シューズの材料開発における技術動向

森 貞 樹

Technological Aspects of Shoe Material Development

Sadaki MORI (Institute of Sport Science, ASICS Corporation, 2-1, 6-chome, Takatsukadai, Nishi-ku, Kobe 651-2271, Japan)

Materials used in shoes have been widely developed according to the application conditions. Especially shoe sole is an important part to produce high-performance and prevent injuries. On the other hand, not only the development of new sole material but also adhesive technology and molding process of each individual part are so important in the shoes designing process. A shoe sole is consisted of many kinds of materials, for example, high abrasion rubber, EVA sponge and resin, etc. These parts are adhered with solvent adhesion manually. Therefore sole fabrication processes take much time and the qualities, such as adhesive strength and sole durability, are unstable.

In this few years, adhesive and molding methods have been developed with considering environmental issue. In this paper, the current technological aspects, material development, adhesive, molding technology and environmental issue are presented.

Key Words : Shoe Material, Reactive-hot Melt Adhesive, Injection Molding Technology, Dismantlable Adhesion, Micro-wave, Recycle System

1. は じ め に

スポーツシューズは、その使用用途や条件、サーフェイスの違いにより様々な材料が使用される。例えば体育館で使用されるバスケットやバレーボールのソール（底材）には主としてグリップ性と引張強度に優れた天然ゴムが使用され、ランニングやマラソンシューズソールには耐摩耗性に優れたブタジエンラバーが使用される。また、サッカーやラグビーなどのスパイクシューズには芝生上でのグリップ

性や耐摩耗性を考慮した樹脂製(ウレタン)ソールが一般的となっている。一方、図1に示すように、一足のシューズを見ても、ゴム、ゴムスポンジ、EVA(エチレン-酢酸ビニル共重合体)スポンジ、プラスチック、合成繊維、人工皮革、衝撃緩衝材などが使用されており、シューズを設計する上で、用途や要求性能に応じて様々な材料の知識が必要となる。

さらに、異素材から構成されるシューズを成形する際には、接着技術が重要となり、複雑な工程を要する。そのため、製靴技術は未だ労働集約型の生産体制から脱却されておらず、労働賃金の安価な国々へ生産工場が移転しているのが現状である。

その一方、シューズの材料開発においては、将来に向けた様々な研究開発が取り組まれている。本書では、「材料

図1 ランニングシューズに使用される材料

森 貞樹；(株)アシックススポーツ工学研究所 (〒651-2271 神戸市西区高塚台6-2-1) 材料開発チームマネージャー。1989年京都工芸繊維大学繊維学部高分子学科卒業，1989年(株)アシックス入社，現在に至る。専門は材料力学，高分子材料の成形加工。日本ゴム協会関西支部幹事

開発」,「接着技術」,「成形技術」,「環境配慮」をキーワードとし,最新の研究開発動向を紹介する。

2. シューズの材料開発について(超軽量ミッドソールの開発)

一般にシューズのアップパー(足を包み込む部分)とアウトソール(底材)の間には衝撃を緩衝させるためのミッドソールと呼ばれるスポンジ材が配される。従来ミッドソールの材質はEVAを架橋発泡させたスポンジが使用されてきた。その要因として,接着性,加工性,発泡成形性,物理的特性が挙げられる。筆者は,従来当たり前とされてきたEVA製ミッドソールに着目し,「EVAを使用しなかったら,どのようなスポンジができるのだろうか?」という疑問から研究を開始した。様々な材料を用いた架橋発泡テストを実施する中で,自動車のバンパーやスナック菓子の袋に改質材として使用されている α -オレフィンを使用することにより,EVAではなしえない軽量化の可能性を見出した。さらに α -オレフィンだけでは,目標とする力学的特性や比重などが達成できないことも明らかとなった。そこで,高強度かつ発泡成形性に優れたスチレン系エラストマーをブレンドし,それぞれの融点の差異から,二軸押出機を利用したブレンド比率や混練方法などを検討した。また,そのコンパウンドを発泡させる時の架橋剤の添加量や発泡剤の選択,発泡条件など様々な点からも研究を行った。その結果,従来にない新たなミッドソール素材を開発することができた。図2に開発した超軽量ミッドソールと従来のミッドソールの写真を示す。超軽量ミッドソールは,約半分の重量となっており,シューズの軽量化に大きな役割を果たした。

