシール構造が不可欠である。例えばセンサ信号を出力するケーブル部については、従来別工程にてポッティングやグロメットによりシール性を付与している。

本研究ではセンサ筐体のケーブル取り出し部の防水シール技術開発を行い、ケーブル材料の開発、及び成形品形状を最適化することで筐体成形時にケーブルと確実に溶着させ、自動車部品に適用できる防水レベルを実現した。

2. 従来技術と課題

2.1 従来のシール構造と開発技術

従来構造に於けるシール必要部位の分類と従来シール技術は以下の3項目となる (Fig. 1参照)。

- ① インサート保持ピン穴 ⇒ ポッティングetc.
- ② ケーブルインサート部 ⇒ グロメットetc.
- ③ 1次・2次成形品界面 ⇒ 接着剤etc.

従来の研究によって、シール付与工程の廃止を目的に、上記に分類した3構造のうち、①、③に示したシール部位については、それぞれFig. 2に示した技術開発を実施済みであり、これらの技術を製品に適用することによって、大幅なコストダウンを果たしてきた。

以下に開発技術の概要を示す。

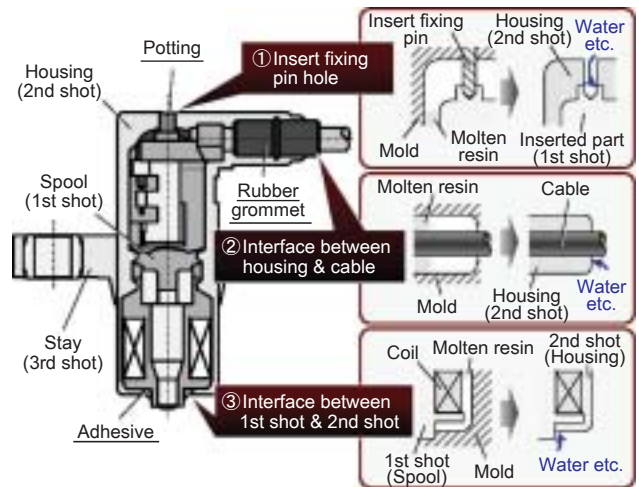


Fig. 1 Conventional sealing structure

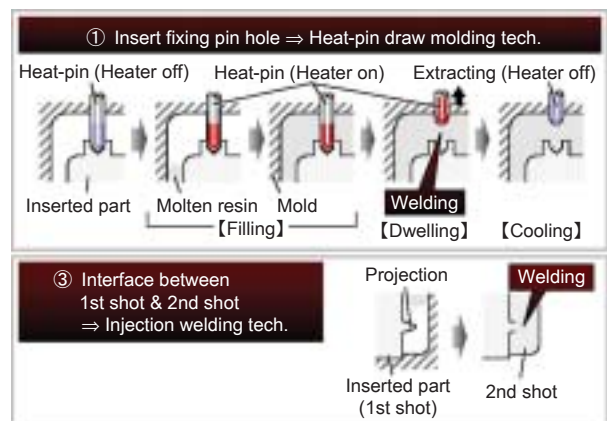


Fig. 2 Developed seal-molding technology

*2006年7月21日 原稿受理

① インサート保持ピン穴

従来から、インサート保持ピン穴を封止する方法として、ゴルフボールのピン抜き成形¹⁾が知られているが、本手法ではピン抜き穴表面に形成されたスキン層（未溶着部）の残留によって、自動車部品への適用が困難であった。

当社ではこれを応用し、インサート保持ピンを加熱しながら引き抜くことで未溶着部の残留を抑制し完全封止することができる「加熱ピン抜き成形技術²⁾」を開発し、製品適用を進めている。

