

Wärmebehandlung von Eisenwerkstoffen
Verfahren der Wärmebehandlung
 Einsatzhärten

DIN
17 022
 Teil 3

Heat treatment of ferrous materials; Methods of heat treatment, case hardening

Traitement thermique des produits ferreux; Méthodes de traitement thermique, cementation et trempe

Inhalt

	Seite		Seite
1 Anwendungsbereich und Zweck	2	6 Wärmebehandlungsmittel	12
2 Begriffe	2	6.1 Wärmittel	12
3 Kurzbeschreibung des Einsatzhärtens	2	6.1.1 Flüssige Wärmittel	12
4 Kennzeichnen des einsatzgehärteten Zustands ..	2	6.1.2 Gasförmige Wärmittel	12
5 Durchführung	2	6.1.3 Vakuum	12
5.1 Vorbereitung und Vorbehandlung	2	6.2 Aufkohlungs- und Carbonitriermittel	12
5.1.1 Vorbereiten der Werkstücke	2	6.2.1 Feste Mittel (Granulate)	12
5.1.2 Spannungsarmglühen	2	6.2.2 Salzschnelzen	12
5.1.3 Normalglühen	2	6.2.3 Gase	12
5.1.4 Härten und Anlassen („Vorvergüten“)	2	6.2.3.1 Gase zum Aufkohlen	12
5.1.5 Vorbereitung für ein örtlich begrenztes Aufkohlen/Carbonitrieren	2	6.2.3.2 Gase zum Carbonitrieren	14
5.1.6 Chargieren der Werkstücke	3	6.3 Mittel zum Abkühlen/Abschrecken	14
5.2 Erwärmen auf Behandlungstemperatur	3	6.3.1 Flüssige Abschreckmittel	14
5.3 Aufkohlen	3	6.3.2 Gasförmige Abkühlmittel	14
5.3.1 Aufkohlen mit gleichbleibendem C-Pegel	5	6.3.3 Tiefkühlmittel	14
5.3.2 Aufkohlen mit veränderlichem C-Pegel	5	7 Hinweise auf Einrichtungen zum Wärmebehandeln ..	15
5.3.3 Aufkohlungstiefe	6	7.1 Öfen zum Wärmebehandeln	15
5.3.4 Aufkohlen in festen Mitteln (Granulat)	6	7.2 Einrichtungen zum Abkühlen/Abschrecken	15
5.3.5 Aufkohlen in Salzschnelzen	6	7.3 Einrichtungen zum Tiefkühlen	15
5.3.6 Aufkohlen in Gas	7	8 Mängel an wärmebehandelten Werkstücken	17
5.3.6.1 Gasaufkohlen mit C-Pegel-Regelung	7	9 Hinweise zum wärmebehandlungsgerechten Konstruieren	18
5.3.6.2 Gasaufkohlen ohne C-Pegel-Regelung	7	10 Hinweise zum Richten	20
5.4 Carbonitrieren	7	11 Prüfen des wärmebehandelten Werkstücks	20
5.4.1 Carbonitrieren in Salzschnelzen	7	Anhang A	
5.4.2 Carbonitrieren in Gas	7	A.1 Zu empfehlender Randkohlenstoffgehalt bei Forderung nach restaustenitarmen Randschichtgefügen	21
5.5 Härten	7	A.2 Zusammenhang zwischen C-Pegel-Wert und Meßwerten der Gaszusammensetzung beim Aufkohlen in Gas	21
5.5.1 Allgemeines	7	A.3 Örtlich begrenzte Einsatzhärtung	22
5.5.2 Direkthärten	11	Zitierte Normen und andere Unterlagen	23
5.5.3 Einfachhärten	11		
5.5.4 Doppelhärten	12		
5.6 Tiefkühlen	12		
5.7 Anlassen	12		

Fortsetzung Seite 2 bis 23

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



Documents

Document Sharing Hub

1 Anwendungsbereich und Zweck

Diese Norm beschreibt die Verfahrensweisen beim Einsatzhärten und gibt Hinweise für das Einsatzhärten von Werkstücken und Werkzeugen aus Stahl.

2 Begriffe

Die in dieser Norm verwendeten Begriffe und Fachausdrücke der Wärmebehandlung entsprechen DIN 17 014 Teil 1.

3 Kurzbeschreibung des Einsatzhärtens

Das Einsatzhärten besteht aus Aufkohlen oder Carbonitrieren mit nachfolgendem Härten entweder unmittelbar anschließend daran oder nach einem Zwischenkühlen und Wiedererwärmen auf eine zweckentsprechende Härte-temperatur.

Hierzu wird die Randschicht vor dem Härten mit Kohlenstoff (Aufkohlen) oder Kohlenstoff und Stickstoff (Carbonitrieren) angereichert. Die zusätzliche Stickstoffanreicherung bewirkt gegenüber dem Aufkohlen durch Veränderung des Umwandlungsverhaltens in der Randschicht eine höhere Härtebarkeit und nach dem Härten eine höhere Anlaßbeständigkeit.

Je nach den geforderten Gebrauchseigenschaften bzw. den Erfordernissen der nachfolgenden Bearbeitung (z.B. Schleifen) wird nach dem Härten noch angelassen oder tiefgekühlt und angelassen.

Das Einsatzhärten dient dazu, der Randschicht von Werkstücken und Werkzeugen aus Stahl eine wesentlich höhere Härte und dem Werkstück/Werkzeug bessere mechanische Eigenschaften zu verleihen.

4 Kennzeichnen des einsatzgehärteten Zustands

In Zeichnungen ist der einsatzgehärtete Zustand entsprechend DIN 6773 Teil 4 zu kennzeichnen.

