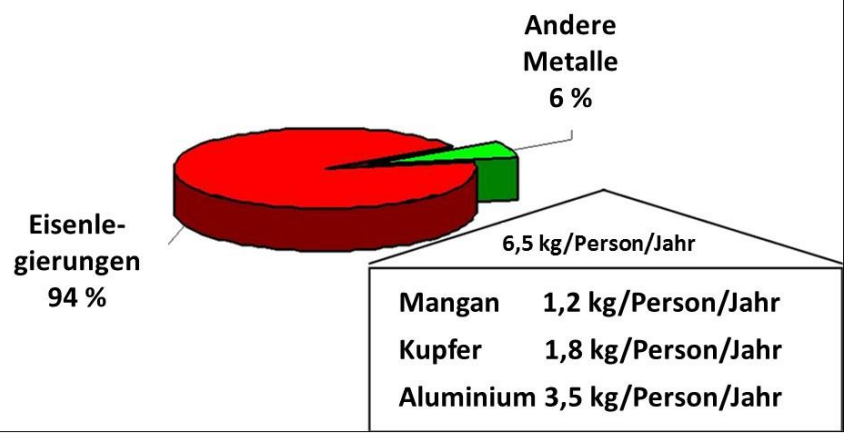
Anyagtudomány és Technológia Tanszék

Einfluss der Legierungselemente auf die Eigenschaften der Eisenbasislegierungen

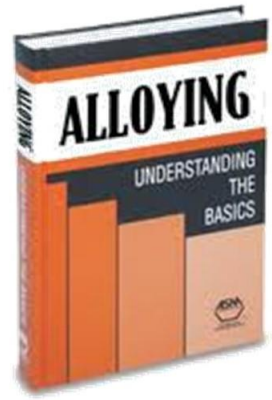
Metallverbrauch

Angaben der hergestellte Metalle



Themen der Vorlesung

- Grundelemente und Legierungselemente
- Verunreinigungselemente
- Einfluss der Kohlenstoff auf
  - die Gefügestruktur
  - Korngröße
  - Anlasswiederstand
  - Anlassprödigkeit
  - Übergangstemperatur
  - Rekristallisationstemperatur
  - mechanische Eigneschaften des Ferrits
  - Karbid- und Nitridbildung

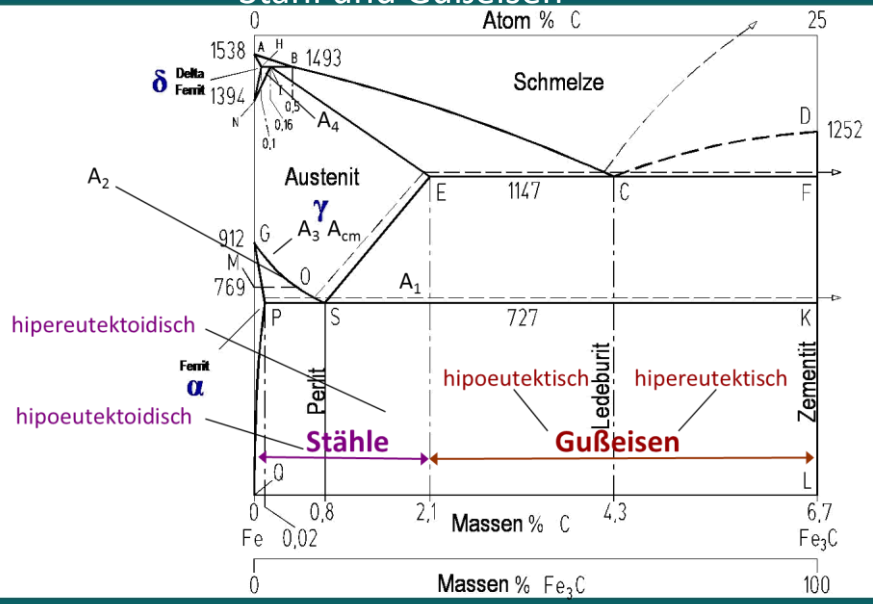


Empfohlene Literatur

Acélok Öntöttvasak;

Szabadíts Ödön 2005 MSZT Szabványkiadó ISBN 963-7087-43-5

Definition der Stahl und Gußeisen



Legierungselemente der Stähle

- Grundelemente
  - **C,** Mn, Si, S, P
  - **O, N, H**
- Legierungselemente
  - Cr, Ni, Mo
  - V, Ti, W, Nb
  - usw.

