

Wärmebehandlung von Eisenwerkstoffen

Verfahren der Wärmebehandlung

Teil 1: Härten, Bainitisieren, Anlassen und Vergüten von Bauteilen

DIN**17022-1**

ICS 25.200

Deskriptoren: Eisenwerkstoff, Eisen, Wärmebehandlung

Heat treatment of ferrous materials — Methods of heat treatment — Part 1: Hardening, austempering, annealing, quenching and tempering of components

Traitement thermique des produits ferreux — Méthodes de traitement thermique —
Partie 1: Trempe, trempe étagée bainitique, revenu, trempe et revenu des composants**Inhalt**

	Seite		Seite
1 Anwendungsbereich und Zweck	2	5.6.1 Austenitisieren	5
2 Begriffe	2	5.6.2 Abkühlen und isothermisches Umwandeln	5
3 Kurzbeschreibung der Wärmebehandlung	2	6 Wärmebehandlungsmittel	5
3.1 Härten	2	6.1 Wärmittel	5
3.1.1 Austenitisieren	2	6.1.1 Flüssige Wärmittel	5
3.1.2 Abkühlen/Abschrecken	2	6.1.2 Gasförmige Wärmittel	5
3.2 Anlassen	2	6.2 Mittel zum Abkühlen/Abschrecken	5
3.3 Vergüten	2	6.2.1 Flüssige Abkühlmittel	5
3.4 Bainitisieren	2	6.2.2 Gasförmige Abkühlmittel	5
3.4.1 Austenitisieren	2	6.2.3 Tiefkühlmittel	5
3.4.2 Abkühlen und isothermisches Umwandeln	2	7 Hinweise zur praktischen Durchführung des Wärmebehandelns	6
4 Kennzeichnen des wärmebehandelten Endzustandes	2	7.1 Auswahl geeigneter Einrichtungen zum Erwärmen und Halten	6
5 Durchführung der Wärmebehandlung	2	7.2 Auswahl geeigneter Einrichtungen zum Abkühlen bzw. Abschrecken	6
5.1 Vorbereiten und Vorbehandeln der Bauteile	2	7.3 Einrichtungen zum Tiefkühlen	6
5.1.1 Vorbereiten der Bauteile	2	8 Prüfen wärmebehandelter Bauteile	6
5.1.2 Vorbehandeln der Bauteile	3	9 Hinweise zum Richten	6
5.1.2.1 Spannungsarmglühen	3	10 Hinweise zum wärmebehandlungsgerechten Konstruieren	8
5.1.2.2 Normalglühen	3	11 Hinweise auf mögliche Ursachen von Beanstandungen an wärmebehandelten Bauteilen	10
5.2 Härten	3	Zitierte Normen und andere Unterlagen	16
5.2.1 Austenitisieren	3	Erläuterungen	17
5.2.2 Abkühlen/Abschrecken	3		
5.3 Tiefkühlen	4		
5.4 Anlassen	4		
5.5 Vergüten	4		
5.6 Bainitisieren	5		

Fortsetzung Seite 2 bis 17

Normenausschuß Werkstofftechnologie (NWT) im DIN Deutsches Institut für Normung e.V.

1 Anwendungsbereich und Zweck

Diese Norm beschreibt die Verfahrensweise beim Wärmebehandeln und gibt Hinweise für das Härten, das Bainitisieren, das Anlassen sowie das Vergüten von Bauteilen aus Stahl. Sie ist auch anwendbar auf Vormaterial wie z. B. Stabstahl.

2 Begriffe

Die in dieser Norm verwendeten Fachausdrücke der Wärmebehandlung entsprechen DIN EN 10052, worin auch die Definitionen zu diesen Begriffen festgelegt sind.

3 Kurzbeschreibung der Wärmebehandlung

3.1 Härten

Das Härten soll dem Bauteil möglichst durch Martensitbildung eine hohe Härte verleihen. Es besteht aus den beiden Schritten Austenitisieren und Abkühlen mit zweckentsprechender Geschwindigkeit.

3.1.1 Austenitisieren

Das Austenitisieren erfolgt durch Erwärmen und Halten auf Austenitisiertemperatur. Die Härtetemperatur, das ist diejenige Temperatur, von der das Abkühlen vorgenommen wird, ist im allgemeinen mit der Austenitisiertemperatur identisch.

Das Erwärmen kann in Stufen vorgenommen werden. Maßgebend für die Austenitisierbedingungen sind hauptsächlich die chemische Zusammensetzung, das Ausgangsgefüge des Werkstoffs, der angestrebte Zustand nach dem Austenitisieren, die Form und die Abmessung des Bauteils und die Wärmebehandlungseinrichtung.

Die werkstoffbedingten Zusammenhänge können aus Zeit-Temperatur-Austenitisier(ZTA-)Schaubildern entnommen werden (siehe Abschnitt 5.2.1).

