

Wärmebehandlung von Eisenwerkstoffen

Verfahren der Wärmebehandlung

Härten und Anlassen von Werkzeugen

DIN
17 022
Teil 2

Heat treatment of ferrous materials; methods of heat treatment; hardening and tempering of tools
Traitement thermique des produits ferreux; méthodes de traitement thermique; trempe et revenu des outils

Inhalt

	Seite		Seite
1 Anwendungsbereich und Zweck	1	5.5.1 Härten	9
2 Begriffe	1	5.5.2 Tiefkühlen	10
3 Kurzbeschreibung der Wärmebehandlung	1	5.5.3 Anlassen	10
3.1 Härten	1	5.6 Härten und Anlassen von Werkzeugen aus Schnellarbeitsstählen	10
3.1.1 Austenitisieren	1	5.6.1 Härten	10
3.1.2 Abkühlen	1	5.6.2 Anlassen	10
3.2 Anlassen	2	6 Wärmebehandlungsmittel	10
4 Kennzeichnung des wärmebehandelten Zustands	2	6.1 Wärmittel	10
5 Durchführung des Härtens und Anlassens	2	6.1.1 Flüssige Wärmittel	12
5.1 Vorbereiten und Vorbehandeln	2	6.1.2 Gasförmige Wärmittel	12
5.1.1 Spannungsarmglühen	2	6.1.3 Vakuum	12
5.1.2 Härten und Anlassen („Vorvergüten“)	2	6.2 Mittel zum Abkühlen/Abschrecken	12
5.1.3 Vorbereiten der Werkzeuge	2	6.2.1 Flüssige Abkühlmittel	12
5.2 Härten	2	6.2.2 Gasförmige Abkühlmittel	12
5.2.1 Austenitisieren	2	6.2.3 Tiefkühlmittel	12
5.2.2 Abkühlen	4	7 Hinweise auf Einrichtungen zum Wärmebehandeln	12
5.2.3 Tiefkühlen	5	7.1 Öfen zum Wärmebehandeln	12
5.3 Anlassen	5	7.2 Einrichtungen zum Abkühlen/Abschrecken	14
5.4 Härten und Anlassen von Werkzeugen aus unlegierten Werkzeugstählen	8	7.3 Einrichtungen zum Tiefkühlen	14
5.4.1 Härten	8	8 Mängel durch Fehler beim Wärmebehandeln von Werkzeugen	14
5.4.2 Anlassen	8	9 Hinweise zum wärmebehandlungsgerechten Konstruieren	14
5.5 Härten und Anlassen von Werkzeugen aus legierten Kaltarbeitsstählen und Warmarbeits- stählen	9	10 Hinweise zum Richten	18
		11 Prüfen des wärmebehandelten Werkzeugs	18

1 Anwendungsbereich und Zweck

Diese Norm beschreibt die Verfahrensweise beim Wärmebehandeln und gibt Hinweise für das Härten und Anlassen von Werkzeugen aus Werkzeugstählen z. B. nach DIN 17 350.

2 Begriffe

Die in dieser Norm verwendeten Begriffe und Fachausdrücke der Wärmebehandlung entsprechen DIN 17 014 Teil 1, worin auch die Definitionen zu diesen Begriffen festgelegt sind.

3 Kurzbeschreibung der Wärmebehandlung

3.1 Härten

Das Härten besteht aus Austenitisieren und Abkühlen mit zweckentsprechender Geschwindigkeit.

3.1.1 Austenitisieren

Das Austenitisieren erfolgt durch Erwärmen und Halten auf Austenitisiertemperatur. Im allgemeinen ist die Härtetempe-

ratur mit der Austenitisiertemperatur identisch. Das Erwärmen kann in Stufen vorgenommen werden. Bei legierten Stählen ist diese Maßnahme üblich. Maßgebend für die Austenitisierbedingungen sind hauptsächlich die chemische Zusammensetzung und der gewünschte Endzustand, ferner Form und Maße des Werkzeugs und der Ausgangszustand des Werkstoffs. Die werkstoffbedingten Zusammenhänge können aus Zeit-Temperatur-Austenitisierung (ZTA-)Schaubildern entnommen werden (siehe Abschnitt 5.2.1).

3.1.2 Abkühlen

Nach dem Austenitisieren ist mit einer für die geforderte Härtung ausreichenden Geschwindigkeit abzukühlen.

