

Fachbeitrag

Neukirchen-Vluyn, 26. Oktober 2021

Oderstraße 7  
47506 Neukirchen-Vluyn  
Deutschland  
www.schwing-technologies.comTel.: +49 (0) 2845 930-146  
redaktion@schwing-tech.com

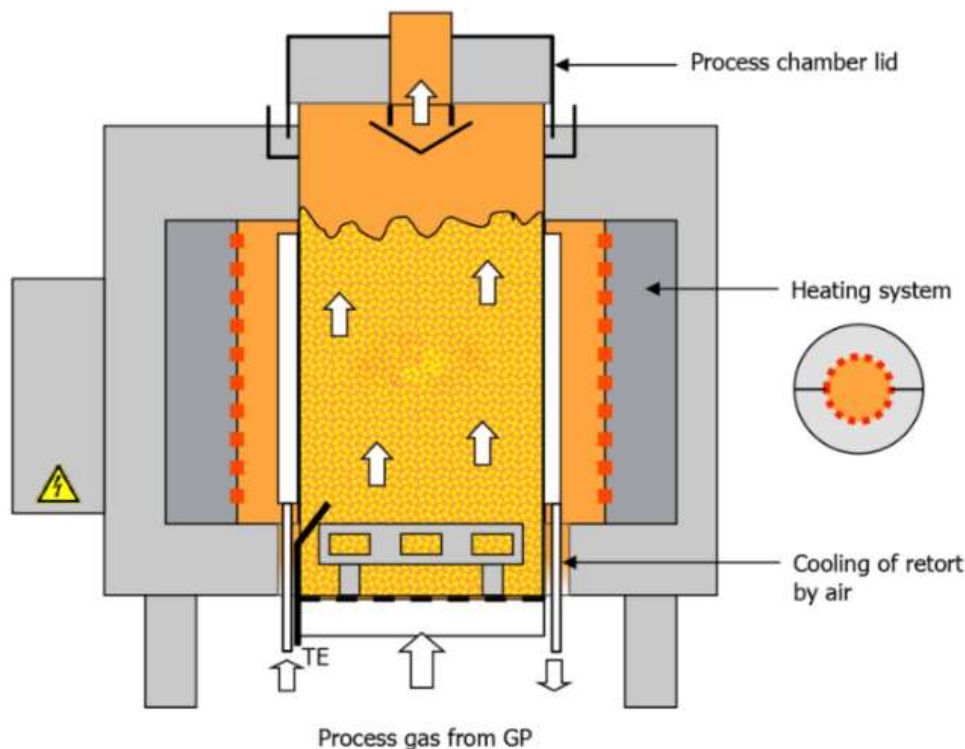
## Optimierte Abkühlgeschwindigkeiten in Wirbelbett-Wärmebehandlungssystemen

### Ausgezeichnete Alternative zum Salzbad und zu weiteren Wärmebehandlungssystemen

Die Wirbelbetttechnologie hat in den letzten Jahrzehnten im Bereich Wärmebehandlung qualitativ nicht an Bedeutung verloren. Aufgrund ihrer besonderen Eigenschaften ist sie sogar für einige Anwendungsnischen unverzichtbar.

#### Funktionsprinzip der Wirbelbettsysteme

Das Funktionsprinzip (**Abbildung 1**) der Wirbelbett-Wärmebehandlungsanlagen von Schwing Technologies basiert auf der patentierten Schwing-Wirbelbetttechnologie, bei der feinkörniges Aluminiumoxid mit Luft oder Inertgas in einer Prozesskammer verwirbelt wird. Das so erzeugte Wirbelbett leitet die Wärme äußerst gut und besitzt aufgrund seiner Masse eine enorme Wärmekapazität.



**Abbildung 1:** Funktionsprinzip einer Wirbelbettanlage zur Wärmebehandlung

Fotonachweis: SCHWING Technologies

Download: <https://drive.google.com/file/d/14E55PRXvtjUvu141PLrqE89rFP60SCKn/view?usp=sharing>

Schwing-Wärmebehandlungsanlagen werden indirekt über Elektroheizungen oder Gasbrenner beheizt und können in einem großen Temperaturbereich von Raumtemperatur bis 1050 °C mit höchster Präzision eingesetzt werden. Metallische Werkzeuge oder Bauteile können einfach in die Wirbelschicht eingetaucht werden und in kürzester Zeit

- vorgewärmt,
- geglüht,
- nitriert,
- nitrocarburiert,
- angelassen
- abgeschreckt oder
- abgeschreckt und angelassen werden - mit der gewünschten Atmosphäre und Temperatur.