③ 1次・2次成形品界面

従来から一般的に用いられている溶着手法「成形溶着技術」を取り入れている。

本技術は1次成形品表面に溶着に適した突起形状を付与し、これを2次成形樹脂の熱によって溶融して接合することでシール性を付与する技術である。

2.2 本研究の開発課題

残るシール部位②については、先述したとおり、従来技術では筐体とケーブルの間にグロメットを介在させてシールを実施しており、本研究では、グロメットの廃止を目指し筐体成形時にケーブルと筐体を溶着させる構造を基本構想（Fig. 3参照）とし、下記に示した2項目を前提条件とする。

- ・ケーブルをインサート成形時の成形樹脂の熱エネルギーのみで溶着する
- ・現行生産ライン活用のため大幅構造変更なし

以上より、開発項目は以下の2項目となる。

(1) 筐体材と相溶性を有するケーブル材料の開発

【考え方】筐体材（PBT）と同等のSP値を持つケーブル材の開発

(2) 確実に溶着させる成形技術の開発

【考え方】溶着部に温度と圧力を長時間印加できる成形技術開発

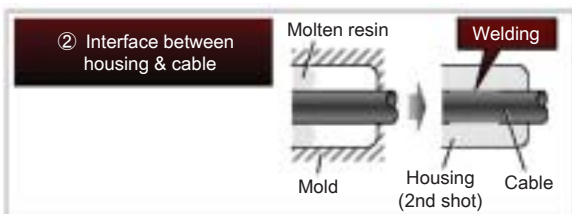


Fig. 3 Conceptual structure

3. PBTと相溶性を有するケーブル材の開発

3.1 溶着に必要なパラメータ

今回、実績のある現行材（TPU：熱可塑性ポリウレタン）をベースにケーブル材のSP値（Solubility Parameter：相溶化パラメータ）を筐体材（PBT）に合せ込む方法で、材料開発を実施した。なお、SP値は以下の理論より、材料の交じりやすさを表す指標として一般的に用いられる。

まず、一般的に液体が混合する際には次の混合の熱力学方程式が適用される。

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S \tag{1}$$

ここで、

ΔG ：Gippsの自由エネルギー

ΔH ：エンタルピー

ΔS ：エントロピー

T ：絶対温度

なお、 $\Delta G \leq 0$ の時、混合は進行し、 $T\Delta S > 0$ である（エントロピー増大の法則）。

更に、 ΔH （エンタルピー）は分子間相互作用が大きい液相状態を仮定した場合、相溶する両成分の凝集エネルギー密度によって、次のように計算される。

$$\Delta H = V_m \cdot Z \cdot V_1 \cdot V_2 \cdot \{(CDE)_1^{1/2} - (CDE)_2^{1/2}\}^2 \tag{2}$$

$$= V_m \cdot Z \cdot V_1 \cdot V_2 \cdot (\delta_1 - \delta_2)$$

ここで、

$(CDE)_i$ ：成分 i の凝集エネルギー密度

V_m ：混合系の全容量

V_i ：成分 i の容積分率

δ_i ：成分 i のSP値

式(2)より、相溶し合う両者のSP値の差が小さいほど、 ΔH の値が小さくなることが分かる。更に、 ΔH の値が小さいほど、式(1)において、 $\Delta S > 0$ であることから、 ΔG が負の値となり、定性的には両者が拡散しやすくなる。

よって、筐体材とケーブル材の両者は液相状態という仮定の上では、SP値の差が小さいほど相溶し、溶着しやすいことが分かる。なお、SP値は以下の式(3)に示したSmallの式によって、理論的に算出することが可能である。

$$\sigma = \rho \cdot (\sum Fi) / M \quad (3)$$

ここで、

- ρ : 密度
- M : ポリマー繰返し単位の分子量
- F_i : モル吸引力定数

3.2 ケーブル材SP値の適正化

以上の理論に則ったケーブル材料開発の結果、現行材TPUにTPEE（熱可塑性ポリエステルエラストマ）を50wt%添加したものが、理論上筐体材（PBT）のSP値とほぼ同等となることが分かった。

