

≡≡≡ 資 料 ≡≡≡

汚染しにくい金型表面処理

Surface Treatment Preventing Contamination Stuck on The Mold's Cavity

上 嶋 桂 二 *

1. はじめに

金型を用いた射出成形などにおいて、成形ショット数を増すにしたがって、キャビティ表面に成形材料中から発生する汚れ成分が付着堆積する、いわゆる“型汚れ”が、製品品質や生産性に大きく影響を与える。

特に、汚れ物質を多く発生すると共に、高温の金型表面へ付着した汚れが非常に除去しにくいゴム成形の分野では、この問題が顕著であり有効な手立てを講じることがモールドにとってネックの課題となっている。

図-1は型汚れに係り、生じる事象を示したものであるが成形の繰り返しにより型汚れが発生し、これによる不具合を未然に防止するため金型洗浄が行われる。金型洗浄においては洗浄作業に要する工数の他に成形停止や、場合によっては洗浄でのダメージから生じる金型メンテナンスといった

ロスも派生する。自動成形中に成形を停止しハンドワークを施さなければならないのは、何にも増して生産の自動化、無人化への大きな支障となる。

型汚れへの対応は発生源である成形材料、金型、洗浄法が対象となり、それぞれに取組みを行っているが、ここでは最も汎用性が高く効率的と思われる金型表面に着目し、ゴム成形を中心に“汚れにくさ”の追究を行い、効果的な金型表面処理を選定したので、その経緯について概要を紹介する。

2. 型汚れの発生と付着

2-1. 汚れ発生メカニズム

ゴム配合系と汚染物の関係は文献¹⁾などにより、判明できている。また、汚れ成分の発生過程についてはこれまでに種々の検証が行われ、そのメカニズムが考察されている。

図-2は型汚れ発生メカニズムを考察したもの

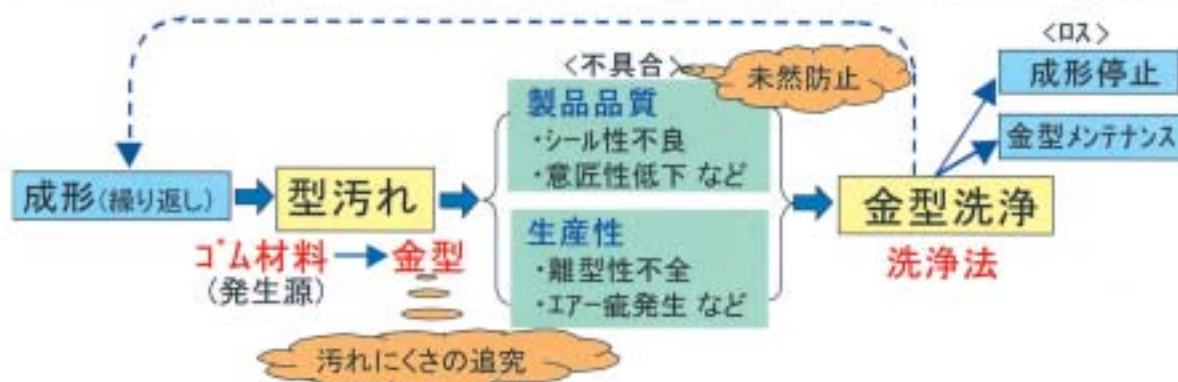


図-1 型汚れに係る事象

* Keiji Kamijima 開発部

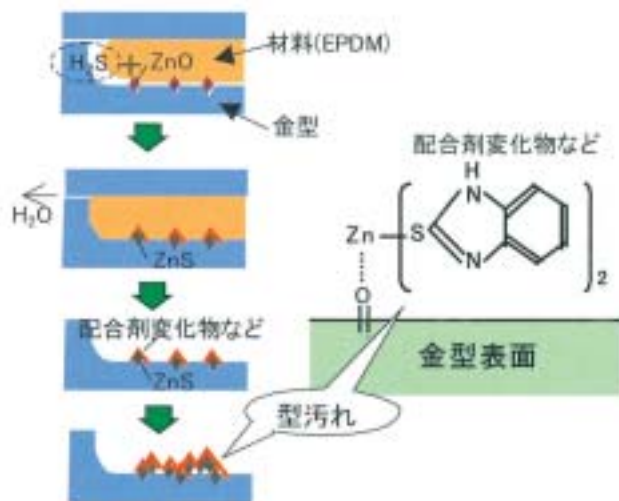


図-2 汚れ発生メカニズム（考察）

である。

汚れ成分はゴム配合剤中の無機物や有機物の変化物、未加硫ゴムなどであり、一般にはゴム材料との相溶性が低い無機成分が材料表面に移行して発生ガスと化合し金型表面側に付着すると共に、材料の流れが滞留する部位では有機成分が高温高圧下でガス化し、これが冷却凝固し、さらに付着していく形態がみられる。

