

# Bedeutung und Einfluss der Temperatur bei der Schmiedeerwärmung

von **Albert Book, Alexander Ulferts, Frank Andrä**

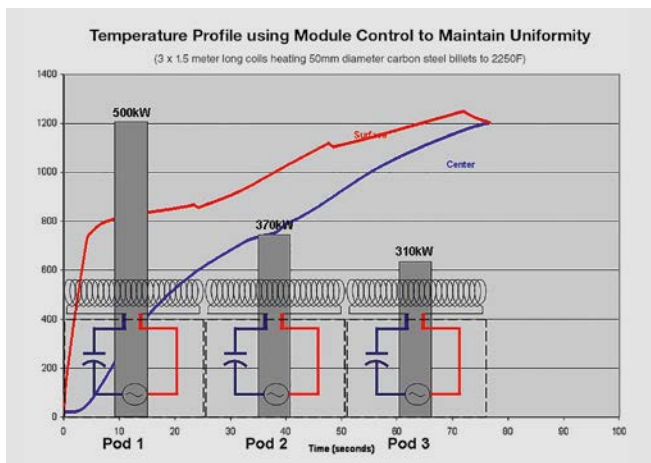
Bei der Schmiedeerwärmung kommt der Einhaltung der exakten Temperatur eine wesentliche Rolle zu. Bei Nichteinhaltung erhöht sich der Ausschuss an Fehlteilen dramatisch und führt oft zu markanten Problemen im späteren Umformprozess.

Umso entscheidender ist es, die Temperatur auch korrekt zu erfassen. Dazu gilt es aus den verschiedenen Möglichkeiten an Pyrometern die richtige Auswahl zu treffen. Der nun folgende Bericht setzt sich mit den Grundlagen der modernen induktiven Schmiedeerwärmung auseinander und beschreibt die Bedeutung und den Einfluss der Temperaturmessung auf das Schmiedewerkstück. Es werden die zur präzisen Messung geeigneten Geräte und Funktionen erläutert.

Die effiziente Erwärmung von Halbzeugen direkt vor dem Warmumform- oder Halbwarmumformprozess in einer Schmiedepresse rückt in Zeiten von knapper werdenden Ressourcen an fossilen Energieträgern zunehmend in den Vordergrund. Innovative Ansätze im Erwärmungsprozess führen zu einer markanten Steigerung der Prozesseffizienz und zur Reduzierung der Verlustenergie. Induktive Systeme wie die modulare InductoForge™ (**Bild 1**) bieten eine moderne und individuell steuer- und regelbare Multizonenerwärmung der Schmiedeblocke. Klassische induktive Systeme verwenden oft einen Umrichter und nur sehr begrenzte Möglichkeiten, die Leistung pro Spule gezielt zu steuern. Über variierende Abstände der Spulenumwicklungen lässt sich zwar die Energieeinbringung entlang der Erwärmungslinie gezielt verändern, jedoch bleibt diese Auslegung statisch. Weder auf unterschiedliche Produktionsszenarien noch auf Änderungen an der Halbzeuggeometrie kann dynamisch reagiert werden. Hier sind Mehrzonensysteme klar im Vorteil. Durch die separate Steuerung der Energie pro Induktor lässt sich entlang einer Erwärmerline ein lokal angepasstes Leistungsprofil einstellen. Die Anpassung der Frequenz für Billets im Temperaturbereich unterhalb des Curiepunkts führt durch eine gezielte Änderung der elektromagnetischen Eindringtiefe eine Optimierung der Wärmequellenverteilung im Werkstück und eine effiziente Temperaturverteilung herbei. Das Ziel der Erwärmung ist es, in kürzester Zeit und mit minimalem energetischen Aufwand eine homogene Durchwärmung des Halbzeugs am Ende der Linie herbeizuführen. In vielen Fällen ist ein Überschreiten der Temperaturdifferenz von Oberfläche zum Kern von +/- 25 K nicht zulässig.

