

3D-Rührreibschweißen und -Entgraten komplexer Alu-Druckgusskomponenten

# Tricks und Kniffe, die für Furore sorgten

Einen hart umkämpften Markt so richtig aufzurollen, das gelang Pierburg bei Abgasrückführkühlern für Dieselmotoren. Internes Prozess-Know-how wurde dafür mit externer Werkzeugmaschinen-Expertise in Einklang gebracht.

VON HELMUT DAMM

→ Werkzeugmaschinenhersteller gibt es viele auf der Welt. Echte Problemlöser unter ihnen zu finden, ist schon schwerer. Verlässliche Partner gar, die selbst in einer Hochkonjunkturphase, wie sie im Zeitraum von 2006 bis 2008 für die Werkzeugmaschinenindustrie vorlag, nicht auf den schnellen Euro schielen, sondern Ausdauer und Ehrgeiz bei kniffligen maschinenbaulichen Herausforderungen beweisen, sind eine Seltenheit.

Dieser Artikel berichtet über eine solche »außergewöhnlich fruchtbare Interaktion« zwischen dem produzierenden Unternehmen Pierburg in Neuss und dem Maschinenhersteller Matec aus Köngen. Gezeigt wird, wie ein Automobilzulieferer durch das geschickte Zusammenführen von interner Verfahrens-, Produkt- und Systemkompetenz und externem maschinenbaulichen Expertenwissen für Furore in einem neuen Marktsegment sorgte. Im Mittelpunkt steht die Fertigung von rührreibgeschweißten Abgasrückführ (AGR)-Kühlermodulen aus korrosionsbeständigem Aluminiumdruckguss für moderne Dieselmotoren (Titelbild).

## Verdrängungs-Wettlauf um Marktanteile

Die Pierburg GmbH ist ein Unternehmen der Kolbenschmidt Pierburg AG, die wiederum den Unternehmensbereich Automotive des Rheinmetall-Konzerns



ausmacht. Eine Kernkompetenz des Unternehmens ist die Entwicklung und Fertigung von Systemen und Komponenten zur Luftversorgung, Kühlung und Schadstoffreduzierung von Verbrennungsmotoren. Der Marktanteil von beispielsweise 50 Prozent bei AGR-Ventilen resultiert aus der hohen Systemkompetenz in Bezug auf die strömungstechnischen Interaktionen rund um die Beatmung ei-

nes Motors.

Vor fünf Jahren wurde es unruhig im Abgas-Markt. Die ab 2009 gültige Euro-5-Norm mit verschärften NOx-Emissionsgrenzwerten warf ihre Schatten voraus. Schnell wurde klar: Um die neuen Grenzwerte bei hochaufgeladenen Dieselmotoren erreichen zu können, ging an der Abgaskühlung kein Weg mehr vorbei. Bis dato waren AGR-Kühler in europäischen Fahrzeugen nicht durchgängig vorhanden. Angesichts von sechs bis acht Millionen Dieselmotoren in Europa für Pkw und leichte Nutzfahrzeuge wurde die Fertigung der AGR-Kühler zum heiß umkämpften Zukunftsmarkt. Der Markt unterliegt jedoch besonderen Gesetzen. So gibt es neben mehreren kleineren nur wenige gro-

### i HERSTELLER

**matec Maschinenbau GmbH**  
73257 Köngen  
Tel. 07024 98385-0  
Fax 07024 98385-30  
→ [www.matec.de](http://www.matec.de)

ße Dieselpprogramme, hinter denen sich diverse Fahrzeugplattformen einzelner oder mehrerer OEMs verbergen. Wer den Zuschlag erhält, ist für Jahre im Geschäft.

Die etablierten Kühlerhersteller gingen als technologische Marktführer mit Röhrenkühler-Konzepten ins Rennen. Pierburg jedoch wollte mehr, so Dr. Karl Wübbeke (Bild 1), verantwortlich für den Geschäftsbereich Kommerzielle Dieselanwendungen (CDS): »Natürlich bieten auch wir für Standard-Anwendungen mit ausreichendem Bauraum die Röhrentechnologie an. Jedoch ist diese Technik mit Restriktionen im Hinblick auf die flexible Anpassung des Kühlers bei beengten Platzverhältnissen behaftet. Zudem muss man systembedingt einen Kühlleistungsverlust über die Lebensdauer hinnehmen. Infolge der hier eingeschränkten Führung des Abgases kommt es zur allmählichen Versottung des Kühlers. Wir sahen ein großes Potential, uns durch flexiblere, kompaktere und leistungsfähigere Konzepte gegenüber diesen starren Blechstrukturen abzuheben. Über die dafür erforderliche umfassende Systemkompetenz verfügen wir seit Jahren. Die Idee dahinter war ein integriertes Saugrohrmodul mit Abgasrückführung und Abgaskühlsystem. Wir mussten unter Hochdruck parallel an Produkten, Verfahren und Fertigungstechnik arbeiten. Dass es letztlich gelungen ist, verdanken wir unserer ehrgeizigen Entwicklungstruppe und einem sehr engagierten, verlässlichen Partner Matec.«

