

特集記事

マイクロ波加硫装置の省エネルギー化

The Energy Efficiency & Conservation of Microwave Vulcanization System



マイクロ電子株式会社 山中 亨
Micro Denshi Co.,Ltd, Toru Yamanaka

〒350-0833 埼玉県川越市芳野台 2-8-25
e-mail:yamanaka@microdenshi.co.jp

1. はじめに

ゴム加硫におけるマイクロ波処理は、主に自動車用ウェザーストリップゴムや、建築ガasket用ゴム、OA ロール用ゴム、土木用シール材ゴムなどの連続加硫に広く利用されている。最近ではゴムの予熱用やゴム配合テスト機のバッチ式マイクロ波オーブンなどの利用も多くなっている。

2. マイクロ波連続加硫装置

2-1. マイクロ波のゴム工業への応用

ゴム製品の製造工程の中で、加硫成形工程は時間と多量のエネルギーを要し、この問題の解決を図るには、合理的なエネルギー源の活用による連続化に他ならないと言える。しかし、一般にゴムは熱の不良導体でありスポンジゴムや複雑な中空構造の押出製品に至っては熱の絶縁体とみなせ、このため断面形状の大きなものの中には、中心部までの熱伝達に時間がかかり、加硫工程だけではシステムの連続化を阻む障害となっていた。近年、「マイクロ波によるゴム加硫」が急速な勢いで導入されてきたが、これはゴム自体がマイクロ波の吸収により発熱するという他に類のない特徴の結果と思われる。このために大幅な省エネルギー化が図れるばかりか、マイクロ波は光速の高速応答性能を持っているため加硫温度の制御性の良さによる歩留向上、品質管理の容易性が上げられ、連続加硫においては押出工程から、加硫、冷却、切断まで一貫した連続ラインを構成することが可能となり、省力化、合理化が計れる訳である。主に、自動車用ウェザース

トリップ製品の連続加硫ラインは国内はもとより、広く海外へ輸出され、ゴム連続加硫設備といえばマイクロ波と言われるまでに大きな発展を遂げた。ゴム業界にとってマイクロ波加硫設備は欠くことのできないものとして定着した。

一般のゴム加硫は熱によりゴム配合中の硫黄、加硫促進剤が反応してゴム分子間に強固な結合をつくり、広い範囲にわたってゴム状弾性を得るものである。この加硫工程は、ゴム生地を成形し加硫反応させて製品とするための大変重要な工程である。しかし、ゴムは鉄などに比べ、比熱で4.5倍、熱伝導度では1/500にもおよぶ熱の不良導体であるため、多量のエネルギーと時間を要し熱効率が悪い。そのうえに、熱の絶縁体ともいえる発泡したスポンジゴムや中空構造の肉厚押出製品にいたっては、大変な加硫時間がかかってしまい生産の合理化を阻んでいた。ここで、ゴムにマイクロ波加熱が取り入れられる必然性が生まれるわけである。

2-2. マイクロ波連続加硫

マイクロ波加熱によりゴムを瞬時に加硫温度まで昇温させ、熱風槽で所定の時間保持して加硫する方法で熱効率がよく、ベルトコンベア、駆動ローラ、無駆動形状ローラにて静止移動させるので製品形状が安定する。現在は熔融塩 (LCM) 加硫、流動床 (FB または PCM)、熱風槽 (HAV) に変わり押出成形品の連続加硫の主流をなしている。図1は、各加硫方式における昇温時間を示したもので、内部加熱を特徴とするマイクロ波 (MW) がきわめて熱効率が良いことを示している。