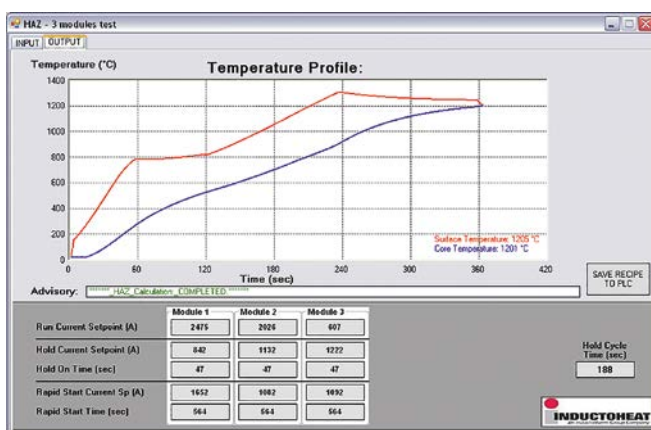


**Bild 1** Modularer Schmiedeerwärmer InductoForge™.



**Bild 2** Temperaturverteilung entlang einer Schmiedeerwärmer-Linie im Mehrmodulbetrieb.

**Bild 2** zeigt exemplarisch den Temperaturverlauf entlang einer aus 3 Modulen bestehenden Erwärmerlinie. Sehr häufig wird die größte Leistung im ersten Modul eingepreist, während eine deutlich geringere Leistung im letzten Modul für einen thermischen Ausgleich im Halbzeug sorgt. In der Praxis ist es bei einer Anzahl von 2 Modulen noch relativ einfach möglich, den Prozess manuell zu erfassen und erfahrungsgestützt einzustellen; ab einer Anzahl von 3 Modulen wird dieser Ansatz jedoch zunehmend komplexer und das Auffinden eines Optimums wird zum Glücksspiel. Rechnergestützte Systeme wie IHAZ von Inductoheat bieten eine modellbasierte Steuerung des Prozesses. Hier ist es möglich, eine Prozessänderung vorab numerisch zu berechnen und zu bewerten. Das System verarbeitet als Eingangsgrößen die geometrische Ausformung des Halbzeugs, zulässige Temperaturen und die Materialcharakteristika. Als Ausgangsgrößen werden das Temperaturprofil entlang der Linie und die notwendigen Spulenströme und -leistungen zur Verfügung gestellt. Eine typische Berechnung illustriert **Bild 3**.



**Bild 3** IHAZ-System zur automatischen Auslegung des induktiven Schmiedeerwärmungsprozesses.

Für jedes Modul sind hier die Spulenströme zusammengefasst, die nach erfolgreicher Berechnung an die Maschinensteuerung übertragen werden können. Neben den Spulenströmen für den regulären Erwärmerbetrieb können zusätzlich die Parameter für den Kaltstart der Anlage und den Warmhaltebetrieb ermittelt werden. In vielen Fällen verbleiben alle Billets nach Unterbrechung des Produktionsbetriebs in der Linie. Ein Wiederanlauf des Erwärmers nach Auskühlung lässt sich elegant realisieren, wenn sich alle in der Linie befindlichen Blöcke im Stand auf die jeweilige Durchschnittstemperatur der Zone erwärmt werden. Je nach Knüppeldurchmesser und Vorschubrate kann ein Anteil der Billets direkt für den Schmiedebetrieb verwendet werden. Ähnliches gilt für den Warmhaltebetrieb der Anlage. Störungen an der Presse führen oft zur Unterbrechung der Produktion für eine durchschnittliche Zeitdauer von 5 bis 15 Minuten; die Erwärmerlinie wird in diesem Fall gestoppt und Verluste als Folge von Temperaturabstrahlung an die Ausmauerung werden durch aktive induktive Kompensation reduziert. Nach Wiederanlauf des Prozesses lässt sich ein größerer Anteil der sich in den Induktoren befindenden Billets für den Schmiedeprozess weiterverwenden. Der Anteil an Knüppeln innerhalb des Toleranzbandes zulässiger Schmiedetemperatur hängt auch hier stark von der Masse und der Vorschubrate im Produktionsprozess ab. Über intelligente Ansätze ist hier eine Minimierung des Ausschusses nach Wiederanlauf der Produktion möglich.