Für Angaben, welche die Durchführung des Einsatzhärtens betreffen, ist erforderlichenfalls eine Wärmebehandlungsanweisung (WBA) nach DIN 17 023 oder ein Wärmebehandlungsplan zu erstellen. Kurzangaben für das Einsatzhärten sind nach DIN 17 014 Teil 3 vorzunehmen.

5 Durchführung

5.1 Vorbereitung und Vorbehandlung

Das Vorbereiten bzw. Vorbehandeln der Werkstücke dient dazu, unerwünschte Einflüsse von Eigenspannungen auf den Verzug oder des Oberflächenzustandes auf den Endzustand zu beseitigen und den Wärmebehandlungsablauf abzusichern. Außerdem kann durch Aufbringen von schützenden Oberflächenüberzügen eine örtliche Begrenzung des Aufkohlens vorgenommen werden.

5.1.1 Vorbereiten der Werkstücke

Je nach dem Grad der Oberflächenverunreinigungen und den Qualitätsansprüchen ist es notwendig, die Werkstücke vor dem Aufkohlen oder Carbonitrieren durch Waschen, Trocknen, Beizen, Strahlen, Entgraten, spanabhebende Bearbeitung oder andere geeignete Maßnahmen so vorzubereiten, daß

- das Aufkohlen oder Carbonitrieren nicht durch z.B. schwefelhaltige Kühlschmiermittelreste, Rost, Zunder, Walz-, Schmiede- oder Gußhaut oder sonstige Oberflächenüberzüge behindert wird
- z.B. Salzschnmelzen nicht durch Grate, Späne, Rost, Zunder, Walz-, Schmiede- oder Gußhaut verunreinigt werden

- in Salzschnmelzen nicht durch das plötzliche Verdampfen von Feuchtigkeit Eruptionen auftreten.

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

5.1.2 Spannungsarmglühen

Wenn vorhandene Eigenspannungen das Verzugsverhalten beim Einsatzhärten unzulässig beeinflussen, ist ein Spannungsarmglühen erforderlich. Eine Korrektur der dadurch eintretenden Maß- und Formänderungen ist durch entsprechende Bearbeitungszugabe zu berücksichtigen.

Die Temperatur muß unter 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 Werkstücken ist ein Normalglühen vorzuziehen, wenn beim Spannungsarmglühen infolge Rekristallisation eine Grobkornbildung eintreten kann.

5.1.3 Normalglühen

Die im Werkstück-Rohteil vorhandenen Eigenspannungen können anstatt durch Spannungsarmglühen auch durch ein Normalglühen verringert werden. Gleichzeitig können dadurch Unterschiede im Gefügestand verringert und in kritisch verformten Bereichen kann Grobkornbildung vermieden werden.

Die erforderlichen Temperaturen sind den entsprechenden Technischen Lieferbedingungen der Stähle oder entsprechenden Unterlagen der Stahlhersteller zu entnehmen.

5.1.4 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 Werkstückrohteil anschließend wie beim Härten abgekühlt, können die beim späteren Härten des bearbeiteten Werkstücks zu erwartenden Maß- und Formänderungen reduziert und Betrag und Richtung der zu erwartenden Änderungen abgeschätzt werden.

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

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

5.1.5 Vorbereitung für ein örtlich begrenztes Aufkohlen/Carbonitrieren

Ist es erforderlich, daß bestimmte Bereiche eines Werkstücks nicht aufgekühlt oder carbonitriert sein dürfen, dann kann entweder¹⁾

- ein gegen Aufkohlen oder Carbonitrieren schützender Überzug, z.B. Paste oder eine galvanisch erzeugte Kupferschicht, aufgebracht werden; dieser ist jedoch beim Aufkohlen oder Carbonitrieren in Salzschnmelzen nicht wirksam
- ein Schutzkörper, z.B. Hülsen auf Wellenenden, angebracht werden; die Schutzwirkung ist jedoch begrenzt und bei Behandlung in Salzschnmelzen nicht gegeben
- das Werkstück örtlich begrenzt mit einem das Aufkohlen hemmenden festen Mittel umgeben werden; dies ist nur möglich beim Aufkohlen in Granulat.

¹⁾ Weitere Maßnahmen sind im Anhang A erläutert.

In den nicht aufgekohlten oder nicht carbonitrierten Bereichen ergibt sich nach dem Härten eine Oberflächenhärte entsprechend dem Kohlenstoffgehalt des Ausgangszustandes des verwendeten Stahls.

Die Breite des Übergangs vom aufgekohlten zum nicht aufgekohlten Bereich hängt von der gewählten Schutzmethode ab. Die schmalsten Übergänge ergeben sich durch Aufbringen von Überzügen.

5.1.6 Chargieren der Werkstücke

Beim Chargieren der Werkstücke ist darauf zu achten, daß die Werkstücke so angeordnet sind, daß

- beim Aufkohlen oder Carbonitrieren alle zu behandelnden Oberflächenbereiche dem Behandlungsmittel ungehindert zugänglich sind.
- beim Abschrecken alle zu härtenden Bereiche vom Abschreckmittel möglichst gleichmäßig und mit ausreichender Strömungsgeschwindigkeit erreicht werden.

Aus diesem Grund soll Schüttgut nicht zu hoch und nicht zu dicht geschüttet werden. Gegebenenfalls ist das Haufwerk durch Zwischengitter aufzulockern, sind Werkstücke zu vereinzeln und/oder im Behandlungsmittel zu bewegen oder ist für eine entsprechende Bewegung (Umwälzung) des Behandlungsmittels zu sorgen.

Flächiges Berühren der Werkstücke ist zu vermeiden. Auch linienförmige Berührung kann nachteilig sein, punktförmige Berührung ist dagegen meist unbedenklich.