更にテストピースによる熱プレス成形（Fig. 4参照）実施した結果、現行材TPUにTPEEを50wt%前後添加した水準において安定的に溶着することが分かった（Fig. 5参照）。

3.3 強度安定領域の明確化

強度安定領域を明確化するため、Fig. 4に示した熱プレスに於けるプレス圧力を振って、溶着界面に生成される「相溶層」の厚みとの関係を整理した。

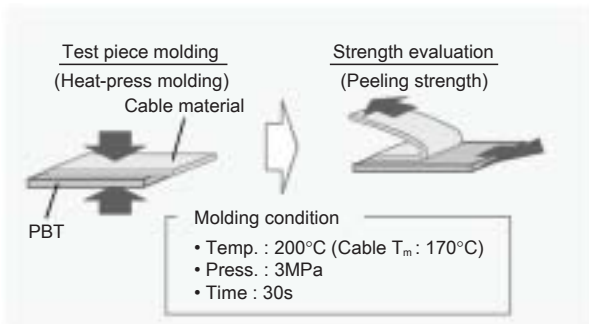


Fig. 4 Evaluation of peeling strength

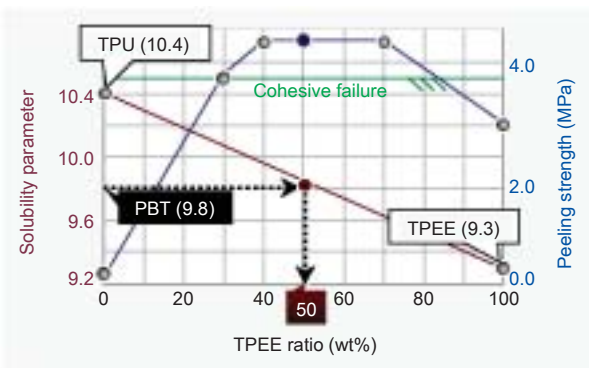


Fig. 5 Optimization result of cable material

相溶層厚みは上記で成形したテストピースを極薄切片に切出して染色した後、TEM（Transmission Electron Micro-scope：透過型電子顕微鏡）による定量化を試みた。

この結果、Fig. 6に示したように、熱プレス圧力：0.5MPa以上で剥離後のケーブル材表面が溶着による相溶層での破壊形態である凝集破壊となり、熱プレス圧力：0.5～2.0MPaの領域では圧力が増すにつれて凝集破壊面積が増加し強度が向上していることが分かる。

更に熱プレス圧力：2.0MPa以上の領域では相溶層厚み：200nm以上となり、溶着強度がほぼ安定し相溶層厚みが増加しても強度向上はほとんど見られない（溶着強度＝相溶層強度）ことが分かった。

以上の検討結果をまとめると以下のようなになる。

- ・ケーブル材は現行材TPUにTPEE（PBTエラストマ）を50wt%添加した材料とする
- ・射出成形での筐体材/ケーブル溶着は強度安定となる相溶層厚み：0.2 μ mを狙いとする
- ・筐体材/ケーブル溶着に必要な温度は170°C（ケーブル材融点：170°C）、圧力は0.5MPa（凝集破壊の開始圧力）である

4. 確実に溶着させる成形技術の開発

4.1 射出成形に於ける溶着促進の考え方

ケーブル材料はSP値の適正化により、筐体材とケーブル材双方が液相状態であれば溶着（相互拡散）する材料となっている。よって、確実に溶着させる成形技術開発は、言い換えれば「筐体成形樹脂（PBT）のより高い温度とより高い圧力をより長くかけて、ケー