### Rührreibschweißen – Lösung und Problem zugleich

Von Anfang an federführend bei der Entwicklung des neuartigen AGR-Kühlermoduls waren Dr. Oliver Thomer (Leiter In-



**1** Haben das Innovationsprojekt 3D-Rührreibschweißen gemeinsam erfolgreich gemeistert (von links): Dr. Uwe Krawinkel, Dr. Karl Wübbeke (beide Pierburg), Erich Unger, Norbert Tiede (beide Matec) und Dr. Oliver Thomer (Pierburg)

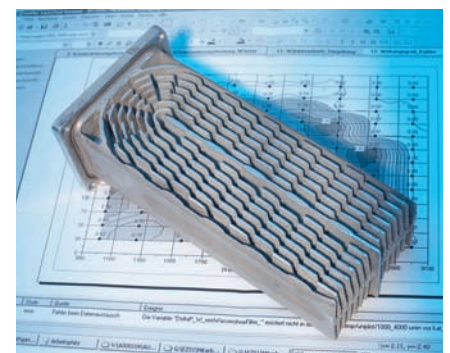
dustrialisierung CDS) und Dr. Uwe Krawinkel (Gruppenleiter CDS). Die Aufgabenstellung erläutert Dr. Thomer (Bild 1) wie folgt: »Mit dem neuen Konzept wollten wir flexibler in der konstruktiven Gestaltung, kompakter in der Dimension und zuverlässiger in Bezug auf die Langzeit-Kühlleistung werden. Weil unsere Saugrohre aus säure- und korrosionsbeständigem Al-Si-Druckguss sind, setzten wir auch beim Kühler von Anfang an auf diesen Werkstoff. Konstruktiv bietet der Aluminium-Druckguss viele Vorteile, gerade auch in Bezug auf die gezielte Verwirbelung der Abgasströmung durch das eingegossene Lamellenrippenprofil (Bild 2). Es stellte sich jedoch heraus, dass die Realisierbarkeit des AGR-Kühlermoduls am langzeitstabilen Fügen der temperaturbelasteten Einzelkomponenten hing.«

So begann die Suche nach einem geeigneten Schweißverfahren – Schrauben und

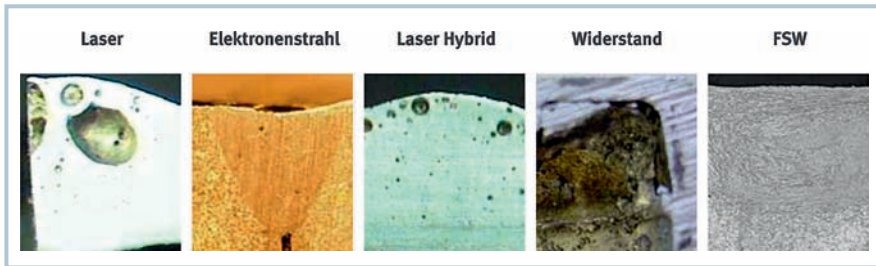
Dichtungen waren nicht akzeptabel. »Die Schwierigkeit liegt im Werkstoff«, erklärt Dr. Uwe Krawinkel (Bild 1): »Beim Druckgießen verbleiben infolge des Verdichtungsdrucks von 300 bar Eigenspannungen und Lufteinschlüsse im Gefüge. Wird das Gefüge über den Schmelzpunkt hinaus erhitzt, entweicht die Luft schlagartig. Das ist, als wenn sie eine Sprudelflasche öffnen. Das Schweißverfahren musste jedoch die Nähte hundertprozentig wasser- und luftdicht, wärmebeständig und korrosionsresistent, reproduzierbar und prozesssicher herstellen können. Aus 14 untersuchten Schweißverfahren ging das Rührreibschweißen aus technischen und kommerziellen Gründen als Sieger hervor.« Dieses Verfahren, im Englischen mit den drei Buchstaben FSW für Friction Stir Welding abgekürzt, wurde seit 1991 am TWI (The Welding Institute) im englischen Cambridge entwickelt und patentiert. >>>

