

ヘレウス株式会社 ノーブルライト事業部

Noblelight Discovery

Issue 2 | September 2017

質問：温度は UV 硬化にどのような影響がありますか？ どのように制御し、どのように測定するのでしょうか？

Question & Answer How does temperature affect UV Curing? How is it controlled, and how is it measured
By R. W. Stowe, UV Application Engineering Consultant, Heraeus Noblelight America LLC

回答

温度は UV 硬化における 4 つの重要な変数¹ のうちの 1 つです。ここでは、インク、コーティング剤、塗料または接着剤の温度を意味しています。また、基材の温度も重要になります。

表面に到達するすべての放射エネルギーは、フィルムに熱を発生させます。その結果得られる温度は、表面および基材の吸収率に依存しています。フィルム（インク、コーティング剤など）および基材は、独自の分光吸光度、比熱、熱伝導率、拡散率特性を有しています。

温度は、硬化材料の粘度を低下させることがあり、流出、レベリング、濡れ性、分子移動度に影響を及ぼします。主に、非反応性粒子を含有する粘性のある（チクソ性の高い）媒体中の比較的大きな分子の流動性が上昇する結果、確かに反応速度が増加することもあります。

高圧水銀 UV ランプは、一般的に約 900°C の石英管表面温度で点灯します。表面に到達する赤外線は、主にバルブの表面積に関連しており、ステファン・ボルツマン法に従っています。バルブには、主にその直径に関連があり、他のバルブ

の 3 倍の IR エネルギーを生成するものがあります。LED が発生する放射エネルギーには、それほど多くの IR や可視光線は含まれていませんが、表面に到達するエネルギーの熱的効果という点からすると、「1 ワットは 1 ワット」と覚えておく必要があります。

フィルムの温度上昇は、潜在的に有益な (+) 効果、または有害な (-) 影響を及ぼす可能性があります。有益な効果とは次の通りです：

- + 反応速度の増大
- + レベリングおよび光沢の改善、または
- + 基材の濡れ性および接着性の改善

しかし、過度の熱によるマイナスの影響には、以下があります：

- 粘性が低下し、波紋や流れが発生する
- PR ポリマーからの低分子量分子の揮発により、その特性が損なわれる
- 酸素阻害効果が増大する、または
- 軟化、劣化、あるいは基材が損傷する

実際の回答は、全体的にどのようにフィルムや基材が熱に影響を受けるかによるでしょう。これが表面温度が常にUV照射の仕様の一部に含まれるべき理由なのです。明らかにコーティング剤やインクでは異なるでしょうし、紙、ガラス、金属、プラスチック、木材などの基材でも異なるでしょう。以下の項目は、優先順位と大まかなコストのに並んでいますが、表面温度を低下できる方法です：

1. UV硬化系の照度効率、反応効率を最適化し、搬送速度を速くします（装置によっては速度を上げられないものもあります）。
2. より小さな直径の高圧水銀ランプバルブを選びます。これらのバルブはIRの発生量が少ないです
3. 表面を冷却するために空冷を使用します。エアフローが効果的な場合はランプエアを使用します
4. コーティング剤が高ピーク照度を必要としない場合、ランプの焦点をはずすといった方法もあります。基材で集光しない場合は、温度上昇を減少させる可能性があります。
5. コールドリフレクターを使用してください（図1参照）。
6. IRカットフィルターを追加してください。
7. UV LED光源を使用してください。UV LED光源を使用する場合は、通常フォーミュレーションと光開始剤を変更しなければなりません。
8. ウェブの下にチラーロールやコールドプレートを使用してください（透明なフィルム基材の場合有効です）。

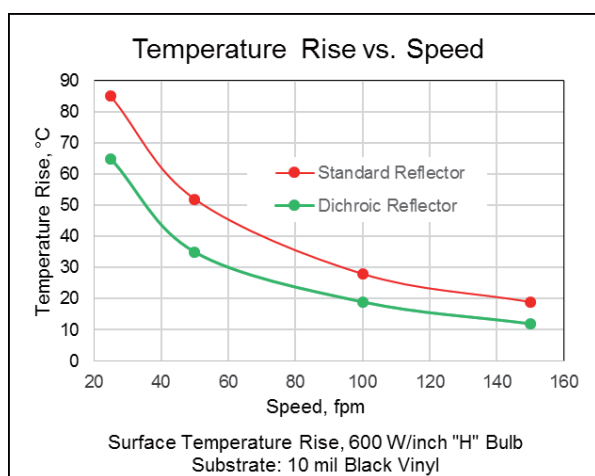


図1： 高圧水銀ランプシステムにおける (a) コールドリフレクター使用の有無と (b) 搬送速度による温度への影響

UVランプ下での温度測定

これは困難な課題です。UV硬化に関する場合、温度測定の一般的な目的は、UVランプ下を通過する際に温度に敏感な基材、インク、またはコーティング剤の瞬間的なまたはピーク温度を決定することにあります。表面温度の上昇は、(a) 表面に到達する放射エネルギー、(b) インクまたはコーティング剤の分光吸光度、および (c) 基材の熱伝導率または拡散率に影響を受けます。

測定方法にはいくつかありますが、すべてに何らかの欠陥があります。それぞれの方法の誤りを理解しなければなりません。そうでなければ、データを理解することはできません。放射分析からわかるように、測定結果が仕様に用いられ、測定方法が定義されていない場合、それらの値にはほとんど価値がなく、確実に誤解を招くでしょう。これはさらに温度測定における問題です。