Die energieeffiziente Auslegung von Schmiedeanlagen erfordert ein höheres Maß an Anstrengungen zur thermischen Isolierung des Prozesses. Mit zunehmender Temperatur steigen die thermischen Verluste in vierter Potenz analog zum Stefan-Boltzmann-Gesetz infolge der im Induktor auftretenden Wärmestrahlung. Aus diesem Grund werden die Spulen mit einem passenden Material ausgemauert oder es werden Keramikrohre in den Innendurchmesser des Induktors geschoben. Eine Temperaturmessung innerhalb der Linie ist so nur mit sehr hohem Aufwand realisierbar. Aus diesem Grund erfolgt oft eine berührungslose Messung der Temperatur am Ausgang des Erwärmers. Durch kontinuierlichen Abgleich zwischen der ermittelten Temperatur am Modell und der realen Temperatur am Werkstück stehen alle Freiheitsgrade offen, die Temperatur der Halbzeuge nachzuregeln. Schwankungen in der Materialzusammensetzung oder in der Gefügestruktur machen dies von Fall zu Fall notwendig.

Die eigene Erfahrung aus realisierten Projekten zeigt bei der Temperaturmessung oft folgenden Fall: Der Charme einer Kostenersparnis in der Temperaturmesstechnik führt öfter zur Entscheidung, Pyrometer einzusetzen, die auf einer Wellen-



**Bild 4** Zunderpartikel auf der Blockoberfläche führen oft zu Irritationen bei der berührungslosen Messung der Oberflächentemperatur.

länge arbeiten. In vielen Schmiedeprozessen wird im Erwärmer auf die Verwendung von Schutzgas verzichtet. Somit entstehen im Laufe der Erwärmung größere Partikel an Zunder auf der Oberfläche. Die berührungslose Messung der Wärmestrahlung an der Oberfläche wird so oft beeinflusst; Teile des Messpunktes werden durch Zunder abge-

schirmt und nur eine Teilstrahlung erreicht das Messinstrument. Als Folge wird eine falsche Temperatur gemessen, die durchaus um 200 K vom wahren Wert abweichen kann. Beim Umformprozess führt das dann sehr oft zu geändertem Fließverhalten des Materials und zu Problemen in der Endqualität und im Extremfall zur Beschädigung des Umformwerkzeugs. **Bild 4** zeigt auf eindrucksvolle Weise die mögliche Ausprägung von Zunder auf der Oberfläche nach der Erwärmung. Um diese Situation der Varianzen im Messprozess zu entschärfen, wurde die Situation in Zusammenarbeit mit Fa. Keller erörtert und analysiert.

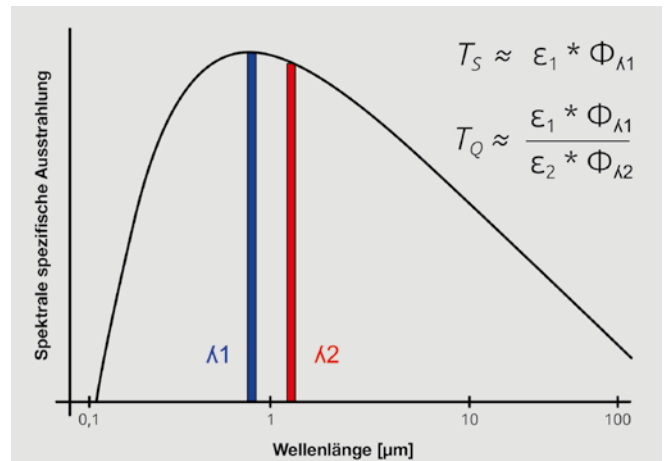
Durch einen Wechsel des Equipments konnte eine deutliche Verbesserung in der Messung und der weiteren Verarbeitung erzielt werden. Im Folgenden sei die für die induktive Schmiedeerwärmung äußerst wichtige Thematik der berührungslosen Temperaturmessung tiefergehend erläutert und diskutiert.