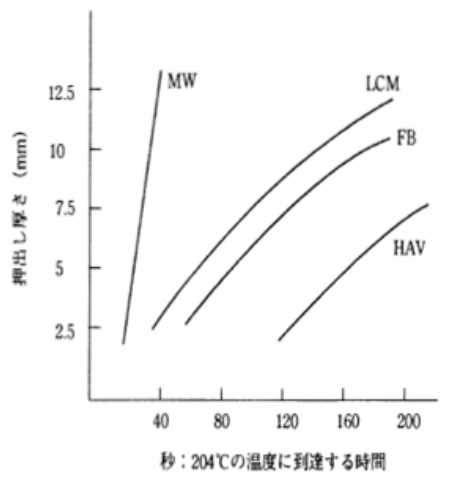


図1 加硫方式とゴム初期温度上昇

2-3. マイクロ波連続加硫装置の基本仕様

マイクロ波によるゴムの連続加硫法は、図2のように押出機で押し出された成型ゴムをマイクロ波炉で加硫温度まで瞬時に昇温させ、熱風炉などで所定の時間保持し加硫する方法である。図3は、一般の加硫法とマイクロ波加硫法を比較したもので、加硫時間は大幅に短縮される。この加硫方法は、常圧下での高温高速加硫が原則となるため、マイクロ波連続加硫の成否は、吸収特性を含めたゴム配合技術が大きな要因となる。

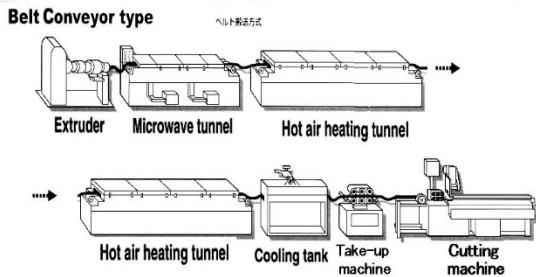


図2 一般的なゴム加硫ライン構成

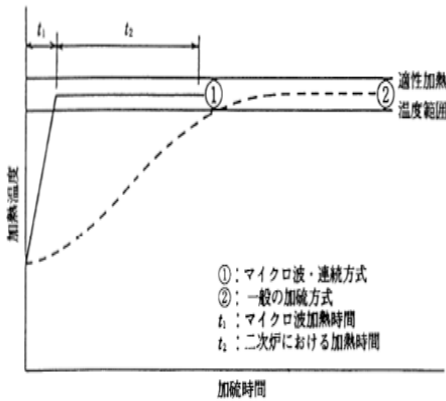


図3 一般の加硫方式とマイクロ波加硫方式の比較

マイクロ波加硫炉は、図3のようにゴムを適正加硫温

度まで急速に昇温させるのが目的であるから、その処理量はマイクロ波出力に比例し、次式のエネルギー計算式を用いて概略算定できる。

$$P = \frac{4.18 \cdot W \cdot S \cdot C \cdot \Delta T}{60 \cdot \zeta} \text{ (W)}$$

ここで、 W ：押出ゴムの単位重量(g/m)
 S ：ゴム押出速度(m/min)
 C ：ゴムの比熱(cal/g・℃)
 ΔT ：ゴムの昇温範囲(℃)
 ζ ：加熱効率

例えば、300g/m のゴムを押出速度=10m/min (180kg/h) で処理する。ここで、 $\Delta T=100^\circ\text{C}$ (押出機から出たゴム温度を 80°C 、加硫温度を 180°C)、ゴム比熱=0.35、加熱効率=0.8 として計算するとおおよそ9kW となる。

マイクロ波加硫装置の概略仕様例

型式	MCV-60	MCV-120	MCV-200
処理能力	100～120kg/h	200～240kg/h	400～500kg/h
発振器型式	UM-1500	UM-3000	UM-5000
MW出力	6kW(1.5×4)	12kW(3×4)	20kW(5×4)
周波数	2450MHz	2450MHz	2450MHz
冷却方式	空冷	水冷	水冷
槽内温度	180～250℃	180～250℃	180～250℃
装置長	6m	7m	8m

