

論文審査の結果の要旨

氏名：水谷 篤

博士の専攻分野の名称：博士（工学）

論文題名：自動車用プラスチック部品の射出成形における表面品質に関する研究

審査委員：（主 査） 教授 高橋 進

（副 査） 教授 安藤 努

教授 平山 紀夫

自動車用プラスチック部品であるバンパーは生産性の高い射出成形を用いて生産されている。使用している材料は、汎用プラスチックである PP（ポリプロピレン）をベースに、衝撃性や高剛性を確保するために、ゴムやタルクを含有している。このゴムとタルクが含有することで、PP だけでは発生しないが、樹脂が合流する部位で表面に数ミクロンの隆起が発生して、塗装後も線傷に見えることが外観品質の一番の課題となっている。この隆起には 2 つの種類がある。1 つ目の隆起は、樹脂の合流部であるウェルドラインに沿って発生する。また、2 つ目の隆起は、ウェルドラインから数mm離れた表層に発生する。そこで、本件研究では、金型内のゴムとタルクの流動挙動に着目し、2 つの隆起の発生メカニズムと抑制方法を研究した。

第 1 章「緒言」では、本研究の背景を整理し、研究の必要性和過去の研究の解説をすると共に本論文の構成を説明している。

第 2 章「ウェルドライン直下に発生する表面隆起」では、はじめに、金型内の材料流動時のゴムの伸張と配向の変化を明らかにするために、実部品の樹脂の流動挙動から合流する条件を対向に合流する場合（以下、対向流動）と平行に合流していく場合（以下、平行流動）を評価できる 2 つの成形品を用いて実験を行った。合流部のゴムとタルクの配向について SEM を用いて断面観察を行い、ゴムとタルクの配向を観察し、ゴムの伸長度は SEM 写真を 2 値化し、ゴムの長さとの比率を求めた分布図によって定量化した。この結果、対向流動では、ゴムとタルクは板厚方向に配向しており、平行流動では、タルクは同様に板厚の配向のままであったが、流動方向に伸張して配向していることを確認した。次に、金型流動の流動途中の表層部と板厚中心部、また、冷却固化した合流部の表層部と板厚中心部のゴムの伸長と配向を観察した結果、表層部ではゴムが大きく伸張しているのに対して、板厚中心部は伸張が緩やかであることが明らかとなった。また、流動途中ではゴムが流動方向に伸張しており、冷却固化が進め表層部と樹脂の流動部の境界で、樹脂の流動方向にせん断応力が作用し、ゴムが流動方向に伸張したことがわかった。一方、合流部では樹脂がぶつかってゴムが板厚方向に伸張することがわかった。そこで、表層部でゴムの配向が板厚方向に配向している厚さが隆起に影響すると考え、平行に配置した 3 つのゲートを持つ成形品を用いて、両サイドのゲートに対して、中心に配置されたゲートの樹脂注入タイミングを変化させることで、合流部の板厚方向のゴムの配向厚みを変化させた実験を行った結果、厚みが大きくなるに伴い、隆起も大きくなることを確認し、仮説を検証できた。次に、金型温度を高くすることで、ゴムの伸長が緩和すると考え、金型温度を 30～120℃に変化させた結果、温度を高くすると、ゴムの伸長が緩和し、更に、板厚方向への配向が斜めになることを新たに確認できた。以上の結果より、ゴムの流動が隆起に与える影響のメカニズムを整理し、流動時はゴム粒子が中心部から表層部に移動しながら流れ、表層部に移動したゴムは表層部付近で流動方向に伸張した状態で固化する一方、合流部では対向に合流することでゴムが板厚方向に配向する。これにより、合流部から離れた部位では、ゴムは流動方向に配向しているが、合流部ではゴムが板厚方向に配向しており、冷却固化時の板厚方向に収縮差が生じて、相対的な隆起になることを明らかにした。以上のメカニズムから材料と成形法の 2 つの視点から隆起の抑制方法の立案と効果検証の実験を実施した。合流時にゴムの伸長を緩和するために低せん断領域で熔融粘度の高いゴムを用いることで隆起を低減できることを確認できた。また、金型温度が高くなることでゴムの伸長や配向に変化することから、金型表面をコーティングすることで隆起を低減する新しい方法を実験で検証した。コーティングには、断熱性のあるセラミック系のコーティングと樹脂流動面が鏡面であるメッキコーティングを用いて実験を行った。その結果、断熱性のあるセラミックコーティングにより、表層部での

冷却固化が緩和されて、合流部での樹脂の熔融粘度が一時的に低くなり、樹脂の流動が進んで、合流部での表層部のゴム配向が斜めになったと考えられ、効果とメカニズムを明らかにした。

第3章「合流界面の先端部で発生する表面隆起」では、ウェルドラインから数mm離れた部位に発生する隆起についての発生メカニズムと抑制方法を研究した。隆起部の断面観察より、樹脂合流の界面部の先端部の表層で隆起が発生していることがわかっている。また、第2章の実験結果より、板厚中心部ではゴムの伸張が少ないことから、板厚中心部のタルクの配向が影響していると考えた。実験方法は、対向に配置されたゲートの成形品を用いて、樹脂の注入タイミングを変化させて、片側の樹脂を反対側の樹脂の中心部に潜り込むように成形した。樹脂の合流状態が隆起に影響すると考え、表層の合流点から潜り込んだ合流界面の先端部までの流動方向の長さを潜り込み長さとして定義し、隆起の高さとの関係を整理した。はじめに、隆起を引き起こす要因を絞り込むため、実験計画法を用いてL18直行表に割り付けて実験を行い、成形品の板厚が隆起の高さに最も影響することを明らかにした。次に、板厚の異なる3つの成形品を用いて、隆起の高さと潜り込み量の関係を評価し、板厚が厚くなるほど隆起が大きくなると実験計画法の結果を裏付ける結果が得られた。また、潜り込み長さと隆起の高さに関係あることが確認できた。また、潜り込み長さが長くなる隆起が小さくなる要因は、潜り込み長さが長くなると先端部のR形状が小さく尖った形状になり、タルクの板厚方向への配向が減少することで隆起が低減することが明らかとなった。以上の結果より、潜り込み長さを予測できれば隆起を予測できると考え、隆起の高さが低くなることを確認できた。以上の結果から、潜り込み量を予測できれば、隆起の高さを予測できると考え、樹脂流動シミュレーションを用いて、合流部の潜り込み長さについて、実際の流動とCAEの結果を評価し一方への潜り込みであれば高い予測精度であることが確認できた。

第4章「結言と今後の展望」では、第2章と第3章から得られた知見を総括すると共に、本研究の知見の活用として、タルクやゴムなどの新しいフィラーにおける射出成型品の外観問題への解決が期待できる。また、今後の展望として、実製品開発において、シミュレーションを活用した隆起の予測を示した。

以上の結果より、材料に含まれるゴムとタルクの流動挙動を解明することで、表面が隆起するメカニズムを明らかにすることができた。また、金型にコーティングを施工することで表層部の流動挙動を変化させて隆起を低減する新しい手法や合流部の板厚形状を変化させることで隆起を低減する手法の特許を取得することができた。よって、本論文では、プラスチック部品の外観品質において、問題となっている隆起にたいする有用な知見を示すものであり、この

この成果は、生産工学、特に射出成形部品の品質問題の解決に寄与するものと評価できる。

よって本論文は、博士（工学）の学位を授与されるに値するものと認められる。

以 上

令和 4 年 3 月 3 日