水系洗浄剤向け過熱水蒸気式高速乾燥装置の開発

長 伸朗^a, 瀬戸口 裕嗣^b, 安藤 和広^b, 永井 敬大^c

^a 中部電力(株) 技術開発本部 エネルギー応用研究所 (〒459-8522 名古屋市緑区大高町字北関山 20-1)

^b (株) CJV インターナショナル (〒459-8001 愛知県名古屋市緑区大高町下塩田 18)

^c (株) 大同 (〒507-0812 岐阜県多治見市下沢町 3-8)

Development of Rapid Dryer Using of Super-heated Steam

Noburo OSA^a, Hirotsugu SETOYUCHI^b, Kazuhiro ANDO^b and Takahiro NAGAI^c

^a Energy Applications R&D Center, Chubu Electric Power Co., Inc.(20-1, Aza Kitasekiyama, Odaka-cho, Midori-ku, Nagoya-shi, Aichi 459-8522)

^b CJV International Co., Ltd.(18, Shimoshiota, Odaka-cho, Midori-ku, Nagoya-shi, Aichi 459-8001)

^c Daido Co., Ltd.(3-8, Shimozawa-cho, Tajimi-shi, Gifu 507-0812)

Keywords : Super-Heated Steam, Dryer, High Speed, Complex Shape Object

1. はじめに

自動車部品工場などで加工を終えた機械部品は、表面の切削油や切粉等を洗浄した後、乾燥させて出荷している。その洗浄の際には、従来は引火性があり有毒な溶剤系洗浄剤が用いられるのが一般的であったが、近年は環境性、安全性およびコストの面で、水系洗浄剤が採用されつつある。

しかしながら、水系洗浄剤は揮発性の高い溶剤系洗浄剤に比べ、乾燥工程に時間を要するという難点があるため、工場で水系洗浄剤を導入したくても断念せざるを得ないことが多々あり、水分を高速に取り除く乾燥技術が急務の課題であった。

そこで、洗浄後の金属部品を短時間で乾燥できる過熱水蒸気式高速乾燥装置を開発した。

2. 背景

2.1 機械部品の洗浄方法

従来の水系超音波洗浄設備の外観写真を図1に示す。図2に示すように、洗浄設備は、洗浄・すすぎ・乾燥の3種類の

装置で構成されている。すすぎ工程は2段階に分かれる場合もある。洗浄対象の金属部品は、図3に示す搬送用のバスケットに収納され、このバスケットをコンベアに吊るして移送することにより、洗浄・すすぎ・乾燥の順に各装置を移動する。各装置での所要時間は4分程度であり、洗浄から乾燥までの合計の所要時間は16分程度である。洗浄する機械部品は数～数十cmの大きさであり、バスケットの寸法は幅220mm×奥行320mm×高さ250mmである。

洗浄装置では、洗浄剤が溶解した水溶液が入った槽に機械部品を入れ、超音波による外力などを併用して、機械部品表面の切粉や油分を除去する。すすぎ装置には水が入っており、洗浄後の機械部品を入れ、表面の洗浄剤をすすぎ落とす。

図2 洗浄設備の構成装置

図1 洗浄設備の外観

図3 搬送用バスケットに収納された金属部品

2. 2 従来の乾燥方法

従来の熱風式の乾燥装置では、60～200℃程度の熱風(高温の空気または燃焼ガス)を機械部品に吹き付けて、すすぎ工程で付着した表面の水分を乾燥させる。乾燥を促進させるために、モータ駆動の回転台の上に乗せて機械部品を回転させ、遠心力により水切りを行う場合もある。

2. 3 洗浄剤の種類と乾燥時間

機械部品の洗浄剤の種類は水系、準水系および溶剤系の3種類に大別され、乾燥する対象物や汚れの成分などにより使い分けられている。経済産業省の平成20年度化学物質安全確保・国際規制対策推進等調査報告書(工業用洗浄剤の実態調査)によれば、平成19年度の工業用洗浄剤の出荷量の合計は135,808トンである。水系および準水系洗浄剤の出荷量の全体に対する割合は、それぞれ27%および3%であり、溶剤系の割合は70%であった。

各種洗浄剤の比較を表1に示す。溶剤系洗浄剤は、炭化水素系、塩素系およびフッ素系等があり、洗浄能力が大きいものの、人体に有毒で引火性がある。溶剤系洗浄剤が規制を受ける法令は、化学物質排出把握管理促進法(PRTR法)・消防法(危険物第四類(引火性液体))・毒物劇物取締法・労働安全衛生法の有機溶剤中毒予防規則・大気汚染防止法等がある。