マイクロ波連続加硫装置



2-4. 安全への配慮

連続加硫を可能にするために、アプリケーションの出入口

は常に開放にする必要がある。このために、出入口の手前にはそれぞれ概略 1m の長さのフィルターゾーンを設けて、マイクロ波の漏洩を安全基準の限度値以下にしている。

また、短時間加硫を実現するために、装置としてはマイクロ波の高出力化や加硫温度の高温化などが必要になるが、同時に火災リスクが伴う。原因としては生産中のゴム片や汚れなどが槽内に残りマイクロ波を照射し続ける中で高温になり発火する現象である。今までは UV センサーで紫外線を感知してマイクロ波の照射を停止して同時に炭酸ガスを噴射する機能を備えて火災発生を回避してきたが、最近はアプリケーション内に数カ所温度計を配備して槽内設定温度よりも高温になった場合にマイクロ波の照射を停止して炭酸ガスを噴射させることにより、より安全性を重視した対策を装置に取り付けることにより発火を抑える構造も採用されている。

2-5. これからの加硫装置の展開

ここ近年製品コスト低減、設置長さの省スペース化、省エネルギー化の観点より加硫時間を短縮する「高速加硫」化への動きがある。この短時間加硫すなわち「高速加硫」を達成するためにまず加硫装置面では、ゴムを「均一しかも高温・高速昇温」させることが必要で、ゴム配合面では、マイクロ波昇温特性・加硫速度・発泡速度等の諸条件を加硫装置にうまくマッチングさせることが重要である。高速ライン化への取り組みとしてはマイクロ波出力の大出力化、槽内温度高温化、高風速化などがあげられる。また、ポリマーメーカー、カーボン薬剤メーカーの各分野でも開発研究が進められているが、この双方の技術の確立なしに「高速加硫」化の進展は難しいといえる。今後は更に高効率の省エネルギー、省スペース、環境対策など一層の改善が要求されるであろう。以下、弊社の高速・省エネラインの概要を紹介する。

省エネ化 12kW マイクロ波加硫ライン概要



ライン構成

1. 12kW マイクロ波加硫装置 1 式

仕様

型式：MCV-120GB

生産速度：30m/min

搬送高さ：1080 mm

熱風温度：200～250℃

製品通過開口：W130×H85 mm

外形寸法：W1790×L7180×H1380 mm

加硫槽炉体：全長 6320mm 有効長 4190mm

3kW マイクロ波発振器：UM-3000HB 型 4 式

アイソレータ：IM-5000 4 式

搬送方式：ベルト搬送

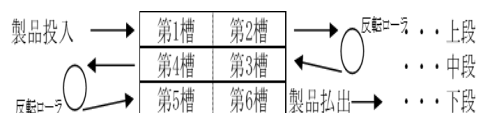
熱風熱源：ガス燃焼方式

2. 13m 3 段式高風速熱風加硫装置 1 式

仕様

型式：MHV-13GB-3P3

構成：



熱風温度：200～250℃

熱風風速：15m/sec 以上

搬送速度：3.0～30.0m/min

製品通過開口：W75×H80 mm

外形寸法：W2116×L20490×H1907mm

加硫槽炉体：有効長 12600mm

搬送方式：ベルト搬送

熱風熱源：ガス燃焼方式

従来ライン構成

1. 12kW マイクロ波加硫装置 1 式

2. 9m高風速熱風加硫装置 4 式

従来ラインとの比較

省スペース：装置全長 43m→27m

省エネ：ガス燃焼量比較

マイクロ波加硫装置（従来装置比較－26％）

熱風加硫装置（従来装置比較－24%）

3. おわりに

弊社では各種マイクロ波テスト装置を完備している。現在はホームページ等の問い合わせにより様々なテスト依頼を受けて実施している。最近はマイクロ波エネルギーでカーボンニュートラル実現のための可能性を期待する案件が多く見受けられる。省エネルギー実現、CO₂削減の代替エネルギーへの展開、リサイクル用途への活用など今後マイクロ波エネルギーは脱炭素社会実現に向けて大きな可能性を持つと信じている。以下、マイクロ波活用によるCO₂削減事例を紹介する。