Das Abkühlen kann in Temperaturstufen vorgenommen werden. Dies ist bei Werkzeugen aus legierten Stählen üblich. Der Abkühlungsverlauf richtet sich nach der Stahlzusammensetzung, den Austenitisierbedingungen, Form und Maßen des zu härtenden Werkzeugs sowie dem gewünschten Endzustand. Das Abkühlen kann bis unter Raumtemperatur fortgesetzt werden (siehe Abschnitt 5.2.3).

Fortsetzung Seite 2 bis 19

Normenausschuß Wärmebehandlungstechnik metallischer Werkstoffe (NWT) im DIN Deutsches Institut für Normung e. V.

3.2 Anlassen

Nach dem Härten werden die Werkzeuge einmal oder mehrmals angelassen. Für Anlaßtemperatur und -dauer sind die erforderliche Härte sowie weitere Gebrauchseigenschaften maßgebend. Das Anlaßverhalten wird von der chemischen Zusammensetzung des Werkstoffes und dem vorliegenden Gefügestand bestimmt.

4 Kennzeichnung des wärmebehandelten Zustandes

In der Zeichnung ist der wärmebehandelte Zustand nach DIN 6773 Teil 2 zu kennzeichnen.

Für Angaben, welche die Durchführung der Wärmebehandlung betreffen, ist erforderlichenfalls eine Wärmebehandlungsanweisung (WBA) nach DIN 17 023 oder ein Wärmebehandlungsplan zu erstellen. Kurzschreibweisen für das Wärmebehandeln sind nach DIN 17 014 Teil 3 vorzunehmen.

5 Durchführung des Härtens und Anlassens

5.1 Vorbereiten und Vorbehandeln

Das Vorbereiten und Vorbehandeln der Werkzeuge dient dazu, unerwünschte Einflüsse von Eigenspannungen auf den Verzug oder des Oberflächenzustandes auf den Endzustand zu beseitigen und den Wärmebehandlungsablauf abzusichern.

5.1.1 Spannungsarmglühen

Wenn vorhandene Eigenspannungen das Verzugsverhalten beim Härten unzulässig beeinflussen, ist ein Spannungsarmglühen erforderlich. Eine Korrektur der dadurch eintretenden Maß- und Formänderungen ist durch eine entsprechende Bearbeitungszugabe zu berücksichtigen. Die Temperatur muß unterhalb der Umwandlungstemperatur A_{c1} liegen, sie sollte dieser Temperatur aber möglichst nahe sein. Unter dieser Voraussetzung ist nach dem Erwärmen ein Halten nicht erforderlich. Das Erwärmen und Abkühlen ist so durchzuführen, daß keine zusätzlichen oder neuen Eigenspannungen entstehen können.

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

5.1.2 Härten und Anlassen („Vorvergüten“)

Die im Rohteil vorhandenen Eigenspannungen können anstatt durch Spannungsarmglühen auch durch ein Erwärmen auf Austenitisiertemperatur abgebaut werden. Gleichzeitig wird dabei der Werkstoffzustand homogener.

Wird das Werkzeugrohteil anschließend wie beim Härten abgekühlt, können die beim späteren Härten des bearbeiteten Werkzeugs zu erwartenden Maß- und Formänderungen reduziert und Betrag und Richtung der zu erwartenden Änderungen abgeschätzt werden.

Anschließend wird so hoch angelassen, daß das Werkzeugrohteil weiter bearbeitet werden kann und die eingetretenen Maß- und Formänderungen ausgeglichen werden können.

Dieses sogenannte „Vorvergüten“ des Rohteils mit Zwischenbearbeiten vor dem Härten des Werkzeugs hat sich besonders bei hohen Ansprüchen an das Maß- und Formänderungsverhalten bewährt.

5.1.3 Vorbereiten der Werkzeuge

Je nach dem Grad der Oberflächenverunreinigungen und Qualitätsanforderungen ist es notwendig, die Werkzeuge vor

dem Härten durch Waschen, Trocknen, Beizen, Strahlen, Entgraten, spanabhebende Bearbeitung oder andere geeignete Maßnahmen so vorzubereiten, daß z. B.

- Salzschnmelzen nicht durch Grate, anhaftende Späne, Rost, Zunder, Walz-, Schmiede- oder Gußhaut verunreinigt werden;
- in Salzschnmelzen nicht durch das plötzliche Verdampfen von Feuchtigkeit Eruptionen auftreten;
- nicht durch entkohlte Randschichten Weichhaut, Weichfleckigkeit oder Risse auftreten.