## Pyrometrische 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 Millisekunden wird die Temperatur erfasst und zur Aussortierung von Blöcken mit einer unzulässigen Temperatur oder als Regelgröße für den Erwärmungsprozess verwendet.

## Messverfahren der pyrometrischen Temperaturermittlung

Bei der Auswahl der Geräte kann zwischen zwei Messverfahren ausgewählt werden. Spektralpyrometer erfassen die Infrarot-Strahlung bei einer Wellenlänge. Quotienten-Pyrometer



**Bild 5** Spektral-Pyrometer messen an einer und Quotienten-Pyrometer an zwei Wellenlängen die Wärmestrahlung.

messen die Strahlung bei zwei Wellenlängen und ermitteln aus dem Verhältnis der beiden Strahlungsintensitäten die Temperatur (**Bild 5**).

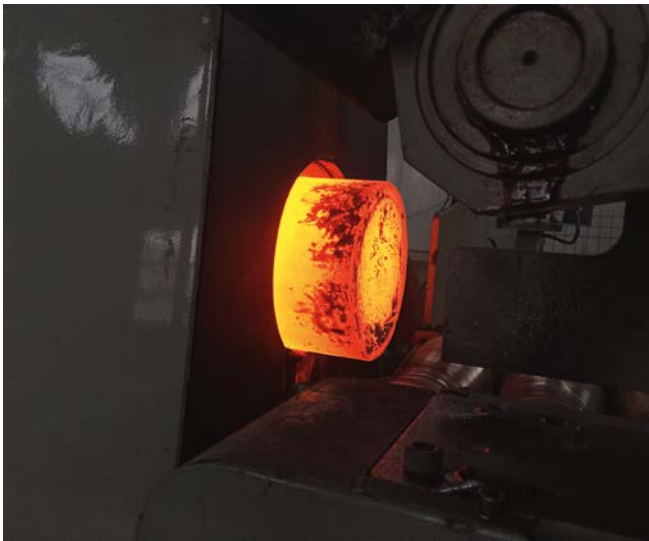
Beide Messverfahren kommen in der Schmiedeerwärmung zur Anwendung. Die Auswahl hängt von der angestrebten Messgenauigkeit, der gewünschten Flexibilität des Gerätes und der Bedienerfreundlichkeit ab.

## Störeinflüsse bei der Messung der Infrarotstrahlung

Da es sich bei der pyrometrischen Temperaturmessung um ein optisches Messverfahren handelt, können die Oberfläche und Zwischenmedien im Sichtfeld wie Straub, Dampf und Rauch die Zuverlässigkeit der Messung stark beeinflussen.

Bei einem Spektral-Pyrometer führt eine Verschmutzung der Optik oder eine Schwächung der Infrarot-Strahlung im Sichtfeld 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 % liefert ein Quotienten-Pyrometer noch sichere Messwerte.

Eine der größten Schwierigkeiten bei der berührungslosen Temperaturmessung in Schmiedeprozessen ist die Verzunderung und Oxidation der Oberfläche (**Bild 6**). Der Emissionsgrad, sprich die Strahlungsfähigkeit des Schmiedeblocks, verändert sich dadurch extrem. Beispielsweise variiert bei einer wahren Objekttemperatur von 1200 °C der Messwert bei einer