Einseitig geschlossene oder napfförmige Werkstücke sind beim Abschrecken so anzuordnen, daß ihre Öffnungen möglichst nach oben weisen, damit Dampfblasen entweichen können.²⁾

Die Werkstücke sind so zu packen, daß sie sich weder durch ihr Eigengewicht noch durch aufliegende andere Teile verformen.

5.2 Erwärmen auf Behandlungstemperatur

Der Zeit-Temperatur-Verlauf im Rand und im Kern eines einfach geformten Werkstücks ohne nennenswerte Querschnittsunterschiede beim Erwärmen auf Aufkohlungs-, Carbonitrier- oder Härtetemperatur ist schematisch in Bild 1 dargestellt. Besitzt ein Werkstück jedoch unterschiedliche Querschnittsabmessungen, so ergeben sich in jedem Querschnitt andere Erwärmungskurven für Rand und Kern. Erwärm- und Haltedauer zusammen ergeben die Verweildauer eines Werkstücks in einem Ofen.

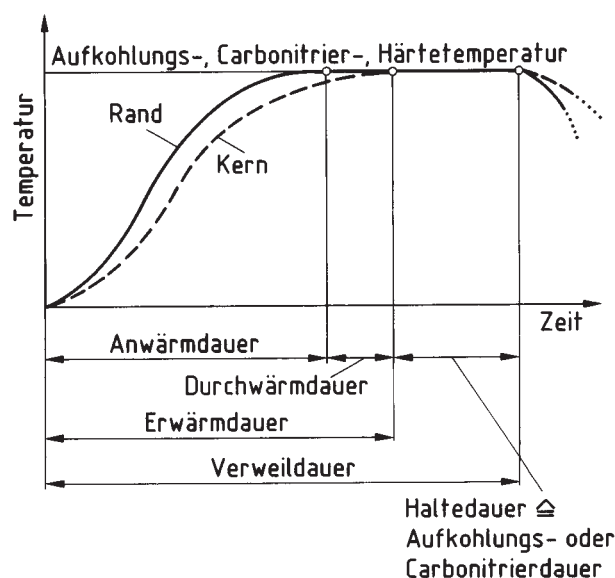


Bild 1. Zeit-Temperatur-Folge für ein Werkstück beim Aufkohlen, Carbonitrieren oder Härten (schematisch)

Beim Erwärmen entstehen zwischen Rand und Kern eines Werkstücks Temperaturunterschiede. Diese sind um so größer, je größer die Querschnitte des zu erwärmenden Werkstücks, je größer die Erwärmungsgeschwindigkeit und je geringer die Temperatur-Leitfähigkeit des Werkstoffes ist. Die Temperaturunterschiede und die zusätzlich hierdurch zu verschiedenen Zeiten ablaufenden Gefügeumwandlungen verursachen Spannungen. Dies kann zum Verziehen 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 gibt Bild 3. Es enthält Anhaltswerte für kreisförmige, quadratische oder rechteckige Werkstückquerschnitte beim Erwärmen in Salzschnmelzen. Für das Erwärmen in Luftumwälzöfen bzw. Kammeröfen können entsprechende Anhaltswerte aus Bild 4 entnommen werden.

5.3 Aufkohlen

Das Aufkohlen erfolgt im Temperaturbereich zwischen 880 und 1050 °C, vorzugsweise zwischen 900 und 950 °C. Die Werkstücke sind vom Aufkohlungsmittel umgeben, aus dem Kohlenstoff an die Werkstückoberfläche abgegeben wird. Ist die Aktivität des Kohlenstoffs im Aufkohlungsmittel höher als im Stahl, diffundiert Kohlenstoff in die Werkstück-Randschicht ein, deren Kohlenstoffgehalt sich dadurch erhöht.

Die Kohlenstoffaktivität des Aufkohlungsmittels wird in der Praxis durch den Kohlenstoffpegel, kurz C-Pegel genannt, gekennzeichnet. Der C-Pegel ist definiert als derjenige Massenanteil Kohlenstoff in %, den eine dünne Folie aus Reineisen im Gleichgewicht mit dem Aufkohlungsmittel über ihren gesamten Querschnitt annimmt.

Die Anreicherung der Werkstückrandschicht mit Kohlenstoff wird durch die Kohlenstoffverlaufskurve wiedergegeben, siehe Bild 5.

Der Verlauf der Aufkohlungskurve wird maßgeblich bestimmt durch:

- den C-Pegel-Wert
- die Kohlenstoffübergangszahl β
- die Diffusionsgeschwindigkeit des Kohlenstoffs im Stahl
- die Aufkohlungstemperatur
- die Aufkohlungsdauer.

²⁾ Die dadurch bedingten Ausschleppverluste an Abschreckmittel müssen dann in Kauf genommen werden.

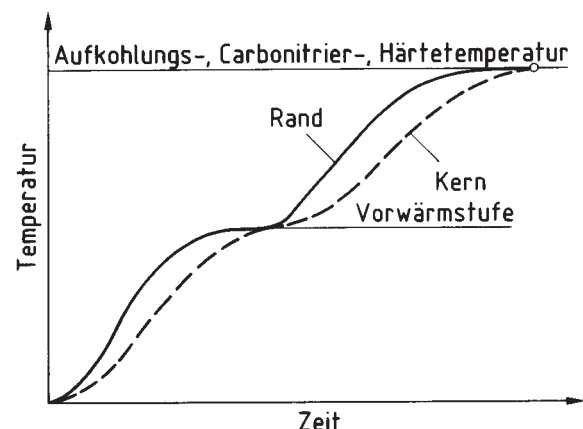


Bild 2. Zeit-Temperatur-Folge beim Aufkohlen, Carbonitrieren oder Härten mit einstufigem Vorwärmen (schematisch)