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

5.2 Härten

5.2.1 Austenitisieren

Der Zeit-Temperatur-Verlauf im Rand und im Kern eines einfach geformten Werkzeugs ohne nennenswerte Querschnittsunterschiede beim Erwärmen auf Austenitisier- oder Härtetemperatur ist schematisch in Bild 1 dargestellt. Besitzt ein Werkzeug jedoch unterschiedliche Querschnittsabmessungen, so ergeben sich in jedem Querschnitt andere Erwärmungskurven für Rand und Kern.

Die je nach Werkstoff anzuwendenden Härtetemperaturen sind DIN 17 350 oder entsprechenden Unterlagen der Stahlhersteller zu entnehmen.

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

Beim Erwärmen entstehen zwischen Rand und Kern der Werkzeuge Temperaturunterschiede. Diese sind um so größer, je größer die Querschnitte der zu erwärmenden Werkzeuge, je größer die Erwärmungsgeschwindigkeit und je geringer die Temperaturleitfähigkeit des Werkstoffes ist. Die Temperaturunterschiede und zusätzlich die hierdurch zu verschiedenen Zeiten ablaufenden Gefügewandlungen verursachen Spannungen. Dies kann zu Verzug führen. Werkzeuge 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 Zeit-Temperatur-Folgen gibt Bild 3. Es enthält Anhaltswerte für kreisförmige, quadratische oder rechteckige Werkzeugquerschnitte und unterschiedliche Vorgehensweise beim Erwärmen in Salzschnmelzen. Für das Erwärmen in Luftumwälzöfen bzw. Kammeröfen können entsprechende Anhaltswerte aus Bild 4 entnommen werden.

Die beim Erwärmen zum Austenitisieren ablaufenden Gefügewandlungen werden am Beispiel des Warmarbeitsstahles X 38 CrMoV 5 1 in Bild 5 durch ein Zeit-Temperatur-Austenitisierung-(ZTA-)Schaubild beschrieben.

Bild 5 läßt erkennen, daß mit zunehmender Erwärmungsgeschwindigkeit die Austenitbildung sowie die Carbidauflösung zu höheren Temperaturen verschoben wird. Mittels der eingezeichneten Kurven für verschiedene Erwärmungsgeschwindigkeiten kann näherungsweise bestimmt werden, welche Temperatur oder Zeit erforderlich ist, um einen bestimmten Gefügestand zu erreichen.

Mit zunehmendem Legierungsgehalt werden die Austenitbildung und die Carbidauflösung zu späteren Zeiten und höheren Temperaturen verschoben. Auch der Ausgangszustand beeinflußt diese Vorgänge. Eine vollständige Carbidauflösung wird im Regelfall nicht angestrebt.

Das Austenitisieren der Werkzeuge sollte in Salzschnmelzen, im Schutz- oder Inertgas oder im Vakuumofen erfolgen (siehe Abschnitt 6.1).

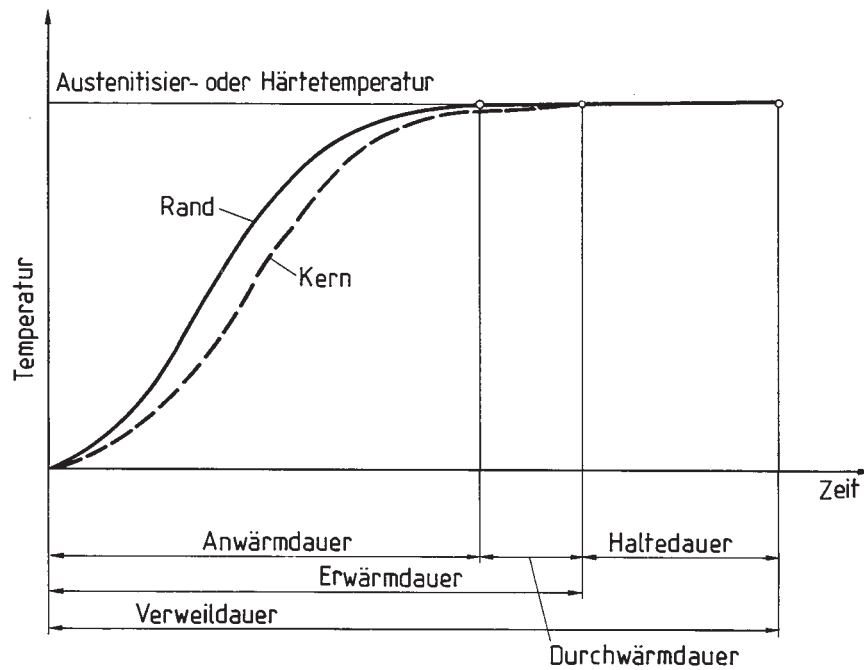


Bild 1. Zeit-Temperatur-Folge beim Austenitisieren (schematisch)