3.1.2 Abkühlen/Abschrecken

Nach dem Austenitisieren ist das Werkstück mit einer für die geforderte Härtung ausreichenden Geschwindigkeit abzukühlen, was auch in Temperaturstufen vorgenommen werden kann.

Der erforderliche Abkühlverlauf richtet sich nach der chemischen Zusammensetzung, den Austenitisierbedingungen, der Form und der Abmessung des zu härtenden Bauteiles sowie dem gewünschten Gefügezustand nach dem Abschrecken.

Das Abkühlen kann bis unter Raumtemperatur fortgesetzt werden, um eine möglichst vollständige Austenitumwandlung zu erreichen (siehe Abschnitte 5.2 und 5.3).

3.2 Anlassen

Gehärtete Bauteile werden üblicherweise angelassen, um die durch das Härten verminderte Zähigkeit zu verbessern. Bainitisierte Bauteile werden üblicherweise nicht angelassen.

Das Anlassen besteht aus Erwärmen und Halten auf Anlaßtemperatur sowie zweckentsprechendem Abkühlen auf Raumtemperatur. Die chemische Zusammensetzung des Werkstoffes und der vorliegende Gefügezustand bestimmen das Anlaßverhalten. Für die Anlaßtemperatur und -dauer sind die erforderliche Härte sowie weitere Gebrauchseigenschaften maßgebend. Die zum Anlassen erforderlichen Daten sind den Technischen Lieferbedingungen für Stähle zu entnehmen.

3.3 Vergüten

Es besteht aus Härten und nachfolgendem Anlassen auf einer Temperatur, die im allgemeinen zwischen 540 und 680 °C liegt.

Durch Vergüten soll ein besonders günstiges Verhältnis zwischen Zähigkeit und Festigkeit erreicht werden.

Anhaltswerte zum Vergüten sind den Technischen Lieferbedingungen für Stähle zu entnehmen.

3.4 Bainitisieren

Es besteht aus den Schritten: Austenitisieren, Abschrecken auf eine zweckentsprechende Umwandlungstemperatur, Halten auf dieser und Abkühlen auf Raumtemperatur.

Das Bainitisieren soll hauptsächlich dazu dienen, Bauteilen eine hohe Zähigkeit bei hoher Härte zu verleihen sowie Maß- und Formänderungen gegenüber einem (martensitischen) Härten zu verringern.¹⁾

3.4.1 Austenitisieren

Siehe Abschnitt 3.1.1

3.4.2 Abkühlen und isothermisches Umwandeln

Nach dem Austenitisieren ist das Werkstück mit einer für das Erreichen des Bainitbereichs ausreichenden Geschwindigkeit auf eine zweckentsprechende Umwandlungstemperatur abzukühlen.

Hinweise für die erforderliche Haltedauer auf der Umwandlungstemperatur sind den Zeit-Temperatur-Umwandlungsschaubildern für isothermisches Umwandeln des betreffenden Werkstoffes zu entnehmen. Das anschließende Abkühlen auf Raumtemperatur kann mit beliebiger Geschwindigkeit vorgenommen werden.

4 Kennzeichnen des wärmebehandelten Endzustandes

In der Zeichnung ist der wärmebehandelte Endzustand nach DIN 6773-2 zu kennzeichnen.

Für Angaben, welche die Durchführung der Wärmebehandlung betreffen, ist erforderlichenfalls eine Wärmebehandlungsanweisung (WBA) nach DIN 17023 oder ein Wärmebehandlungsplan zu erstellen.

Kurzschreibweisen für das Wärmebehandeln sind nach DIN 17014-3 vorzunehmen.

5 Durchführung der Wärmebehandlung

5.1 Vorbereiten und Vorbehandeln der Bauteile

Das Vorbereiten und Vorbehandeln dient dazu, unerwünschte Einflüsse des Oberflächenzustandes, des Ausgangsgefügezustandes oder von Eigenspannungen auf den Verzug oder den Endzustand des Bauteils zu vermeiden oder zu vermindern.

5.1.1 Vorbereiten der Bauteile

Je nach dem Grad der Oberflächenverunreinigungen und den Qualitätsanforderungen ist es notwendig, die Bauteile vor dem Wärmebehandeln durch Waschen, Trocknen, Beizen, Strahlen, Entgraten, spanabhebende Bearbeitung

¹⁾ Um eine hohe Zähigkeit bei möglichst hoher Härte zu erreichen, ist es zweckmäßig, auf eine möglichst niedrige Umwandlungstemperatur abzuschrecken und isothermisch umzuwandeln.

oder andere geeignete Maßnahmen so vorzubereiten, daß sie z. B.

- möglichst frei sind von Graten, anhaftenden Spänen, Rost, Zunder, Walz-, Schmiede- oder Gußhaut, Öl-, Fett- oder Farbresten, so daß die verwendeten Wärmebehandlungsmittel dadurch nicht beeinträchtigt werden;
- frei sind von Feuchtigkeit, so daß durch das plötzliche Verdampfen von Feuchtigkeit keine Störungen auftreten (z. B. Salzbadruptionen);
- keine entkohlten Randschichten aufweisen, was zu Weichhaut, Weichfleckigkeit oder Rissen führen kann;
- keine Beschichtungen oder Rückstände aufweisen, aus denen durch Eindiffusion von Fremdelementen, z. B. Phosphor aus Phosphatschichten, die Randschichteigenschaften der Bauteile beeinträchtigt werden.

