

GRUNDLAGEN UND ANWENDUNGEN THERMISCHER VERFAHREN:

In regelmäßiger Folge stellen wir Ihnen physikalische und verfahrenstechnische Grundlagen sowie aktuelle Anwendungsbeispiele industrieller thermischer Verfahren vor.

Folge 3: Glühverfahren

Glühverfahren für Werkstücke aus Stahl und Stahlguss

Glühverfahren werden entweder zur Beseitigung von nachteiligen Werkstoffeigenschaften über den gesamten Bauteilquerschnitt oder zur Einstellung bestimmter Verarbeitungs- und Gebrauchseigenschaften durchgeführt. Unter „Glühen“ werden alle Verfahren der Wärmebehandlung von Stahl verstanden, bei denen ein Halbzeug oder ein Werkstück auf eine bestimmte Temperatur erwärmt, dort gehalten und anschließend relativ langsam abgekühlt wird (**Bild 1**).

Die Erwärmdauer setzt sich dabei aus der Anwärmdauer und der Durchwärmdauer zusammen. Während der Durchwärmung nähert sich die Kerntemperatur der Oberflächentemperatur an. Dieser Vorgang ist stark vom Querschnitt bzw. der Wandstärke des Werkstücks abhängig. Erst wenn der Temperaturausgleich vollzogen ist, beginnt die Haltephase. Die Haltedauer hängt von der erforderlichen Zeit für den Ablauf der gewünschten inneren Vorgänge bei dem jeweiligen Glühverfahren ab. Die Abkühlgeschwindigkeit, die auf das Werkstück und auf das Wärmebehandlungsverfahren abgestimmt werden muss, beträgt i. d. R. max. 50 °C/h. Die Glühverfahren unterscheiden sich im Wesentlichen hinsichtlich der Glüh Temperatur und Haltedauer. **Bild 2** veranschaulicht die Lage der Temperaturbereiche der für die industrielle Praxis wesentlichen Glühverfahren im Eisen-Kohlenstoff-Zustandsdiagramm, die im Folgenden weiter erläutert werden.

Spannungsarmglühen

Ziel des Spannungsarmglühens ist der Abbau hoher innerer Spannungen (Eigenspannungen) durch plastische Verformung bei Erreichen der Glüh Temperatur. Hierbei ändert sich das Gefüge des Stahls nicht. Eigenspannungen treten innerhalb eines Werkstückes ohne das Vorhandensein äußerer Kräfte auf. Sie können von der Oberfläche bis ins Innere des Werkstückes sehr unterschiedlich verteilt sein, wobei sich Zug- und Druckkräfte über den Bauteilquerschnitt immer ausgleichen.

Der gesamte Fertigungsprozess hat Einfluss auf den Eigenspannungszustand. Eigenspannungen stellen sich aufgrund unterschiedlicher Ursachen ein:

- *Ungleichmäßige Abkühlung:* Temperaturunterschiede zwischen Kern und Rand bei der Abkühlung nach einer Wärmebehandlung oder nach dem Schweißen
- *Kaltverformung:* z. B. Kaltwalzen, Biegen, Richten, Tief-

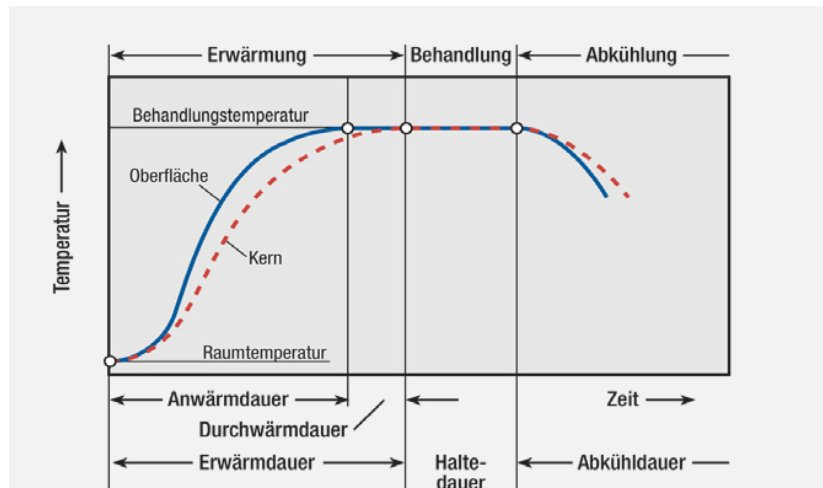


Bild 1: Zeit-Temperatur-Folge einer Glühbehandlung [1]