### **i** VORTEILE DES ALU-AGR-MODULS VON PIERBURG

- Integrierte, kompakte Einheit aus Kühler, Bypassklappe, AGR-Ventil und Saugrohr
- Kühlergeometrie mit Lamellenrippen reduziert die Versottung und Verrußung
- Hervorragende Langzeit-Kühlleistung
- Für Nieder- und Hochdrucksysteme geeignet
- Bessere Wärmeleitfähigkeit von Aluminium, damit höhere Kühlleistungsdichte
- Schnelleres Erreichen der Betriebstemperatur des Motors; die integrierte Bypassklappe leitet die Abgase in der Anwärmphase am Kühler vorbei
- Gewichtsreduzierung
- Solider Korrosionsschutz, bessere Dauerhaltbarkeit
- Günstigere Herstellung im Vergleich zur Edelstahlröhren-Technologie



**2** Sorgt für viel Wirbel: AGR-Kühler aus Al-Si-Druckguss mit Lamellenrippen



3 Ein Blick genügt und die Entscheidung liegt auf der Hand: rechts die dichte Füge-naht des Rührreibschweißverfahrens, auch FSW (Friction Stir Welding) genannt



4 Die »Prototyp«-Maschine ist voll produktiv im Einsatz: als einzige Einplatzmaschine von mittlerweile zehn Maschinen trat die matec-30 HV kurz vor Weihnachten 2006 bei Pierburg ihren Dienst an; der Erfolg bescherte dem Projektteam entspannte Feiertage

### » Fügeverfahren lernt auf einem 5-Achs-Zentrum das »Surfen«

Bei dem in der Flugzeugindustrie und im Schiffsbau etablierten Verfahren wird ein verschleißfestes, zylindrisches Werkzeug mit einem stirnseitigen Pin (Zapfen) rotierend und unter Druck entlang der Stoßkante zweier Guss- und Blechteile verfahren. Das Aluminium wird infolge der Reibung zwischen Werkstückoberfläche und Werkzeugschulter bei etwa 550 °C plastifiziert, um den rotierenden Pin transportiert, verquirlt, verdichtet und beim Abkühlen fest verbunden (Bild 3).

Das Ganze hatte nur einen Haken: alle bis dato bekannten, für die Pierburg-Applikationen in Frage kommenden Rührreibschweißmaschinen funktionierten bestenfalls in der Ebene, meist sogar nur eindimensional geradeaus. Um die AGR-Kühler fahrzeugspezifisch auslegen zu

können und im Sinne einer kostengünstigen Fertigung in Mehrfachspannvorrichtungen musste Pierburg das Rührreibschweißen für den dreidimensionalen und vor allem kraftregelbaren Einsatz ertüchtigen. Je nach Ausführung sind bis zu sieben komplexe Einzelteile in mehreren Schritten an- und ineinander zu schweißen. Bei der Suche nach der geeigneten Maschinenteknik und dem erforderlichen Anwendungs-Know-how wurde man bei Matec fündig.

### Mit Ausdauer und Ideenreichtum erfolgreich durchs Ziel

Als Basismaschine wurde ein Fahrständer-BAZ vom Typ »matec-30 HV« mit Schwenkkopf ausgewählt und dieses in mehreren iterativen Entwicklungsschritten mit elementaren Modifikationen angereichert, die im Herbst 2006 letztlich

zum Durchbruch führten. Weil das Ergebnis des Schweißprozesses vom Einhalten des Prozessparameterfensters abhängt, musste zunächst sichergestellt werden, dass das in der Hauptspindel des Schwenkkopfes eingespannte Rührreibschweißwerkzeug mit einem definierten Anstellwinkel zur Vorschubrichtung und einer möglichst konstanten Anpresskraft von etwa 5 kN entlang der 3D-Schweißnaht geführt wird. Weil nach dem Schweißen direkt das Entgraten der Schweißnähte zu erledigen ist, musste die besonders steif auszuführende Spindel zudem einen Spagat hinsichtlich der Leistungsparameter vollbringen können: für das Schweißen ist eine Drehzahl von etwa 5000 min<sup>-1</sup> bei hoher Axialkraft gefordert, das Fräsen ist ab 12 000 min<sup>-1</sup> wirtschaftlich.

Die Lösung dieser kniffligen Aufgabenstellungen im Team erläutert Matec-Chef Erich Unger (Bild 1) wie folgt: »Die Grundgesetze der Steuer- und Regelungstechnik kann man nicht überwinden, auch nicht mit moderner digitaler Antriebstechnik. Eine interpolierte Achse lässt sich entweder hinsichtlich ihrer Bahn oder hinsichtlich der Kraft regeln. Zwei sich überlagernde Regelkreise funktionieren nicht. Also haben wir die Kessler Motorspindel auf einen zusätzlichen Schlitten gesetzt und an dieser Schnittstelle eine definierbare Kraftregelung eingebaut. Es funktioniert wie eine sechste Achse parallel zur Z-Achse, allerdings im Raum. Über die Bosch-Steuerung ist es somit möglich, während des Schweißprozesses die Anpresskraft zu regeln und bei höheren Drehzahlen die hydraulische Lagervorspannung für

### i ANWENDER

Der Automobilzulieferer Pierburg GmbH hat sich auf Systeme und Komponenten zur Luftversorgung und Schadstoffreduzierung von Verbrennungsmotoren spezialisiert. Als einer von vier Unternehmensbereichen der Kolbenschmidt Pierburg AG setzt Pierburg mit 3540 Mitarbeitern und Standorten in sieben Ländern weltweit 880 Millionen Euro um.