Bolzen oder Schrauben, die zum Verschließen von Bohrungen oder Gewindelöchern verwendet werden, sind vor dem Wärmebehandeln bzw. bereits vor dem Reinigen aus Sicherheitsgründen zu entfernen.

5.1.2 Vorbehandeln der Bauteile

5.1.2.1 Spannungsarmglühen

Wenn Eigenspannungen das Verzugsverhalten beim Wärmebehandeln unzulässig beeinflussen, ist ein Spannungsarmglühen erforderlich. Dadurch eintretende Maß- und Formänderungen können durch eine spanabhende Bearbeitung beseitigt werden, wofür ein ausreichendes Aufmaß berücksichtigt werden muß. Dieses ist so festzulegen, daß gegebenenfalls eintretende Randschichtveränderungen, z. B. eine Entkohlung, ebenfalls vollständig entfernt werden können.

Die Temperatur muß unterhalb der Umwandlungstemperatur A_{c1} liegen, sollte ihr aber möglichst nahe sein. Unter dieser Voraussetzung ist nach dem Erwärmen normalerweise ein Halten nicht erforderlich. Das Erwärmen und Abkühlen ist so durchzuführen, daß keine zusätzlichen oder neuen Eigenspannungen entstehen können.

Bei kaltverformten Werkstücken ist ein Normalglühen vorzuziehen, wenn beim Spannungsarmglühen infolge Rekristallisation eine Grobkornbildung eintreten kann.

Hinweise zum Spannungsarmglühen enthalten auch einige Technische Lieferbedingungen für Stähle.

5.1.2.2 Normalglühen

Vorhandene Eigenspannungen können anstatt durch ein Spannungsarmglühen auch durch ein Normalglühen verringert werden. Gleichzeitig können dadurch Inhomogenitäten des Gefügestandes verringert und Grobkornbildung in kritisch verformten Bereichen vermieden werden.

Die zum Normalglühen erforderlichen Behandlungsdaten (Temperatur, Dauer, Abkühlung) sind den Technischen Lieferbedingungen oder entsprechenden Unterlagen zu entnehmen.

5.2 Härten

5.2.1 Austenitisieren

Der Zeit-Temperatur-Verlauf im Rand und im Kern eines einfach geformten Bauteiles ohne nennenswerte Querschnittsunterschiede beim Erwärmen auf Austenitisier- oder Härte-temperatur ist schematisch in Bild 1 dargestellt. Bei unterschiedlichen Querschnittsabmessungen ergeben sich für jeden Querschnitt andere Erwärmungskurven für Rand und Kern.

Die anzuwendenden Härte-temperaturen sind den Technischen Lieferbedingungen oder entsprechenden Unterlagen zu entnehmen.

Erwärm- und Haltedauer zusammen ergeben die Verweildauer eines Bauteils in einem Ofen.

Beim Erwärmen entstehen zwischen Rand und Kern der Werkstücke Temperaturunterschiede. Diese sind um so größer, je größer die Querschnitte der zu erwärmenden Werkstücke sind, je größer die Erwärmgeschwindigkeit und je geringer die Temperaturleitfähigkeit des Werkstoffes ist. Die Temperaturunterschiede und zusätzlich zu verschiedenen Zeiten ablaufende Gefügeumwandlungen verursachen Spannungen. Diese können zu Verzug führen. Werkstücke mit großen Querschnittsunterschieden und/oder großen Abmessungen, besonders solche aus legierten Stählen, werden deshalb langsam oder stufenweise erwärmt (siehe Bild 2).

Hinweise für die Erwärmdauer bei verschiedenen Durchmesser- oder Dicken von kreisförmigen, quadratischen oder rechteckigen Bauteilquerschnitten und bei unterschiedlichen Vorgehensweisen beim Erwärmen in Salzschnmelzen gibt Bild 3. Für das Erwärmen in Luftumwälzöfen bzw. Kammeröfen können entsprechende Anhaltswerte aus Bild 4 entnommen werden.

Die beim Erwärmen zum Austenitisieren ablaufenden Gefügeumwandlungen werden am Beispiel des Vergütungsstahles 34CrMo4 in Bild 5 durch ein Zeit-Temperatur-Austenitisier-(ZTA-)Schaubild für kontinuierliches Erwärmen beschrieben. Bild 5 läßt erkennen, daß mit zunehmender Erwärmgeschwindigkeit die Austenitbildung sowie die Carbidauflösung zu höheren Temperaturen verschoben werden. Mittels der eingezeichneten Kurven für verschiedene Erwärmgeschwindigkeiten kann näherungsweise bestimmt werden, ab welcher Temperatur bei gegebener Erwärmgeschwindigkeit ein bestimmter Gefügestand erreicht wird.