### **Vorteile der Wirbelbetttechnologie**

Unterbrechungen, Umstellungen oder Wechsel des Behandlungsprozesses und der Atmosphäre, zum Beispiel von thermochemisch auf inert, sind jederzeit und innerhalb von nur zwei bis drei Minuten möglich. Die hohe Temperaturgenauigkeit der Wärmebehandlungsanlagen von Schwing beim Verweilen und insbesondere auch beim Aufheizen und Abschrecken gewährleistet die verzugsfreie Behandlung der eingebrachten Chargen. Zusätzlich hält die hervorragende Temperaturgleichmäßigkeit die Spannungen in den behandelten Teilen auf einem Minimum, was die größten Nachteile von flüssigen Abschreckmedien und Hochdruck-Gasabschrecksystemen ausgleicht. Die schnelle und gleichmäßige Erwärmung des Systems macht die Stand-by-Heizung überflüssig. Die Anlagen arbeiten völlig abfallfrei und werden auf Wunsch mit einer Fackelanlage ausgestattet.

### **Optimierung des Abkühleffekts im Wirbelbett**

Wie bei vielen anderen Technologien gibt es auch bei der Wirbelbett-Wärmebehandlung hier und da Optimierungsbedarf in speziellen Anwendungsbereichen. Eine Anforderung, die aus dem Markt kam, war die Optimierung der Abkühlgeschwindigkeit. Gesucht wurden unter anderem Alternativen zum Bainitisieren im Salzbad sowie Alternativen zu flüssigen Abschreckmedien wie Öl oder Polymer für innovativ hergestellte Metallteile. Hauptaspekte waren dabei die Umweltverträglichkeit und die Reduzierung bzw. Vermeidung von Reinigungsnachbehandlungen.

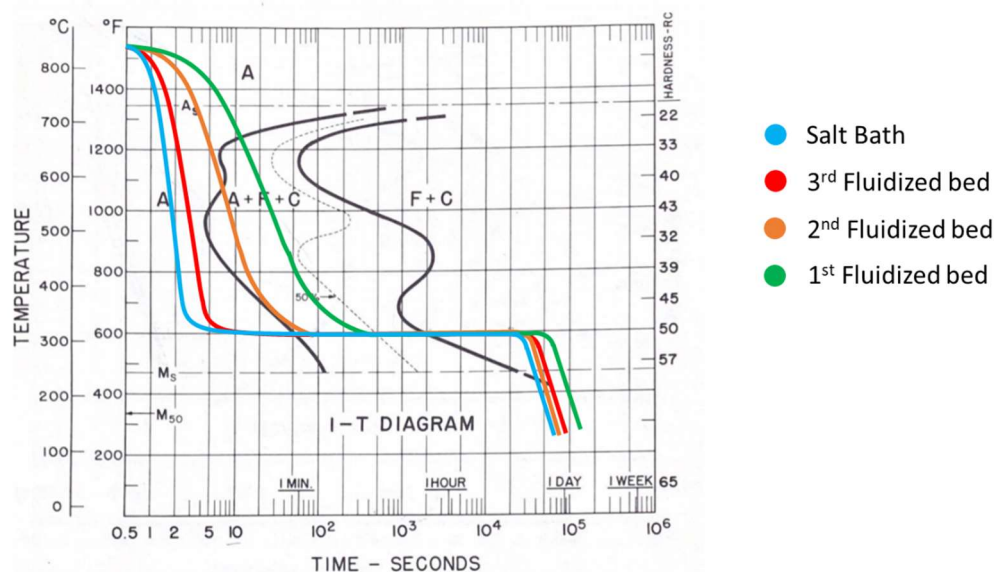
### **F & E Projekt**

Die Optimierung des Abkühleffekts im Wirbelbett wurde im Rahmen eines F&E-Projekts von Schwing Technologies und Peer Energy zusammen mit dem Center of Heat Treat Excellence am Worcester Polytechnic Institute (WPI) in Worcester, Massachusetts, in den USA mit dem Schwerpunkt Bainitisieren durchgeführt. Aufgrund der erforderlichen Vergleichbarkeit wurden standardisierte Methoden und Proben verwendet. Mehrere Vorversuche zur Untersuchung der Fluidisierungsgase und Badmedien sowie alle Wärmebehandlungsversuche wurden im Technikum von Schwing Technologies begleitet. Für die metallographischen Untersuchungen und Werkstoffprüfungen war das WPI verantwortlich. Die vorliegende Arbeit konzentriert sich im Wesentlichen auf die dritte Versuchsreihe bei Schwing Technologies für AISI 5160, bei der das Optimierungsziel erreicht wurde.

Zunächst musste der aktuelle Status der Abkühlwirkung gängiger Wirbelbetтанlagen im Vergleich zu anderen Technologien und Medien ermittelt werden. Als Ausgangspunkt wurden daher Standardparameter für die Anlage, übliche Fluidisierungsgase (Luft und Stickstoff) und ein für Wärmebehandlungsanwendungen übliches Aluminiumoxid gewählt.