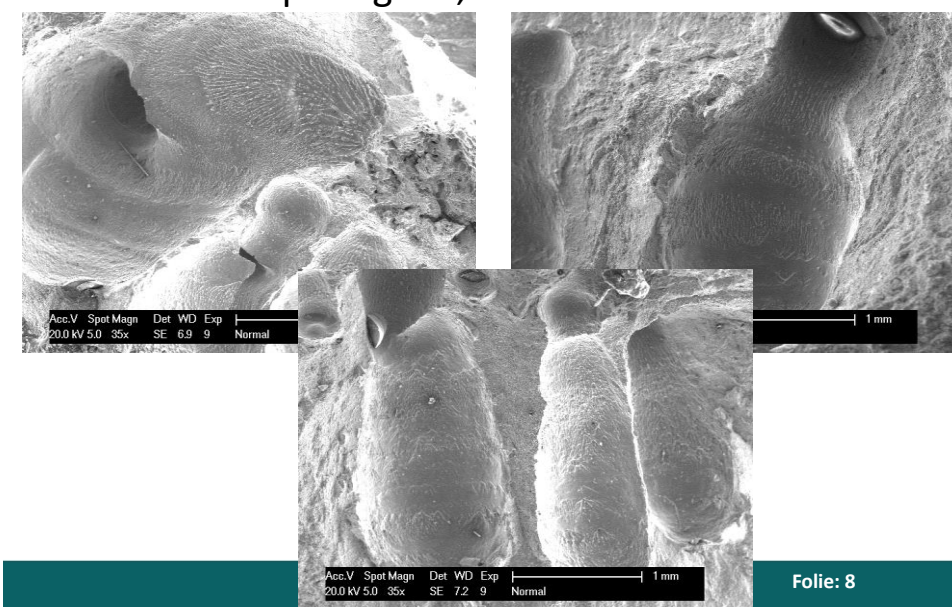
Legierungselemente der Stähle

- Grundlegierungselemente
  - C – primäres Legierungselement
  - Mn – austenitbilder
  - Si – ferritbilder
- Hauptverunreinigungselemente
  - S – Eutektikum verursacht Rotbrüchigkeit
  - P – Eutektikum verursacht Rotbrüchigkeit
  - O – verusacht Gaseischlüsse (CO_2)
  - N – verusacht "Altern" Kerbschlagarbeit KV sinkt
  - H - verursacht Beizsprödigkeit, Beizblasen

Folie: 7

Einfluss der Grundelementen

- H: Beizsprödigkeit, Beizblasen

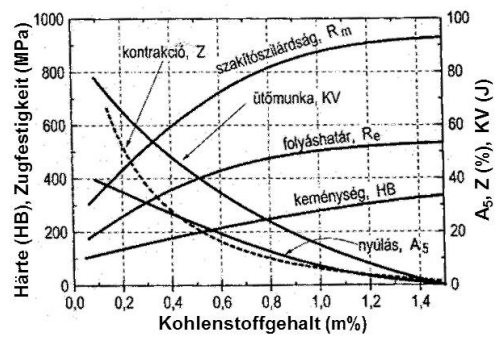


Folie: 8

Einfluss des Kohlenstoffs im weichen Zustand

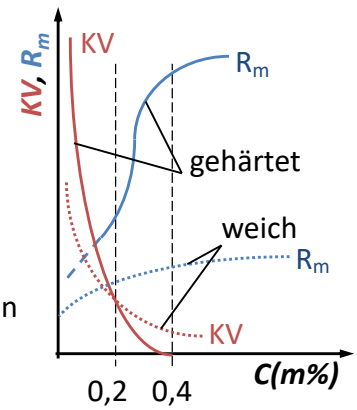
C, Mn Si, S, P, O, N, H

- Einfluss des Kohlenstoffes
  - Festigkeit wächst
  - Verformbarkeit sinkt
  - Kerbschlagarbeit sinkt, Über C > 0,6 % ist die Kerbschlagarbeit kleiner als 40 J, keine Anwendung für Konstruktion (Konstruktionsstähle: C ≤ 0,6 %)



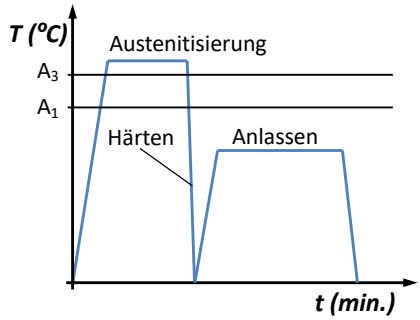
Einfluss des Kohlenstoffs im gehärteten Zustand