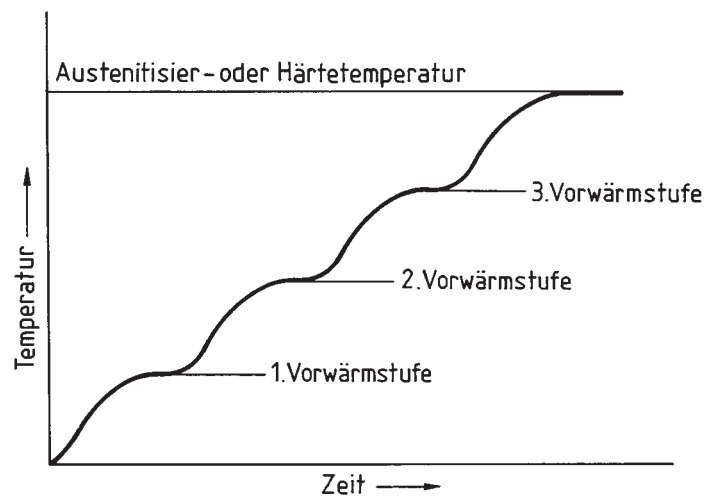


Bild 2. Zeit-Temperatur-Folge beim Austenitisieren mit dreistufigem Vorwärmen (schematisch)

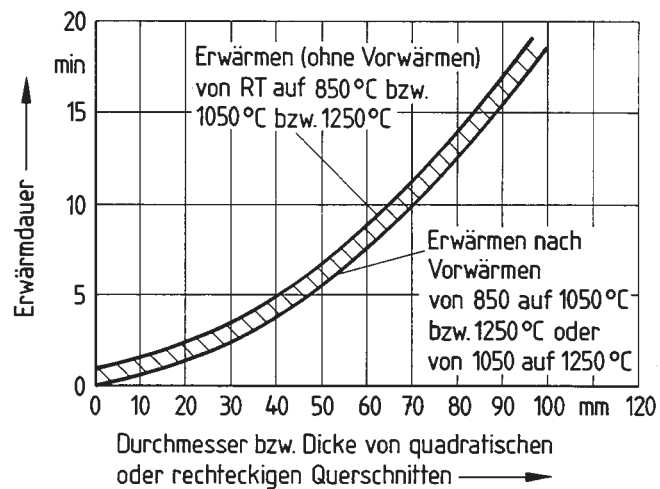


Bild 3. Erwärmdauer für das Erwärmen in Salzschnmelzen ohne und nach Vorwärmen (Anhaltswerte nach Versuchen mit Proben aus dem Stahl S 6-5-2 ermittelt)

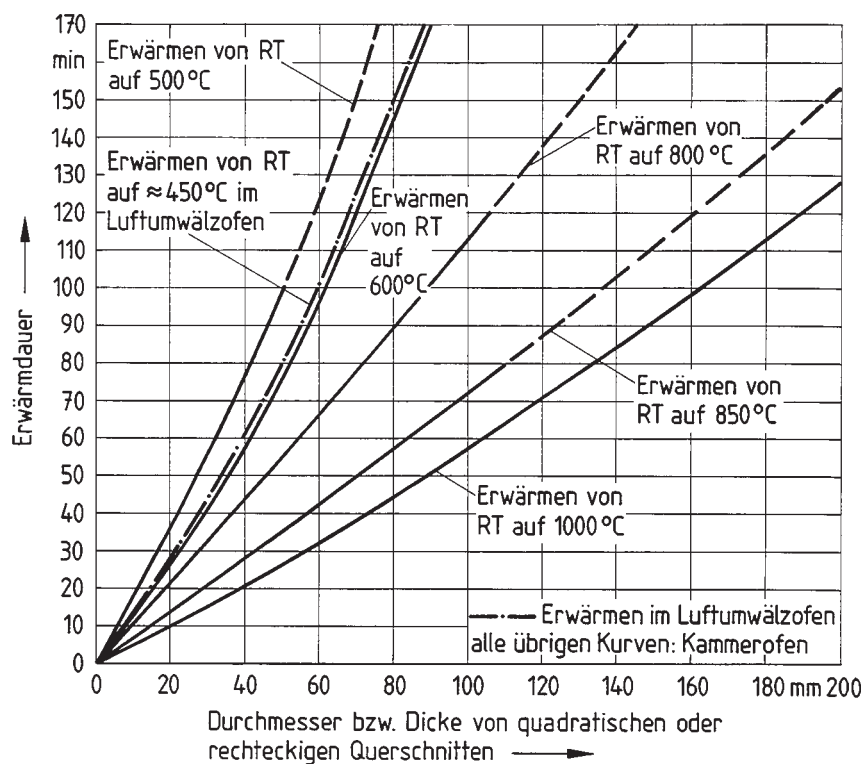


Bild 4. Erwärmdauer in Luftumwälzöfen und Kammeröfen (nach Versuchen ermittelt)

