

Die vernetzte Härterei – Herausforderungen an die Härtereianlage in der Industrie 4.0

von **Gerald Hiller**

Die industrielle Welt steht vor einem weiteren, tief greifenden Wandel. Mit IoT (Internet of Things) wird es möglich werden, dass sich die einzelnen Fertigungsschritte untereinander vernetzen. Der Materialtransport wird über Transporteinrichtungen realisiert, die auch vernetzt sind und das Produkt automatisch zu seinem nächsten Fertigungsschritt bringen. Diese kleinen, intelligenten Module bieten für unsere Wärmebehandlungsindustrie neue Herausforderungen: höhere Variantenvielfalt, kleinere Stückzahlen pro Variante, flexible und kostengünstige Produktion. Die Lagerhaltung von Fertigprodukten, die die gesamte Wertschöpfung beinhaltet, wird aus Kostengründen reduziert. Die Fertigung startet, sobald der Kunde über das Internet sein Produkt konfiguriert und bestellt hat. Der Auftrag wird direkt in die Produktion transferiert und die Fertigung startet vollautomatisch. Rohteile werden aus dem Lager geholt und zielgerichtet von Fertigungsschritt zu Fertigungsschritt gefahren. Jeder Prozessschritt wird dokumentiert und kann dem einzelnen Bauteil zugeordnet werden. Bei einem Ausfall der gesamten Baugruppe im Betrieb kann eine lückenlose Rückverfolgbarkeit gewährleistet werden.

Anfang der 2000er-Jahre waren Firmen in Deutschland gezwungen, immer günstiger zu produzieren. Ein Ausweichen in Billiglohnländer, meistens China, war unvermeidlich. Mit den günstigen Löhnen konnten Massenprodukte kostengünstig hergestellt und in großen Containern mit Schiffen nach Europa transportiert werden. Dies hatte auch zur Folge, dass die chinesischen Löhne in den folgenden Jahren um jährlich 10 % stiegen, die Arbeit wurde also verteuert. Dieser Trend ist auch ein Wegbereiter für den Erfolg der

Industrie 4.0. Ein weiterer Wegbereiter sind die Kunden, deren Ansprüche sich geändert haben. Unternehmen wie Märklin, Gigaset, Rowenta, Adidas und BSH sind in den letzten Jahren vermehrt nach Deutschland zurückgekehrt. Bekleidungsfirmen wie Engelbert Strauss bauen neue Fertigungsstandorte in Deutschland, um individuelle Produkte den Kunden ohne lange Logistikwege in Zukunft anbieten zu können.

Thomas Bauernhansl, der als Professor für Produktionstechnik und Fabrikbetrieb an der Universität Stuttgart lehrt und das Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automation (IPA) leitet, sieht darin einen tief greifenden Paradigmenwechsel: „Wir gehen weg von einer eher angebotsorientierten Produktion hin zu einer nachfrageorientierten.“ Dabei legt der Kunde in vielen Fällen künftig selbst fest, in welcher Ausfertigung er ein Produkt haben möchte. Der Hersteller richtet sich danach und passt seine Prozesse entsprechend an.

Dieser Fachbericht beschäftigt sich schwerpunktmäßig mit der Auswirkung der Industrie 4.0 auf die Härtereianlagentechnik und deren Automation. Sicher gibt es noch vielfältige Themen wie vorbeugende Wartung, Erkennen von frühzeitigem Bauteilausfall etc., die einen eigenen Bericht wert sind.



Bild 1: bm-online

Anforderungen an die Anlagentechnik

Die Anforderungen der Endkunden werden immer komplexer, flexibler und individueller. Massenprodukte, die in großen Stückzahlen zu niedrigen Kosten produziert werden, werden immer

weniger gefragt. Der Mensch als Individuum möchte auch ein individuelles Produkt, das zu seinen Bedürfnissen und (technischen) Anforderungen passt und schnell verfügbar ist. Durch das veränderte Verbraucherverhalten werden mehr Produkte online konfigurier- und bestellbar sein (**Bild 1**). Diese Anforderungen (Industrie 4.0 – die Vernetzung der einzelnen Arbeitsschritte, das intelligente Bauteil, automatischer Transport zwischen den Fertigungszellen, die Zusammenarbeit von Mensch und Roboter und die vorausschauende Wartung) sind für die Industrie die Herausforderung der nahen Zukunft.