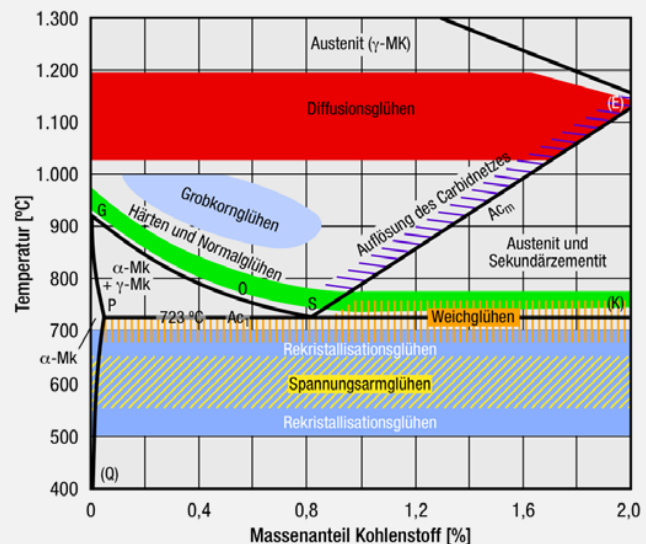


Bild 2: Lage der Temperaturbereiche von Glühverfahren im Eisen-Kohlenstoff-Zustandsdiagramm [2]

und Streckziehen

- *Spanende Bearbeitung:* z. B. Fräsen oder Drehen, insbesondere bei hoher Spanabnahme, großen Schnittgeschwindigkeiten und Vorschüben
- *Partielle Gefügeunterschiede:* z. B. infolge einer Oberflächenhärtung oder beim Abschrecken großer Querschnitte.