さらに,本材料は単に軽量だけではなく,図3に示すように使用する温度条件によりクッション性が一定であるという特徴も併せ持つ。すなわち,夏の炎天下で履こうが,極寒の中で使用しようがシューズとしてのクッション性に変化がないという優れた特徴をも併せ持つ。

本研究開発は,従来の概念にとらわれず,新たな発想をすることにより,さらにシューズとしての機能性が向上できた例と言える。

一方,シューズに用いられるスポンジは,架橋発泡成形が一般的であり,金型内で架橋と発泡という化学反応を同時に起こして成形される。このため,その成形条件是非常

従来のEVAスポンジ

超軽量スポンジ

図2 ミッドソールの重量比較

図3 気温変化によるクッション性の変化

に複雑であり,これまで理論的に解明できない部分が非常に多く残されており,経験と勘に頼っていた。本開発をきっかけに架橋発泡に関する基礎研究が取り組まれつつある^{1,2)}。

3. 接着技術について

シューズの製靴工程の中で,最も人手が必要とされ,時間を要するのが接着工程である。この複雑な接着工程のため,シューズの生産が労働賃金の安価な国々に移転している(図4)。シューズの接着工程が労働集約型から脱却できない主な理由として,以下の点が挙げられる。

- ・材料種が多い(処理方法が異なる)
 - ・細かなパーツが多い(サイズ違いがある)
 - ・時間がかかる
 - ・有機溶剤を使用しているため労働者の健康面に良くない
- そこで,上記の課題を解決するため,短時間で,しかも

図4 シューズ生産基地の推移

図5 ホットメルト接着剤の時間と接着強度の関係

図6 UV-R-HMと従来の接着工程の作業時間

半自動化が可能な「UV硬化型反応型ホットメルト接着剤（以下、UV-R-HM）」のシューズ製靴工程への適用がなされた。UV-R-HMは、ホットメルト接着剤の無溶剤、短時間接着という利点と空気中の水分との反応で高い接着力を有する点を組み合わせた接着剤である。しかし、単なる反応型タイプでは、接着工程中の各パーツの張り合わせが不可能であり、初期にある程度の凝集力が必要であった。そこで開発されたのが、紫外線(UV)照射により初期凝集力を生み出すシューズ用の多段階硬化型ホットメルト接着剤である。図5に概略を示す。

本接着剤を使用することにより、図6に示したように従来の接着剤と比較して一部の塗布工程が機械化され、大幅に接着時間が短縮され、しかも無溶剤となり環境面や労働者の健康面にも配慮した接着工程が実現できた。本接着剤の適用は、シューズ業界では初めての試みであり、国内のシューズ工場への導入が検討されている。

4. 環境配慮について

現在の社会情勢から、環境配慮は重要な問題である。一般の家庭ゴミも分別廃棄が常識となっており、空き缶やペットボトルなどもリサイクルが習慣化されている。しかし、シューズにおいては、使用後にそのままゴミ箱へ廃棄されているのが現状である。上述したが、シューズは様々な材料から構成され、しかも使用中に各パーツが容易に剥離しないように強固に接着されている。しかし、廃棄時にこれらのパーツごとに容易に分解することが可能であれば、分別廃棄やリサイクルが促進されるであろう。そこで、使用中は強固に接着されている各パーツを、短時間で容易に解体可能な接着剤の開発が行われている。

解体性接着剤は、接着剤中に膨張型発泡剤を添加し、加熱により容易に剥離できるものである。本技術³⁾は、文献などによく紹介されているが、シューズの場合、構成されるパーツが耐熱性を有し得ないため、シューズ全体を加熱することとなり、各パーツが熱により損傷を受け、リサ

図7 マイクロ波照射によるシューズの解体例

図8 シューズリサイクルシステムの概要

図9 インジェクション製法によるミッドソールの成形工程

イクルが困難になる。さらに、夏場の乗用車のトランクを想定した場合、シューズとしての機能を損なわないため、その温度下(約70℃)での発泡剤の膨張を避けなければならないという課題があった。

そこで、解体したい部分(接着剤層)のみを部分的に加熱し、発泡剤の膨張により容易に分解可能な接着技術を開発した。

考案されたのは、マイクロ波(電子レンジ)を用いた部分加熱による解体技術である。図7に模式図を示す。

膨張型発泡剤と高誘電剤を添加した接着剤に、マイクロ波を2～3分照射することにより、接着剤層のみが加熱され、接着剤に添加した膨張型発泡剤が発泡し、急激に接着力が低下する。