Anschließend wurden zwei Bainitisierungstests an AISI 5160 im Wirbelbett mit verschiedenen Wirbelgasen und Badmedien durchgeführt. Bainitisieren ist ein Wärmebehandlungsverfahren, das auf der isothermen Umwandlung von Austenit in Bainit beruht, der sich im Temperaturbereich zwischen Perlit und Martensit bildet. Um den Bainit zu bilden, muss die Abkühlungsgeschwindigkeit schnell genug sein, um die Bildung von Perlit bei höheren Temperaturen zu vermeiden (**Abbildung 2**).

Der erste Versuch wurde mit Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> und der zweite mit einem sogenannten B4Q als Badmedium durchgeführt. Bei beiden Versuchen wurde aufgrund der langsamen Abkühlraten kein vollständiger Bainit erreicht. Mit dem neuen Badmedium G4Q und einem speziellen Fluidisierungsgas waren die Abkühlraten deutlich besser als mit Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> und Standardgasen. Insbesondere im Temperaturbereich zwischen 500 °C und 800 °C, wie in **Abbildung 2** zu sehen ist. Daher wurde entschieden, den dritten Bainitisierungstest mit dem neuen Badmedium G4Q durchzuführen.



**Abbildung 2:** Abkühlraten unter verschiedenen Bedingungen in einem Wirbelbett im Vergleich zum Salzbad  
Fotonachweis: SCHWING Technologies

Download: [https://drive.google.com/file/d/1XmKg6scl6tGO1DDmFJ3BW9Pt8q\\_9TVJ6/view?usp=sharing](https://drive.google.com/file/d/1XmKg6scl6tGO1DDmFJ3BW9Pt8q_9TVJ6/view?usp=sharing)

Die Proben wurden in einer Wirbelbetтанlage bei 850 °C 30 Minuten lang austenitisiert, dann in einer weiteren Wirbelbetтанlage bei 315 °C (600 °F) 1, 2, 5, 30 bzw. 90 Minuten lang austenitisiert, aus dem Ofen genommen und an der Luft auf Raumtemperatur abgekühlt. Bei diesen vom WPI hergestellten Proben handelt es sich um Scheiben mit einem Durchmesser von 1,125" und einer Dicke von 0,5", wie in **Abbildung 3** dargestellt. Die bainitisierten Proben wurden zur Charakterisierung, einschließlich Rockwell-Härtemessung, Vickers-Mikrohärte-Linienscan, XRD-Analyse, optische und SEM-Mikrostrukturanalyse an das WPI zurückgeschickt.

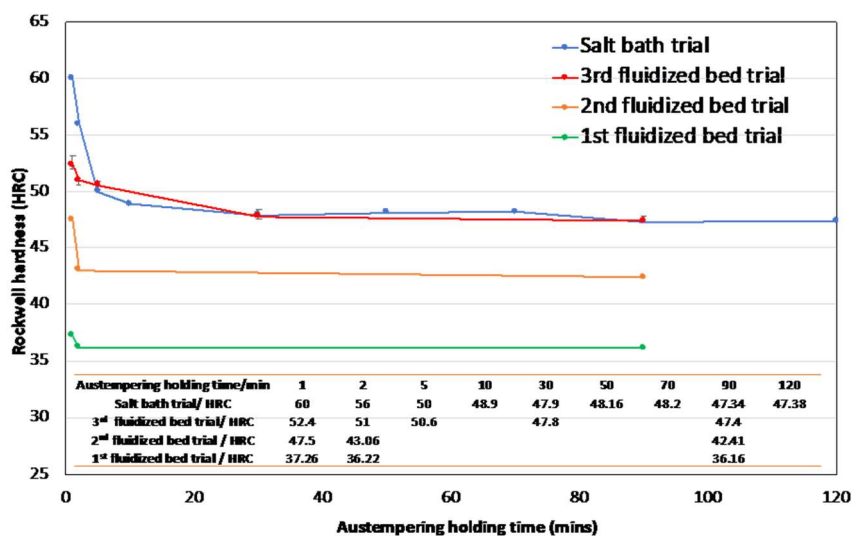


**Abbildung 3:** Typische Probe, die für die Bainitisierung verwendet wurde - hier im Vergleich zu einer US-Viertel-Dollar-Münze

Fotonachweis: SCHWING Technologies

Download: [https://drive.google.com/file/d/1WK-zY9WyWV-vAyjiw0Zu4a37P7edq\\_UB/view?usp=sharing](https://drive.google.com/file/d/1WK-zY9WyWV-vAyjiw0Zu4a37P7edq_UB/view?usp=sharing)

**Abbildung 4** zeigt die Rockwell-Härte der bainitisierten Proben aus dem 3. Wirbelbettversuch im Vergleich mit der Rockwell-Härte der im Salzbad bei derselben Temperatur bainitisierten Proben. Es ist zu erkennen, dass die Härtewerte für die Proben mit 30 Minuten und 90 Minuten Haltezeit sehr nahe beieinander liegen. Die Härte der bainitisierten Proben aus dem ersten und zweiten Wirbelbettversuch ist ebenfalls in dieser Abbildung dargestellt. Es ist zu erkennen, dass die Härte der Proben aus dem 1. und 2. Wirbelbettversuch mit 90 Minuten Haltezeit geringer ist als die Härte der Probe aus dem 3. Versuch.