Das heißt für die Härterei, dass sie noch näher mit den Maschinen und Anlagen zusammenrücken und verschiedene Bauteile aus unterschiedlichen Stählen direkt, schnell, flexibel und in kleinen Einheiten wärmebehandeln muss. Der Begriff „Integrierte Härterei“ ist nicht neu, aber durch die Industrie 4.0 bekommt dieser Begriff eine völlig neue Dimension (**Bild 2**).

Die Möglichkeit der Industrie 4.0 löst die Starrheit der Fertigungskette auf. Die flexible Fertigung erhält Einzug (**Bild 3**). Die Härteanlage muss direkt das Bauteil produzieren, das vor der Anlage angeliefert wurde. Ein Puffer ist nicht vorgesehen.

Bedeutung von Industrie 4.0 für eine Wärmebehandlungsanlage

Das Fraunhofer-Institut für Experimentelles Software Engineering IESE definiert die Anforderung der Industrie 4.0 an die Systeme folgendermaßen: „eine Vernetzung von autonomen, sich situativ selbst steuernden, sich selbst konfigurierenden, wissensbasierten, sensorgestützten und räumlich verteilten Produktionsressourcen (Produktionsmaschinen, Roboter, Förder- und Lagersysteme, Betriebsmittel) inklusive deren Planungs- und Steuerungssysteme (Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0)“.

Wenn die Definition des Fraunhofer-Instituts auf eine Härtereianlage angewendet wird, wäre die Wärmebehandlungsanlage 4.0 folgendermaßen ausgestattet:

- Automatische Be- und Entladung
- Systeme zur Bauteilerkennung
- Rezepte werden automatisch geladen/gelesen, je nach Bauteil
- Kleine Chargengrößen mit hoher Variantenvielfalt
- Kleine Anlageneinheiten, verteilt und vernetzt in der Fertigung



Bild 2: Integrierte Fertigung

- Wärmebehandlung unterschiedlicher Einsatz- oder Vergütungsstähle in kleinen Stückzahlen
- Kurze Prozesszeiten
- Hohe CHD-Gleichmäßigkeit
- Selbstlernende/-optimierende Prozesse
- Geringer Verzug
- Umweltfreundlichkeit
- In die Fertigungskette integrierbar
- Erkennt eigenen Wartungs-/Reparaturbedarf
- Geringe Verbräuche bzw. niedrige Betriebskosten.

Zusammengefasst ist eine Vakuumanlage mit kleinen Chargenabmessungen, mehreren unabhängigen Heizzellen, Gasabschreckung, kleiner Aufstellfläche und hoch automatisiert eine Lösung, die nahezu alle Anforderungen trifft.

Automation in der Härterei

In den letzten 10 bis 15 Jahren ist es ein unbestrittener Trend, dass sich der Investitionswert an einer Wärmebehandlungsanlage durch die Automation ständig erhöht hat. Während Anfang der 2000er-Jahre ein automatischer Transportwagen die Chargen zu verschiedenen Stationen transportiert hat, sind heute weitaus komplexere Automationslösungen gefragt. Um die Anforderungen der Industrie 4.0 zu treffen, sind weitaus intelligentere Systeme notwendig. Diesen Anforderungen und Herausforderungen hat sich die ECM Technologies gestellt, indem sie ihre Abteilung Robotics in einem eigenständigen Geschäftszweig ausgegliedert hat. Die ECM Robotics ist somit in die Lage versetzt worden, eigenständig Automationslösungen anbieten zu können.