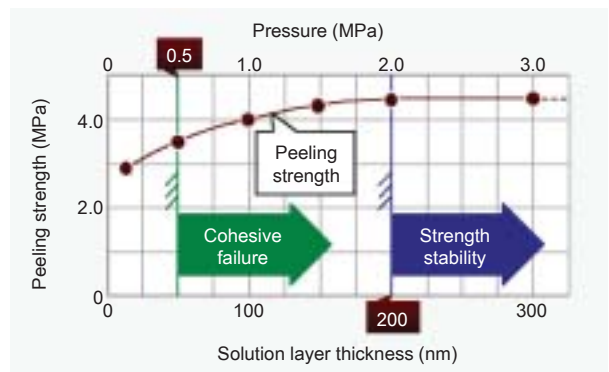


Fig. 6 Relation between peeling strength & pressure/solution layer thickness

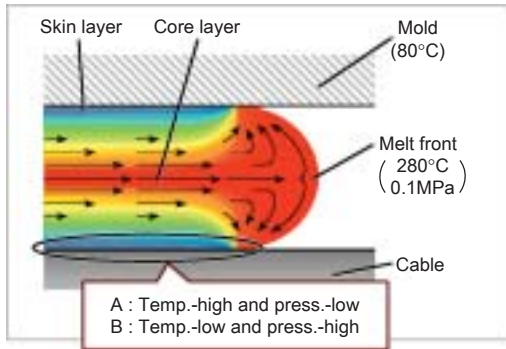


Fig. 7 Filling behavior

ブル表面（固体）を融かす（液相化させる）技術開発」ということになる。

ここで、一般的な射出成形に於ける金型内樹脂流動挙動をFig. 7に示す。

金型に充てんされる樹脂はファウンテンフローで流れ、肉厚中心部にはコア層と呼ばれる融点以上（約250～280℃）の領域が存在する。流動先端部の樹脂は、ほぼ大気圧でケーブル表面へ押し付けられ、すぐにケーブルに熱を奪われ数 μm の厚みを有するスキン層を形成する。その後、充てんが進むにつれスキン層の厚みが増す。更に圧力が上昇するのはキャビティ全体が満たされるフルパック時であり、この時表面温度は融点以下に低下している。以上を簡単にまとめると以下のとおりとなる。

A：溶着部到達時の樹脂温度は高い（樹脂融点以上）が圧力は低い（ほぼ大気圧）

B：圧力上昇時（フルパック：25～35MPa）には界面樹脂温度は低下している（融点以下）

上記2項目のように、溶着（ケーブルの溶融）に必要な温度・圧力が同時にケーブル表面にかかるという状態が通常の射出成形では実現できないことが分かり、温度と圧力をケーブル表面に同時にかけるには、

A'：樹脂温度が低下する前に圧力を上昇させる（充てん中に温度・圧力を同時にかける）

B'：圧力上昇時まで樹脂温度を高温保持する（充てん後に温度・圧力を同時にかける）

の2方案が考えられる。

今回はA'の溶着促進手法を採用し具体的にはFig. 8に示したように絞り部と開放部設け、絞り部での溶着促進を検討した。なお、絞り部と開放部の効果と狙いは以下のとおりである。

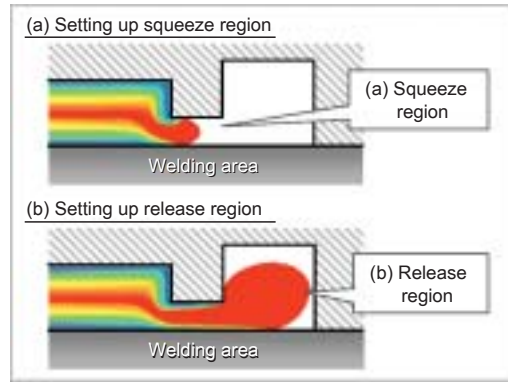


Fig. 8 Welding structure

(a)絞り部

樹脂の流路を絞ることで圧力損失による樹脂内部圧力の向上を促進し、筐体成形樹脂の温度低下前に絞り部での溶着促進を狙う

(b)開放部

絞り部を通過する樹脂量を増加させることで絞り部固化層（スキン層）の発達を抑制し、筐体成形樹脂からケーブルへの熱伝達率を向上させると共に、絞り部でのせん断発熱を促進する