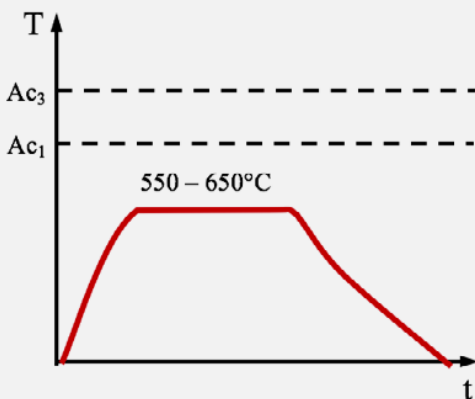


Bild 3: Zeit-Temperatur-Verlauf beim Spannungsarmglühen

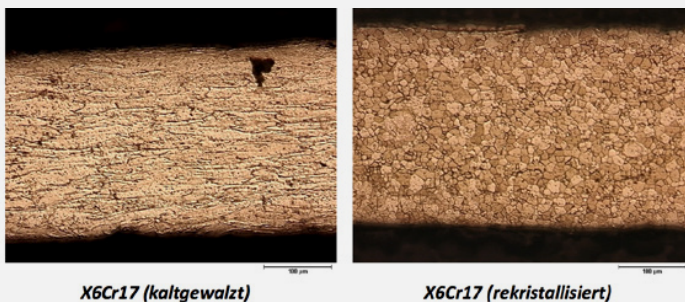


Bild 4: Rekristallisation eines kaltgewalzten Bleches aus dem Werkstoff X6Cr17

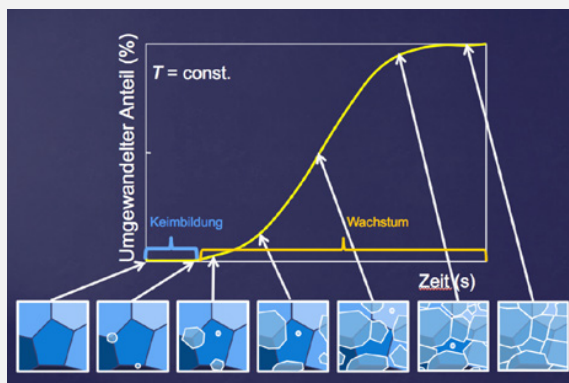


Bild 5: Rekristallisation durch Keimbildung und Kornwachstum

Hohe Eigenspannungen können sich sehr negativ auswirken. Zum einen können sie bei der spanenden Bearbeitung zu unerwünschten Maßänderungen führen. So ist ein Bauteil bei der Zerspanung bestrebt, wieder in den mechanischen Gleichgewichtszustand zu kommen. Die Folge ist bei einem hohen Eigenspannungszustand Verzug, der zum Ausfall oder zu Nacharbeit führen kann. Zudem können Eigenspannungen die plastische Verformbarkeit erheblich einschränken und die Riss- oder Bruchgefahr erhöhen. Eigenspannungen überla-

gern sich mit den Betriebskräften. Im Extremfall versagt ein Bauteil schon bei verhältnismäßig geringer äußerer Belastung, da die Streckgrenze des Werkstoffs durch diese Überlagerung bereits überschritten wird. Bei undefinierten Eigenspannungszuständen müssen daher bei der Konstruktion der Bauteile ausreichend hohe Reserven einkalkuliert werden.

In der Praxis werden z. B. Schmiede- und Gussteile vor einer spanenden Weiterbearbeitung oder Schweißkonstruktionen spannungsarmgeglüht. **Bild 3** veranschaulicht die Temperaturführung bei der Spannungsarmglühung anhand eines Zeit-Temperatur-Verlaufs.

Neben einer langsamen Erwärmung ist auf eine langsame Abkühlung Wert zu legen, um einen erneuten Spannungsaufbau zu vermeiden. Die Haltezeit richtet sich stark nach der Bauteilgröße und beträgt in der Praxis meist zwischen 1–8 h. Übliche Glühtemperaturen liegen bei 550–650 °C. Bei vergüteten Stählen muss die Glühtemperatur min. 30 °C unter der Anlasstemperatur liegen, um einen Festigkeitsverlust bei der Glühung auszuschließen.

Durch Spannungsarmglühen

- können Eigenspannungen bis zur Warmstreckgrenze bei der jeweiligen Glühtemperatur abgebaut werden.
- können Eigenspannungen jedoch nicht vollständig beseitigt werden.
- werden Maßänderungen bei der mechanischen Bearbeitung vermieden.
- werden die plastische Verformbarkeit und die Belastbarkeit von Bauteilen erhöht.
- werden Kosten durch Nacharbeit und Ausschuss vermieden.

Rekristallisationsglühen

Das Rekristallisationsglühen findet ähnlich wie das Spannungsarmglühen im Temperaturbereich von 500–700 °C statt. Somit findet auch bei dieser Glühung keine Phasenumwandlung statt. Allerdings ändert sich im Gegensatz zum Spannungsarmglühen die Gefügestruktur, da das Werkstück zuvor ausreichend kaltverformt wurde. Das Ziel des Rekristallisationsglühens ist es, durch Keimbildung und Wachstum eine Kornneubildung in einem kaltumgeformten Gefüge zu erreichen (**Bild 4**).

Die treibende Kraft für die Kornneubildung ist die im Bereich der Kaltverformung gespeicherte potenzielle Energie, die zu einer Festigkeitserhöhung (Kaltverfestigung) führt. Die Rekristallisation findet daher nur bei einem ausreichend hohem Umformgrad statt. Durch die Glühung wird die Kaltverfestigung abgebaut und der Werkstoff erhält seine ursprünglichen Zähigkeitseigenschaften zurück, wodurch in vielen Fällen eine weitere plastische Umformung erst ermöglicht wird. Zudem wird durch die Rekristallisation auch die Anisotropie der mechanischen Eigenschaften nach einer Kaltumformung beseitigt (**Bild 5**).

