



Steigerung der Effizienz des Schmiedeprozesses durch moderne Messtechnik

Die Einhaltung der vorgegebenen Temperatur von Schmiedeteilen ist bei Warmverformung eine der wesentlichen Prozessgrößen. Bei Nichteinhaltung erhöht sich der Ausschuss an Fehlteilen dramatisch und führt oft zu markanten Problemen im späteren Umformprozess. Umso entscheidender ist es, die Temperatur auch korrekt zu erfassen. Üblicherweise wird dazu die optische Temperaturmessung eingesetzt. Aus den verschiedenen Möglichkeiten an Pyrometern gilt es, die richtige Auswahl zu treffen. Dabei ist es für eine präzise Temperaturmessung der Schmiedestücke unerlässlich, die Gerätekenngößen und Funktionen zu beachten.

AUTOR



Dipl.-Ing. Albert Book

ist Head of Business Unit IST bei der Keller HCW GmbH in Ibbenbüren

Weil fossile Energieträger knapper werden, rückt die ressourcenschonende Erwärmung von Halbzeugen direkt vor der Warmumformung in einer Schmiedepresse zunehmend in den Vordergrund. Innovative Ansätze im Erwärmungsprozess steigern die Prozesseffizienz und reduzieren die Verlustenergie. Mit modernen induktiven Erwärmungsanlagen lassen sich Schmiedeblocke über mehrere Zonen individuell geregelt aufheizen. Das Ziel ist es, in kürzester Zeit und mit minimalem energetischen Aufwand eine homogene Durcherwärmung der Halbzeuge zu erreichen. Die Temperaturdifferenz zwischen der Oberfläche und dem Kern sollte dabei unter ± 25 K liegen. Diese Vorgaben lassen sich mit klassischen induktiven Systemen mit einer einfachen Steuerung des Umrichters kaum erreichen. Durch unterschiedliche Abstände der Spulenwicklungen lässt sich zwar die Energieeintrbringung entlang der Erwärmungslinie gezielt verändern, dies jedoch nur statisch. Eine dynamische Anpassung der Wärme-eintrbringung aufgrund unterschiedlicher Produktionsvorgaben oder Geometrien der Halbzeuge ist nicht möglich.

Mit innovativen Mehrzonenanlagen wird die Energie pro Induktor separat geregelt und so ein Leistungsprofil entlang der Erwärmungslinie erreicht. Die Anpassung der Frequenz beeinflusst in Abhängigkeit der Größe und des Materials der Halbzeuge die elektromagnetische Eindringtiefe, um damit eine homogene Wärmeverteilung im Werkstück zu erzielen.

Die Grundlage für eine bestmögliche Regelung der Erwärmung ist jedoch eine präzise Erfassung der Temperatur der Halbzeuge. Eine Temperaturmessung innerhalb der Anlage ist nur mit sehr hohem Aufwand realisierbar. Aus diesem Grund erfolgt eine optische Messung am Ausgang des Erwärmungsprozesses. Durch den kontinuierlichen Abgleich der gemessenen Temperatur mit dem aus einem Rechenmodell ermittelten Wert bietet sich damit die Möglichkeit, die Temperatur der Halbzeuge abhängig vom Material und Gefüge zu regeln.

OPTISCHE TEMPERATURMESSUNG

Zur Temperaturmessung der Schmiedeblocke haben sich seit vielen Jahren Pyrometer bewährt. Sie erfassen die von dem Objekt abgestrahlte Infrarot-Strahlung und berechnen daraus nach dem Planck'schen Strahlungsgesetz die Temperatur. Die Messung erfolgt berührungslos aus sicherer Entfernung und damit zerstörungsfrei für das Werkstück. In wenigen Millise-



Bild 1: Verzunderungen ändern die Strahlungseigenschaften eines Blocks erheblich

kunden wird die Temperatur erfasst, der Regelung als Istwert zur Leistungseinbringung zugeführt und Blöcke mit Temperaturen außerhalb der Toleranz aussortiert.

Eine der größten Schwierigkeiten bei der optischen Temperaturmessung in Schmiedeprozessen ist die Verzunderung und Oxidation der Oberfläche (Bild 1). In vielen Schmiedeprozessen wird inzwischen auf Schutzgas verzichtet. Somit entstehen im Laufe der Erwärmung größere Partikel an Zunder auf der Oberfläche. Der Emissionsgrad, sprich die Strahlungsfähigkeit des Schmiedeblocks, verändert sich dadurch extrem. Beispielsweise variiert bei einer wahren Objekttemperatur von 1.200 °C der Messwert bei einer Emissionsgradänderung zwischen zirka 40 Prozent für die saubere Oberfläche und 80 Prozent bei Zunder um 130 °C.

