- (3) 准員, 名古屋大學工學部。
 (4) 眞島, 研野, 理研彙報, No. 5, (昭 5), p. 339.
 高橋喜彦, 氣象集誌, 13 (昭 10), p. 302.
 (5) Y. Tanasawa; Tech. Rep. of Tohku Univ. XIV/II
 (1950), p. 55.
 (6) 高橋喜彦, 氣象集誌, 19 (昭 16), p. 321/327.
 (7) Lund; Beitz, Z. Geoph., Bd. 521 (1937).
 川原琢磨, 應用力學, 2 卷 7 號 (1949—1), p. 5.
 (8) 應用力學に寄稿中。
 (9) たとえば弓倉達雄, 機械學會論文集, 16 卷 54 號 (昭 25), p. 17.

621.369.2:667.66.047.1

赤外線乾燥法と対流式乾燥法との比較について⁽¹⁾

(第2報 ペイントの焼付)

有 馬 文 次⁽²⁾

Drying by the Infra-redray and Convection-Drying (2nd Report)

by Bunji ARIMA

The infra-redray was projected on the test piece, and the dryness of paint was observed.

Further I studied the dry velocity and evaporated water and the amount of contained water etc.

A new attempt was executed about the observation on the change of temperature at the inner part of the paint.

1. 緒 言

赤外ふく射線の有する熱エネルギーを, 脱水作用に利用する乾燥法については第1報⁽³⁾にて発表した. 同じ装置を用いて, 赤外ふく射線によるペイントの焼付乾燥を行い, ふく射線の蒸発, 酸化, 重合に及ぼす影響について研究を行った結果を紹介する.

2. 実験方法

試験片の太きさは 20×5 cm に作り片面照射をなす. 赤外ふく射線の放射熱源として 250 W 最大エネルギー波長 1.15 μ , 色温度 2500°K の赤外線球 2 個を用い, また別に遠赤外ふく射線熱源として 500 W 最大エネルギー波長 2.8 μ , 色温度 1000°K なるニクロム線ヒータを用いて実験を行い, この結果と電気恒温乾燥器による対流式乾燥法との比較を行った. 塗装面の温度測定は銅-コンスタンタンを塗料と基板の中間に挿入して測定した. 赤外ふく射線は物質内部に少し滲透しながら急速に加熱し, 短時間に必要な高温に昇ることができるために, 焼付時間の短縮が行われ, 加熱効率が著しい.

(1) 熱源よりの距離の影響 熱源から被射体までの距離の相違によるふく射照度の影響を調べるために両者の距離を 30 cm, 20 cm, 10 cm と変えた場合の被射体における温度上昇が第1図である. 被射体材料として 0.8 mm アルミ板を用いた. 図に示されごとく, 黒線は赤外線球, 点線はニクロム線による加熱温度上昇曲線である. 消費電力は共に 500 W である. ニクロム線加熱が被射体の温度上昇が低く示される理

由は, 放射する遠赤外線が空気中の水分によりて赤外線球の近赤外放射線より多く吸収されるためである.

第 1 図

したがって距離が短く 10 cm においては吸収も少く赤外線球による照射の場合との差異が認めにくく, ゆえにニクロム線加熱を用いる場合においては塗装面を焦さない範囲内においてできる限り熱源と被射体との距離が小なるほど効率がよい. 距離の大となるに従い赤外線球による加熱乾燥が有効となる. ふく射照度分布曲線⁽⁴⁾によってわかるごとく被射体において一様の温度分布を受けるためには, 熱源より 20 cm 以上の距離を必要とする事, および焼付温度を考え 30 cm の距離より ふく射を行った場合を考える. 赤外線球加熱の場合は乾燥炉内の温度 36°C にて材料温度 55°C を示し, ニクロム線の場合は炉内の温度 39°C, 材料温度 43°C を示した. この現象を比較するにニクロム線を用いた場合は放射する遠赤外線が空気中の水分に吸収され, 炉内の温度を上げ, 反対に到達する

エネルギーの減少から材料の温度は低く加熱効率は少し悪い。下段に 40°C の恒温乾燥炉に入れて乾燥した場合の材料の温度上昇曲線が H に示されている。恒温乾燥炉の場合他の 2 方法に比して著しく劣っている。

(2) 塗装の影響について 第2図においてアルミ板に特殊ラッカを塗装し、熱源より距離 30 cm にて焼付を行った実験結果を示す。(A) 曲線はアルミ板にラッカを塗装した場合、(B) はアルミ板のみの場合の照射による温度上昇曲線である。(B) の場合より (A) の場合が著しく温度上昇大なる理由は (B) 曲線においてはアルミ板により赤外線の 75 % 程度が反射⁽⁵⁾ されるが、(A) 曲線においては塗料により赤外線が吸収されるため塗装面の温度が上がる。赤外電球、ニクロム線