Weichglühen

Ziel des Weichglühens ist die Härte und die Festigkeit eines Werkstücks zu verringern. Gleichzeitig soll der Werkstoff eine hohe plastische Verformbarkeit erhalten. Das Weichglühgefüge ist somit ein günstiger Ausgangszustand zum Umformen.

Die Veränderung der mechanischen Eigenschaften wird beim Weichglühen durch die in Abhängigkeit von Temperatur und Zeit stattfindende Umwandlung des perlitischen Gefüges herbeigeführt. Die Überführung der lamellaren Zementitplatten in eine kugelige Form sowie die globulare Einformung der Zementitausscheidungen auf den Korngrenzen bei übereutektoiden Stählen mit höheren Kohlenstoffgehalten führt zu dem gewünschten Effekt (**Bild 6**).

Hinsichtlich der Temperaturführung bei der Weichglühung werden unter- und übereutektoiden Stähle unterschiedlich behandelt. Während untereutektoiden Stähle zur Umwandlung der Zementitlamellen unterhalb der Umwandlungstemperaturen geglüht werden, werden die übereutektoiden Stähle zur Einformung der Zementitausscheidungen auf den Korngrenzen teilweise oder vollständig austenitisiert (**Bild 7**).

Bei Stählen mit Kohlenstoffgehalten über 0,5 %C wird das Weichglühen auch zur Verbesserung der Zerspanbarkeit angewandt. Das weiche Gefüge ermöglicht eine wirtschaftliche Zerspanung mit kurzbrechenden Spänen und verringertem Werkzeugverschleiß. Allerdings neigen Stähle mit Kohlenstoffgehalten unter 0,5 %C zum „Schmieren“ und zu unerwünschten Fließspänen (Zusetzen der Spanräume, Bildung von Aufbauschneiden), wodurch sich auch die Oberflächenqualität nach der Zerspanung signifikant verschlechtert.

Grobkornglühen

Zur Einstellung einer guten Zerspanbarkeit ist bei über-

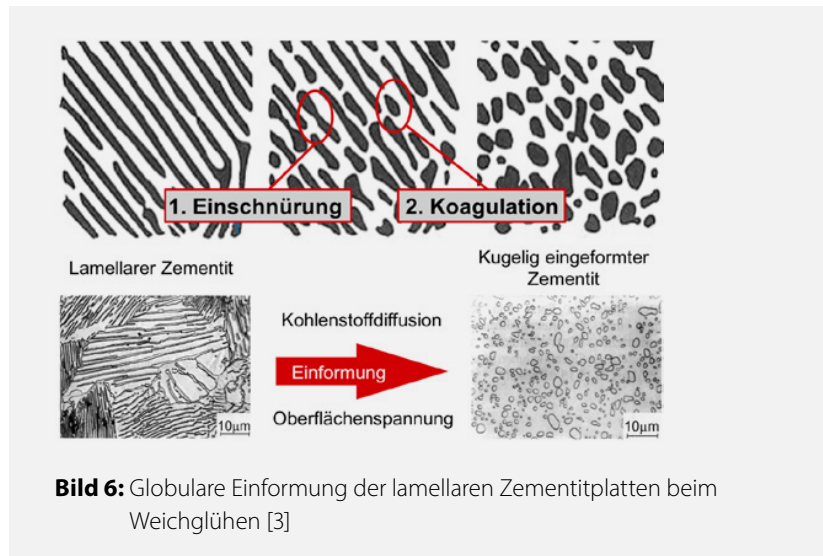


Bild 6: Globulare Einformung der lamellaren Zementitplatten beim Weichglühen [3]

eutektoiden Stählen eine Alternative zum Weichglühen das Grobkornglühen. Bei höheren Temperaturen oberhalb von 900 °C (ca. 150 °C über der A_{c3} -Temperatur) stellt sich bei der Glühung eine deutliche Kornvergrößerung ein. Da das Kornwachstum jedoch mit einer signifikanten Verschlechterung der Zähigkeitseigenschaften sowie der Härtebarkeit des Stahls einhergeht, muss in vielen Fällen nach der Zerspanung eine weitere Wärmebehandlung durch Normalglühen erfolgen. Da das Grobkornglühen zudem aufgrund der hohen Glühtemperaturen ein relativ teures Verfahren ist, wird es in der industriellen Praxis relativ selten eingesetzt.