Bild 3: SEW – Flexible Produktion

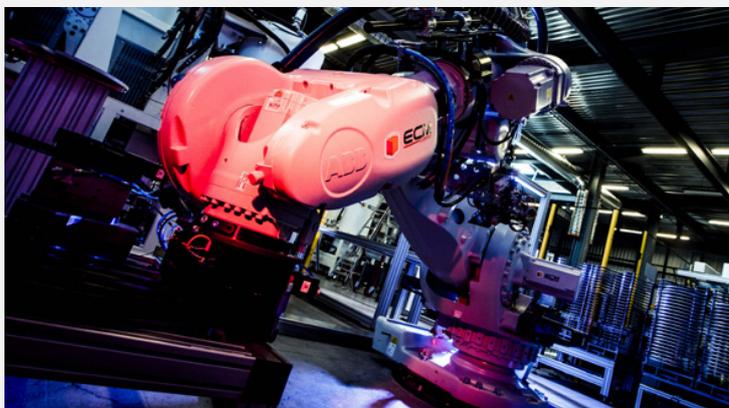


Bild 4: Roboterbeladung ICBP Nano

Chargenbeladung mit Roboter

Die ECM Robotics kann auf umfangreiches Wissen aus der Mikroelektronikindustrie zurückgreifen. Hier sind Roboter- und Automationslösungen als Teil der Produktionskette notwendig. Verschiedene Projekte in der Wärmebehandlung sind bereits erfolgreich abgeschlossen worden, z. B. Schüttgutbeladung über Gewichtserkennung, Be- und Entladen von Lkw-Wellen in Chargiergestellen und in Richtmaschinen (**Bild 4**). Die Visualisierungssysteme haben heutzutage einen Standard erreicht, dass

Zahnräder anhand des Durchmessers oder an der Anzahl der Zähne identifiziert und sortiert werden können.

Bauteilerkennung und Analyse von Richtwerten

Wie bereits erwähnt, sind visuelle Erkennungssysteme auf einem hohen technischen Standard, sodass z. B. Wellen aufgrund ihrer Geometrie erkannt werden. Interessant wird es, wenn sich noch zusätzlich die Lage bzw. Ausrichtung der Welle innerhalb einer Charge erkennen und dokumentieren lässt. In dem beschriebenen Projekt hat ECM Technologies Wellen aus einem Lkw-

Getriebe auf einer ICBP Jumbo niederdruckaufgekohlt, gefolgt von einer Gasabschreckung. Die ICBP Jumbo wurde mit einer Roboterzelle inklusive einer Richtpresse erweitert. Projektziel war die Dokumentation aller Wellen mit Lage, Ausrichtung und Richtergebnissen. Mit einer dazu gelieferten Analysesoftware lassen sich genaue Auswertungen über die Richtwerte der Wellen sowie deren Lage innerhalb der Charge durchführen (**Bild 5**).

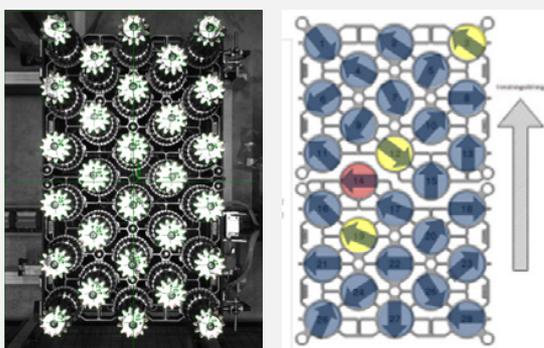


Bild 5: Visio-System – Wellenerkennung

Lasermarkierung und Rückverfolgbarkeit

Eine weitere wesentliche Anforderung der Definition der Fraunhofer ist die einer „sich situativ selbst steuernden [...] Produktionsressource“. Damit sich eine Produktionsressource selbst steuern kann, muss diese erst einmal erkennen, was, wann und wie produziert (gehärtet) werden muss. Dem Bauteil muss Intelligenz bzw. eine Seriennummer angehaftet werden, damit die Arbeitsstation, und somit das Bauteil den anstehenden Arbeitsschritt identifizieren kann. Mithilfe einer Lasermarkierung kann dies realisiert werden (**Bild 6**). Sobald ein Bauteil seine endgültige (äußere) Form erhalten hat, kann ein Laser einen QR-Code eingravieren und über eine Datenbank kann jeder Arbeitsschritt dokumentiert werden sowie eine Erkennung stattfinden. Laufkarten wären überflüssig und eine Rückverfolgbarkeit, selbst bei einem Bauteilausfall im Betrieb, ist gewährleistet.