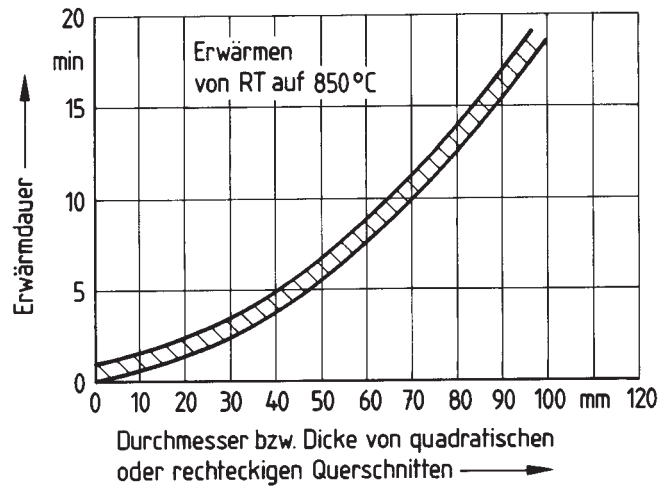


Bild 3. Erwärmdauer für das Erwärmen in Salzschnmelzen (Anhaltswerte nach Versuchen mit zylindrischen Proben ermittelt)

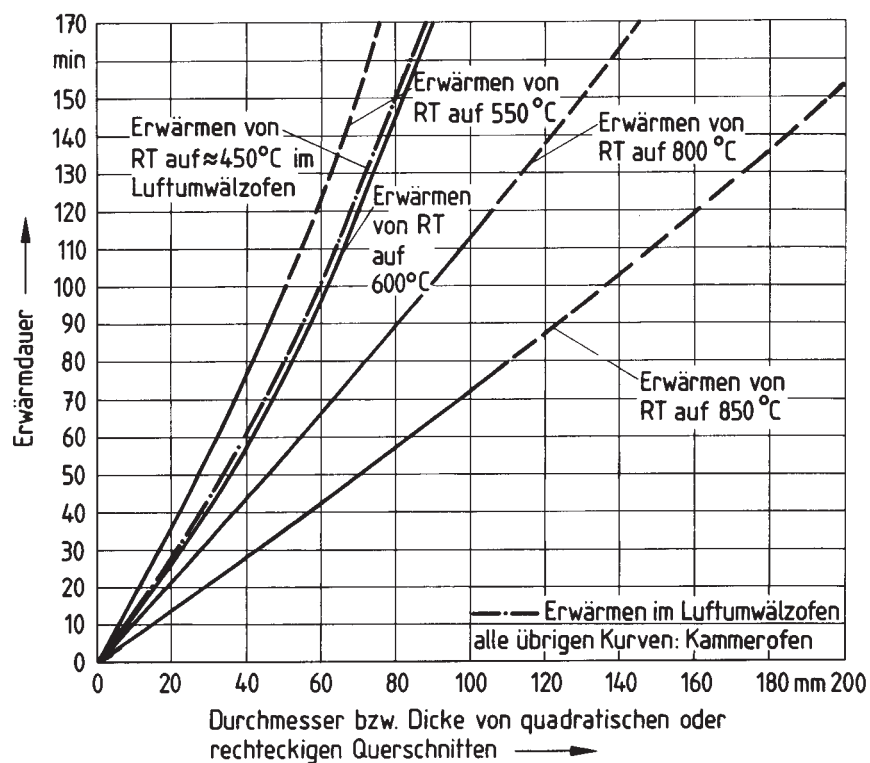


Bild 4. Erwärmdauer in Luftumwälzöfen und Kammeröfen (Anhaltswerte nach Versuchen mit zylindrischen Proben ermittelt)

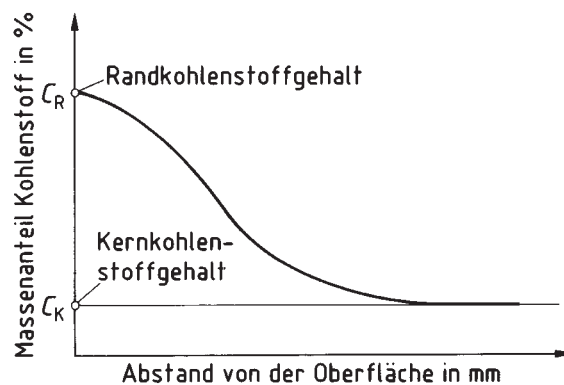


Bild 5. Kohlenstoffverlaufskurve, schematisch

Welcher Randkohlenstoffgehalt erreicht wird, hängt im wesentlichen vom C-Pegel-Wert ab. Ist die Aktivität des Aufkohlungsmittels geringer als der Sättigungswert C_S ³⁾, so kann in der Randschicht höchstens der C-Pegel-Wert erreicht werden, ist sie größer, dann ist der C-Pegel nur fiktiv und der Randkohlenstoffgehalt kann einen Wert entsprechend C_S annehmen. Die Geschwindigkeit, mit welcher der Randkohlenstoffgehalt sich dem Wert des C-Pegels oder des Sättigungswertes nähert, hängt von der Höhe der Kohlenstoffübergangszahl β und der Diffusionsgeschwindigkeit des Kohlenstoffs im Stahl ab. Ist der Kohlenstoffübergang sehr viel größer als die Diffusion, genügt hierzu schon eine kurze Aufkohlungsdauer.

In manchen Fällen wird ein bestimmter Randkohlenstoffgehalt gefordert, der durch das Aufkohlen erreicht werden soll. Empfohlene Höchstwerte zur Erzielung niedriger Restaustenitgehalte nach dem Härten können für die gebräuchlichsten Einsatzstähle aus der Tabelle A.1 entnommen werden.