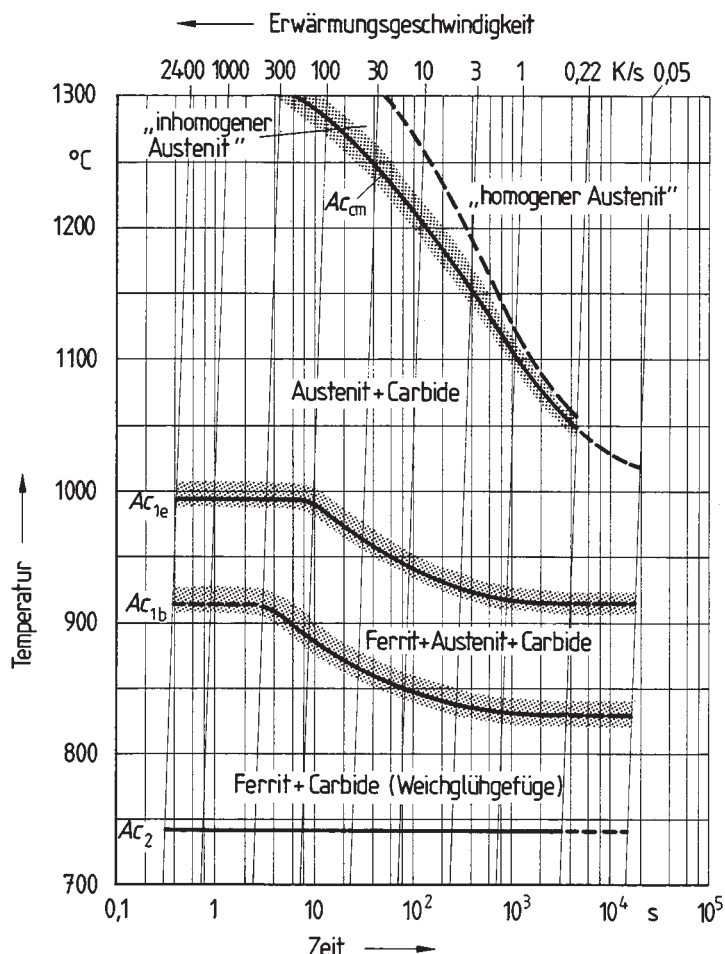


Bild 5. Zeit-Temperatur-Austenitisierung-(ZTA-)Schaubild für kontinuierliches Erwärmen des Stahles X 38 CrMo V 5 1, Werkstoff 1.2343 (nach „Atlas zur Wärmebehandlung der Stähle“)

5.2.2 Abkühlen

Beim Abkühlen treten wie beim Erwärmen Temperaturunterschiede zwischen Rand und Kern der Werkzeuge auf. Für die Größe und Wirkung gilt sinngemäß dasselbe, wie beim Erwärmen. Damit nach dem Abkühlen die Eigenspannungen möglichst niedrig sind, werden daher riß- oder verzugsempfindliche Werkzeuge gestuft abgekühlt.

In diesem Fall ist es im Hinblick auf die geforderte Härte notwendig, Werkstoffe mit ausreichender Härtebarkeit zu verwenden. Angaben über die Härtebarkeit sind DIN 17 350 oder entsprechenden Unterlagen der Stahlhersteller zu entnehmen.

Damit an den maßgebenden Oberflächenbereichen 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 das Abkühlmittel ungehinderten Zutritt zu allen Oberflächenbereichen der Werkzeuge hat.

Bild 6 zeigt schematisch mögliche Abkühlungskurven.

Beim gestuften Abkühlen wird der Vorgang bei einer Temperatur, die zwischen der Perlit- und Martensitstufe, vorzugsweise dicht oberhalb der M_s -Temperatur liegt, unterbrochen. Hier soll ein möglichst vollständiger Temperatúrausgleich im Werkzeug herbeigeführt und dadurch dem Entstehen von Spannungen vorgebeugt bzw. vorhandene Spannungen durch plastische Verformung verringert werden. Nach dem Temperatúrausgleich werden die Werkzeuge weiter an Luft, in Öl oder in Salzwasser abgekühlt. Zur Verringerung der Rißgefahr sollten die Werkzeuge vor dem Anlassen nicht bis auf Raumtemperatur abgekühlt werden, ausgenommen Werkzeuge aus Schnellarbeitsstählen (siehe Abschnitte 5.4.1 bis 5.6.1 und die Bilder 12, 13, 14 und 15).