成形の繰り返し過程で、汚れは堆積と剥離を不規則に生じているものと考えられる。

また、金型表面は通常、酸化物層を呈しており、初期の汚染では、これと汚れ成分との分子結合の形態が考えられているが、腐食の進行などがみられない安定状態にある金型表面においては、汚れ付着の多い少ないを支配するものではない。

2-2. 汚れの付着要因

量産工程では様々な金型が用いられており、汚れやすい金型や比較的汚れにくい金型が存在しているが、実際の色々な金型表面上の汚れを観察し、どういった表面特性が汚れの付着に影響を与えているのか調査を行った。

その結果、金型表面創成時の切削線状痕、ムシレ疵、磨き目や初期および経時における表面処理（金型洗浄によるものを含む）によるクラックや凹凸などの欠陥部分に投錨効果（機械的な絡み付き）で付着している様子が把握できた。

図-3は投錨効果による汚れ付着の様子を表したものであり、金型表面のイレギュラーが拠点と

なり、汚れが付着堆積している様子がうかがえる。

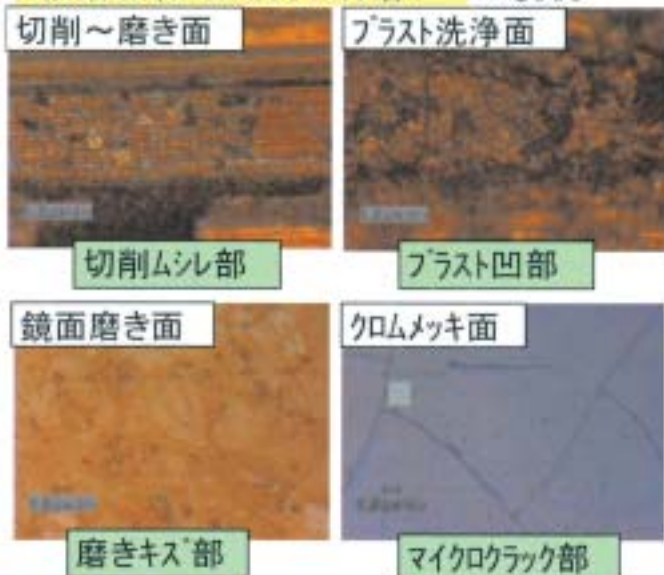
なお、発生ガスが集中し滞留する部位では、これらが液化し凝集したウェットな汚れが拠点のないフラットな面にも広く付着する様子がみられ、このような部位ではガス排出に優れる粗面の方が、鏡面のような平滑な表面よりも汚れ付着が少なく適切なガス抜きを図ることも大切な要件となる。

次に、同様の表面形態を成していても、汚れの付き具合に差異がみられることがあり、これは金型表面のぬれやすさ、ぬれにくさといった性質（ぬれ性）の相違によるものと考えられる。

図-3において、ぬれ性を示す指標である対水接触角はスチール面が 40° 、クロムメッキ面が 70° であり、ぬれやすいスチール素地面は、よりぬれにくいクロムメッキを施した表面よりも汚れの付着が多いことがわかった。

汚れ付着時点での、汚れ発生源であるゴム材料の状態は低粘度の流体を成しており、固体よりも液体に近い状態を想定し金型表面との関わりを考察することが重要であると判断される。

<投錨効果による汚れ付着> ×3000



<ぬれと汚れの関係>

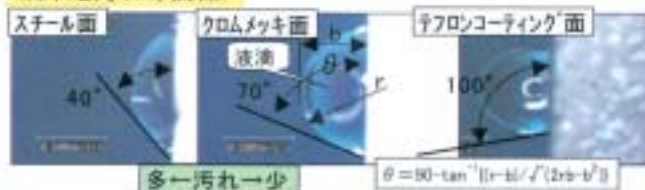


図-3 汚れの付着要因

3. 汚れにくい金型表面

3-1. 望ましい表面状態

汚れの付着拠点となるイレギュラーのない平滑な表面で、ぬれにくさをもつ撥水性が高い素材での構成であることが防汚金型表面として望ましい。

平滑性を得るためには、金型の形状加工方法や被削性、磨き性など、金型材料選択にも留意し、また磨きやすい金型分割や表面にダメージを与えない金型洗浄法の採用も必要となる。