Für das Aufkohlen legierter Stähle ist auf Grund des Einflusses der Legierungselemente auf die Kohlenstoffaktivität im Stahl ein anderer C-Pegel-Wert als für unlegierte Stähle vorzusehen. Das Verhältnis kann mit einer für die Praxis ausreichenden Genauigkeit mittels nachstehender Gleichung [1] berechnet werden:

$$\lg \frac{C_p}{C_p} = -0,055 \cdot \% \text{ Si} + 0,013 \cdot \% \text{ Mn} + 0,040 \cdot \% \text{ Cr} + 0,013 \cdot \% \text{ Mo} - 0,014 \cdot \% \text{ Ni}$$

C_p entspricht dem C-Pegel-Wert für Reineisen und

C_p ist der entsprechende C-Pegel-Wert für das Aufkohlen legierter Stähle.

3) Der Sättigungswert C_S ist der Massenanteil Kohlenstoff in %, der dem Schnittpunkt der jeweiligen Aufkohlungstemperatur mit der SE-Linie des Eisen-Kohlenstoff-Zustandsschaubildes unter Berücksichtigung des Einflusses der Legierungselemente entspricht.

5.3.1 Aufkohlen mit gleichbleibendem C-Pegel

Wird der C-Pegel-Wert während der ganzen Aufkohlungsdauer unverändert beibehalten, so ergeben sich für die aufgekohlte Randschicht je nach dem Verhältnis von Kohlenstoffübergangszahl zur Diffusionsgeschwindigkeit und der Höhe des C-Pegels schematisch die in Bild 6 dargestellten Kohlenstoffverlaufskurven in Abhängigkeit von der Aufkohlungsdauer.

Kohlenstoffverlaufskurven des Typs A sind beim Aufkohlen in stark aktivierten Salzschnmelzen zu erwarten. Der Typ B ergibt sich beim Aufkohlen in schwach aktivierten Salzschnmelzen, beim Granulatgas-Aufkohlen und in regelbaren Gasatmosphären. Die Kurven des Typs B zeigen, daß erst nach sehr langer Dauer im äußeren Rand der C-Pegel-Wert erreicht wird. Im Fall A und im Fall B ist der C-Pegel-Wert niedriger als die Sättigungsgrenze C_S .

In den Fällen C und D ist der C-Pegel-Wert fiktiv und das Kohlenstoffangebot so hoch, daß nach entsprechender Aufkohlungsdauer ein über der Sättigungsgrenze liegender Randkohlenstoffgehalt erreicht wird, d.h. es entstehen Carbide. Aufkohlen in Granulat oder in sehr schwach oder nicht aktivierten Salzschnmelzen führt zu Aufkohlungskurven des Typs C. Aufkohlungskurven des Typs D ergeben sich beim Aufkohlen in nicht über den C-Pegel regelbarem Gas.

5.3.2 Aufkohlen mit veränderlichem C-Pegel

Anstelle eines Aufkohlens mit gleichbleibendem C-Pegel kann auch mit zeitlich geändertem C-Pegel gearbeitet werden. In der Praxis bewährt hat sich ein Verfahren, bei dem in zwei aufeinanderfolgenden Zeitabschnitten mit jeweils unterschiedlichen C-Pegel-Werten aufgekühlt wird („Zwei-Stufen-Aufkohlen“). Im ersten Abschnitt wird der C-Pegel üblicherweise auf einem Wert in der Nähe des Sättigungswertes C_S gehalten und im zweiten Abschnitt auf einem niedrigeren, dem erforderlichen Rand-C-Gehalt entsprechenden Wert, vergleiche Bild 7.