4.2 CAE解析による筐体寸法の適正化

前項に示した溶着部に絞り部と開放部を設けて溶着を促進するアイデアを具現化するため、今回数値シミュレーションを活用して溶着部筐体形状の適正化を行った。

解析ソフトはC-MOLDを用い、解析手法は溶着部に充てんされる筐体樹脂の樹脂圧力、樹脂温度を元に、Fig. 9に示した溶着に必要な圧力（熱伝達が最大となる圧力）と温度（ケーブル融点）を同時に満たす時間（溶着時間）を定量評価した。

寸法制約条件はFig. 10のとおりで、具体的に解析を実施した水準はTable 1のとおりである。なお、形状④は従来品からグロメットを除いた形状である。

各水準での解析結果をFig. 11に、更にFig. 11を元に算出した溶着時間をTable 2に示す。

以上より、形状②の溶着時間が最も長く、溶着促進に適していることが分かった。

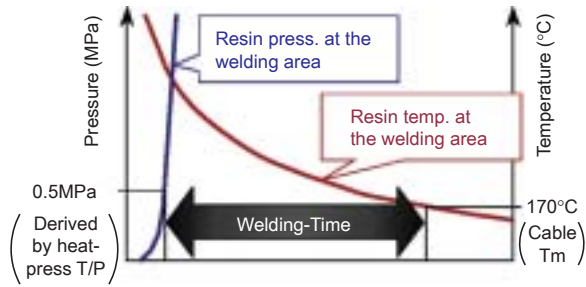


Fig. 9 Definition of welding-time

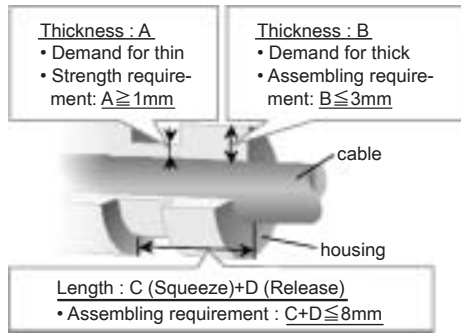


Fig. 10 Restriction of dimensions

Table 1 Dimensions and appearance

		(mm)			
		Shape ①	Shape ②	Shape ③	Shape ④
Dimensions	A		1 (Min. thickness)		3
	B		3 (Max. thickness)		2
	C	1	3	5	3
	D	7	5	3	3
Sketch					

※Analysis point

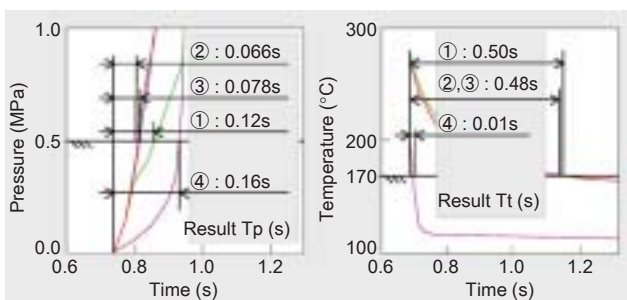


Fig. 11 Result of CAE

Table 2 Comparison of welding-time

	Shape ①	Shape ②	Shape ③	Shape ④
Welding-time*	0.38 (s)	0.414 (s)	0.402 (s)	0.0 (s)

※Welding-time=T_t-T_p (s)

Table 3 Test result of product

	Conventional shape ④	Developed shape ②
Appearance		
Surface of peeled cable (SEM)		
Thickness of solution layer (TEM)		
Sealing performance	Before endurance test: O.K. After endurance test: N.G.	Before endurance test: O.K. After endurance test: O.K.