これに対して、水系洗浄剤は洗浄能力が劣るものの、無害で引火性もなく安全である。このため、溶剤系洗浄剤を使っている工場で、汚れが除去しやすい機械部品を扱っている場合は、無害な水系洗浄剤の導入を要望する場合が多くあった。しかし、従来の熱風方式による乾燥では、揮発性の高い溶剤系に比べて、水系洗浄剤では乾燥工程に時間がかかるため、工場で水系洗浄剤を導入したくても断念する場合が多かった。

2. 4 過熱水蒸気の概要

過熱水蒸気とは、沸点より高い温度の乾いた水蒸気のことである。大気圧下では、水の沸点は100℃であるので、100℃の水蒸気は飽和水蒸気であり、110℃や200℃では過熱水蒸気である。産業用途や家庭用途では、大気圧近傍の低圧下で150～500℃の温度帯で使用されるのが一般的である。過熱水蒸気は、高温のガスであるため、乾燥用途にも使用可能である。

過熱水蒸気には以下のような特長があるため、従来から使われてきた熱風に替わる高機能の加熱媒体として、近年注目を集めている。本開発品では、この過熱水蒸気を活用することとした。

◆高速加熱が可能である。

- ◆温度ムラなく均一に部品を加熱できる。
- ◆内部の加熱が早い。
- ◆無酸素状態にできる。

2. 5 過熱水蒸気の乾燥メカニズム

図4(a)に示すように、大気圧下での過熱水蒸気による加熱のメカニズムは、次の2工程に分けられる。

- ①工程1(物体の表面温度が常温から100℃未満の状態)：加熱室に挿入されたばかりの低温の物体に過熱水蒸気が接触すると、過熱水蒸気が物体の表面に凝縮し水が付着する。このとき、水蒸気は大量の凝縮潜熱を放出するため、物体は急速加熱される。
- ②工程2(物体の表面温度が100℃以上の状態)：物体の表面温度が沸点に達すると、温度を沸点に保ったまま、表面に付着した水が蒸発を始める。水がすべて蒸発すると、物体は沸点を超える温度に上昇する。これらの水分の蒸発と物体の昇温には、過熱水蒸気の顕熱のみが消費され、過熱水蒸気は沸点より高い温度で排気される。ここで、顕熱とは、物質の温度変化に伴う熱である。また、潜熱とは、温度は一定のまま、蒸発や凝縮などで物質の状態が変化する際に伴う熱である。

過熱水蒸気の伝熱の特徴は工程1にあり、伝熱効率のよい凝縮によって物体に大量の熱を伝えるため、物体の急速な昇温が可能となる。一方、図4(b)に示すように、熱風による加熱ではこの工程1がない。このため、過熱水蒸気による加熱の所要時間は、熱風による方式に比べて、金属の場合は5分の1～10分の1程度になると言われている。なお、過熱水蒸気は特定の波長域で電磁波を発生するため、熱風での伝熱ではみられない輻射伝熱も加味される。

2. 6 開発の目的

水系洗浄剤を用いた洗浄において、すすぎ工程で機械部品の表面に付着する水分の乾燥に時間がかかるため、水分を短時間に乾燥できる技術が求められていたが、過熱水蒸気を活用すれば、蒸発しにくい水分の乾燥が短時間に行える。そこで、洗浄後の金属部品を短時間で乾燥できる過熱水蒸気式高速乾燥装置を開発することとした。

(a) 過熱水蒸気

(b) 熱風

図4 過熱水蒸気の加熱原理

表1 洗浄剤の比較

種類	成分	洗浄メカニズム	特徴
溶剤系	トリクロロエチレンなど	汚れを溶かす	・洗浄能力が大きい。 ・乾燥が早い。 ・人体に有毒である。 ・引火性がある。 ・購入コストが高い。
水系	界面活性剤	汚れを剥がす	・洗浄能力が比較的小さい。 ・人体に無害である。 ・不燃性である。 ・毒性が少ない。 ・コストが安い。 ・乾燥が遅い。