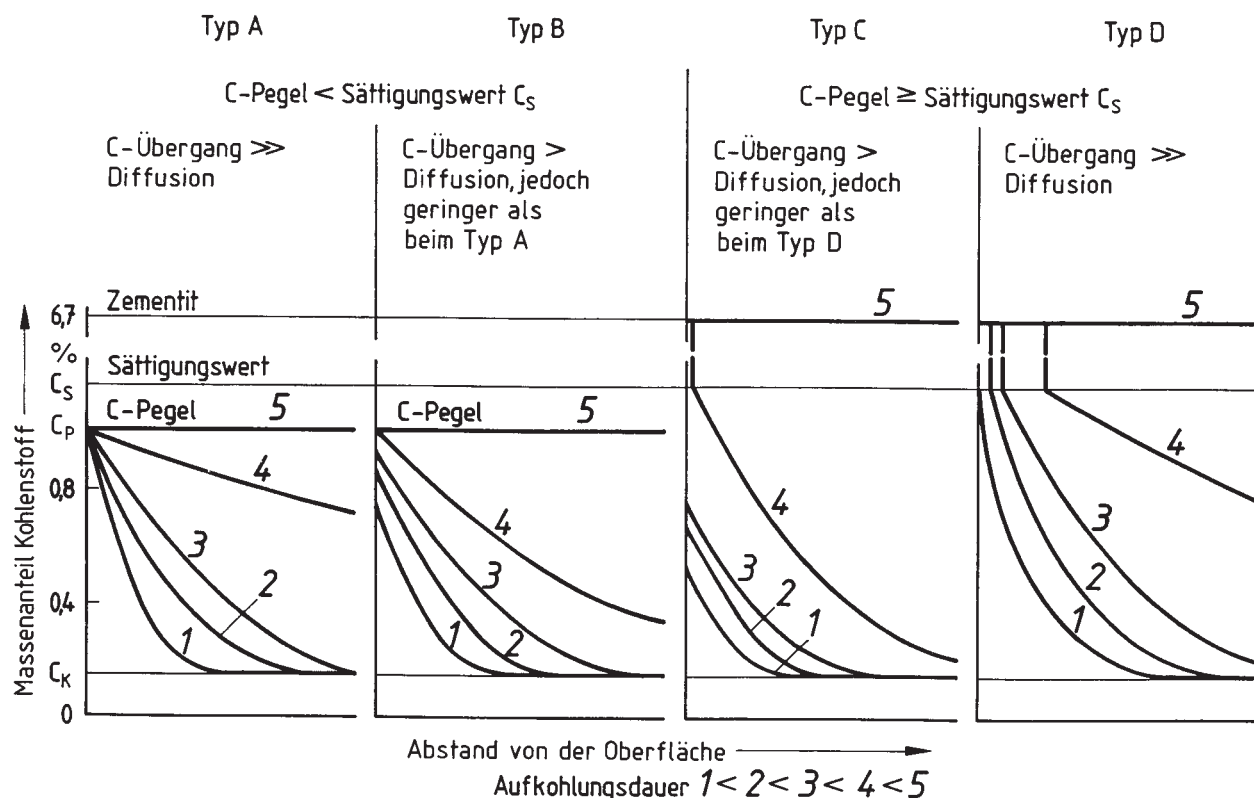


Bild 6. Mögliche Formen der Kohlenstoffverlaufskurven (schematisch) nach Kopietz

C_S = Sättigungswert des Austenits für Kohlenstoff

C_K = Kernkohlenstoffgehalt

C_p = Kohlenstoff-Pegel

5.3.3 Aufkohlungstiefe

Die Aufkohlungstiefe ist eine Kenngröße für die Kohlenstoffanreicherung der Randschicht. Sie wird aus der Kohlenstoffverlaufskurve ermittelt und entspricht dem senkrechten Abstand von der Oberfläche bis zu dem Punkt, an dem noch ein – zu vereinbarenden – bestimmter Kohlenstoffgehalt⁴⁾ vorliegt, vergleiche DIN 17 014 Teil 1 und Bild 7.

Aus Bild 6 ist der Einfluß der Aufkohlungsdauer auf die Aufkohlungstiefe zu entnehmen. Die Aufkohlungstiefe nimmt proportional zur Quadratwurzel aus der Aufkohlungsdauer zu. Da die Diffusionsgeschwindigkeit des Kohlenstoffs im Stahl mit der Temperatur zunimmt, steigt bei gleicher Aufkohlungsdauer die Aufkohlungstiefe mit der Aufkohlungstemperatur. Für Aufkohlungsbedingungen, die zu Kohlenstoffverlaufskurven des Typs B in Bild 6 führen, kann die zum Erzielen einer vorgegebenen Aufkohlungstiefe erforderliche Dauer in Abhängigkeit von C-Pegel-Wert und Temperatur berechnet werden.

5.3.4 Aufkohlen in festen Mitteln (Granulat)

Die Aufkohlungstemperaturen liegen üblicherweise im Bereich zwischen 880 und 950 °C.

Die aufzukohlenden Werkstücke werden in mit dem Aufkohlungsmittel gefüllte Kästen gepackt, die dann vollständig gefüllt, mit einem Deckel verschlossen und in den bereits auf Aufkohlungstemperatur erwärmten Ofen eingebracht werden.

Wegen der relativ langen Durchwärmdauer der Kästen und des langsamen Anstiegs des Randkohlenstoffgehalts sollte die Aufkohlungstiefe nicht unter 0,6 mm liegen. Ein Eingriff in den Aufkohlungsvorgang ist außer durch eine zeitliche Temperaturänderung, die jedoch im Normalfall nicht üblich ist, nicht möglich. Die handelsüblichen Granulate sind hinsichtlich des gewollten Randkohlenstoffgehalts auf eine Aufkohlungstiefe von etwa 1 mm abgestimmt. Für kleinere oder größere Tiefen stehen wirkungsmäßig verstärkte oder abgeschwächte Granulate zur Verfügung.

Mit der Wahl des geeigneten Granulats kann der Gefahr zu starker Überkohlung bei großen Aufkohlungstiefen in begrenztem Maße begegnet werden.

Eine andere Möglichkeit besteht in einem nachfolgenden Glühen (Diffusionsbehandeln).

In manchen Anwendungsfällen stört Überkohlung nicht, jedoch ist beim Schleifen auf gute Kühlung und nicht zu große Zustellung zu achten.

Nach Ablauf der Aufkohlungsdauer werden die Kästen aus dem Ofen entnommen und üblicherweise an Luft abgekühlt.

5.3.5 Aufkohlen in Salzschnmelzen

Üblicherweise werden Temperaturen von 850 bis 980 °C, bevorzugt jedoch 900 bis 930 °C angewendet.

Die aufzukohlenden Teile werden in mit Salzschnmelzen gefüllte Tiegel eingetaucht.

Der C-Pegelwert der Salzschnmelzen liegt im Normalfall zwischen 0,8 und 1,2% C und er läßt sich während des Aufkohlens **nicht** verändern.

Während des Betriebs der Salzschnmelze verbrauchen sich die aufkohlungswirksamen Komponenten der Schmelze. Sie müssen durch Nachfüllen entsprechend den Angaben der Salzhersteller ersetzt werden.

Um eine zu starke Oxidation der Salzschnmelze zu vermeiden und ihre Wärmeabstrahlung einzuschränken, wird die Badoberfläche mit Abdeckkohle bedeckt.

Nach Ablauf der Aufkohlungsdauer werden die Werkstücke aus dem Salzbad entnommen und auf zweckentsprechende Art abgekühlt bzw. nach einer der in Bild 9 angegebenen Verfahrensweisen weiterbehandelt.