付記 マイクロ波活用のCO₂削減事例の紹介

1. 食品の蒸沸工程の事例

食品工場にて蒸沸工程にボイラーを使用し、年間660kLのA重油を消費していた。環境省が公開している「算定・報告・公表制度における算定方法・排出係数一覧（※1）」によると、A重油1kLあたりのCO₂排出量は2.75tである。従ってボイラーを使用していた工程でのCO₂排出量は式（1）のように求められる。

$$660\text{kL}/\text{年} \times 2.75\text{t-CO}_2/\text{kL} = 1815\text{t-CO}_2/\text{年} \quad (1)$$

この工程をマイクロ波による直接加熱に置き換えると、1時間あたり消費電力量300kWhの装置で対応できた。1日の稼働時間20h/日と年間の稼働日数300日/年、及び環境省が公開している「電気事業者別排出係数一覧（※2）」から代表値として0.000434t-CO₂/kWhを使用すると年間のCO₂排出量は式(2)のようになる。

$$300\text{kWh} \times 20\text{h}/\text{日} \times 300\text{日}/\text{年} \times 0.000434\text{t-CO}_2/\text{kWh} = 781.2\text{t-CO}_2/\text{年} \quad (2)$$

式(1)と式(2)の値を比較すると、約43%になっており、A重油ボイラーの工程からマイクロ波に切り替えたことで、年間のCO₂排出を率にして約57%、量では約1033t削減したと言える。

2. 食品の加熱殺菌工程事例

食品工場にて食品の加熱と殺菌の工程に連続式の蒸し機を使用しており、熱源はA重油ボイラーであった。ボイラーの負荷等から導いたA重油の消費量が約11L/hであったことと、稼働時間10h/日、稼働日数310日、及び

排出係数からCO₂排出量を試算すると式(3)になる。

$$11\text{L}/\text{h} \times 10\text{h}/\text{日} \times 310\text{日}/\text{年} \times 0.00275\text{t-CO}_2/\text{L} = 93.78\text{t-CO}_2/\text{年} \quad (3)$$

連続式の蒸し機を連続式マイクロ波加熱装置に置き換えると1時間あたりの消費電力量約36kWhで同等の加熱が出来ることがわかった。稼働時間と稼働日数は同じで、電力の排出係数からCO₂排出量を求めると式(4)になる。

$$36\text{kWh} \times 10\text{h}/\text{日} \times 310\text{日}/\text{年} \times 0.000434\text{t-CO}_2/\text{kWh} = 48.43\text{t-CO}_2/\text{年} \quad (4)$$

式(3)と式(4)と比較すると、約51.6%になっており、A重油ボイラーを使用した蒸し機から、マイクロ波加熱装置に切り替えたことで半分近くのCO₂排出量削減を達成した。

どちらの例も従来加熱とマイクロ波加熱で比較して大幅に加熱効率が改善されたためCO₂排出量の削減に繋がっている。重油の購入代金と電気代を比較してランニングコストの低減も可能である。場合によっては、ボイラー等の熱源が工場から無くなるため、夏場の作業環境が改善することもある。

※(1) 環境省 HP 「算定・報告・公表制度における算定方法・排出係数一覧」

https://ghg-santeikohyo.env.go.jp/files/calc/itiran_2023_rev.pdf

※(2) 環境省 HP 「電気事業者別排出係数一覧」

https://ghg-santeikohyo.env.go.jp/files/calc/r05_coefficient_rev4.pdf

【参考・引用文献】

- 1) ミクロ電子：マイクロ波応用加熱装置技術資料
- 2) 美濃部富男：”マイクロ波ゴム連続加硫ラインの最近の動向“ポリマーダイジェスト2003年Vol55 p129-160