3. 開発内容

3.1 開発品の構造

開発品の構造を図5に示す。供給された常温の水は、軟水器で不純物を除去した後に、電気ボイラで加熱されて蒸発し約100℃の飽和水蒸気となる。この飽和水蒸気は、過熱器の中の電気ヒータで加熱され、400℃程度の過熱水蒸気となる。さらに、この過熱水蒸気は乾燥室に導かれる。この乾燥室の中には機械部品が収納されており、過熱水蒸気を照射することで部品が乾燥される。乾燥後の過熱水蒸気は、乾燥室外に排気された後に、冷却装置で外気と熱交換して凝縮し、ドレンとして排出される。なお、乾燥室内の過熱水蒸気の温度は、断熱膨張するため、250℃程度になる。

3.2 開発課題

開発にあたって解決すべき技術的課題は、以下の5点であった。

①乾燥時間の制約

実際の工場の洗浄設備のタクトタイムは3分程度であるため、開発品の乾燥時間も3分以内にする必要がある。

②複雑形状部品の乾燥

従来の熱風による乾燥方式でも、平板や丸棒などの単純な形状の部品は、3分以内での乾燥が可能であった。しかし、図6に示す凹凸の多い複雑な形状の部品では、乾燥に10分

から1時間以上を要する場合があった。具体的には、袋穴と呼ばれる貫通していない穴や複雑形状の部品の凹部に保持された、水滴の乾燥に時間を要する。このため、複雑形状の部品でも3分以内に乾燥が可能とする必要がある。

③蒸気流量の最小化

一般に、蒸気流量を大きくすれば、機械部品に供給する熱量が大きくなるため、乾燥時間を短縮できる。しかし、蒸気流量を大きくすると、エネルギー消費量が大きくなると共に、装置のコストおよび寸法が大きくなる恐れがある。このため、蒸気流量を可能な限り小さくする必要がある。

④蒸気分布の均一化

蒸気流量を小さくすると、乾燥室内の局所に蒸気が行き渡らず、一部の部品で乾燥不良となる場合があり、特にバスケットの隅の部分がかきにくい傾向があった。このため、蒸気流量を可能な限り小さくすると同時に、乾燥室内の蒸気の分布を均一にする必要がある。

⑤蓋の開閉による乾燥装置内の温度低下

実際の乾燥工程においては、乾燥装置の蓋を1分程度開放して、乾燥後の部品を乾燥装置から搬出した後に、次の乾燥前の部品を乾燥装置内に搬入する。この蓋が開いた際に、乾燥装置内の過熱水蒸気が外気に放出されるため、乾燥装置内の温度は瞬時に低下する。この乾燥装置内の温度低下は乾燥能力の低下に繋がり、乾燥時間が延びることになるため、蓋を開めた後に乾燥装置内の温度を急速に回復させる必要がある。

3.3 開発のポイント

開発にあたっては、乾燥室の試作および乾燥試験を繰り返し、問題点を洗い出すと共に構造の最適化を行った。図7に示すように、乾燥室の内部に、バスケットを隙間なく収容する箱状の収容体を設ける。この収容体は、断面が長方形のパイプを格子状に組み合わせて形成されている。このパイプ内に過熱水蒸気を流し、パイプの噴出孔から、バスケットに過熱水蒸気を吹きつける。過熱水蒸気を周囲に拡散することなく、バスケット内の部品に近接して吹きつけることがきるので、部品の乾燥性能を向上させることが可能となった。また、噴出孔を収容体の全面に設けているので、乾燥しにくかったバスケットの隅の部品にも十分な量の過熱水蒸気を吹きつけることが可能となり、バスケット内の部品をくまなく乾燥させることが可能となった。また、過熱水蒸気が周囲に拡散せず、部品の乾燥に無駄なく過熱水蒸気が消費されるため、蒸気量の最小化も可能となった。

また、収容体の下部に電気ヒータを設けた。この電気ヒータで急速加熱することにより、乾燥室内の温度が瞬時に低下しても、乾燥室内の過熱水蒸気を急速昇温できる。このため、乾燥室の蓋の開放後に、乾燥性能の確保が可能となった。

4. 評価

4.1 乾燥時間

図6および図8のような多様な材質(アルミ、真鍮および鉄)および多様な形状の部品を使用して乾燥試験を実施した結果、どのような部品でも3分以内で乾燥できることを確認した。図9は、熱風で4時間かかっていた12kgの部品を過熱水蒸気で乾燥した結果、3分に短縮できた例である。