第2図

加熱の (A) の場合を比較して温度上昇効率を見るに、赤外電球による焼付はニクロム線焼付より温度上昇が大きく、焼付時間を短縮して良好なる結果を示す。赤外線焼付の場合とほぼ等しい炉内の温度 40°C となし、恒温乾燥炉内にて焼付を行った結果が最下段の (A) (B) 曲線であるが、塗装した場合も基板のみの場合も温度上昇においては差異が認められず、焼付温度も他の 2 方法に比べて低下している。したがって炉内の温度が等しい場合における乾燥機構は、赤外線焼付の方が対流による焼付よりはるかに有利である。

(3) 基板を異にして塗装した場合 第3図に示

第3図

したごとく、塗装面の温度上昇は基板の種類および厚みによって異なる。赤外電球を用いて、塗装する基板を、アルミ板、銅板、0.6 mm 鉄板、1 mm 鉄板、木板等と変化させた場合の塗装面の温度上昇の変化を測定した。(A) は塗装した場合、(B) は基板のみの照射による温度上昇である。アルミ板および銅板を基板に用いた場合、特殊ラッカを塗装することにより、基板のみの場合より温度上昇が大きく見られる現象は前述のごとくである。基板のみの照射につき考えると鉄板を用いた場合、鉄板の反射能がアルミ板にくらべて低いため、多くの赤外線を吸収してアルミ板の場合より温度上昇が大である。また鉄板のみの場合より塗装した場合の方が温度が低く示される理由は、ラッカ塗膜による赤外線吸収が行われ、加熱蒸発にエネルギーを消費しているため、鉄板に伝える熱量の減少によると考えられる。銅板に塗装した場合より、鉄板に塗装の場合が温度の低い理由は、本実験が片面照射のため、赤外線加熱を受けた塗膜の部分が先に加熱され、基板に熱伝導にて熱を伝えるため銅板より鉄板の熱伝導率が非常に低いためである。0.8 mm, 1mm 鉄板を例にとり、基板の厚みが変化した場合の塗装面の温度上昇を測定した結果によれば、加熱時間を十分に取れば、定常状態にすれば、最終温度は一定になるが厚いほど、温度上昇が遅く、したがって塗料焼付の場合の生産速度に多大の影響を与えることが知られる。

(4) 顔料スペクトル反射の影響 ペイントの配色も第4図に示されるごとく、塗装面の温度上昇に相当の影響を与える。これは含まれる顔料のスペクトル

第4図

反射性に起因するものである。常識上には白は全反射するごとく考えられるが、塗膜の熱線反射率⁽⁶⁾ は白 75 % でかなりの吸収が行われ、明るい赤 70 %、暗い緑 11 %、黒 9.5 % なるゆえに温度上昇は異なる。ゆえに反射率の大きい白色塗装の場合には裏側よりも照射を行い熱伝導を利用して、加熱乾燥を進行させる

方法も考えられる。

(5) 塗料の種類の影響 塗料の乾燥には蒸発、酸化および重合の3作用による固着が行われることは前述のごとくである。したがって溶媒の蒸発により酸化し、固着するラッカ性塗料および加熱による重合作用を行う合成樹脂系塗料の二つの試料を対象として、乾燥速度曲線、溶媒蒸発量曲線等を求めて赤外線乾燥機構を研究した。第5図は蒸発性溶媒含有率 100 %

第 5 図

(乾量含有率) の特殊ラッカを用い 0.8 mm アルミ板 100 cm² に 2 g を塗布し加熱焼付を行った。熱源とし赤外電球およびニクロム線を用い、距離 30 cm において照射加熱を行い、電気恒温乾燥器による加熱の結果とを比較した。

(A) 曲線は試料を乾燥炉内に入れて後に点火加熱し、(B) 曲線は照射後に乾燥器の温度がほぼ定常に成るを待ち試料を投入し乾燥速度を求めた。乾燥速度曲線に見られるごとく、赤外電球による加熱の場合、乾燥速度最も早く、したがって溶媒の蒸発は短時間に終了し乾燥が終る。また(A) (B) の場合を考察するに(B) の場合 6 mn 間で乾燥終了し、(A) の場合わずかに遅れ 7 mn 余にて試料温度 80°C、炉内温度 40°C に達し乾燥終了する。ニクロム線の場合は乾燥速度においてかなり遅れ (B) の場合において約 20 mn にて試料温度 65°C となり乾燥終了する。(A) の場合においては 35 mn に終了する。これを 90°C の電気乾燥器にて乾燥した場合、試料温度 85°C にて 11 mn にて乾燥すれど、使用電力は前の 2 方法の 2 倍を要した。第 5 図(D) に見られるごとく、溶媒の蒸発によりて焼付の行われるラッカ性のペイントについては乾量含有率 20~25% 前後にて表面乾燥⁽⁷⁾が行われ 5% 前後にて完全乾燥が行われ 3 者いずれも、試料温度の高低よりも一定の溶媒蒸発量によって、

焼付乾燥が終了すると考えられる。ニクロム線による(A) の場合の焼付乾燥の遅れる原因は、空气中水分による遠赤外線吸収によるものであり、(C) 曲線は(A) の場合の炉内の温度を示す。

重合作用を伴う合成樹脂系塗料の焼付の乾燥機構は少しく異なる。第 6 図によれば H 曲線は熱源より、塗膜までの距離 15 cm における加熱塗料面の温度上昇曲線にて、L 曲線はその場合における乾燥炉内の温