本手法を用いることにより、短時間で、しかも壊したい部分のみを分解することが可能となり、さらに分解したパ

ーツは熱による損傷を受けていないため、容易に分別、リサイクルが可能となる。

本接着剤の開発により、廃棄時に容易にシューズの分別廃棄が可能となった。現在は、分別したパーツ毎に粉碎し、新規材料に添加することにより新たな充てん剤として使用する検討が実施されており、図8に示したような、環境により配慮したシューズの循環型システムが計画されている。

5. 省力化成形技術開発について

5.1 インジェクション成形技術(ミッドソールスポンジ)

先にも述べたように、シューズの生産工程は労働集約型に依存しており、労働賃金の安価な国々への移転を繰り返している。このため、長納期化、技術の流出、ロットが大きくなる等の問題がある。再び日本国内でのシューズの生

産“Made in Japan”を目指した取り組みがなされている。その中で、接着工程とともにシューズの製靴工程において人手を要するのが、ラバーやスポンジなどのパーツのプレス成形である。これらの成形工程を省力化するために、人手をかけないで成形が可能なインジェクションによる成形技術開発が有力とされている。

一般的なミッドソール(スポンジ成形)の従来の成形工程とインジェクションを用いた場合の工程を図9に示す。

図9から明らかなように、ミッドソール一つのパーツを見ても、長い工程と多くの人手を要している。本工程をインジェクションにより、一回で複雑形状のミッドソールが成形可能となれば、大幅な工程とコスト削減になり、さらに機械化であることから、品質のばらつきが少ない安定した生産が期待できる。現状の、スポンジインジェクション成形では、架橋と発泡という二つの化学反応により成形されるため、寸法や発泡安定性などの面で制御が困難となっている。一部のシューズにインジェクション成形を用いたスポンジが使用されるようになってきたが、今後更なる技術向上により、軽量で機械特性に優れたインジェクション製法によるスポンジの開発が急務となる。

5.2 インジェクション成形技術(アウターソール用ラバースポンジ)

ミッドソールと同様にアウターソールに使用されるラバースポンジに関しても、インジェクションによる成形技術が開発されている。

アウターソールは、ミッドソールスポンジと異なり、直接地面と接することから、耐摩耗性やグリップ性が要求され、配合中のゴム成分の添加比率が高くなる。このため、成形後の収縮や硬度変化が大きくなる。さらに、細かな意匠形状が求められるために、架橋速度の調整や高粘度の材料の成形条件など、課題は多く残る。現状では比較的単純な形状の単色ソールに限定された使用となっている。今後、

さらにインジェクションに適した材料設計や高粘度材料の射出シミュレーション技術が進化することにより、より複雑で、生産効率に優れ、多色使いのソール開発が可能となると考えられる。

6. お わ り に

“足”は第二の心臓と呼ばれるように、人間の体にとって重要な部分である。その重要な部分である足に装着するシューズにおける材料設計には、着用者をけがから保護し、スポーツにおいては選手の能力を最大限に発揮させ、さらに全ての使用環境において快適な生活を提供することが求められる。他業種の材料開発と異なるのは、直接人が身に装着するため、材料の評価を主観的评价に委ねざるを得ないという点も重要な要素となる。そのため、様々な用途に適した材料開発がなされているが、今後はこれら感覚を定量化し、それを指標とした材料設計が必要となる。さらに、高機能、高品質を維持し、安定してユーザーに供給するため、単なる材料開発だけでなく、それに付随する成形技術や接着技術の益々の進歩が急務であると考えられる。

References

- 1) Tateishi, J.; Mori, S.; Imazato, K.; Nagatani, A.; Washiya, H.: Nippon Gomu Kyokai Elastomer Tsuronkai Youshisyu, **19**, 118 (2008)
- 2) Tateishi, J.; Mori, S.; Imazato, K.; Nagatani, A.; Washiya, H.: Plastics Seikei Kakou Gakkai Nenji Taikai Text, **19**, 217 (2008)
- 3) Sato, C.: Nippon Gomu Kyoukaishi, **81**, 18 (2008)

日本語表記参考文献

- 1) 立石純一郎, 森貞樹, 今里克博, 長谷朝博, 鷺家洋彦: 日本ゴム協会エラストマー討論会講演要旨集, **19**, 118 (2007)
- 2) 立石純一郎, 森貞樹, 今里克博, 長谷朝博, 鷺家洋彦: プラスチック成形加工学会年次大会テキスト, **19**, 217 (2008)
- 3) 佐藤千明: 日本ゴム協会誌, **81**, 18 (2008)

*

*

*

*

*