Normalglühen

Das Normalglühen ist eine der bedeutendsten Glühbehandlungen für Stähle und Stahlguss. Das Normalglühgefüge („normales Gefüge“) ist für viele Fertigungsschritte ein gleichmäßiger und somit gut kalkulierbarer Ausgangs-

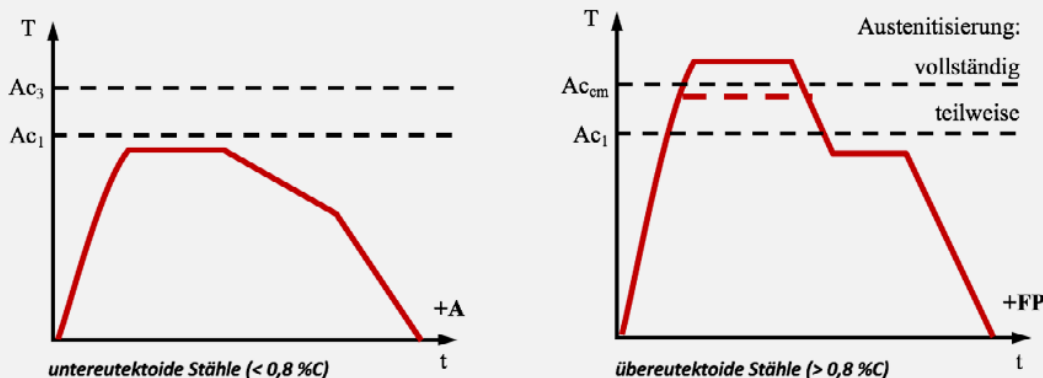


Bild 7: Zeit-Temperatur-Verlauf beim Weichglühen von unter- und übereutektoiden Stählen

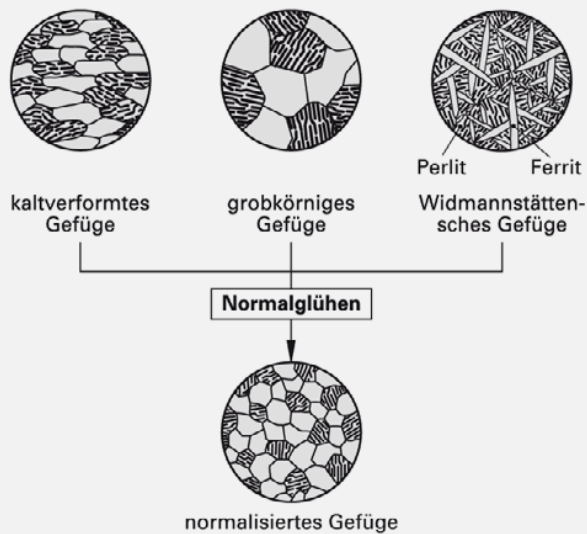


Bild 8: Normalisiertes Gefüge eines untereutektoiden Stahles (Anwendungsbeispiele) [4]

zustand. Bei der Glühung stellt sich ein gleichmäßiges, feinkörniges Gefüge mit globularem Korn ein, das weitgehend unabhängig von der Vorbehandlung des Werkstückes ist. Das Normalglühen wird zur Beseitigung eines kaltverformten Gefüges mit anisotropen Eigenschaften und schlechter Zähigkeit, zur Kornfeinung, zur Verbesserung der Festigkeits- und Zähigkeitseigenschaften (z. B. bei Baustählen, wenn ein Vergüten nicht in Frage kommt) oder zur Beseitigung eines Widmannstätten-schen Gefüges (Gussgefüge) angewandt (**Bild 8**).