度上昇である。赤外電球による加熱の場合、試料の温度上昇急にして、12 mn にて表面乾燥、19 mn にて完全乾燥終了する。ニクロム線の場合 21 mn にて表面乾燥、31 mn にて完全乾燥終了し、試料の温度上昇も少し劣る理由は前述のごとくである。他に 90°C の恒温電気乾燥器を用いて加熱した場合においては 37 mn にて表面乾燥、60 mn にて完全乾燥が行われ、前の 2 方法にくらべて乾燥の遅れる現象が注意を引く。すなわち溶媒蒸発により乾燥する場合と異なり一定の加熱重合温度により固着乾燥が行われるため、適當の温度 80°C に早く到達させる必要がある。こ

合成樹脂塗料面の温度上昇

第 6 図

第 7 図

れを乾量溶媒含有率を基準として求めた加熱温度曲線が N である。赤外電球およびニクロム線による加熱の場合を研究するに、乾燥速度曲線 L を見るに、赤外電球の場合、溶媒含有率 5% にて表面乾燥が行われ、2.5% にて完全乾燥が行われる。これに対して、ニクロム線の場合は 12% にて表面乾燥、3% にて完全乾燥終了する。すなわちニクロム線による場合、塗膜表面に熱線が吸収される率が大なるため、全体の含有率が高い点において、すでに表面のみ乾燥固化し、溶媒を沈着しながら完全乾燥に至るが、赤外電球の場合においては、よく射線が内部浸透をなし、表面乾燥、完全乾燥共に低い含有率で良い乾燥が行われる。したがって製品につき硬度試験を行った結果についてはほとんど差異が認められがたいが、3 mm 丸棒にはさみ 180 度の曲げ試験の結果については、赤外電球加熱の方が良い耐撓性が認められた。加熱温度に対する影響は前に述べたごとく、だいたい 80°C 前後において重合作用が促進されるため、早くこの臨界温度まで試料を上昇させる必要がある。加熱時間曲線 M に見られるごとく、ニクロム線による加熱焼付より、赤外電球による加熱焼付の方が、焼付時間の短縮が行われる。

以上のことより溶媒の蒸発量が焼付条件に大きく作用するラッカ性の塗料においては、多少の時間の短縮により、赤外電球による乾燥焼付の場合が有利に利用されるが、特に赤外電球によらなければならない必要は認めがたいが、最近の合成樹脂系塗料においては第 6 図に示されたごとく、その重合作用を迅速に作用させ、焼付を終了するためには、赤外線乾燥が非常に有利なることがわかる。

本実験は文部省科学研究費によって進められ、名古屋大学教授、須賀太郎博士の終始変らぬ、懇切なる御指導をいただいたことを厚く感謝します。ペイント試料に関しては、関西ペイント会社より御厚配をいただき、厚く御礼申上げる。

注：—

- (1) 昭和 25 年 10 月 機械學會故岩藤博士追悼講演會において講演
原稿受付 昭和 25 年 12 月 21 日。
- (2) 正員、愛知縣立工業專門學校。
- (3) 有馬、機械學會誌、昭和 25 年 9 月號。
- (4) 有馬、名古屋工業大學々報、第 2 卷 (1950)。
- (5) 芝、物理常數表、p. 261。
- (6) 松本、塗料便覽、p. 1032。
- (7) 龜井著、空氣の調濕及び乾燥、p. 59。

66.047.1:621.369.2

赤外線乾燥法と対流式乾燥法との比較について⁽¹⁾

(第 3 報 限界含水率および表皮効果について)

有馬 文次⁽²⁾ 小笠原萬亀三郎⁽³⁾

Drying by the Infrared-ray and the Convection-Drying

The 3rd. Report. (On the Critical Moisture-Content and on the Skin Effect)

by Bunji ARIMA and Makisaburo OGASAWARA

In the 2nd. report the rerearch on the character of infra-red drying was discussed. In this paper, the mechanism of infra-red drying of "clay" is reported, being compared with convection-drying.

The critical moisture-content is lower in the former than in the latter drying. The drying process resembles to convection drying against high frequency wave drying, the gradient of moisture-content towards the outer surface being very gentle.

Consequently, in drying of clay, the skin effect (that only very thin outer layer is dried) can be avoided. In drying of clay from 65% to 14% (in dry basis percentage), $1/2$ in electric power and $2/5$ in necessary time are seconsumed comparing with convection-drying.

1. 緒 言

赤外線加熱乾燥の研究は、東京大学矢木教授⁽⁴⁾等によって研究されているが、筆者の研究室⁽⁵⁾においても赤外線による乾燥機構の理論および乾燥炉の設計資料をうるために、同様の研究を行っている。本研究にお

いては、粘土を試料にして限界含水率の移動および表皮効果について、対流式乾燥法と比較研究を行い、乾燥機構を研究した。加熱熱源として赤外線乾燥の場合は、タングステン線 100 V~250 W、分光エネルギー $\lambda_m = 1.1 \mu$ 、色温度 2500°K 、効率 6 lm/W の赤外電球