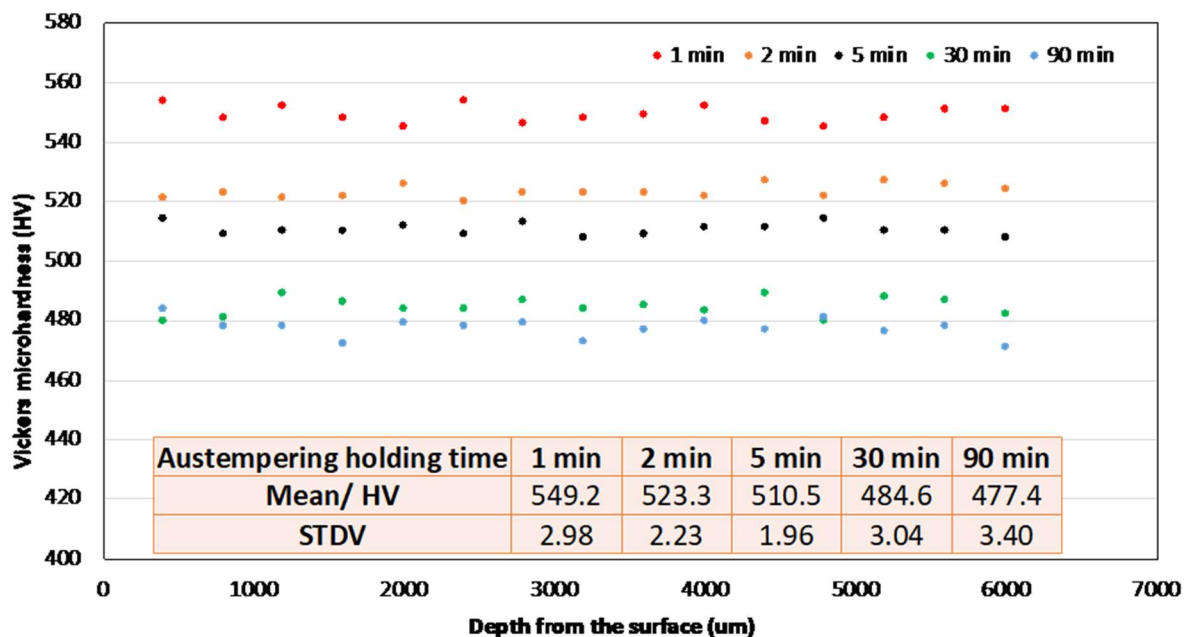


**Abbildung 4:** Vergleich der Rockwell-Härte von im Salzbad und im Wirbelbettverfahren angelassenen Proben

Fotonachweis: SCHWING Technologies

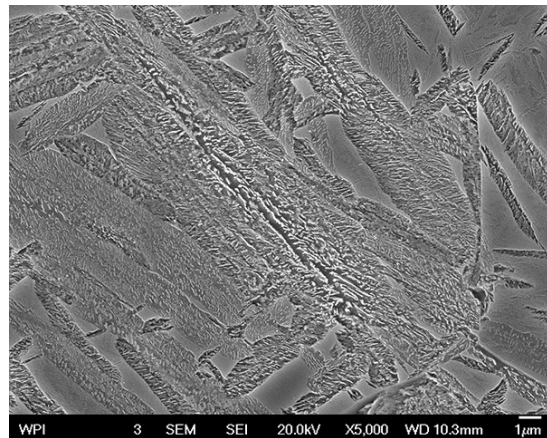
Download: <https://drive.google.com/file/d/1RoULjRV48udWFWqBKYqsALWPQYHVaN0s/view?usp=sharing>

Die Proben wurden für die Vickers-Mikrohärtemessungen (mit Wilson VH3300 0,5 kgf) präpariert. Der Vickers-Mikrohärte-Linienscan wurde am Querschnitt dieser Proben von der Oberfläche bis zum Kern durchgeführt. Die Ergebnisse sind in **Abbildung 5** mit der berechneten durchschnittlichen Mikrohärte und der Standardabweichung dargestellt. Es ist zu erkennen, dass die Mikrohärte in jeder Probe gleichmäßig ist. Die Vickers-Mikrohärte nimmt mit zunehmender Bainitisierungsdauer ab, was mit den Ergebnissen der Rockwell-Härtemessung korrespondiert.