図5 開発品の構造

図6 複雑形状の金属部品

①部品を収納していない状態

②部品を収納した状態

図 7 乾燥室の構造

図 8 乾燥前後の金属部品

図 9 複雑形状金属部品の乾燥時間の試験結果

4. 2 表面性状

高温の過熱水蒸気が金属部品に接触すると、部品表面に染みが発生したり、寸法が変化する懸念があった。図 8 のように、乾燥前後の部品の染みおよび寸法を評価した結果、染みの発生および寸法の有意な変化は確認されなかったため、過熱水蒸気により乾燥しても部品に影響を与えないことが分かった。また、過熱水蒸気中の不純物が金属部品に付着物を残す懸念もあった。表 2 のように、乾燥後の部品の表面の付着物および付着油分を分析した結果、検出限界以下であり、付着物は確認されなかった。

5. 開発品の仕様

5. 1 構成と仕様

図 10 および表 3 に、開発品の外観および仕様を示す。開発品は、洗浄設備に組み込まれており、着色した装置が開発品である。洗浄およびすすぎの装置は従来と同じである。乾燥装置の背面には、小型の電気ボイラが設置されており、電気ボイラで発生したゲージ圧 0.1 MPa の約 120 ℃ の飽和水蒸気が乾燥装置本体に供給される。供給された飽和水蒸気は、

表 2 乾燥後の表面性状の分析結果

洗浄液の種類	試料	付着物量 (mg/個)	付着油分量 (mg/個)
水+中性洗剤	製品 a	< 0.05	< 0.01
	製品 b	< 0.05	< 0.01
	製品 c	< 0.05	< 0.01
水+アルカリ洗剤	製品 d	< 0.05	< 0.01

図 10 開発品を組み込んだ洗浄設備

表 3 開発品の仕様

項目	単位	開発品
外形寸法	幅×奥行×高さ mm	606 × 1,360 × 1,010
内容量	L	20
電源容量	kW	25
バスケット寸法	幅×奥行×高さ mm	220 × 320 × 250
蒸気量	kg/h	7
過熱水蒸気温度 (乾燥室内)	℃	150 ~ 250
据付面積 (ボイラ含む)	幅×奥行 mm	800 × 1900
使用電源	—	AC200 V 三相

乾燥装置内の電気ヒータで再加熱されて 400℃ 程度の過熱水蒸気となって乾燥室内に供給され、部品の乾燥に使用される。

5. 2 特 長

開発品には、従来の熱風方式と比較して、以下の 3 点の特長がある。

①乾燥時間の大幅短縮

従来の熱風方式では、形状が複雑な機械部品では、部品の凹部にたまった水が蒸発しにくいいため、乾燥に 10 分～4 時間を要していた。本開発品では、過熱水蒸気を機械部品に照射することで、寸法が数 cm の金属部品を数百個単位で 3 分以内の乾燥が可能となった。

②高い安全性の実現

従来の有毒で引火性のある溶剤系の洗浄剤を使用する場合、洗浄ラインを爆発しにくい特殊な「防爆構造」にする必要があった。本開発品の導入により、引火性や毒性がない水系洗浄剤の採用が容易になり、洗浄ラインを簡易な構造にできると同時に、工場の作業環境を安全にできる。

③洗浄剤コストの削減

本開発品の導入により、従来は工場の負担であった溶剤系洗浄剤の購入コストを削減できる。また、工場 1 件あたりの溶剤系の洗浄剤の消費量は、年間 1～10 トン程度である。

このため、本開発品の導入によって水系洗浄剤を使用するようになれば、工場 1 件あたり年間 1～10 トン程度の溶剤系洗浄剤の使用を取りやめることができ、年間 500～5,000 千円程度の洗浄剤の購入コストの削減が可能となった。

6. 環境負荷の削減効果

前述の経済産業省の報告書によれば、溶剤系洗浄剤の平成 19 年度の全国の年間出荷量は 94,574 トンであった。そのうちの 1% を、本開発品の導入により廃止できると仮定すれば、全国で 1,000 トン程度の溶剤系洗浄剤の使用を取りやめることができる。なお、溶剤系洗浄剤を洗浄設備に充填する際や使用済みの洗浄剤を廃棄する際には、相当量の洗浄剤が大気中に放散されると言われている。

7. おわりに

本開発品は、洗浄機械および工作機械の中堅メーカーである株式会社 CJV インターナショナルから、平成 24 年 11 月に「SS ドライヤー」の商品名で発売された。今後は、工場の洗浄ラインを対象に普及を図ることで、工場の環境性向上およびコスト削減に貢献したい。

(Received May 29, 2015)

~~~~~