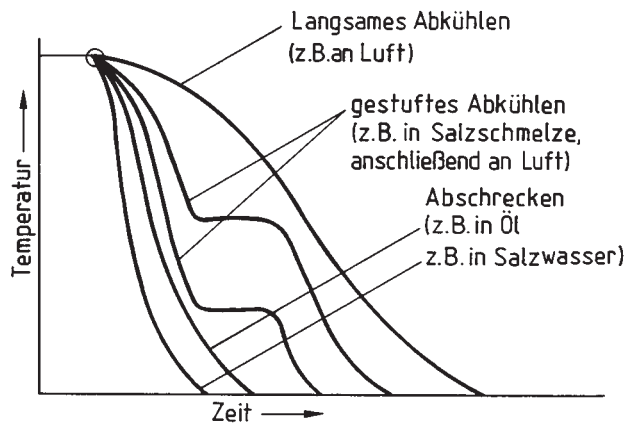


Bild 6. Abkühlungskurven (schematisch)

Aus Bild 7 sind Anhaltswerte für die Abkühlungsdauer von Werkzeugen mit kreisförmigem, quadratischem oder rechteckigem Querschnitt bei Abschrecken im Warmbad (550 °C) bzw. Abkühlen an Luft auf Raumtemperatur zu entnehmen.

Die Umwandlungsvorgänge beim Abkühlen von Austenitisierungstemperatur sind am Beispiel des Warmarbeitsstahles X 38 CrMoV 5 1 in Bild 8 durch ein Zeit-Temperatur-Umwandlung-(ZTU-)Schaubild für kontinuierliches Abkühlen dargestellt.

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

Beim Härten wird ein Umwandeln in der Martensitstufe angestrebt. Dies ist nur möglich, wenn die für jeden Stahl charakteristische kritische Abkühlgeschwindigkeit K_m erreicht werden kann (siehe Bild 8).

Die Umwandlung von Austenit endet erst beim Erreichen der so bezeichneten M_f -Temperatur, die bei den meisten Werkzeugstählen unterhalb Raumtemperatur liegt. M_f nimmt mit steigenden, im Austenit gelösten Mengen an Kohlenstoff und Legierungselementen ab.

Der Restaustenitanteil ist um so höher, je größer die im Austenit gelöste Menge an Kohlenstoff und Legierungselementen ist. Er ändert sich auch mit der Abkühlungsgeschwindigkeit (siehe Abschnitt 6.2).

Nach dem Abkühlen besteht das Gefüge aus Martensit und Restaustenit, eventuell auch mit Anteilen an Bainit. Über-eutektoidische Stähle können neben den ungelösten auch voreutektoidisch ausgeschiedene Carbide enthalten.

5.2.3 Tiefkühlen

Der bei Raumtemperatur vorliegende Restaustenit kann durch ein nachfolgendes Tiefkühlen verringert werden. Dabei ist zu beachten, daß durch längeres Lagern bei Raumtemperatur oder Anlassen bei niedrigen Temperaturen (z. B. 200 °C) ein Stabilisieren des Restaustenits eintreten kann. *) Hinweise auf Tiefkühlmittel siehe Abschnitt 6.2.3.

5.3 Anlassen

Das Anlassen nach einem Härten (und gegebenenfalls Tiefkühlen) bewirkt vor allem:

- Änderung der Härte
- Änderung der Zähigkeit
- Abnahme der Eigenspannungen
- Abnahme der Rißgefahr
- Abnahme der Restaustenitmenge (beachte jedoch Abschnitt 5.2.3)
- Änderung der Maße und gegebenenfalls der Form.

*) Das Tiefkühlen von Werkzeugen wird in der Praxis hauptsächlich zum Erreichen einer ausreichenden Maß- und Formstabilität, wie z. B. bei Lehren, Endmaßen oder Feinschnittwerkzeugen durchgeführt.