ぬれにくい表面を得るためには、適切な金型表面処理を施し、撥水性機能を付与させることが一般的となるが、合わせて高い平滑性が得られるものでなければならない。

3-2. 各種金型表面処理の汚れにくさ

平滑で撥水性が高い表面処理に関する新技術情報を広く収集し観察やヒアリングなどにより絞り込みを行い、テスト成形を通じそれらの防汚効果の検証を行った。

図-4は検証テストに用いた金型であり、射出成形を連続して行い、テストピース表面の汚れ付着状態を観察し汚れにくさの評価を実施した。

図-5は汚れにくさの検証テストの評価結果を示しており、横軸にぬれ性を示す指標である対水

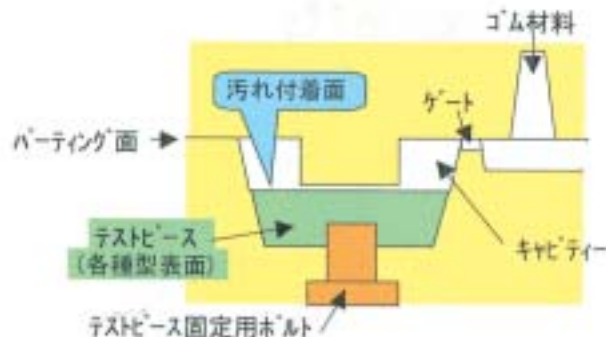


図-4 検証テスト用金型

接触角をとり、縦軸には平滑さを示す表面粗さをとって、両特性の関係がみられるようにした。

表面粗さと対水接触角の両特性が共に優れるものが、汚れ付着が少ないという傾向が確認でき、評価結果では最も防汚性が高い表面処理はフッ素基有機物蒸着被膜および、CrN系物理蒸着被膜である。

なお、フッ素やケイ素系塗布焼付コーティングは対水接触角で高い値を示すが、表面粗さが粗なレベルのため防汚性は低い。また、DLC (ダイヤモンドライクカーボン) やTiNといった高硬度蒸着被膜は表面粗さが密なレベルにあるが、対水接触角が低い値であるため防汚性は低い。

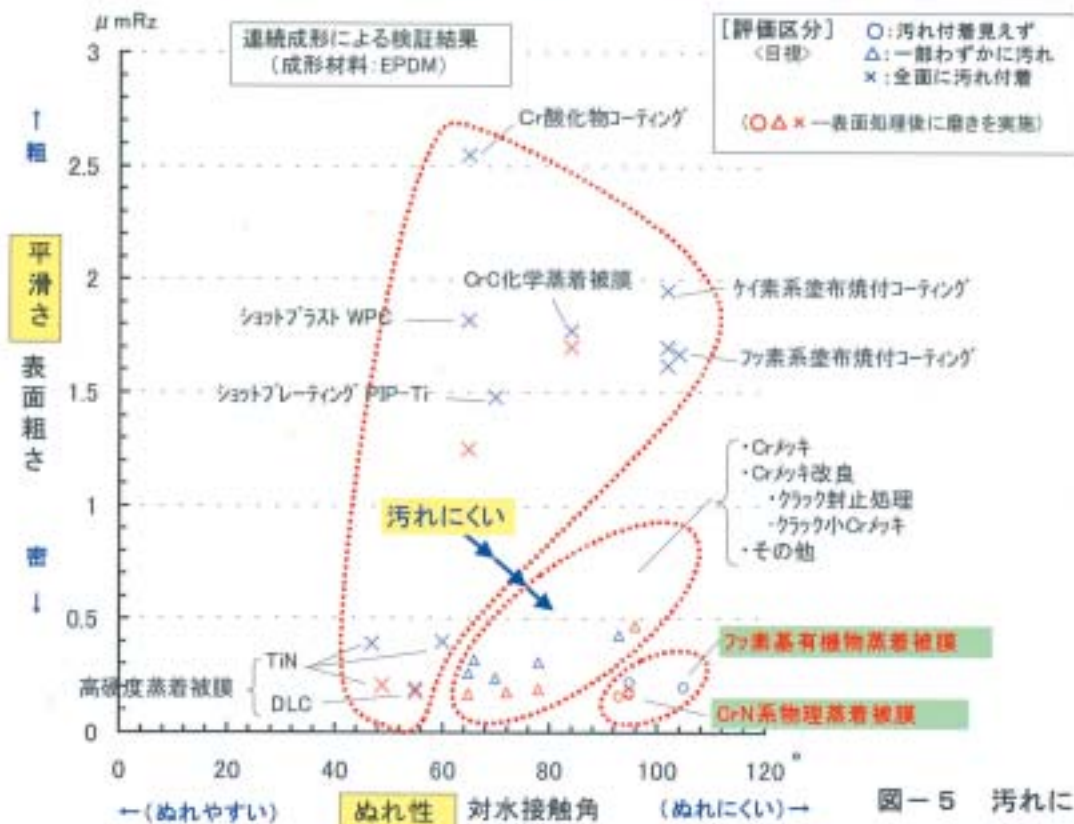


図-5 汚れにくい金型表面 (平滑さとぬれ易さの関係)