Die Normalglühertemperaturen sind vergleichbar mit den Austenitisierungstemperaturen beim Härten. Im Unterschied zum Härten wird das Werkstück im Anschluss an die Haltezeit jedoch nicht in Öl, Polymere oder Wasser

abgeschreckt, sondern relativ langsam in der Ofenanlage oder an Luft abgekühlt. Dadurch werden die Martensit- und Bainitbildung vermieden und die thermodynamischen Diffusionsvorgänge der Perlitbildung nicht unterdrückt. **Bild 9** zeigt den Zeit-Temperaturverlauf beim Normalglühen von unter- und übereutektoiden Stählen.

Diffusionsglühen

Das Diffusionsglühen oder auch Homogenisierungsglühen ist ein Wärmebehandlungsverfahren, das bei Rohmaterialien und nicht bei bearbeiteten Werkstücken oder gar fertigen Bauteilen angewandt wird. Zum Einsatz kommt das Verfahren bei abgegossenen Rohblöcken im Stahlwerk, bei warmumgeformten Stahlblöcken und Halbzeugen in der Schmiede oder bei gegossenen Werkstücken in der Gießerei. Ziel ist es, durch Diffusionsvorgänge der Legierungselemente im Werkstück einen Konzentrationsausgleich über den Querschnitt herbeizuführen, der aus dem Gießprozess stammt und bei der Herstellung nur bedingt vermeidbar ist. Die Diffusionsglühung muss bei hohen Temperaturen im Bereich von 1.050–1.300 °C über lange Haltezeiten von bis zu 50 h durchgeführt werden, um die Konzentrationsunterschiede (Seigerungen) ausgleichen zu können. Unterschieden werden Mikro- oder Kristallseigerungen, die bei der gleichgewichtsfernen technischen Abkühlung während der Erstarrung der Schmelze entstehen (Zonenmischkristall), und Makro- oder Blockseigerungen, die sich über den Querschnitt des Blockes ausbilden und ebenfalls von Entmischungsvorgängen und Dichteunterschieden beim Gießprozess herrühren (**Bild 10**).

Kristallseigerungen führen nach einer Warmumformung meist zu einem zeiligen Sekundärgefüge mit unerwünschten Eigenschaften:

- Veränderung der Umwandlungstemperaturen
- Geringere Umformbarkeit (Seigerungsrisse)
- Unterschiedliche Eigenschaften in Quer- und Längs-

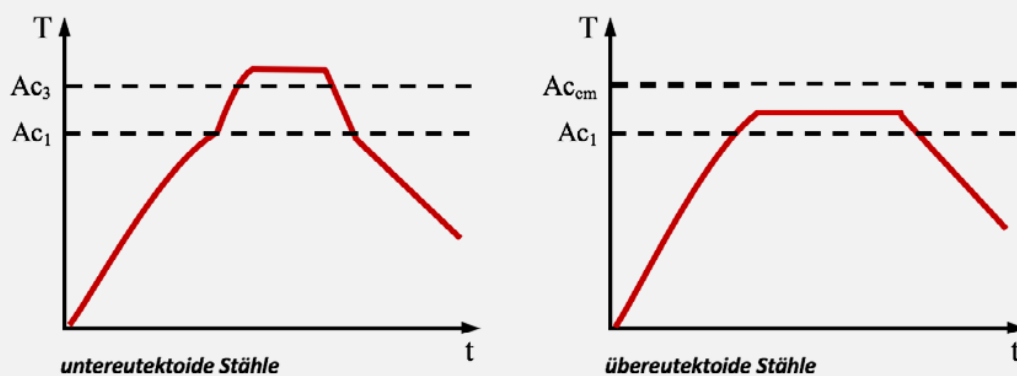


Bild 9: Zeit-Temperatur-Verlauf beim Normalglühen von unter- und übereutektoiden Stählen

richtung (Anisotropie)

- Verringerung der Festigkeit und Zähigkeit (insbes. quer zur Verformungsrichtung)
- Verschlechterung der Korrosionsbeständigkeit
- Verändertes Zerspanungsverhalten.