**Abbildung 5:** Vickers-Mikrohärte-Linienscan der Proben aus dem 3. Wirbelbettversuch mit G4Q-Badmedium  
 Fotonachweis: SCHWING Technologies  
 Download: <https://drive.google.com/file/d/1Yz70OfF7kIpmyFh2DDNxJ8u71HGZDnAp/view?usp=sharing>

Die Proben wurden präpariert und für die Gefügeanalyse am Probenquerschnitt mit dem Licht- und Rasterelektronenmikroskop (REM) mit 4 Vol.-% Nital geätzt. Die optischen und REM-Aufnahmen sind in der Abbildung dargestellt, wobei die optischen Aufnahmen auf der linken Seite und die REM-Aufnahmen auf der rechten Seite zu sehen sind. Es ist zu erkennen, dass der Bainitanteil mit zunehmender Bainitierungsdauer steigt. Das Gefüge der Probe mit einer 30-minütigen Bainitisierung (**Abbildung 6 (d)**) ähnelt dem Gefüge der Probe mit einer 90-minütigen Bainitisierung (**Abbildung 6 (e)**), welches die Bildung des vollständigen Bainits zeigt.

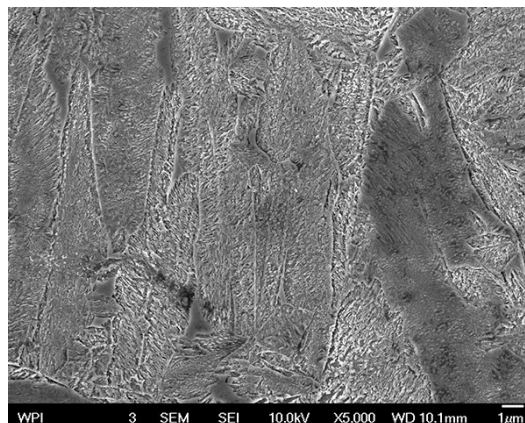


(a)

Fotonachweis: SCHWING Technologies

Download: <https://drive.google.com/file/d/1vJ4sddoejWuWDBzF-aq9I3iFhQnUnld/view?usp=sharing>

Download: <https://drive.google.com/file/d/1hYV1zjSagd7RA3ZW8gUOmo7qTjVL4v1F/view?usp=sharing>

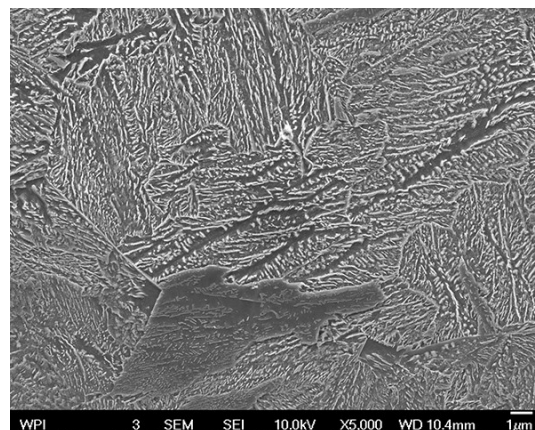


(b)

Fotonachweis: SCHWING Technologies

Download: [https://drive.google.com/file/d/1Z7KfYxshNqBwe3\\_PnOV5hafBe2Jg3h5k/view?usp=sharing](https://drive.google.com/file/d/1Z7KfYxshNqBwe3_PnOV5hafBe2Jg3h5k/view?usp=sharing)

Download: [https://drive.google.com/file/d/18qLBhJeVka8GK44g6UIRxytTatqfR\\_1/view?usp=sharing](https://drive.google.com/file/d/18qLBhJeVka8GK44g6UIRxytTatqfR_1/view?usp=sharing)

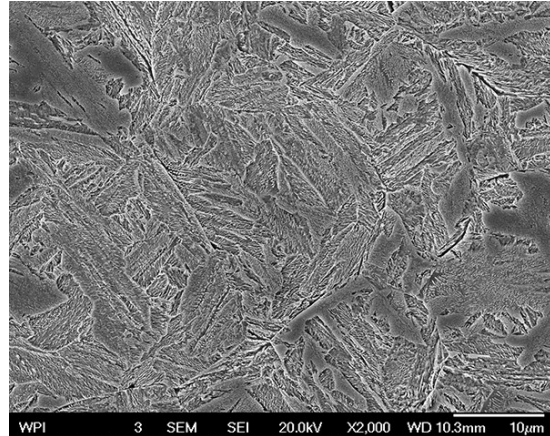


(c)

Fotonachweis: SCHWING Technologies

Download: <https://drive.google.com/file/d/1EzC-AWW-K7gXBEyY3nejPcLdJbd62bIt/view?usp=sharing>

