自動車業界における最新のレーザ適用の取組を紹介

編集部

自動車部品生産ラインにおける最新のレーザ適用の取り組みとして、銅溶接に対する青色レーザの量産適用やヒュームの可視化、レーザクリーニング、インラインモニタリングなどが語られた。

「名古屋レーザフォーラム2025 第2部特別講演会(兼第121回研究会)」(中部レーザ応用技術研究会主催)が2025年6月16日、名古屋市において開催された。「レーザ技術が創り出す産業の世界～欧州の最新事情～」をテーマに5名の登壇者が講演を行った。ここではデンソー 先進プロセス研究部 研究統括室担当次長の白井秀彰氏による講演「e-mobility時代を担うレーザ加工技術の進化とモノづくりイノベーション」をレポートする。

溶接技術の展開

デンソーの生産ラインではさまざまな部品に対してレーザ溶接やレーザ加工が採用されている。材料と工法の組み合わせは多岐にわたるため、昔ながらの技術から最新技術まで適材適所の対応がなされる。自動車部品の特徴としては、サイズが小型でバリエーションが多く、人命に関わるため要求される品質も高い。さらに1つの製品につき20万台、それが5ラインといったように非常に多くの台数が製造され、コスト低減要求も大きい。このように自動車部品製造ラインにおいては、高いフレキシビリティと信頼性が要求される。

白井氏は、デンソーにおけるレーザ加工技術の変遷を紹介した。1970年代から80年代にかけては、高速自動化が技術的なトレンドであり、アーク溶接や抵抗溶接を用いたアプローチが行われた。80年代は、CO_2レーザが急速に普及し始めた時期で、カーボンなどの硬い材料や割れやすい材料に対する加工法としてレーザが使用された。

90年代からのデンソーにおける大きなトレンドとして、YAGレーザが普及した事が挙げられる。インジェクタのOリングカシメを、母材を直接溶融するレーザ溶接に置き換えることで、小型高機能化を図った用途で、これは画期的な取り組みだった。さらに、生産性と低歪みの要求によりCWレーザが普及した。

2000年代に入ると、電動化というパラダイムチェンジに対し、非鉄金属や異種金属材料のニーズが高まった。また、それまでは条件管理がメインだったが、フィードフォワード・フィードバック制御も加えた品質保証が要求されるようになった。さらに現在は、グローバル化に対する標準化や、自動車分野以外への光技術の適用、銅材料に対応できる溶接技術などに取り組んでいる。

レーザクリーニングや品質モニタリング

白井氏は現在取り組んでいるレーザの応用技術について紹介した。プレス部品の表面洗浄では、表面に焼き付いたり固着したりしたオイルは通常のリキッド洗浄で取り除くことができない。そのためレーザで局所的にクリーニングする手法が有効になる。「レーザクリーニングは洗浄レス、廃液レス、乾燥レスによりトータルでカーボンニュートラルに貢献できる技術として非常に有効な手段になる」(白井氏)。

デンソーの白井秀彰氏

デンソーでは、石英ガラスを用いたレーザ溶接の溶融内部挙動の可視化技術を活用中である。現状は、溶接後に抜き取りで破壊検査やロット管理を行っているが、1本でも不良品が発生してロットアウトになれば損失が非常に大きくなる。そこで、品質保証のためのインプロセスモニタリングに着目している。

実際に高速度カメラにより石英ガラスを通してSUSのの溶接部内部を観察し、キーホール底部から上部へ気体が噴出する挙動などを確認している。

銅溶接におけるスパッタレスの対策

白井氏は銅に対するレーザ溶接の適

用の検討についても紹介した。銅に対してレーザを適用すると、銅は熱伝導率が大きいことから溶融部周囲への影響が大きくなる。またスパッタも大きな課題である。吸収率と反射率の関係から、銅の挙動は従来の金属と大きく異なる。

スパッタの発生メカニズムは、金属が溶融して更に蒸発することにより、上昇気流が発生するとともに、体積膨張力が生じる。室温に対し加熱された温度では、その膨張率は約3万倍にもなる。蒸発気体は非常にアクティブに加速し、表面が揺らぎながら上昇気流で金属が吹き飛ぶ。理論上でもスパッタは金属蒸気の体積膨張による溶融金属が押し上げることにより発生し、急峻な挙動が支配的だと予測されている。「この対策としては、ビームプロファイルの制御やパラメータ制御、そしてビーム走査が行われているが、現状ではこれらの手法だけではスパッタを抑えきれない。我々はスパッタレスを目指していることから異なるアプローチで取り組んだ」(白井氏)。

光吸収率の急変を抑制

銅のレーザ加工においてスパッタの発生を抑制するための第1のポイントが、固相状態における光吸収率を向上させることである。金属は照射光が短波長であるほど固体銅表面での吸収率が高くなり、安定した加熱が可能となる。これにより、加工開始時のエネルギー効率を向上させることができる。

第2のポイントは、固体から液体への相変化に伴う吸収率の急変を低減させることである。長波長レーザでは、固体と液体の吸収率に大きな差があり、相変化時に発生する熱エネルギーの量に急激な変化が生じてスパッタの原因となる。一方、短波長レーザでは、固体・液体間の吸収率差が小さく、相変化が穏やかに進行する。

会場風景

長波長から短波長における吸収率は、赤外線(IR)においては固体で3%、液体になると16%になる。短波長側になると、この差が小さくなる。そこで固体と溶融状態における吸収率差を低減することを目的として、短波長レーザを検討している。産業用の短波長レーザにおいては450nmが非常に有効であるため、グリーンからブルーの領域を選定するとよいと考えられる。まずブルーレーザを選定し、スパッタレス実現に向けて検討中である。

独レーザーライン社(Laserline)と連携しながら可視化も含めてトライした結果、やはり対流が生まれると効率よく熱伝播も生まれることから、この領域を使うとスパッタレスが実現可能になると考えられる。

加工プロセスの可視化

ただし、良いレーザを選択したとしても、レイリー散乱やプラズマ吸収といった物理現象の問題は避けられない。短波長の光はレイリー散乱の式によると、IRの32倍散乱しやすい。そのためブルーレーザはプラズマやヒューム微粒子による散乱に注意しなければならない。一方IRは、短波長の光の4倍プラズマの吸収を受けてしまう。こういった物理現象が起こることを理解しながらそれぞれの波長のレーザを適用する必要がある。

白井氏は、ヒュームの可視化による現象の把握に取り組んだ例を紹介した。レーザ出力が大きくなるほど、ヒューム微粒子とレーザの干渉によってエネルギー減衰が大きくなることが課題だった。ヒュームは、金属蒸気が雰囲気ガスにより冷却されることで形成される微粒子である。レーザ出力の増加によりヒュームの噴出量が増加したと推察されたが、それまでヒューム自体を可視化することは難しかった。レーザ光が散乱されればカメラ撮影によって可視化できるが、ヒュームはナノ粒子であり光を遮りにくいためだ。そこで、遮られやすい短波長光をプローブに採用した。さらに画像解析を適用することで、ヒュームの濃淡を定量化し、その詳細な挙動を可視化することに成功した。

これまでの取り組みの結果、重ね隅肉継ぎ手の量産化において、対流熱輸送をうまく使うことでロバスト性を上げることができるプロセスを創出することに成功した。IRレーザも並行して検討したが、ピュアブルーのみで適切なプロセスを適用することが最も良いという結果が出た。そのためレーザーライン社のブルーレーザを採用し、初のブルーレーザを適用した量産ラインへの展開を開始した。

LFWJ