Bild 6: Mit Laser markiertes Zahnrad

Härteprüfung – Inline

Folgender Text und Bilder bereitgestellt von Firma Qass GmbH

Im Zuge der Industrie 4.0 werden ebenso verstärkt Sensoren zur Unterstützung und Verbesserung der Produktionskapazitäten eingesetzt. Eine weitreichende Entwicklung der letzten Jahre stellt die Anwendung magnetinduktiver Verfahren dar. Damit lässt sich der Erfolg der Wärmebehandlung inline beurteilen. Qass µmagnetic ist ein Messverfahren zur berührungslosen Härtemessung, der

Detektion von Härteanomalien sowie von Härteverläufen, Schleifbrandprüfungen und der Detektion von Wärmebehandlungsfehlern bei ferromagnetischen Materialien. Dazu wird das Prinzip des magnetischen Barkhausen-Rauschens benutzt. Ein magnetisches Wechselfeld interagiert mit den magnetisierbaren Bestandteilen von Stahl (ausgenommen Austenite bei Raumtemperatur) und misst die zeitabhängige Magnetisierbarkeit bis zur Sättigung des Materials. Die Magnetisierbarkeit ist dabei vorwiegend abhängig vom Kohlenstoffgehalt, genauer vom Anteil des Kohlenstoffs, der für die Erzeugung eines Härtingsgefüges in das Gitter eingebaut wird. Je geringer der Kohlenstoffgehalt, desto leichter die Magnetisierbarkeit des Stahls. In zweiter Instanz behindern auch Karbide, kleine Korngrößen und Eigenspannungen die Magnetisierung eines Materials (**Bild 7**).

Das Verfahren ist seit Jahren bekannt und wird zur Beurteilung der Härte, Festigkeit und des Eigenspannungszustands angewendet. Mit den Weiterentwicklungen in der Signalanalyse konnte der Nachteil der Beschränkung auf Laboranalysen beseitigt werden. Heutzutage werden Signaltransformationen (z. B. FFT) der Barkhausen-Rauschen-Signale angewendet, um eine bessere Nutzsignalinformation zu erhalten. Damit können auch elektronische Filter zur Beseitigung von Störsignalanteilen in industrieller Umgebung benutzt werden. Skriptfähige Programmieransätze (Java, Python) lassen zusätzlich eine angepasste Signalanalyse auf den jeweiligen Anwendungsfall konzipieren. Abgerundet werden solche Systeme durch ein umfangreiches Schnittstellenkonzept zur Weiterleitung von Daten und Rückverfolgung von Teilen.

Bild 8 zeigt das Konzept der automatischen Inline-Härteprüfung. Ein (großer) Roboter ist für das Be-/Entladen von Bauteilen auf Chargiergestellen zuständig, während ein kleines Modul mit einem zweiten (kleinen) Roboter die Bauteile der μ magnetischen Härteprüfung unterzieht.

Unterschied zwischen AGV und AMR

In den letzten Jahren haben sich einige Konzepte auf dem Markt etabliert, um Waren automatisch von A nach B zu bewegen. Das „Fahrerlose Transportfahrzeug“, kurz FTF, ist im Englischen unter AGV bekannt geworden. AGV steht für „Automated Guided Vehicle“. Diese autonomen Fahrzeuge transportieren Lasten, indem sie Bodenmarkierungen folgen. Ist ein Hindernis im Weg, wird dieses durch Sensoren detektiert und das AGV wartet so lange, bis sich das Hindernis entfernt hat. Erst dann setzt es seinen Weg fort. Ist die Bodenmarkierung beschädigt oder fehlerhaft, kann das AGV nicht mehr seiner Aufgabe nachkommen.