**Bild 6** Verzunderung ändert die Strahlungseigenschaften des Blocks erheblich.

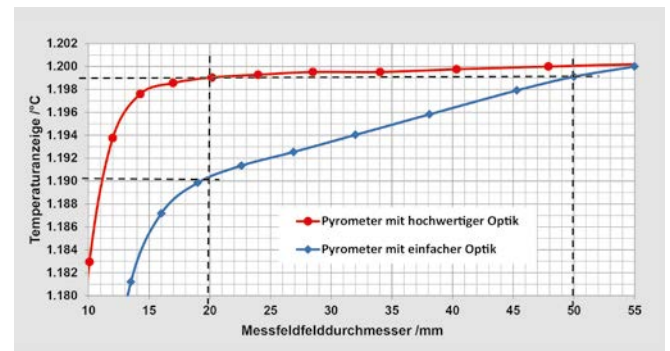
Emissionsgradänderung zwischen 40 % für blankes Metall und 80 % bei Zunder um 130 °C. Bei Verwendung von Spektral-Pyrometern schwankt entsprechend die gemessene Temperatur. Um den Messwert zu glätten, wird daher im Pyrometer oder in der Steuerung oft einfach der Mittelwert gebildet. Der so ermittelte Anzeigewert weicht jedoch von der wahren Blocktemperatur ab. Die Schwankungsbreite ist dabei vom Verschmutzungsgrad der Oberfläche abhängig.

Als andere Alternative wird ein Spitzenwertspeicher im Pyrometer verwendet, um den Maximalwert innerhalb einer definierten Zeitperiode zu ermitteln. Aufgrund der höheren Emissivität der verzunderten Oberfläche kann selbst bei einer niedrigeren Temperatur das Pyrometer aufgrund der größeren Wärmestrahlung der verzunderten Stelle einen höheren Messwert als an der zunderfreien Stelle anzeigen. Daher entspricht der Spitzenwert nicht zwingend der Blocktemperatur an der sauberen Oberfläche.

Um den Störeinfluss des Zunders auf die Messung zu minimieren, wurde die sogenannte CSD (Clean Surface Detection)-Funktion entwickelt. Auf Basis des Quotientenmessverfahrens 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 und höher die optische Auflösung spricht je kleiner das Messfeld des Pyrometers, desto eher ist ein Gerät in der Lage, auch kleine Hot-Spots zu erkennen. Während sich der Block an dem Pyrometer vorbei bewegt, wird automatisch die wahre Temperatur an den sauberen Stellen erfasst und zur Anzeige gebracht.

## Optische Einflüsse auf die Messung

Eine weitere Fehlerquelle in der Pyrometrie sind die optischen Abbildungseigenschaften der Geräte. Je hochwertiger die Linsen und je optimierter der optische Aufbau durch ein abgestimmtes Blendsystem, desto weniger wirkt sich das sogenannte Streulicht störend auf die Messung aus. Dabei handelt es sich um Strahlung, die von außerhalb des eigentlichen Messfeldes auf den Detektor trifft. Das Streulicht wirkt wie eine unscharfe Abbildung und führt zu einer Vergrößerung des Messfeldes. Wie die Grafik im **Bild 7** dargestellt empfängt ein Pyrometer mit einer einfachen Optik noch Streustrahlung aus dem 2,5 fachen Durchmessers (50 mm) verglichen mit dem Messfeld von  $\varnothing 20$  mm eines optisch hochwertigen Pyrometers.



**Bild 7** Je hochwertiger die Optik des Pyrometers, desto geringer ist der Messfehler durch Streulichteinfluss.

Da ein Pyrometer über das gesamte Messfeld den Mittelwert der Infrarotstrahlung ermittelt, ist ein Gerät mit einem geringen Messfelddurchmesser eher in der Lage, auch kleine Hot-Spots der sauberen Oberfläche zu erfassen. Wenn auf einer Anlage Blöcke mit unterschiedlichem Durchmesser erwärmt werden, führt dies bei Geräten mit einer einfachen Optik durch die Änderung des Messabstandes zu unrealen Temperaturschwankungen.