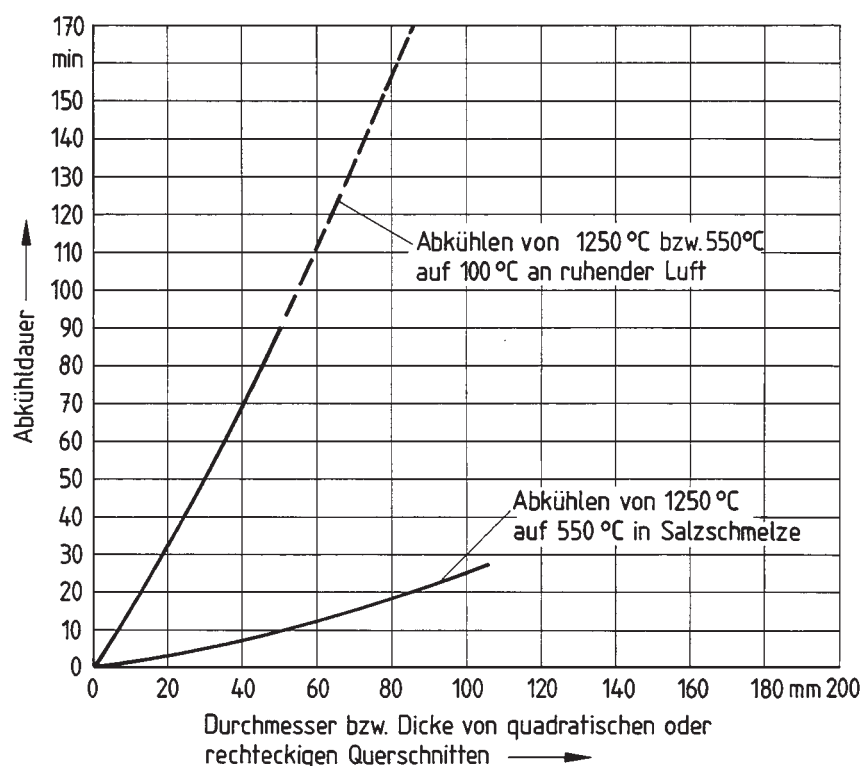


Bild 7. Anhaltswerte für die Abkühlungsdauer im Kern an ruhender Luft bzw. im Warmbad (550 °C) (nach Versuchen ermittelt)