1. サーモラベル

非可逆性反応によって、ラベルが照射されたピーク温度を示す装置があります。コーティング剤とは異なり放射熱を直接吸収するため、赤外線を照射された場合には適切に機能しません。さらに悪いことに、その装置は放射線から基材を遮蔽し、またはそれを加熱し、結果を歪めることとなります。

2. 熱電対

バルク平均温度（回路基材やコンポーネントの内部など）にのみ関心がある厚いサンプルを除き、熱電対を信頼して使用するのは困難です。熱電対は先端の小さな金属玉の温度

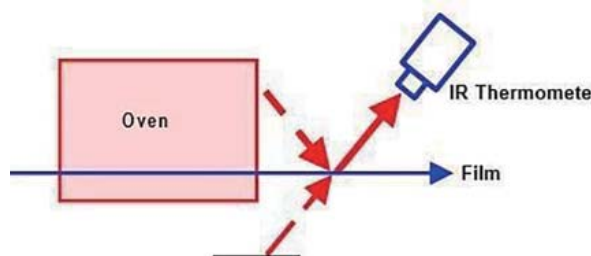


図2： (a) 透過および (b) 反射による温度誤差の可能性

のみを記録するので、測定対象とはほぼ完全に熱接触していなければなりません。輻射加熱にさらされると、表面または空間の温度とはほとんど関係のない温度を表示し、それは通常はるかに高い温度を示します。

照射された部分の表面温度を測定する試みは、放射線の影響を低減するために導電性接触子およびオーバーテーパーを改善するためのさまざまな接着剤との組み合わせも含まれます。このようなすべての要素が正確な測定を妨げる可能性があります。

3. 非接触温度計

赤外線温度計とも呼ばれる非接触電気光学装置は、温かい表面または熱い表面の赤外線放射を測定できます。表面からの赤外放射は、表面温度および放射率と相関があるため、表面温度に反応します。

測定を行うためには、携帯計測器を表面から適切な距離に配置します。測定は数秒で行うことができます（LED ビームの目的はターゲットを特定することであり、測定の一部ではないことに注意してください）。測定は、機器の信号出力をチャートレコーダーに接続することによって連続的に行うこともできます。光学的温度計は放射率に対して較正されますが、有機物および多くの非金属材料は約 95%の放射率があります（「黒体」または 100%の完全放射体と比較）。これにより、0.95 の定数を使用することによって、再較正なしで、ほとんどすべての材料を高精度で読み取ることができます。

UV ランプで使用される非接触温度計の欠点は、ランプ直下にあるときに表面を測定することが難しいことです。しかし、これは容易に解決することができます。照射後の既知の時間に順番に 2 回測定すると、ピーク表面温度の推測が可能になります。ほとんどの場合、照射した後でできるだけ早く測定するだけで十分です。非接触 IR 温度計は、表面温度を測定する正確かつ信頼性の高い方法ですが、大抵 UV ランプを照射した直後の測定に限定されています。

プラスチックフィルムの温度測定

IR 温度計は、一般的に広範囲にわたり、4 ~ 14 μ m (4,000 ~ 14,000nm) の IR 領域のスペクトルの範囲で、特定の波長に応答します。これは、透明なプラスチックフィルムの温度を測定することが難しい理由です。一般的なフィルムは、ほとんどのスペクトル領域で透明な可能性がありますので、広帯域の検出器で測定すると、フィルムの温度は測定されず、床やその他の物体の温度が測定される場合があります。

ほとんどの透明プラスチックフィルムは、3.4 μ m と 7.9 μ m のいずれかまたは両方で分子共鳴吸収（不透明度）を示すため、温度の正確な測定には、これらの波長でのみ動作するより精密な機器が必要になります。³ 図 2 は、透明プラスチックフィルムの温度を測定する際の測定誤差の潜在的な原因を示しています。

UV 硬化では、熱が有益な場合があり、プロセスの有効性を高めることができますが、限界があります。過度の熱はダメージが生じる可能性があります。独立して温度を上昇または低下させる方法があります。温度をプロセス設計変数の 1 つとして、プロセス仕様と、プロセス制御測定に含める必要があります。

参考文献

1. 4 つの主な独立したパラメータは、UV 波長 (λ_1 - λ_2)、照度プロファイル (I_t)、速度と温度です。硬化プロセスには欠かせない積算光量 (J/cm^2) は 2 つの主要変数（照度プロファイルと速度）の二次的な組み合わせです。
2. UV+EB Technology, Vol 1, issue 3, 2015; "Cure Ladders" for Optimizing a UV Curing System
3. "Plastic Film Measurement;" publication AN108, by Ircon, Inc.

ヘレウス株式会社
ノーブルライト事業部

〒112-0012
東京都文京区大塚2-9-3
住友不動産音羽ビル2F
Tel: (03)6902-6600
Fax: (03)6902-6625
uvp.hkk@heraeus.com
www.heraeus-noblelight.jp

*RadTech NA が発行する UV+EB Technology, Quarter 3,
Vol. 3, No. 3 より許可転載
<http://www.uvebtech.com/stories/090617/how-temperature-affect-uv-curing.shtml#.Wcsn7Fu0OUk>