Download: <https://drive.google.com/file/d/1R4SdQQyIvOOCxRsf95ibM2zxUcqQDc/view?usp=sharing>

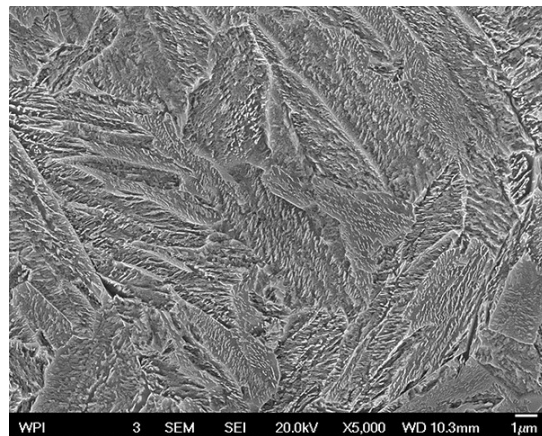
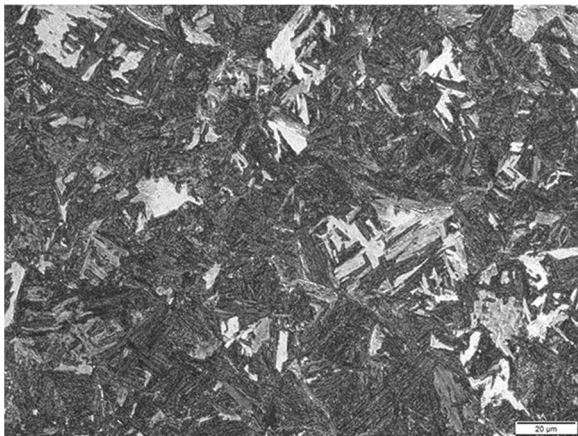


(d)

Fotonachweis: SCHWING Technologies

Download: [https://drive.google.com/file/d/12Wr\\_IeV7SOB9luagiY9FP8tvuqtpW2hw/view?usp=sharing](https://drive.google.com/file/d/12Wr_IeV7SOB9luagiY9FP8tvuqtpW2hw/view?usp=sharing)

Download: [https://drive.google.com/file/d/1eCbHfMIQhazX8p1MTEHqUYOuab\\_qe6rh/view?usp=sharing](https://drive.google.com/file/d/1eCbHfMIQhazX8p1MTEHqUYOuab_qe6rh/view?usp=sharing)



(e)

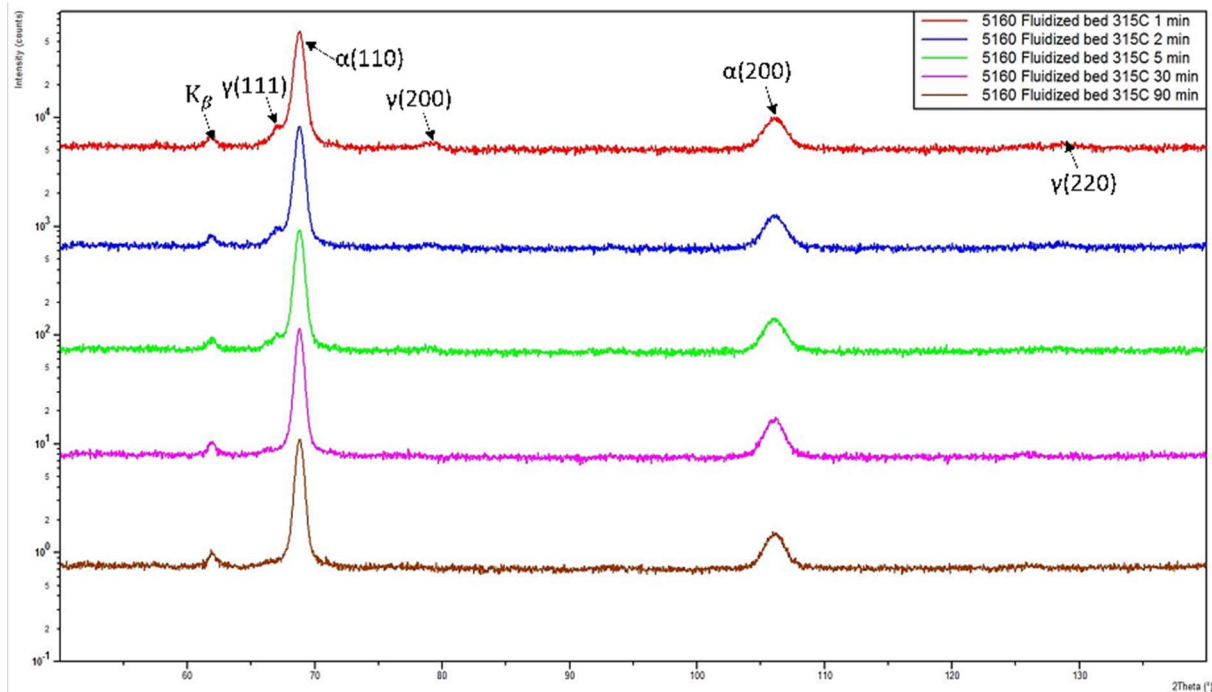
**Abbildung 6:** Optische und REM-Aufnahmen von (a) 1 Minute (b) 2 Minuten (c) 5 Minuten (d) 30 Minuten (e) 90 Minuten bainitisierter Proben aus dem dritten Wirbelbettversuch im Querschnitt (links ist die optische Aufnahme, rechts die REM-Aufnahme)