Die Vorgänge der Austenitbildung und der Carbidauflösung werden durch Art und Menge der Legierungselemente beeinflusst. Eine vollständige Carbidauflösung wird im Regelfall nicht angestrebt. Es sind jedoch so viele Carbide aufzulösen, daß der Kohlenstoffmassenanteil des Austenits ausreicht, um die geforderte Härte zu erreichen. Nach dem Durchwärmen auf Austenitisier-temperatur ist das Bauteil weiter auf Temperatur zu halten, um eine für die Härtung ausreichende Menge von Carbiden aufzulösen und den gewünschten Zustand nach dem Austenitisieren zu erreichen.

In den meisten Fällen ist bei Bauteilen aus Stahl eine Haltedauer bis zu 30 min üblich.

Sollen Bauteile aus der Schmiedehitze gehärtet werden, ist der Schmiedeprozess so zu führen, daß vor dem Abkühlen ein feinkörniger Austenit vorliegt.

5.2.2 Abkühlen/Abschrecken

Beim Abkühlen treten wie beim Erwärmen Temperaturunterschiede zwischen Rand und Kern der Bauteile auf. Für die Wirkung der Temperaturunterschiede gilt sinngemäß dasselbe wie beim Erwärmen. Damit beim Abkühlen möglichst keine thermisch bedingten Eigenspannungen entstehen, werden riß- oder verzugsempfindliche Bauteile gestuft abgekühlt.

Bei gestufter Abkühlung ist es im Hinblick auf die geforderte Härte notwendig, Werkstoffe mit ausreichender Härtebarkeit zu verwenden. Angaben über die Härtebarkeit sind den betreffenden Technischen Lieferbedingungen oder entsprechenden Unterlagen zu entnehmen.

Damit die Härtung nicht unzulässig beeinträchtigt wird und Verzug und Rißgefahr möglichst gering bleiben, ist die Charge so zu stapeln bzw. das Wärmebehandlungsgut so in das Abkühlmittel einzubringen, daß eine möglichst gleichmäßige Abkühlung erfolgt.

Bild 6 zeigt schematisch mögliche Abkühlkurven.

Beim gestuften Abkühlen wird das Abkühlen bei einer Temperatur, die vorzugsweise dicht oberhalb der M_s -Temperatur liegt, unterbrochen. Hier soll ein möglichst voll-

ständiger Temperatúrausgleich im Bauteil herbeigeführt werden, ohne daß dabei eine Umwandlung in Perlit und/oder Bainit stattfindet. Dadurch liegen im abgeschreckten Zustand geringere Eigenspannungen vor, oder das Eigenspannungsprofil ist günstiger. Nach dem Temperatúrausgleich werden die Bauteile zweckentsprechend auf Raumtemperatur abgekühlt.

Aus Bild 7 sind Anhaltswerte für die Abkühldauer von Bauteilen mit kreisförmigem, quadratischem oder rechteckigem Querschnitt beim Abkühlen an Luft auf Raumtemperatur zu entnehmen.

Zunder oder Salzurückstände auf der Bauteiloberfläche können das Abkühlen des Bauteils beeinträchtigen.

Die Umwandlungsvorgänge beim Abkühlen von der Austenitisierungstemperatur sind am Beispiel des Vergütungsstahls 34CrMo4 in Bild 8 durch ein Zeit-Temperatur-Umwandlungs-(ZTU-)Schaubild für kontinuierliches Abkühlen dargestellt.

Die ZTU-Schaubilder zeigen die Bereiche, in denen Gefügeänderungen eintreten. Ihre Lage und der Ablauf der Umwandlungsvorgänge unterliegen dem Einfluß der Stahlzusammensetzung und Austenitisierungsbedingungen. Aus den ZTU-Schaubildern für kontinuierliches Abkühlen kann anhand der Abkühlkurven die bei Raumtemperatur zu erwartende Gefügezusammensetzung und die dazugehörige Härte näherungsweise entnommen werden.

Beim Härten wird ein möglichst vollständiges Umwandeln in der Martensitstufe angestrebt. Dies ist nur möglich, wenn die für jeden Stahl charakteristische kritische Abkühlgeschwindigkeit K_m in allen Bauteilquerschnitten erreicht werden kann (siehe Bild 8). Bei zu niedriger Härtebarkeit, zu großer Abmessung oder unzureichender Abschreckwirkung treten neben Martensit auch andere Gefügebestandteile wie Bainit, Perlit, Ferrit auf. Übereutektoidische Stähle können neben ungelösten auch vor-eutektoidisch ausgeschiedene Carbide sowie Restaustenit enthalten.