AMR steht für „Autonome Mobile Robot“. AMR's sind mit weiteren Sensoren wie z. B. LIDAR-Radar ausgestattet. Das befähigt AMR's, virtuelle „Landkarten“ der Umgebung anzulegen und sich selbstständig im Raum zurechtzufinden. Es sind somit keine Bodenmarkierungen notwendig. Wenn

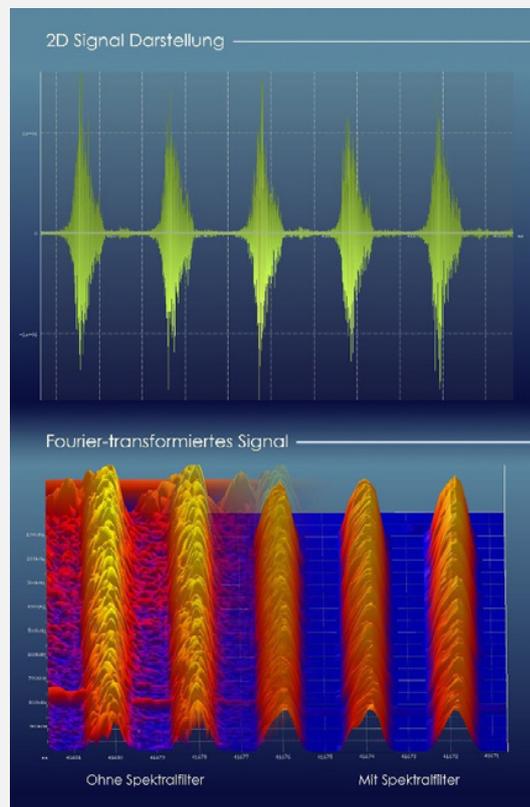


Bild 7: Qass μ magnetic misst die Härte berührungslos und zerstörungsfrei (Quelle: Qass GmbH)

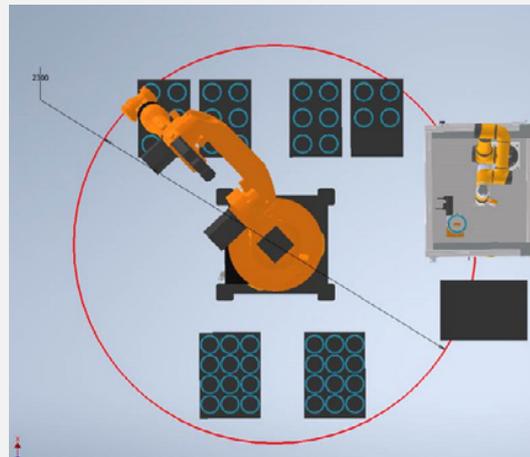


Bild 8: Automatische Inline-Härteprüfung (Quelle: Qass GmbH)

Hindernisse im Weg sind, werden diese einfach umfahren. Auch neue Orte zum Be- und Entladen lassen sich auf einfachstem Weg neu anlernen.

ECM Technologies setzt nur AMR's ein, da diese die notwendige Flexibilität besitzen, sich in einer komplexen Umgebung zurechtzufinden.