MESSVERFAHREN

Bei der Auswahl der Infrarot-Thermometer kann zwischen zwei Messverfahren ausgewählt werden. Spektral-Pyrometer erfassen die Infrarot-Strahlung bei einer Wellenlänge. Quotienten-Pyrometer messen die Strahlung bei zwei Wellenlängen

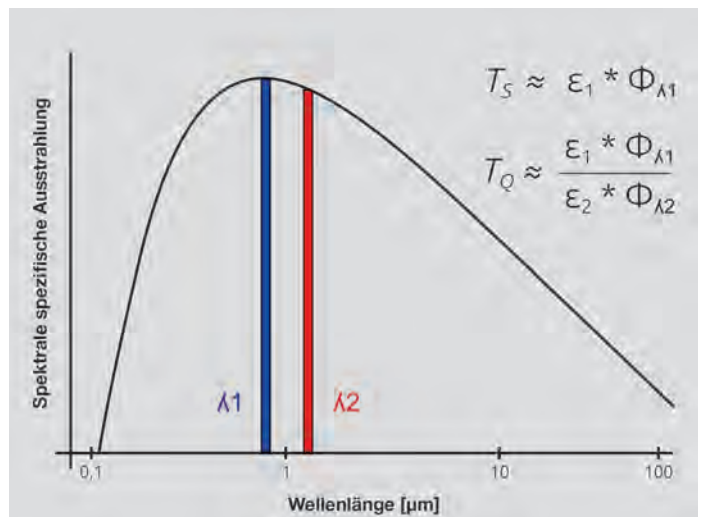


Bild 2: Spektral-Pyrometer messen bei einer Wellenlänge die Strahlung (TS), ein Quotienten-Pyrometer ermittelt aus dem Verhältnis der Strahlendichte aus zwei Wellenlängenbereichen die Temperatur (TQ).

und ermitteln aus dem Verhältnis der beiden Strahlungsintensitäten die Temperatur (Bild 2). Die Auswahl hängt von der angestrebten Messgenauigkeit, der gewünschten Flexibilität des Geräts und der Bedienerfreundlichkeit ab.

Aus Kostengründen werden häufig Spektral-Pyrometer eingesetzt. Bei den Geräten kann aufgrund der Oberflächeneffekte die gemessene Temperatur stark schwanken. Um den Messwert zu glätten, wird daher im Pyrometer oder in der Steuerung der Mittelwert gebildet. Der so ermittelte Anzeigewert weicht jedoch von der wahren Blocktemperatur ab. Die Schwankungsbreite ist dabei vom Verschmutzungsgrad der Oberfläche des Werkstücks abhängig. Auch wird als weitere Variante zur Eliminierung der Oberflächeneinflüsse der Spitzenwertspeicher im Spektral-Pyrometer aktiviert, um innerhalb der Messperiode den Maximalwert zu ermitteln. Aufgrund des höheren Emissionsgrads der verzundernten Oberfläche kann das Pyrometer einen höheren Messwert anzeigen als an der zunderfreien Stelle. Die eigentliche Temperatur liegt jedoch niedriger. Daher entspricht der Spitzenwert nicht zwingend der Blocktemperatur an der sauberen Oberfläche.

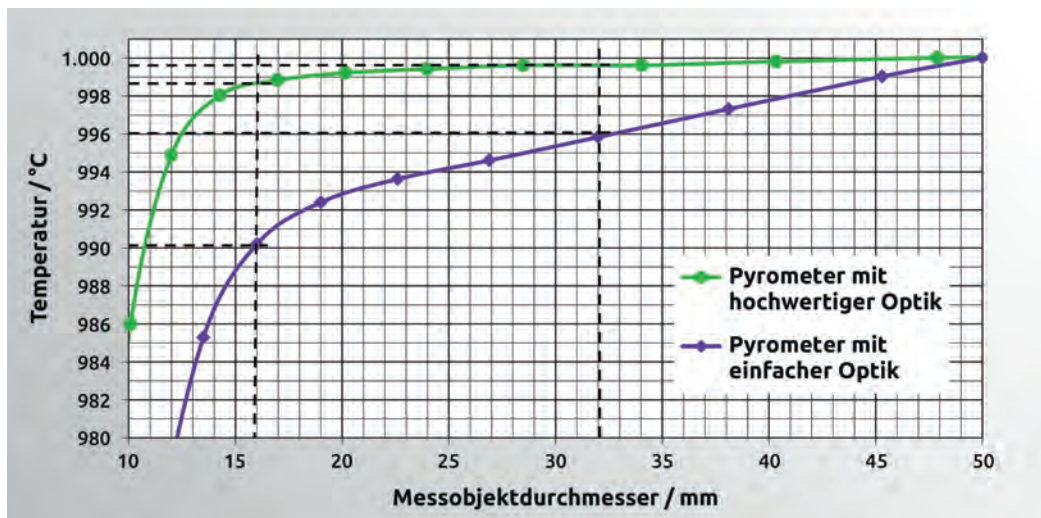


Bild 3: Vergleich der Messfehler durch Streulichteinfluss einer hochwertigen und einer einfachen Optik in Abhängigkeit von der Größe des Messobjekts