Das Abschrecken wird je nach Härtebarkeit des Werkstoffes und je nach Abmessung und Form des Bauteils in Wasser, in wäßrigen Lösungen, in Öl, in Salzschnmelzen, im Wirbelbett, an Luft oder im Inertgas vorgenommen. Es ist zweckmäßig, die Bauteile im Abschreckmittel zu bewegen und/oder das Abschreckmittel umzuwälzen, um eine ausreichende und gleichmäßige Abkühlwirkung zu erreichen.

Die Umwandlung von Austenit in Martensit endet erst beim Erreichen der M_f -Temperatur. Je nach Zusammensetzung des Eisenwerkstoffes und im Austenit gelösten Kohlenstoffgehalt kann die M_f -Temperatur auch unterhalb der Raumtemperatur liegen.

Die Restaustenitmenge ist um so größer, je mehr Kohlenstoff im Austenit gelöst ist. Sie kann außerdem mit steigender Abkühlgeschwindigkeit zunehmen.

5.3 Tiefkühlen

Der bei Raumtemperatur vorliegende Restaustenitanteil läßt sich durch ein nachfolgendes Tiefkühlen verringern. Ein Tiefkühlen ist dann zweckmäßig, wenn ein Anlassen zum Umwandeln von Restaustenit wegen des dabei eintretenden Härteabfalls nicht zulässig ist oder spezielle Anforderungen an die Maß- und Formstabilität eines Bauteils vorliegen. Es ist jedoch zu beachten, daß durch ein Tiefkühlen auf Grund zunehmender Sprödigkeit die technisch nutzbare Festigkeit statisch oder schwingend beanspruchter Bauteile verringert wird. Das Tiefkühlen ist spätestens 30 bis 60 min. nach dem Abschrecken durchzuführen, da sich durch längeres Lagern bei Raumtemperatur oder Anlassen bei niedrigen Temperaturen (z. B. 200 °C) der Restaustenit schwerer umwandeln läßt. Hinweise auf Tiefkühlmittel siehe Abschnitt 6.2.3.

5.4 Anlassen

Anlassen nach einem Härten und gegebenenfalls einem Tiefkühlen bewirken vor allem:

- Änderung der Härte
- Änderung der Zähigkeit
- Abnahme der Eigenspannungen
- Abnahme der Rißgefahr
- Abnahme der Restaustenitmenge (beachte jedoch Abschnitt 5.3)
- Änderung der Maße und gegebenenfalls der Form.

Das Anlassen sollte möglichst unmittelbar nach dem vorangegangenen Wärmebehandlungsschritt erfolgen, jedoch im allgemeinen erst, nachdem das Bauteil vollständig die Raumtemperatur erreicht hat.

Die Anlaßtemperatur ergibt sich aus den geforderten Eigenschaften. Hinweise über die Abhängigkeit der Härte von der Anlaßtemperatur können den betreffenden Technischen Lieferbedingungen oder entsprechenden Unterlagen entnommen werden. Die Haltedauer ist in Abhängigkeit von der Werkstoffzusammensetzung und den geforderten Gebrauchseigenschaften festzulegen.

Im Bereich zwischen 250 und 550 °C kann eine Anlaßversprödung (300-°C- bzw. 500-°C-Versprödung) auftreten.²⁾ Auch nach dem Anlassen bei höheren Temperaturen kann die 500-°C-Versprödung auftreten, wenn im kritischen Temperaturbereich zu langsam abgekühlt wird. Dies kann jedoch durch ein erneutes Anlassen oberhalb 550 °C, gefolgt von einem raschen Abkühlen auf Raumtemperatur, rückgängig gemacht werden ("reversible Anlaßversprödung"). Bei hohen Anforderungen an die Zähigkeit ist deshalb zu prüfen, ob der verwendete Werkstoff zur Anlaßversprödung neigt.

Martensit, Bainit, Restaustenit und Perlit erfahren durch das Anlassen eine Veränderung. Aus dem Martensit und Bainit werden Carbide ausgeschieden. Damit ist eine Änderung der Härte verbunden. Aus dem Restaustenit entsteht je nach den Anlaßbedingungen Bainit und/oder Martensit. Auch der Perlit kann Veränderungen erfahren. Je nach Anlaßtemperatur und Anlaßdauer können Zementitlamellen eingeformt werden. Nach vorangegangener Verformung kann bei hohen Anlaßtemperaturen nach langer Anlaßdauer auch Kornneubildung (Rekristallisation) eintreten.

Anlaßtemperaturen im oberen Temperaturbereich sind so festzulegen, daß der A_{c1} -Punkt des jeweils verwendeten Stahls nicht erreicht wird.

Das Anlassen kann in Öl, in Salzschnmelzen, im Wirbelbett oder in Gas durchgeführt werden.³⁾ Durch zweckentsprechende Wahl des Anlaßmittels kann auch eine Beeinträchtigung der Bauteil-Randschicht, z. B. durch Oxidation oder unerwünschtes Aufsticken vermieden oder vermindert werden (siehe Abschnitt 7.1).