Fotonachweis: SCHWING Technologies

Download: <https://drive.google.com/file/d/1AysGvT68CJwV4StXM1r0RT9T8Q8fQknd/view?usp=sharing>

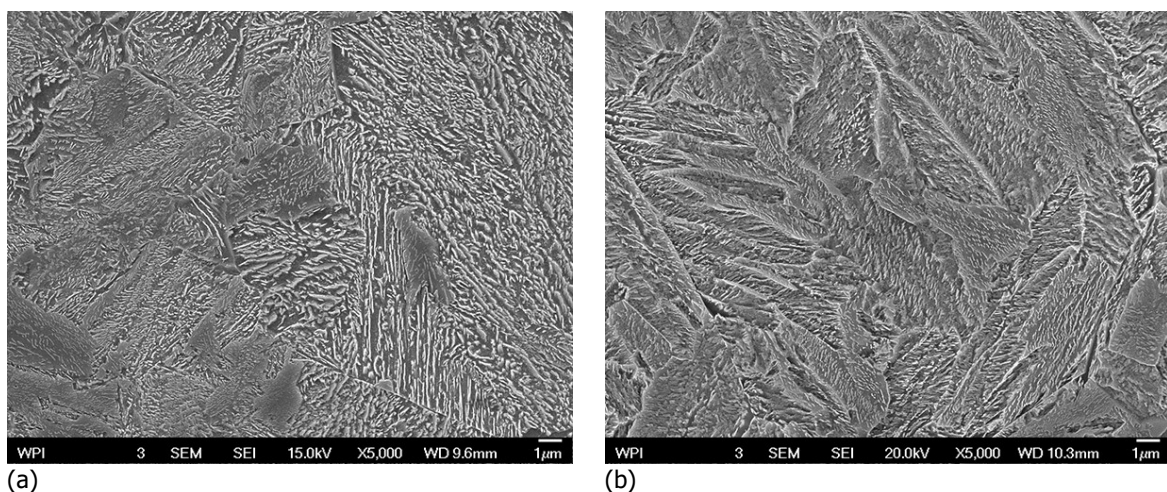
Download: <https://drive.google.com/file/d/1wi5TKQq-vP0Ct1puxt7V7ZlpKfMpRU1Q/view?usp=sharing>

Die XRD-Analysen wurden ebenfalls an diesen bainitisierten Proben im polierten Zustand durchgeführt; die XRD-Muster sind in **Abbildung 7** dargestellt. Bei den bainitisierten Proben mit 1, 2 und 5 Minuten Bainitierungszeit wurden sowohl bcc ( $\alpha$ ) als auch fcc ( $\gamma$ ) festgestellt, während bei den Proben mit 30 und 90 Minuten Bainitierungszeit nur bcc ( $\alpha$ ) festgestellt wurde. Das fcc ist Restaustenit, das bcc ist bainitischer Ferrit plus Martensit in diesen Proben. Die XRD-Analyse zeigt also, dass sich bei den Proben mit 30 und 90 Minuten Haltezeit für die Bainitisierung vollständiger Bainit bildet, was mit der Härtemessung und der Mikrostrukturanalyse gut übereinstimmt.



**Abbildung 7:** XRD-Muster für 1 Minute (rot), 2 Minuten (blau), 5 Minuten (grün), 30 Minuten (violett) und 90 Minuten (braun) bainitisierte Proben aus dem dritten Wirbelbettversuch mit G4Q  
 Fotonachweis: SCHWING Technologies  
 Download: <https://drive.google.com/file/d/1qsU3r3HhB8wPFSi7dpgEN87-caSkWnC4/view?usp=sharing>

Die REM-Aufnahmen der Proben mit 90 Minuten Haltezeit aus dem 2. und 3. Wirbelbettversuch werden in **Abbildung 8** verglichen. Bei starker Vergrößerung ist der Perlit in der Probe aus dem 2. Versuch zu sehen (**Abbildung 8 (a)**), während sich vollständiger Bainit in der Probe aus dem 3. Versuch gebildet hat (**Abbildung 8 (b)**).