MODERNE QUOTIENTEN-PYROMETER

Um die Einflüsse der Oberfläche zu minimieren, empfiehlt sich der Einsatz von modernen Quotienten-Pyrometern. Ein Quotienten-Pyrometer erfasst die Wärmestrahlung eines Messobjekts in zwei unterschiedlichen Wellenlängenbereichen. Der Quotient der beiden spektralen Strahldichten Φ ändert sich näherungsweise proportional zur Temperatur. Verbunden mit den spektralen Strahldichten ist der jeweilige Emissionsgrad ϵ der Messoberfläche für die beiden Wellenlängen. Um den wellenlängenabhängigen Einfluss des Emissionsgrads der Messoberfläche gering zu halten, werden Wellenlängenbereiche ausgewählt, die eng beieinander liegen. Daher ist der Unterschied der beiden Strahlungsdichten sehr gering. Um diese kleinen Signaländerungen erfassen und auswerten zu können, werden an die Qualität der Optik, der Sensoren und der elektronischen Bauteile sowie an den EMV-Schutz (Elektromagnetische Verträglichkeit) bei einem Quotienten-Pyrometer hohe Ansprüche gestellt. Ein großer Signal-/Rauschabstand beziehungsweise ein kleiner NETD (Noise Equivalent Temperature Difference) ist jedoch die Voraussetzung, um eine akzeptable Messgenauigkeit und Temperaturauflösung bei gleichzeitig kurzer Messzeit zu erreichen. Der Dynamikbereich eines Quotienten-Pyrometers ist daher im Vergleich zu einem Spektral-Pyrometer um mehrere Zehnerpotenzen höher.

Um den Störeinfluss des Zunders auf die Messung weiter zu minimieren, wurde die sogenannte CSD (Clean Surface Detection)-Funktion entwickelt. Auf Basis des Quotienten-Messverfahrens und einer sehr kurzen Messzeit ist der softwaretechnische Algorithmus der CSD-Funktion im Pyrometer in der

Lage, speziell die Messwerte der zunder- und oxidfreien Oberfläche herauszufiltern. Je hochwertiger die Optik und höher die optische Auflösung sprich je kleiner das Messfeld des Pyrometers, desto wahrscheinlicher erkennt ein Gerät auch kleine Hot-Spots. Während sich der Block an dem Pyrometer vorbei bewegt, wird automatisch über die CSD-Funktion die wahre Temperatur an den sauberen Stellen erfasst und zur Anzeige gebracht.

Durch einen Wechsel von einem Spektral-Pyrometer auf ein Quotienten-Pyrometer kann die Messgenauigkeit einer bestehenden Anlage merklich erhöht und damit die Nachhaltigkeit und Konstanz in der Qualität der Schmiedeprodukte verbessert werden.

STÖREINFLÜSSE DURCH DIE MESSUMGEBUNG

Da es sich bei der pyrometrischen Temperaturmessung um ein optisches Messverfahren handelt, können neben dem Material und der Oberfläche des Messobjekts auch eine Verschmutzung der Linse oder Zwischenmedien im Sichtfeld die Zuverlässigkeit und Messgenauigkeit beeinflussen.

Bei einem Spektral-Pyrometer führt eine Verschmutzung der Optik oder eine Schwächung der Infrarot-Strahlung im Sichtfeld durch Staub, Dampf oder Rauch unmittelbar zu einer Minderanzeige. Bei der Verwendung eines Quotienten-Pyrometers wird der Messwert bei einer Signalschwächung nicht beeinträchtigt, solange dadurch das Strahlungsverhältnis konstant bleibt. Selbst bei einem Schwächungsgrad von 90 Prozent liefert ein Quotienten-Pyrometer noch sichere Messwerte.