5.5 Vergüten

Beim Vergüten liegt die Anlaßtemperatur je nach Werkstoffzusammensetzung im Regelfall zwischen 540 und 680 °C. Genauere Angaben sind den einschlägigen Technischen Lieferbedingungen oder den entsprechenden Unterlagen zu entnehmen. Die Durchführung erfolgt nach den Abschnitten 5.2 und 5.4.

²⁾ Die angegebenen Temperaturen können sich mit der Anlaßdauer ändern, da es sich bei den Versprödungsvorgängen um zeitabhängige Diffusionsvorgänge handelt.

³⁾ Dabei ist ein Umwälzen des Wärmemittels zweckmäßig.

5.6 Bainitisieren

5.6.1 Austenitisieren

Siehe Abschnitt 5.2.1.

5.6.2 Abkühlen und isothermisches Umwandeln

Um eine vollständige Umwandlung in Bainit zu erreichen, ist mit einer ausreichend hohen Geschwindigkeit auf die zweckentsprechende Umwandlungstemperatur abzusprechen und bis zur möglichst vollständigen Umwandlung in Bainit auf dieser zu halten. Dadurch soll eine vorangehende Umwandlung in Perlit mit oder ohne voreutektoidische Ferritbildung bzw. eine voreutektoidische Carbidausscheidung in allen Querschnittsbereichen des Bauteils unterbleiben und das Entstehen von Martensit beim weiteren Abkühlen verhindert werden.

Daraus folgt, daß ein durchgreifendes Bainitisieren nur bei Werkstoffen mit ausreichender Härbarkeit und an Bauteilen mit nicht zu großer Abmessung bzw. ausreichender Abschreckwirkung des Abkühlmittels möglich ist. Eine Abschätzung der Anwendbarkeit für die in Frage kommenden Werkstoffe kann mit den ZTU-Schaubildern vorgenommen werden.

Das Abschrecken auf die erforderliche Umwandlungstemperatur erfolgt üblicherweise in Salzschnmelzen. Es ist zweckmäßig, die Bauteile im Abschreckmittel zu bewegen und/oder das Abschreckmittel umzuwälzen, um eine ausreichende und gleichmäßige Abkühlwirkung zu erreichen.

Das Werkstück muß nach dem Einbringen in das Abschreckmittel bis zum gewünschten Umwandlungsgrad auf der erforderlichen Umwandlungstemperatur gehalten werden. Anhaltswerte für die erforderliche Haltedauer sind dem ZTU-Schaubild für isothermisches Umwandeln des betreffenden Werkstoffs zu entnehmen. Die Verweildauer des Werkstücks im Abschreckmittel ist unabhängig vom Werkstückquerschnitt und kann je nach Werkstoff und Umwandlungstemperatur bis zu mehreren Stunden betragen. Nach der Umwandlung des Austenits in Bainit wird auf Raumtemperatur abgekühlt.

6 Wärmebehandlungsmittel

6.1 Wärmemittel

Wärmemittel dienen zur Übertragung der Wärme auf die zu behandelnden Bauteile. Sie können flüssig oder gasförmig sein. Für die Auswahl sind hauptsächlich die gewünschte Wärmegeschwindigkeit und die zwischen Bauteilrandschicht und Wärmemittel möglichen Reaktionen maßgebend, siehe Abschnitt 6.1.1. In Vakuumöfen erfolgt das Wärmen ohne Wärmemittel.

6.1.1 Flüssige Wärmemittel

Für Temperaturen bis etwa 250 °C kommen Öle in Frage. Salzschnmelzen werden für Temperaturen zwischen 160 und etwa 1300 °C verwendet.

Veränderungen der Randschichtzusammensetzung (Auf- und Abkohlung, Oxidation, Aufstickung), welche die Gebrauchseigenschaften der Bauteile beeinträchtigen können, lassen sich durch die Auswahl geeigneter, träge reagierender und untereinander verträglicher Salzschnmelzen vermeiden oder verringern. Bei gestuftem Erwärmen, bei dem die Bauteile nacheinander in Salzschnmelzen verschiedener Zusammensetzung eingetaucht werden, ist besonders auf die gegenseitige Verträglichkeit der Salzschnmelzen zu achten, um die Betriebssicherheit zu gewährleisten.

Die Wirkung flüssiger Wärmemittel ist auch in Wirbelbetten erreichbar.

6.1.2 Gasförmige Wärmemittel

Die Anwendbarkeit gasförmiger Wärmemittel wird durch die zulässigen Reaktionen zwischen Wärmemittel und Bauteilrandschicht sowie die erforderliche Arbeitstemperatur bestimmt. Als gasförmige Wärmemittel kommen Luft oder Schutzgas in Frage. Zum letztgenannten zählen Stickstoff, Spaltgase sowie endotherm oder exotherm erzeugte Schutzgase. Stickstoff ist am einfachsten zu handhaben, jedoch ist die Schutzwirkung, besonders bei geringem Reinheitsgrad des Gases und hohen Temperaturen, begrenzt. Bei den anderen Gasen ist wegen des Anteils an brennbaren Bestandteilen, besonders bei Temperaturen unterhalb 750 °C, der Zündbereich zu beachten.