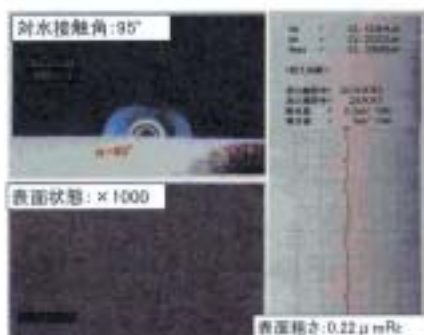


図-6 CrN系物理蒸着被膜の表面
(HCD方式イオンプレーティング)

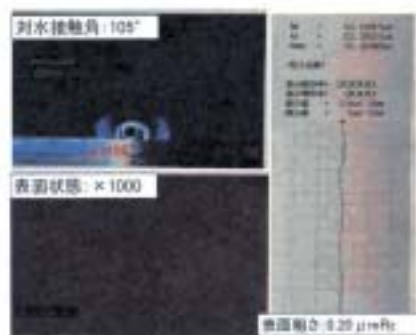


図-7 フッ素基有機物蒸着被膜の表面

これらのことから、平滑さとぬれ性の両方の特性に優れた表面処理が最も効果的な防汚性を発揮することが改めて明らかになった。

図-6はCrN系物理蒸着被膜の表面状態を示しており、対水接触角は 95° と高く、表面粗さは母材の表面粗さレベルを維持できている。このセラミックス被膜の加工にあたっては密着性に優れ、非常に緻密で溶融粒子が存在しない滑らかな表面が得られるHCD(ホローカソード)方式によるイオンプレーティング法が適しており、溶融粒子が多く発生し滑らかさを欠くAIP(アークイオンプレーティング)方式の利用は避けた方がよい。

図-8はHCD方式イオンプレーティング装置の概要を示したものであり、HCDのビームをルツボ内の蒸発源(Cr)に照射し蒸発させる方法である。

図-7はフッ素基有機物蒸着被膜の表面状態を示している。対水接触角は 105° と最高値に達し表面も非常に滑らかである。この被膜構成は、金属との反応性が高く安定性のある有機物を骨格とした密度の高いフッ素化合物から成立っており、真空蒸着法によって製膜される。

図-9はフッ素基有機物被膜に用いている真空蒸着装置の概要を示したものであり、真空中で被膜物質をヒータ加熱し蒸発させる方法である。

3-3. 実用上の評価と課題

フッ素基有機物蒸着被膜および、CrN系物理蒸着被膜を量産金型に適用し量産工程で評価した結果、汚れ付着の減少が確認できた。

特に、フッ素基有機物蒸着被膜は金型洗浄頻度の大幅な低減と離型剤塗布廃止などの顕著な効果が確認できた。今後、有機物被膜に見合った金型洗浄法を採用していくことが実用化に向けての課題となる。

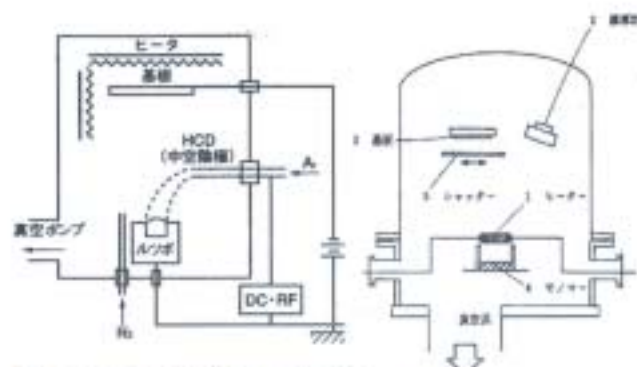


図-8. HCD方式 イオン
プレーティング装置

図-9. 真空蒸着装置

4. まとめ

生産現場の実態調査、汚れ付着要因の把握、技術情報の収集、検証テスト～量産工程での評価を通じて防汚性に優れた金型表面処理を新たに選定することができた。

型汚れは、低減できても皆無にはできないため、並行して進めている金型洗浄法の最適化や洗浄しやすい金型構造の採用も大切な取組みであり、これらとの組み合わせを図ることによって型汚れ問題に対し有効な手立てを講じることが可能となる。

なお、今回選定した防汚金型表面処理はゴム成形以外の分野への適用効果も期待できるので、引き続き評価していく。

参考文献

- 1) 山口幸一 ゴム用金型の汚染防止と金型洗浄の実態 ISS産業科学システムズ (1998)