⁴⁾ Üblicherweise wird ein Massenanteil Kohlenstoff von 0,35% zugrundegelegt.

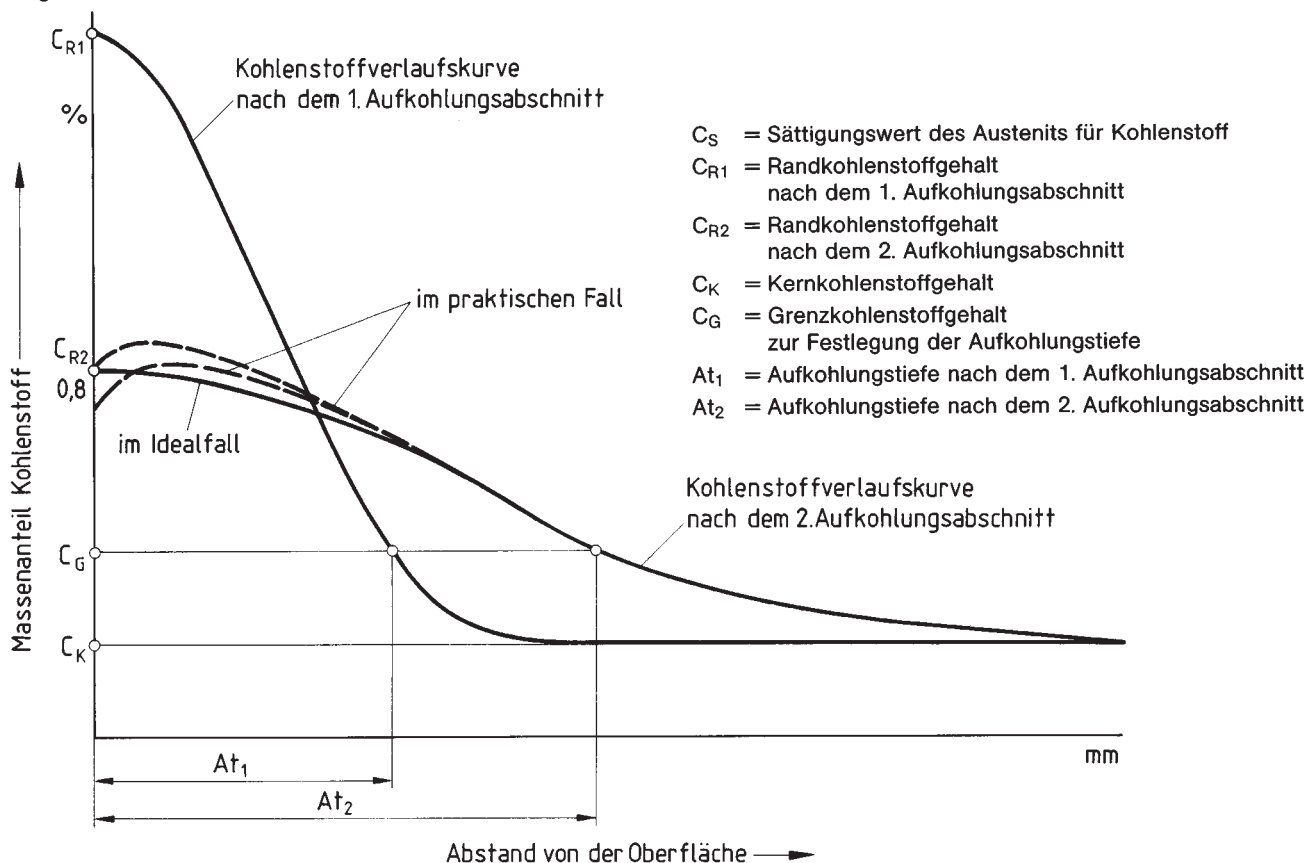


Bild 7. Kohlenstoffverlaufskurven beim Zweistufen-Aufkohlen (schematisch)

5.3.6 Aufkohlen in Gas

Die Temperatur liegt üblicherweise im Bereich von 850 bis 950 °C, kann jedoch auch bis zu 1050 °C betragen.

Die Aufkohlungsatmosphäre kann auf unterschiedliche Weise hergestellt werden, vergleiche Bild 14. Dabei sind regelbare und nicht regelbare Atmosphären zu unterscheiden.

5.3.6.1 Gasaufkohlen mit C-Pegel-Regelung

Die Atmosphäre beim Gasaufkohlen mit C-Pegel-Regelung enthält eine höhere Volumenkonzentration als 10% Kohlenmonoxid und Wasserstoff, unterschiedliche Anteile an Stickstoff und Methan sowie Spuren an Kohlendioxid und Wasserdampf.

Durch Messen des Taupunktes (Wasserdampfgehalt), des Kohlendioxidgehaltes oder des Sauerstoffgehaltes kann der C-Pegel der Atmosphäre ermittelt und hieraus auf die im Gleichgewichtszustand mögliche Aufkohlungswirkung geschlossen werden.

Mit den genannten Meßgrößen ist ein Regeln des C-Pegels durch Verändern der während des Aufkohlens zugegebenen Gasmengen möglich.

Die Zusammenhänge zwischen C-Pegel, Temperatur und den Meßgrößen Taupunkt, CO₂-Gehalt und Sauerstoff-Sondenspannung sind im Anhang A dargestellt.

5.3.6.2 Gasaufkohlen ohne C-Pegel-Regelung

Atmosphären mit einer Volumenkonzentration von weniger als 5% CO, höheren Methangehalten und meßtechnisch nicht erfaßbaren Gehalten an freiem Sauerstoff sind über den C-Pegel nicht regelbar.

5.4 Carbonitrieren

Üblicherweise wird im Temperaturbereich zwischen 700 und 930 °C carbonitriert.