Das Diffusionsglühen ist aufgrund der angewandten Temperaturen und Glühzeiten ein sehr teures Verfahren und wird in relativ einfachen offen beheizten Kammer- oder Herdwagenöfen durchgeführt. Die Glühung führt dabei zu einer starken Zunderbildung und hohen Randentkohlung, die bei der späteren Bearbeitung vollständig beseitigt werden müssen. Die hohen Temperaturen und langen Haltezeiten führen zu einer Grobkornbildung, die eine Verschlechterung der mechanischen Eigenschaften mit sich bringt. Zur Kornfeinung ist daher i. d. R. ein nachträgliches Normalisieren erforderlich.

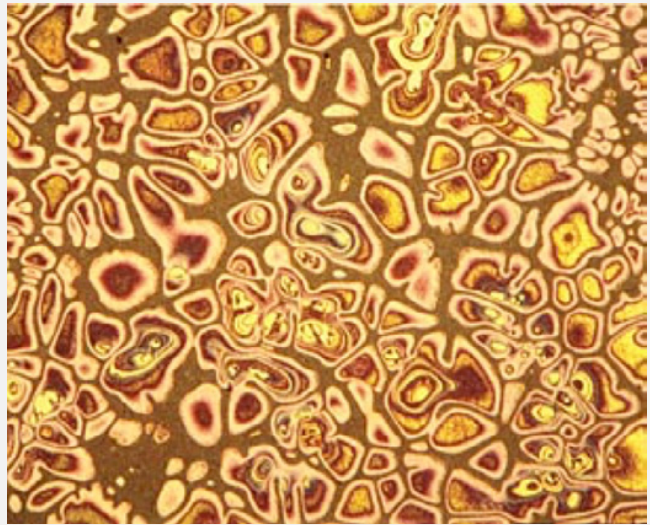


Bild 10: Zonenmischkristalle (sichtbar durch Farbätzung)

LITERATUR

- [1] Merkblatt 450: „Wärmebehandlung von Stahl – Härten, Anlassen, Vergüten, Bainitisieren“. Düsseldorf: Stahl-Informations-Zentrum, Ausgabe 2008
- [2] Merkblatt 137: „Zerspanen von Stahl“. Düsseldorf: Stahl-Informations-Zentrum, Ausgabe 2005
- [3] Liedtke, D.; Jönsson, R.: Wärmebehandlung: Grundlagen und Anwendung für Eisenwerkstoffe. Kontakt und Studium, Band 349. Renningen: Expert Verlag, 1991

- [4] Läßle, V.: Wärmebehandlung des Stahls. Ostfildern: Europa-Lehrmittel, 10. Auflage 2010

AUTOR



Dipl.-Ing. **Marco Jost**
 IBW Dr. Irretier GmbH
 Düsseldorf
 Tel.: 0177 / 2359536
 marco.jost@ibw-irretier.de



Intensiv-Seminar

WÄRMEBEHANDLUNG von Stahl – Prozess- und Anlagentechnik

Termin:

- Montag, **24.09.2018**
Wärmebehandlung von Stahl, Teil 1
 (09:30 – 17:00 Uhr)
- Dienstag, **25.09.2019**
Wärmebehandlung von Stahl, Teil 2
 (09:00 – 17:00 Uhr)

- Mittwoch, **26.09.2018**
Anlagentechnik für die Wärmebehandlung, Teil 1 (09:00 – 17:00 Uhr)
- Donnerstag, **27.09.2018**
Anlagentechnik für die Wärmebehandlung, Teil 2 (09:00 – 16:00 Uhr)

Mehr Informationen und Online-Anmeldung unter www.prozesswaermeakademie.de
 © Vulkan-Verlag GmbH - 10/2018

Veranstalter



Zielgruppe:

Ingenieure und Techniker aus allen Bereichen der Wärmebehandlung, Maschinen-, Anlagen- und Vorrichtungs-bau, Automobilindustrie sowie Stahlerzeugung, Gießerei- und Umformtechnik

Ort:

Mercure Hotel Dortmund Centrum,
 Olpe 2, 44135 Dortmund,
www.mercure-hotel-dortmund.de

PROZESSWÄRME  AKADEMIE