**Abbildung 8:** REM-Aufnahmen der Proben aus (a) dem 2. und (b) dem 3. Wirbelbettversuch mit 90 Minuten Bainitisierungszeit

Fotonachweis: SCHWING Technologies  
 Download: <https://drive.google.com/file/d/1C5LiwWj8RQlvXAI4pfvpXCVAOd3Rx9KM/view?usp=sharing>  
 Download: [https://drive.google.com/file/d/1JNgb-Ikv\\_uASh4E2JGS9gmZLZXAIYVP1/view?usp=sharing](https://drive.google.com/file/d/1JNgb-Ikv_uASh4E2JGS9gmZLZXAIYVP1/view?usp=sharing)

**Fazit**

Die Versuche haben gezeigt, dass mit optimierten Parametern in einer Wirbelbetтанlage, die hauptsächlich aus einem speziellen Gas und dem neuen Badmedium G4Q bestehen, nahezu die gleichen Abkühlraten wie in einem Salzbad erreicht werden können. Der erforderliche Kühleffekt für eine 100%ige-Austemperung Bainitisierung des AISI 5160 wurde vollständig erreicht. Dies konnte durch metallographische Untersuchungen und mechanische Werkstoffprüfungen nachgewiesen werden.

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass die Wirbelbettsysteme von Schwing Technologies eine hervorragende Alternative zum Salzbad bieten. Dies vor allem, wenn es um die erforderlichen Kühleffekt für eine 100%ige Bainitisierung geht. Für viele weitere konventionelle Anwendungen, aber auch für innovative Prozesse wie die additive Fertigung von Metallteilen, bieten diese Wirbelbettsysteme nicht nur eine sehr gute Alternative, sondern außerdem die bestmögliche Lösung zum Kühlen und Abschrecken. Die Technologie verfügt über alle Vorteile des Salzbad – jedoch ohne dessen negative Umweltauswirkungen. Gleichzeitig übertrifft es jedes Hochdruck-Gasabschreckverfahren in Bezug auf die Temperaturgleichmäßigkeit während des eigentlichen Abschreckprozesses. Auf diese Weise können sich die behandelten Teile gleichmäßig umwandeln, und die Spannungen werden auf ein Minimum reduziert.

**Informationen zum Autor:**

Andreas Guderjahn  
SCHWING Technologies GmbH  
Oderstraße 7  
47506 Neukirchen-Vluyn  
[a.guderjahn@schwing-tech.com](mailto:a.guderjahn@schwing-tech.com)  
T +49 2845 930 178

**Informationen zu den Co-Autoren:**

Mei Yang, Haoxing You, und Richard D. Sisson Jr.  
Zentrum für Wärmebehandlungsexzellenz  
Worcester Polytechnisches Institut  
100 Institute Rd, Worcester, MA 01609, USA

Ralf Giebmanns  
PEER Energie GmbH  
Siemensstraße 18  
47608 Geldern

## Über Schwing Technologies

Seit über 50 Jahren am Markt, ist die Schwing Technologies GmbH weltweiter Technologieführer für Hochtemperatursysteme zur thermischen Reinigung, thermo-chemischen Materialveredlung und Wärmebehandlung von Metallteilen und Werkzeugen der produzierenden Industrie. Das inhabergeführte Unternehmen konstruiert, fertigt und betreibt seine Anlagen am Geschäftssitz in Neukirchen-Vluyn am Niederrhein. Basierend auf deutschen Ingenieurleistungen ist der Mittelständler einer der weltweit bekanntesten Spezialisten im Entfernen von Kunststoffen. Zu seinen international insgesamt etwa 3000 Kunden zählen Unternehmen der Kunststoff- und Faserindustrie sowie der Chemie- und Automobilbranche. Für jeden Reinigungsbedarf bietet das Unternehmen mit seinen rund 100 Mitarbeitenden die ökonomisch, ökologisch und qualitativ beste Geräte- und Systemlösung. Mit jährlich mehr als 250.000 nach höchsten Qualitäts- und Umweltstandards gereinigten Werkstücken ist Schwing als Reinigungsdienstleister zudem ein zuverlässiger Servicepartner. 1969 gegründet, feierte das Unternehmen 2019 sein 50-jähriges Firmenjubiläum und eröffnete mit der Schwing Technologies North America Inc. im selben Jahr eine Niederlassung in den USA.

Facebook: [schwing.technologies](https://www.facebook.com/schwing.technologies)  
Twitter: [SCHWING\\_TECH](https://twitter.com/SCHWING_TECH)  
LinkedIn: [SCHWING Technologies GmbH](https://www.linkedin.com/company/SCHWING%20Technologies%20GmbH)  
YouTube: [ThermalCleaning](https://www.youtube.com/channel/UC...)