5. 実製品への適用

前項で選定した形状②、及び従来形状④にて実機テストを実施した。結果をTable 3に示す。

以上のように、従来形状④では剥離後のケーブル表面は界面剥離となり、また筐体樹脂とケーブルが相溶して形成される相溶層の厚みもほとんど得られなかったのに対して、絞り部と開放部を設けた開発形状②では剥離後のケーブル表面は相溶層での破壊形態である凝集破壊となり、また相溶層も260nm以上の厚みで形成されていることが分かった。シール性についても、従来形状④では耐久試験後シール性が保持できないのに対して、開発形状②は問題なく、自動車足回り部品への適用が十分可能であることが確認できた。

なお、溶着部の要求スペックは筐体から剥離後のケーブル表面が凝集破壊すること、熱プレステスト (Fig. 6参照) にて明確化した強度安定となる相溶層厚み：200nm以上が得られることとし、更に今回対象とした自動車部品の耐久シールスペックは、

- ・ ヒートショック
- 40-120°C×1000サイクル
- ・ 加水分解テスト
- 85°C×85%RH×1000h

の耐久評価後に溶着部を介してのエア漏れなしというものである。

6. 結言

自動車部品における主なシール部位

- ① インサート保持ピン穴 ⇒ ポッティングetc.
- ② ケーブルインサート部 ⇒ グロメットetc.
- ③ 1次・2次成形品界面 ⇒ 接着剤etc.

について、これまでに

- ① 加熱ピン抜き成形技術
- ③ 2次成形溶着技術

を開発適用することで、それぞれの部位についてシール性付与工程の廃止を実現し、大幅なコストダウンを果たしてきた。

残るシール部位②について、自動車部品に用いられる、高耐熱性ケーブルを筐体成形時にインサートして溶着するにあたって、ケーブルインサート部の筐体に絞り部と開放部を設けることで、従来の技術では得られない確実な溶着を実現する成形技術を開発した (Fig. 12参照)。実製品への適用にあたっては数値シミュレーションによる絞り部・開放部寸法の適正化を行い、車両足回り部品に要求される高いシール信頼性を満たすことが可能となった。

なお、本技術はABS (Anti-lock Brake System) の一部である車輪回転速度検出センサに適用し、2000年8月より生産中である。

<参考文献>

- 1) 尾上, 他: 成形加工99, C209 (1999)
- 2) 尾上, 他: 成形加工01, D111 (2001)

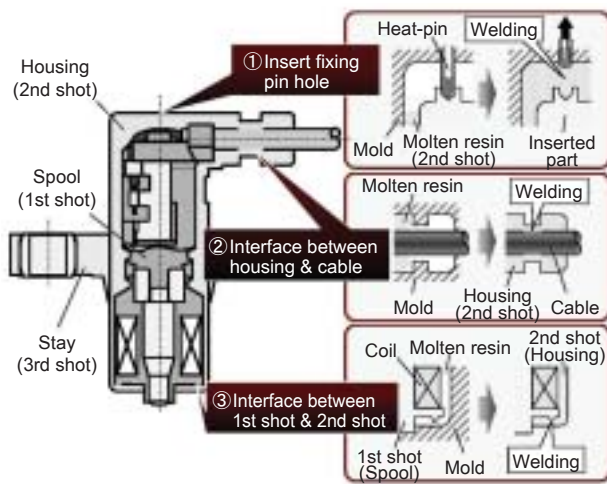


Fig. 12 New seal-molding structure



<著者>



荒井 毅
(あらい つよし)
生産技術開発部
樹脂成形技術の研究・開発に従事



神谷 義孝
(かみや よしたか)
生産技術開発部
樹脂成形技術の研究・開発に従事



古橋 正至
(ふるはし まさゆき)
走行安全技術3部
ABS用車輪速センサの開発に従事



若林 宏之
(わかばやし ひろゆき)
常務役員
品質管理部、環境企画部担当



中島 淳生
(なかじま あつお)
試作部
樹脂成形部品の試作・開発に従事