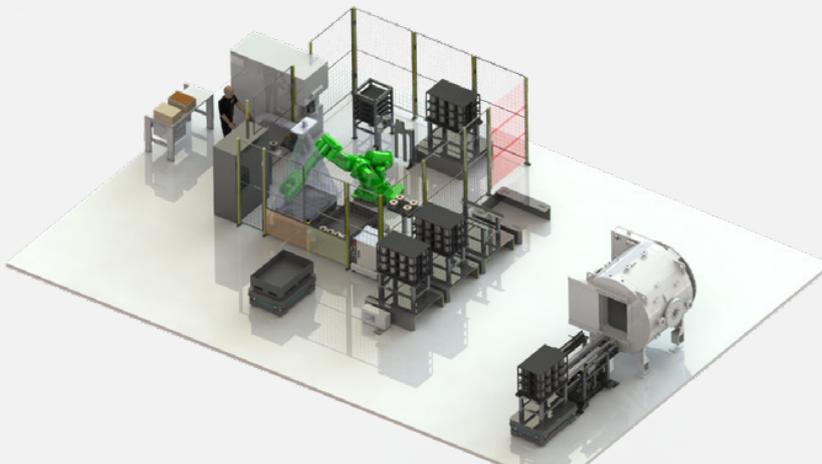


Bild 9: AMR-Konzept von ECM

ECM: Die vernetzte Härterei

Sehen wir uns noch einmal die Definition des Fraunhofer-Instituts an: „eine Vernetzung von autonomen, sich situativ selbst steuernden, sich selbst konfigurierenden, wissensbasierten, sensorgestützten und räumlich verteilten Produktionsressourcen (Produktionsmaschinen, Roboter, Förder- und Lagersysteme, Betriebsmittel) inklusive deren Planungs- und Steuerungssysteme.“

Die ECM-Wärmebehandlungsanlage bildet somit die „räumlich verteilte Produktionsreserve“, die mithilfe von AMR „situativ selbst steuernd“ Material an- und abgeliefert bekommt (**Bild 9**). Der QR-Code auf den Bauteilen stellt die „wissensbasierte“ Laufkarte dar. Die Roboter erkennen die Bauteile anhand des QR-Codes und werden auf das passende Chargiergestell geladen. Die Wärmebehandlung kann bauteilbezogen, flexibel und dokumentiert durchgeführt werden. Selbst die Rückverfolgbarkeit der Produktion kann sichergestellt werden.

Es ist hervorzuheben, dass weitere Wärmebehandlungsmodule wie Anlassöfen, Waschmaschinen und auch weitere Pufferplätze frei im Raum aufgestellt werden können. Eine starre Verbindung mit einem schienengebundenen Transportsystem wäre nicht mehr notwendig. Das Layout ist weitaus flexibler und frei planbar. So ist es ideal für Pro-

duktionen, die beengte Platzverhältnisse aufweisen und keine große zusammenhängende Fläche zur Verfügung haben.

Fazit

ECM Technologies hat mit dem neuen Geschäftszweig ECM Robotics auf die Anforderungen der Industrie reagiert. Aus dem Anlagenportfolio können zahlreiche kundenbasierte Lösungen für die Wärmebehandlung angeboten werden. Die ökonomischen und umweltfreundlichen Vakuumanlagen können den variablen Anforderungen der „nachfrageorientierten“ Produktion nachkommen. Der Einsatz von AMR's erlaubt weitere flexiblere und komplexere Layouts, um die Produktionsressourcen miteinander zu vernetzen.

Mit der heutigen Technologie ist eine Inline-Auswertung der Bauteilqualität möglich, muss sich aber in der Produktion weiterhin etablieren. Nächster logischer Schritt wäre es, zu „sich situativ selbst steuernden, sich selbst konfigurierenden [...] Produktionsressourcen“ überzugehen. Das hätte eine weitere Vernetzung der Inline-Bauteilanalyse mit der Anpassung der Verfahrensparameter der Wärmebehandlungsanlage zur Folge. Das ist ohne Frage ein Paradigmenwechsel: Der Mensch gibt die (Verfahrens-)Kontrolle an die Automation ab. Damit steht uns eine gewaltige Zukunftsaufgabe bevor.

ECM Technologies wird sich dieser Aufgabe in den nächsten Jahren weiter stellen, damit „sich selbst konfigurierende Prozesse“ in der Zukunft keine Utopie mehr sind.

AUTOR



Gerald Hiller
ECM GmbH
Offenbach-Waldhof
069 / 667788-065
g.hiller@ecmtech-gmbh.de

+++ www.prozesswaerme.net +++ www.prozesswaerme.net +++