Um das Pyrometer korrekt ausrichten und auf den richtigen Fokusabstand einstellen zu können, bedarf es einer Visiereinrichtung in Form eines Durchblickvisiers, eines Pilotlichtes oder einer Videokamera (**Bild 8**). Damit der visuelle Messabstand auch mit dem Messabstand für die Infrarotmessung übereinstimmt, sind hochwertige Linsensysteme mit minimalem chromatischem Abbildungsfehler notwendig.

Voraussetzung für eine präzise Messung der Infrarotstrahlung an den zunderfreien Stellen ist eine hohe optische Auflösung bei



**Bild 8** Quotienten-Pyrometer mit fokussierbarer Optik und Durchblickvisier zur korrekten Ausrichtung und Einstellung der Messentfernung.

gleichzeitig minimalen Abbildungsfehlern. Gerade wenn kleine Billets gemessen werden, deren Durchmesser kaum größer als das Messfeld des Pyrometers ist, muss ein Spektral-Pyrometer schon sehr genau auf das Messobjekt ausgerichtet werden. Ein Quotienten-Pyrometer ist diesbezüglich einfacher zu handhaben, da es aufgrund des Teilausleuchtungseffektes unempfindlicher auf die Ausrichtung reagiert. Auch die Einhaltung des richtigen Fokusabstandes 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 jedoch im Zuge der Einführung der 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. Geräte mit IO-Link Schnittstelle lassen sich sehr einfach mittels genormter IODD-Treiber in alle gängigen Feldbussteuerungen einbinden. Zusätzlich zum Messwert werden Diagnoseinformationen oder Störmeldungen wie beispielsweise der Hinweis auf eine verschmutzte Linse oder dem Betrieb bei einer unzulässigen Umgebungstemperatur zur Steuerung übertragen.

## Fazit

Mit dem Anspruch auf einer genauen Temperaturführung reicht es heutzutage einfach nicht mehr aus, sich auf die visuelle Abschätzung des Bedieners zu verlassen. Eine präzise Temperaturerfassung in modernen Schmieden ist die Voraussetzung für eine optimale und wirtschaftliche Prozessführung. Moderne modellbasierte Systeme zur Prozessauslegung, -analyse und -steuerung im Kombination mit präziser und robuster Messtechnik sind unumgänglich in einer industriellen Produktionsumgebung und bieten die Grundlage einer sicheren Anbindung an übergeordnete Überwachungssysteme im Zuge von Industrie 4.0. Prozessieren bedeutet, gerade in der Wärmebehandlung, verstehen. Erfahrungsbasierte Ansätze haben auch in der heutigen Welt durchaus noch ihre Berechtigung, jedoch stellt die analytische Betrachtungsweise des Gesamtprozesses Werkzeuge bereit, die ein tiefgründiges Prozessverständnis ermöglichen und Potentiale für die Zukunft erkennbar und erfahrbar machen.

Voraussetzung für einen optimal temperaturgeführten Produktionsprozess sind moderne Geräte die in der Lage sind, die messtechnischen Voraussetzungen für eine präzise und zuverlässige Temperaturmessung zu erfüllen. Dazu empfiehlt sich die Verwendung von Quotienten-Pyrometern mit einer hochwertigen Optik, einem kleinen Messfeld und einer kurzer Messzeit die in der Lage sind, die Temperatur der Hot-Spots an den zunderfreien Stellen auf dem Block zu erfassen. Ein zusätzlicher Vorteil von Quotienten-Pyrometern ist die einfachere Handhabung in Bezug auf Ausrichtung und Fokussierung.



Dipl.-Ing. Albert Book  
KELLER HCW GmbH  
Infrared Temperature Solutions (ITS)  
Tel. +49 5451 85-320  
albert.book@keller.de



Alexander Ulferts  
Inductoheat Europe GmbH  
Tel.: +49 7153 504-226  
ulferts@inductoheat.eu



Dipl.-Ing. Frank Andrá  
Inductoheat Europe GmbH  
Tel.: +49 7153 504-210  
andrae@inductoheat.eu