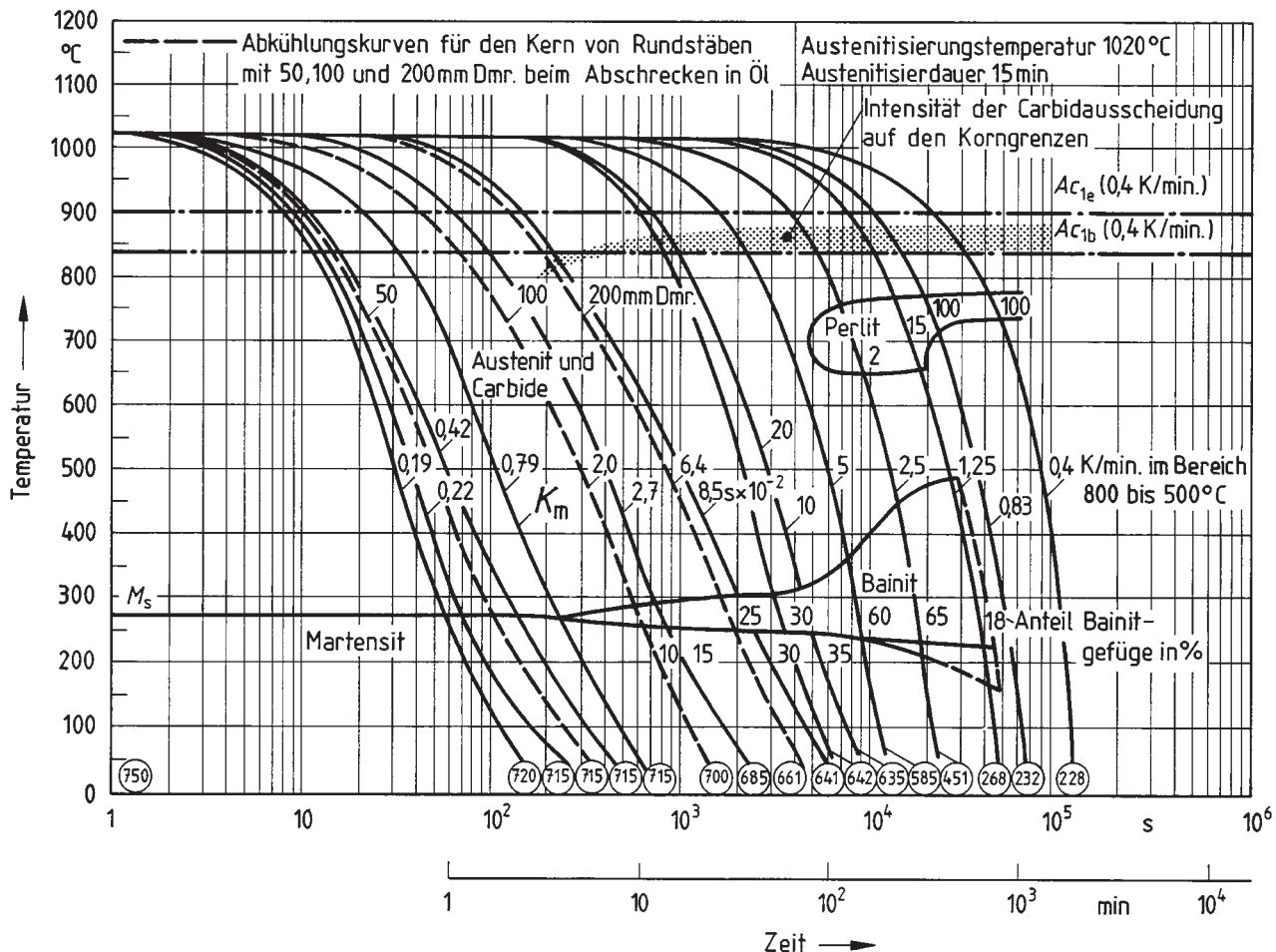


Bild 8. Zeit-Temperatur-Umwandlung-(ZTU)-Schaubild für kontinuierliches Abkühlen des Stahls X 38 CrMoV 5 1, Werkstoffnummer 1.2343 (nach Beiblatt 1 zu DIN 17 350/10.80)

Die Anlaßtemperatur ergibt sich aus den geforderten Eigenschaften.

Hinweise in Abhängigkeit vom Verhältnis Härte/Anlaßtemperatur können DIN 17 350 oder entsprechenden Unterlagen entnommen werden.

Üblicherweise wird entweder zwischen 180 und 250 °C oder zwischen 550 und 650 °C angelassen, siehe Abschnitte 5.4.2, 5.5.3 und 5.6.2.

Bei hohen Anforderungen an die Zähigkeit ist der Bereich zwischen 250 und 550 °C wegen der Anlaßversprödung (300 °C- bzw. 500 °C-Versprödung) zu vermeiden. Die angegebenen Temperaturen können sich mit der Anlaßdauer ändern, da es sich bei den Versprödungsvorgängen um zeitabhängige Diffusionsvorgänge handelt.

Auch nach 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 raschem Abkühlen auf Raumtemperatur, rückgängig gemacht werden („reversible Anlaßversprödung“).

Martensit, Bainit und Restaustenit erfahren durch das Anlassen eine Veränderung. Aus dem Martensit und Bainit werden Carbide ausgeschieden und es werden Versetzungen abgebaut. Damit ist eine Härteerniedrigung verbunden. Nach vorangegangener Verformung kann bei hohen Anlaßtemperaturen und/oder langer Anlaßdauer auch Kornneubildung (Rekri-

stallisation) eintreten. Bei höher mit Sondercarbidgebildenden Elementen legierten Stählen entstehen oberhalb 450 °C Carbide und der Restaustenit wandelt sich beim Abkühlen von der Anlaßtemperatur in Martensit und/oder Bainit um. Beide Vorgänge bewirken eine Härtesteigerung, die als Sekundärhärtung bezeichnet wird.

Je nach Stahlzusammensetzung sind die vorstehend beschriebenen Vorgänge unterschiedlich stark ausgeprägt. Die Überlagerung ergibt die für jede Stahlsorte charakteristische Anlaßkurve (siehe Bild 9).

Anlaßtemperatur und -dauer stehen zueinander in einer Wechselbeziehung. Für Temperaturen oberhalb 450 °C wird sie durch folgende Gleichung beschrieben:

$$P = T \cdot (a + \lg t)$$

P Anlaßparameter

T Temperatur in K

t Dauer in h

a Konstante für Warmarbeitsstähle: $a = 20$

Mittels einer für den jeweiligen Stahl gültigen sogenannten Anlaß-Hauptkurve können in Abhängigkeit von Temperatur und Dauer der Temperatureinwirkung die zu erwartenden Härtewerte näherungsweise ermittelt werden (siehe Bild 10). Mit Hilfe der Kurven für 40 und 200 Stunden kann auch abgeschätzt werden, welche Härte nach längerer Betriebsdauer oberhalb 450 °C noch vorliegt.