Dabei sind zwei Bereiche zu unterscheiden:

- oberhalb des Ac₃-Punktes des Ausgangswerkstoffzustandes
- zwischen Ac₁ und Ac₃ des Ausgangswerkstoffzustandes.

Die Höhe der Stickstoffanreicherung beim Carbonitrieren hängt maßgebend von der Temperatur ab. Im oberen Temperaturbereich ist die Stickstoffaufnahme geringer als im unteren.

Die Stickstoffanreicherung wirkt sich auf das Umwandlungsverhalten des Werkstoffs aus, und zwar werden die Umwandlungspunkte A₁ und A₃ zu niedrigeren Temperaturen verschoben und der Austenit wird umwandlungsträger, wodurch die Härbarkeit erhöht wird.

Die Verschiebung der Umwandlungspunkte erlaubt es, beim Carbonitrieren niedrigere Temperaturen als beim Aufkohlen anzuwenden. Die höhere Härbarkeit gestattet die Verwendung milder wirkender Abschreckmittel. Auf Grund der Stickstoffanreicherung ist beim Härten carbonitrierter Stähle das Risiko der Restaustenitbildung größer als beim Aufkohlen.

Der obere Temperaturbereich wird bevorzugt, wenn es vorwiegend auf die Härbarkeit der Randschicht, der untere, wenn es hinsichtlich der Gebrauchseigenschaften auf eine bestimmte Stickstoffanreicherung der Randschicht ankommt.

Die Diffusion des Kohlenstoffs beim Carbonitrieren verläuft prinzipiell nach den in Abschnitt 5.3 beschriebenen Gesetzmäßigkeiten, für die Diffusion des Stickstoffs lassen sich dagegen keine dementsprechenden Gesetzmäßigkeiten angeben. In der Praxis wird daher beim Carbonitrieren ebenfalls der C-Pegel für die Beurteilung der Carbonitrierwirkung herangezogen.

5.4.1 Carbonitrieren in Salzschnmelzen

Die übliche Behandlungstemperatur liegt zwischen 700 und 870 °C.

Die zu behandelnden Werkstücke werden in mit Salzschnmelzen gefüllte Tiegel getaucht.

Ein Regeln des C-Pegels während des Carbonitrierens ist nicht möglich.

Während des Betriebs der Salzschnmelze verbrauchen sich die carbonitrierwirksamen Komponenten und sind durch Nachfüllen entsprechend den Angaben der Salzhersteller zu ersetzen.

Eine Oxidation der Salzschnmelze durch Luftsauerstoff ist erwünscht, um durch einen höheren Cyanatgehalt den Teilvorgang des Aufstickens zu verstärken. Carbonitrier-Salzschnmelzen werden deshalb mit unbedeckter Badoberfläche benützt.

Nach Ablauf der Carbonitrierdauer werden die Werkstücke aus dem Salzbad entnommen und direkt gehärtet.

5.4.2 Carbonitrieren in Gas

Die Temperatur liegt üblicherweise im Bereich von 750 bis 930 °C.

Die Carbonitrier-Atmosphäre entspricht einer Aufkohlungsatmosphäre, der je nach Temperatur Ammoniak in einer Volumenkonzentration von 0,65 (780 °C) bis 10 (930 °C) % zugegeben werden.

Der C-Pegel-Wert wird in der Praxis auf Werte zwischen 0,7 und 1,1 Massenanteile C in % eingestellt. Durch die Anwesenheit von Ammoniak in der Atmosphäre werden die Kohlenstoff spendenden Reaktionen beeinflusst, so daß sich gegenüber dem Aufkohlen der CO-Gehalt erniedrigt und dadurch andere C-Pegel-Werte ergeben. Wird dies nicht berücksichtigt, so kann z. B. durch Messen des CO₂-Gehaltes der C-Pegelwert in Carbonitrieratmosphären auf Endogasbasis aus Bild 8 entnommen werden.

5.5 Härten

5.5.1 Allgemeines

In Bild 9 sind schematisch die möglichen Zeit-Temperatur-Folgen beim Einsatzhärten dargestellt.

Die Härtetemperatur richtet sich nach der jeweils geforderten Kernhärte und/oder dem geforderten Gefügestand für Rand und Kern sowie den Anforderungen an das Verzugsverhalten. Hinweise auf gebräuchliche Härtetemperaturen können aus den Technischen Lieferbedingungen der Stähle, z. B. DIN 17 210, DIN 1651, DIN 1654 Teil 3, oder entsprechenden Unterlagen der Stahlhersteller entnommen werden. Dabei ist das unterschiedliche Umwandlungsverhalten der aufgekohlten bzw. carbonitrierten Randschicht und des unbeeinflussten Kerns zu beachten.

Das Abschrecken zum Härten erfolgt bei aufgekohlten bzw. carbonitrierten Werkstücken

- unmittelbar nach Ablauf des Aufkohlens oder Carbonitrierens entweder von Aufkohlungs- oder Carbonitrieretemperatur oder nach vorherigem Absenken auf eine geeignete niedrigere Härtetemperatur (Fall A in Bild 9) oder
- nach Abkühlen auf Raumtemperatur und Wiedererwärmen auf Härtetemperatur (Fall B, D bzw. E in Bild 9) oder
- nach Umwandeln/Umkörnen durch Abkühlen auf eine Temperatur zwischen 650 °C und Raumtemperatur und Wiedererwärmen auf Härtetemperatur (Fall C – Strichlinie in Bild 9) oder
- nach Abkühlen auf eine Temperatur zwischen 550 und 650 °C, isothermischer Umwandlung durch Halten auf dieser Temperatur und Wiedererwärmen auf Härte-temperatur (Fall C – durchgezogene Linie in Bild 9).