**Pierburg GmbH**  
41456 Neuss  
Tel. 02131 520-0  
Fax 02131 5206-45  
→ [www.kspg.com](http://www.kspg.com)



**5** Produktives Spalier mit vier von mittlerweile zehn matec-6-Achs-BAZ: in vier Arbeitsschritten werden die Komponenten des neuartigen AGR-Kühlermoduls rührreißgeschweißt und entgratet



**6** Auf nebenzeitarmen Pendelbetrieb getrimmte matec-30 HV: vor dem linken Arbeitsraum mit fertig geschweißten Bauteilen ist der vordere Fahrständer mit Entgratspindel zu sehen; im rechten Arbeitsraum kann die Hauptspindel zeitgleich rührreißschweißen

» das Fräsen abzuschalten. Für diese sechste Achse mussten wir das Werkzeugmagazin, das im Sinne kurzer Wechselzeiten normalerweise im Fahrständer untergebracht ist, von der Spindel weg verlegen.«

Nach ersten erfolgreichen Probearbeitungen bei Matec in Köngen auf einer Einplatzmaschine (Bild 4) wurde der Prozess bei Pierburg installiert und Weihnachten 2006 nach zwei Tagen Aufbau erfolgreich gestartet. Bis heute sind zehn matec-30 HVs installiert (Bild 5). Ab der

zweiten Maschine griffen bereits die kontinuierlich laufenden Prozessoptimierungen im Hinblick auf die Stückkosten. Matec-Gebietsverkaufsleiter Norbert Tiede (Bild 1) über die Fortschritte: » Parallel zur Umstellung auf hydraulische Mehrfachspannvorrichtungen wurde das Konzept um die Pendelbearbeitung erweitert. Die X-Achse wurde auf 3000 mm verlängert, zwei Torque-Rundtische darauf installiert und mithilfe einer Trennwand zwei Arbeitsräume geschaffen, die vom selben

Fahrständer bedient werden. Somit können hauptzeitparallel die geschweißten und entgrateten Gusselemente gegen Rohteile ausgetauscht werden. Da etwa 50 Prozent der Schweißungen ausschließlich mit angestelltem Werkzeug in der Ebene stattfinden, haben wir bei der jüngsten Maschine weiter Boden gutgemacht. Weil das Austauschen der Bauteile nicht die komplette Hauptzeit beansprucht, haben wir zusätzlich zum hinteren Haupt-Fahrständer einen zweiten Fahrständer montiert, der vorne verfährt und auf dem ausschließlich in der Ebene entgratet werden kann. Beide Fahrständer fahren über Kreuz, sodass bei geeigneten Teilen die Hauptspindel nur schweißt, während im anderen Arbeitsraum ohne Zeitverlust mit der zweiten Spindel entgratet wird und der manuelle Austausch der Teile in den Spannvorrichtungen erfolgt (Bild 6). So konnten wir die Zykluszeit um die Entgratdauer verkürzen.«

### Das Preisgefüge im Markt glatt auf den Kopf gestellt

Weil die enge Zeitachse eingehalten wurde, konnten mit der innovativen Technik große Rahmenverträge gewonnen werden. Nicht zuletzt konnte dank der wesentlich günstigeren Fertigung das Preisgefüge im Markt auf den Kopf gestellt werden. So ist Dr. Wübbeke verständlicherweise voll des Lobs für das Beispiel an effizientem Simultaneous Engineering über die Unternehmensgrenze hinaus: »Sie müssen in einem derart komplexen Projekt jeden Folgeschritt sorgfältig planen. Sie sind auf die schnelle Reaktionsfähigkeit auf jeden neuen Erkenntnisgewinn angewiesen. Wir haben natürlich auch anderen Werkzeugmaschinenherstellern eine Chance gegeben. Bei matec hat man unter großem Zeitdruck kühlen Kopf bewahrt und die kniffligen Herausforderung kreativ gemeistert. Heute haben wir einen funktionierenden Prozess, der uns technologische Alleinstellung verschafft und uns zur Realisierung weiterer kundenspezifische Produkte befähigt. Und jenseits des Rührreißschweißens und Entgratens haben wir in allen Fällen in vollwertige Hochleistungs-Bearbeitungszentren investiert. Das nenne ich flexibel.« ■

Artikel als PDF unter [www.metall-infocenter.de](http://www.metall-infocenter.de)  
Suchbegriff → **WB110083**