Bild 4: Moderne Quotienten-Pyrometer mit Visiereinrichtung und CSD-Funktion

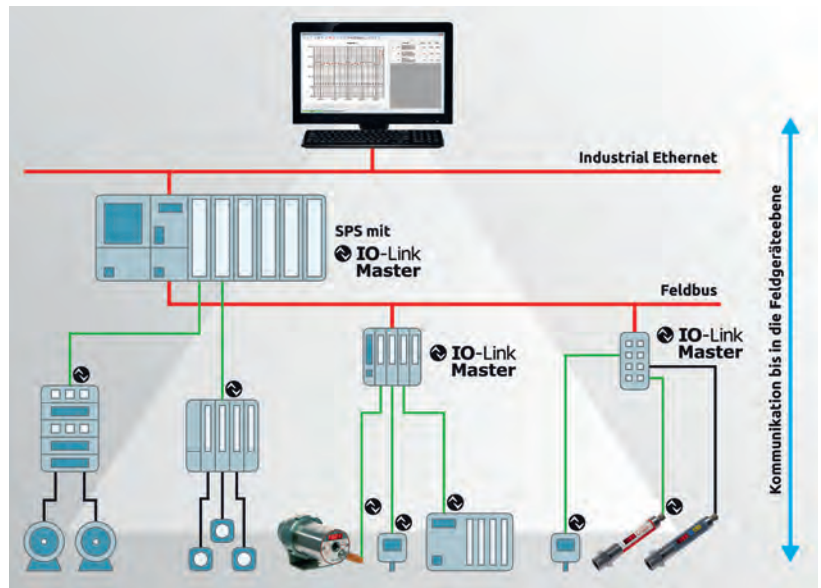


Bild 5: Neuartiges IO-Link-Schnittstellenkonzept ermöglicht die Integration in allen gängigen Steuerungen und Feldbussen
Bilder: Autor

Eine weitere Fehlerquelle in der Pyrometrie sind die optischen Abbildungseigenschaften der Infrarot-Thermometer. Je hochwertiger die Linsen und je geschickter der optische Aufbau durch ein abgestimmtes Blendensystem realisiert ist, desto weniger wirkt sich das sogenannte Streulicht störend auf die Messung aus. Dabei handelt es sich um Strahlung, die von außerhalb des eigentlichen Messfelds auf den Detektor trifft. Das Streulicht wirkt wie eine unscharfe Abbildung und führt zu einer Vergrößerung des Messfelds. Bei kleinen Messobjekten oder Hot-Spots resultiert daraus, abhängig von der Qualität der Optik, ein mehr oder weniger großer Messfehler (Bild 3). Wie die Grafik beispielhaft zeigt, beträgt die Messabweichung für ein $\varnothing 15\text{-mm}$ -Messobjekt bei einer einfachen Optik 10 K im Vergleich zu lediglich 2 K für die hochwertige Optik.

Um das Pyrometer korrekt ausrichten und auf den richtigen Fokusabstand einstellen zu können, bedarf es einer Visiereinrichtung in Form eines Durchblickvisiers, eines Pilotlichts oder einer Videokamera (Bild 4). Damit der visuelle Messabstand auch mit dem Messabstand für die Infrarotmessung übereinstimmt, sind hochwertige Linsensysteme mit minimalem chromatischen Abbildungsfehler notwendig.

Ein Spektral-Pyrometer muss sehr genau auf das Messobjekt ausgerichtet werden. Ein Quotienten-Pyrometer ist diesbezüglich einfacher zu handhaben, da es aufgrund des Teilausleuchtungseffekts unempfindlicher auf die Ausrichtung reagiert. Auch die Einhaltung des richtigen Fokusabstands wirkt sich bei einem Quotienten-Pyrometer weniger empfindlich auf den Messwert aus als bei einem Spektral-Pyrometer.

EINBINDUNG AN DIE STEUERUNG

Für die Übertragung der Messwerte zur Anlagensteuerung wird vielfach noch der analoge Stromausgang verwendet. Inzwischen setzt sich im Zuge der Einführung von Industrie 4.0 mehr und mehr die störsichere digitale Signalübertragung durch. Die Einbindung von Geräten mit einer herstellerspezifischen, digitalen Schnittstelle ist unflexibel und mit einem hohen Programmieraufwand verbunden. Mit Einführung der neuen IO-Link Schnittstellentechnologie findet momentan im Bereich der digitalen Kommunikation ein Generationswechsel statt. Mit IO-Link wurde ein standardisiertes, herstellerunabhängiges und feldbusübergreifendes Kommunikationskonzept entwickelt (Bild 5). Zusätzlich zum Messwert werden Diagnoseinformationen oder Störmeldungen wie beispielsweise der Hinweis auf eine verschmutzte Linse oder auf einen Betrieb bei unzulässiger Umgebungstemperatur zur Steuerung übertragen. Damit lässt sich ein intelligentes Service-Management realisieren.



Keller HCW GmbH
Infrared Temperature Solutions (ITS)
Carl-Keller-Straße 2 – 10
49479 Ibbenbüren
Telefon: +49 5451 85-0
Telefax: +49 5451 85-412
E-Mail: its@keller.de
Internet: www.keller.de