6.2 Mittel zum Abkühlen/Abschrecken

Das Abkühlen/Abschrecken erfolgt in gasförmigen oder flüssigen Mitteln. Für die Auswahl sind hauptsächlich Form und Abmessungen der Bauteile, die Härbarkeit der Werkstoffe, die Härtetemperatur, die erforderliche Abkühlwirkung sowie die zur Wärmebehandlung verwendete Anlage maßgebend.

6.2.1 Flüssige Abkühlmittel

Flüssige Abkühlmittel werden verwendet, wenn besonders hohe Abkühlgeschwindigkeiten erreicht werden sollen.

Verwendet werden: Wasser mit oder ohne Zusätze, Öle oder Salzschnmelzen. Wasser ohne Zusätze wird bei Temperaturen bis höchstens 25 °C, Wasser mit Zusätzen bei Temperaturen bis 70 °C angewendet. Ein Zusatz von Salzen erhöht die Abschreckwirkung gegenüber Wasser ohne Zusatz. Zusätze von Polymeren verringern dagegen die Abschreckwirkung. Öle werden im Regelfall bei Temperaturen bis 80 °C, in Sonderfällen bis 150 °C, eingesetzt. Salzschnmelzen kommen ab 160 °C zur Anwendung und Wirbelbetten bei Temperaturen von 20 bis über 400 °C.

Bei der Auswahl eines Abschreckmittels ist die Verträglichkeit mit den verwendeten Wärmemitteln zu beachten. Bei hohen Härtetemperaturen können durch den Einfluß des Abschreckmittels Veränderungen der Bauteilrandschicht eintreten. Eine unzulässig hohe Erwärmung des Abschreckmittels durch die abzuschreckenden Bauteile kann eine Beeinträchtigung der Wirkung des Abschreckmittels herbeiführen. Eingeschleppte Fremdstoffe, wie z. B. Zunder oder Salzreste, können die Abschreckintensität des Abschreckmittels gleichfalls vermindern.

6.2.2 Gasförmige Abkühlmittel

Als gasförmige Abkühlmittel werden ruhende oder bewegte, trockene oder feuchte Luft, Stickstoff oder andere Gase verwendet. Ihre Abkühlwirkung ist sehr viel geringer als jene von flüssigen Mitteln, kann jedoch meist durch ein Erhöhen des Drucks und/oder der Strömungsgeschwindigkeit gesteigert werden. Bei der Entscheidung für ein Abkühlen in Gas ist deshalb besonders auf die Härbarkeit der verwendeten Werkstoffe sowie auf die Form und die Abmessungen des Bauteils zu achten.

In Schutzgasanlagen und in Wirbelbetten kann mit Stickstoff oder den unter Abschnitt 6.1.2 angegebenen Gasen abgekühlt werden. In Vakuumanlagen wird im Regelfall mit Stickstoff, gegebenenfalls unter erhöhtem Druck, abgekühlt.

6.2.3 Tiefkühlmittel

In gekühlter Luft (übliche Tiefkühltruhen oder -schränke) kann bis auf etwa -60 °C tiefgeköhlt werden, bei Sonderausführungen lassen sich -140 °C erreichen. Niedrigere Temperaturen als -60 °C können unter Verwendung von Trockeneis, Alkoholmischungen oder in verflüssigten Gasen (flüssiger Stickstoff: -196 °C) erzielt werden.

7 Hinweise zur praktischen Durchführung des Wärmebehandelns

Die folgenden Hinweise sollen das Festlegen des Ablaufs der Wärmebehandlung erleichtern; sie erheben keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Im Einzelfall sind die Angaben des jeweiligen Anlagenherstellers zu beachten.

Allgemein sind folgende Gesichtspunkte für die Auswahl der geeigneten Einrichtungen zu berücksichtigen:

- Werkstoff des Bauteils und Wärmebehandlungsverfahren
- Behandlungstemperatur und zulässige Temperaturabweichung
- Erwärmgeschwindigkeit in Abhängigkeit von Abmessung und Werkstoff des Bauteils
- Haltedauer
- Abkühlverlauf
- Zulässige Randschichtveränderung (z. B. Oxidieren, Entkohlen, Aufkohlen, Aufsticken)
- Abmessung und Stückzahl der Bauteile
- Durchsatz
- Prozeßkontrolle
- Verkettung von Wärmebehandlungsschritten (z. B. Abschrecken — Tiefkühlen, Härten — Anlassen)

7.1 Auswahl geeigneter Einrichtungen zum Erwärmen und Halten

Maßgebend für die Auswahl sind:

- Heizleistung des Ofens/der Ofenanlage in Abhängigkeit von der erforderlichen Erwärmgeschwindigkeit
- Temperatur-Regelabweichung und Temperaturabweichung des Ofens/der Ofenanlage.⁴⁾ Verfahrensbezogene Hinweise sind in Tabelle 1 zusammengefaßt.
- Art der Wärmeübertragung (z. B. konvektiv, Strahlung, induktiv)
- Art des Wärmemittels
- Umwälzung des Wärmemittels
- Chargierung hinsichtlich der Anordnung der Bauteile innerhalb der Charge (z. B. hängend, liegend, geschüttet, gestellt) sowie der mögliche Füllgrad
- Einfluß des Wärmemittels auf die Oberfläche und Randschichtzusammensetzung der Bauteile (z. B. Oxidation)

7.2 Auswahl geeigneter Einrichtungen zum Abkühlen bzw. Abschrecken

Maßgebend für die Auswahl sind:

- Erreichbarer Abkühlverlauf und möglicher Einfluß auf Formänderungen der Bauteile (Verzug)
- Form und Abmessungen der Bauteile
- Art und Temperatur des Abschreckmittels
- Menge und Umwälzung des Abschreckmittels
- Anordnung der Bauteile innerhalb der Charge (z. B. stehend, liegend, geschüttet), des Füllgrades sowie eventuell erforderlicher Vorrichtungen
- Reinigen der Teile von Rückständen des Abschreckmittels
- Einfluß des Abkühlmittels auf die Oberfläche und Randschichtzusammensetzung der Bauteile

Generell sollten unabhängig von der Art des Abschreckmittels die Einrichtungen zum Abkühlen/Abschrecken mit einer Umwälzung versehen sein, um einen Wärmeentzug sicherzustellen, welcher dem erforderlichen Abkühlverlauf entspricht sowie einer Einrichtung zum Rückkühlen

des Mittels, um den durch das Abschrecken eintretenden Temperaturanstieg in geeigneten Grenzen zu halten.⁵⁾ Zweckmäßig ist vielfach auch eine temperaturgeregelte Beheizung des Abschreckmittels.

Das Fassungsvermögen der Abschreckeinrichtung sollte bei Verwendung von Ölen und Salzschnmelzen mindestens dem 6fachen Gewicht der abzuschreckenden Charge entsprechen.

Werden Gase zum Abkühlen verwendet, ist es zweckmäßig, Düsen und/oder andere geeignete Gasleitvorrichtungen vorzusehen, um eine ausreichende, möglichst gleichmäßig auf die Charge wirkende Abkühlung zu erreichen. In Vakuumöfen kann zur Intensivierung der Abkühlung ein Gasdruck vom Mehrfachen des Atmosphärendruckes zweckmäßig sein.

Durch Abkühlen in Vorrichtungen (z. B. Quetten) können durch das Härten verursachte Formänderungen minimiert werden.

Erfolgt das Rückkühlen von Ölen mittels Wasser, sollte die Kühleinrichtung außerhalb der Abschreckeinrichtung angeordnet sein, um das Risiko des unerwünschten Eindringens von Wasser in Öl klein zu halten.

Salzschnmelzen sollten möglichst eine Rückkühlung durch Gebläseluft aufweisen.

Typische Arbeitstemperaturen der üblichen Abschreckmittel sind in Tabelle 2 zusammengefaßt.

7.3 Einrichtungen zum Tiefkühlen

Das Tiefkühlen zum Umwandeln von Restaustenit unterhalb der Raumtemperatur erfolgt üblicherweise in:

- Tiefkühltruhen oder -schränken, erreichbare Temperaturen: bis -140°C .
- Tauchbehältern, erreichbare Temperaturen: bis -196°C .

8 Prüfen wärmebehandelter Bauteile

Hinweise für das Prüfen wärmebehandelter Bauteile sind in Tabelle 3 aufgeführt.

Besteht eine Charge aus mehreren Bauteilen, so ist es zweckmäßig, die zu prüfenden Bauteile nach statistischen Regeln zu entnehmen.

Eine Entscheidung über die Aussagefähigkeit von Prüfergebnissen für die zu erwartenden Gebrauchseigenschaften ist Sache des Anwenders der Bauteile.

9 Hinweise zum Richten

Das Richten dient dazu, durch die Wärmebehandlung entstandene Formänderungen zu korrigieren. Dies kann mechanisch, z. B. Dengeln mit einem Richthammer, Durchbiegen des verzogenen kalten oder gerade abkühlenden Bauteils unter einer Richtpresse, in einer Richtmaschine oder auf einer Richtbank oder thermisch durch bereichsweises Erwärmen, geschehen.

Ob Bauteile vor, während oder nach einem Anlassen gerichtet werden, ist abhängig von Art und Größe des Verzuges, Form und Abmessungen des Bauteils, der Werkstoffzusammensetzung, dem Werkstoffzustand und praktischen Erfahrungen beim Richten.

⁴⁾ Die Temperaturabweichung ergibt sich aus der Temperatur-Regelabweichung und der Temperaturverteilung innerhalb des Ofenraumes, vergleiche DIN 17052.

⁵⁾ Hierzu sind die Anweisungen der Hersteller von Abschreckmitteln zu beachten.