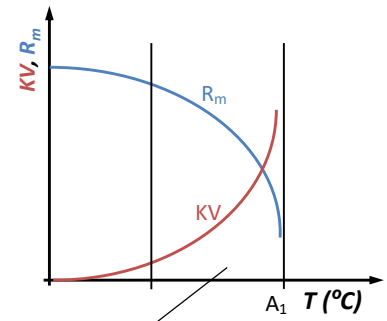
- Im gehärteten Zustand
  - Festigkeit wächst stark
  - Verformbarkeit ist praktisch 0 über 0,4 % C !!
  - C ≥ 0,4 % für Werkzeugstähle
  - Bei kleineren C–Gehalt (C<0,2 %) wächst dir Zähigkeit nach dem Härten
    ⇒ Stähle für Einsatzhärten



Einfluss des Vergütens

Vergüten = Härten + Anlassen





Die mechanische Eigenschaften können sich im breiten Bereich ändern abhängig von der Temperatur des Anlassens.

Einfluss der Legirungselemente auf der Eigenschaften der Stahl

1. Löslichkeit - Ferrit oder Austenitbilder
2. Auf die Nichtgleichgewichts-umwandlung γ → α Umwnadlung
3. Auf der Kornwachstum von Austenit
4. Auf der Anlasswiederstand
5. Auf der Anlasssprödigkeit
6. Auf der Übergangstemperatur
7. Auf der Rekristallisationstemperatur

1. Legirungselemente sind im Stahl löslich?

Keine löslichkeit der Legierungselement
→ **Wird Einschluss (S, As, Pb …usw.)**

Legierungselement ist löslich

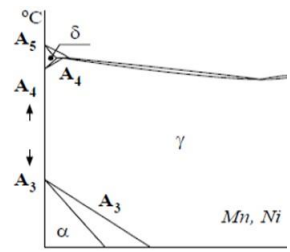
- Löst sich in Ferrit besser →
  Ferritbilder: Cr, Al, Si, W, Mo, V, Ti
- Löst sich in Austenit besser →
  Austenitbilder: Ni, Mn, C, N, Cu

Löslichkeit der Elemente im Eisen

Beeinflussung des γ-Gebietes durch Legierungselemente

a) Erweiterung des Austenit-Gebietes

Die Elemente Ni, Mn, Co, Rh, Pd, Os, Ir, Pt, führen zu einer Erweiterung des - γ Mischkristallbereichs in den Systemen Fe, Element.
Der A_4 Punkt wird erhöht, der A_3 Punkt gesenkt.
Man erhält ein „offenes γ - Gebiet", so dass selbst bei Raumtemperatur „austenitische Mischkristalle" auftreten können (Austenitische Stähle). Das binäre Zustandsdiagram zeigt schematisch folgendes Aussehen:



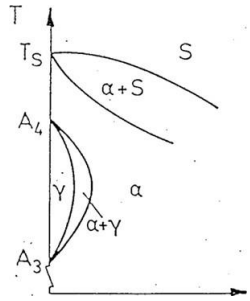
Fe → m% Element

Löslichkeit der Elemente im Eisen

Beeinflussung des γ-Gebietes durch Legierungselemente

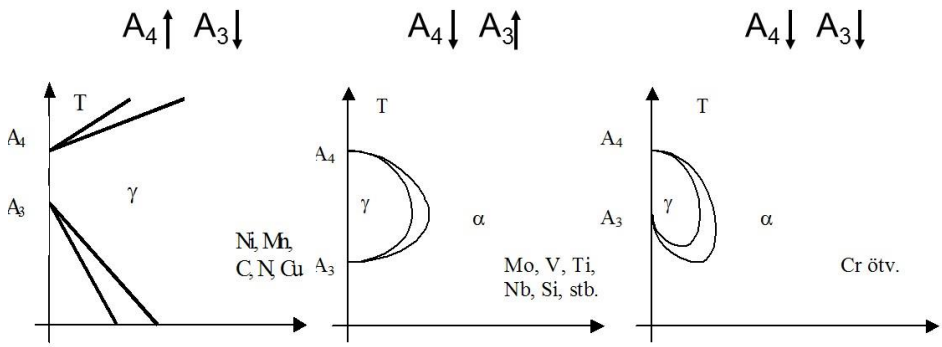
b) Einengung des Austenit-Gebietes

Die Elemente Be, Al, Si, Ti, V, Cr, Mo, Sn, W führen zu einer Einengung des γ - Mischkristallbereichs in den Systemen Fe, Element.
Der A_4 Punkt wird gesenkt, der A_3 Punkt erhöht.
Man erhält ein "geschlossenes γ - Gebiet, so, dass bei relativ kleinen Legierungsgehalten bis zu hohen Temperaturen "ferritische Mischkristalle" auftreten können (Ferritische Stähle). Das binäre Zustandsdiagram zeigt schematisch folgendes Aussehen:



Fe → m% Element

Änderung der Umwandlungstemperatur

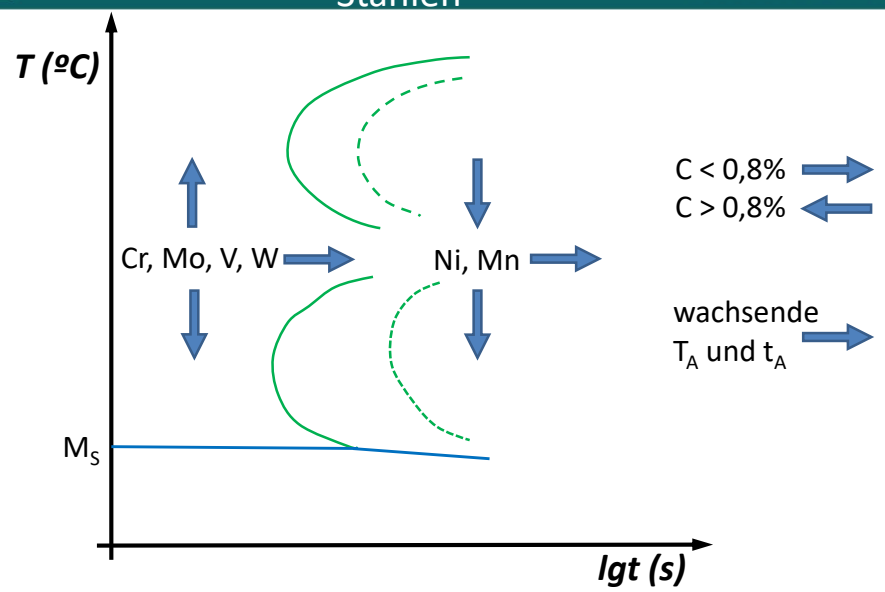


2. Einfluss d. Legirungselemente auf d. nichtgleichgewichts-umwandlungen

- Mit ausnahme der **Co** und **Al** alle Legierungselemente sinken der M_S und M_f Temperatur
- Der Restaustenitmenge wird größer → mit Tiefkühlen kann man abbauen
- Die C-Kurven (ZTU) werden nach rechts und nach Unten verschoben → kritische Abkühlungsgeschwindigkeit sinkt
- Die Durchhärtbarkeit wird verändert!

Folie: 17

Löslichkeit der Elemente in Stählen



Folie: 18

Einflussfaktoren auf die Eigenschaften der Stähle

- Chemische Zusammensetzung
  - Grundelementen
    - C, Mn, Si, S, P
    - O, N, H
  - Legierungselementen
    - Cr, Ni, Mo
    - V, Ti, W, Nb usw.
- Wärmebehandlungszustand

} gemeinsamer Einfluss

Ermittlung der Durchärtbarkeit von Stählen

Vergütung = Härten + Anlassen

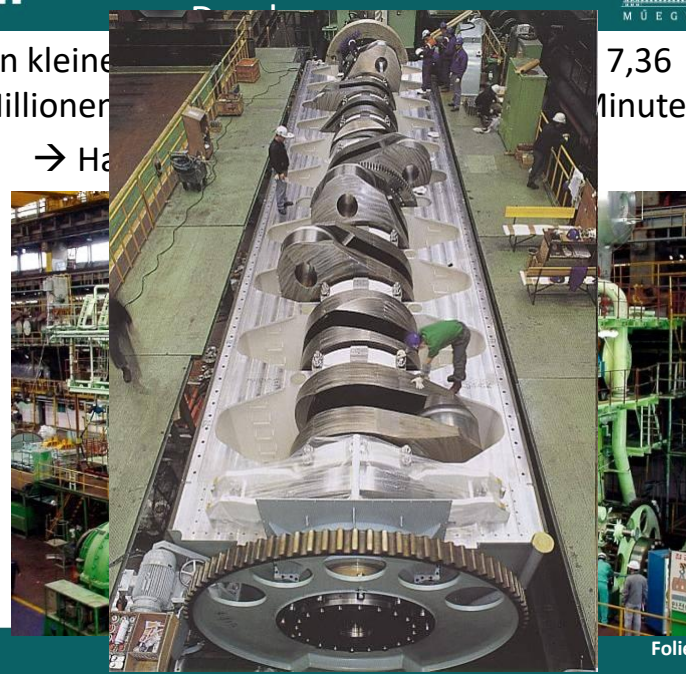
- Die Vergütung ist der wichtigste Technologieschritt zur Gewährleistung der Festigkeits- und Zähigkeitseigenschaften der Vergütungsstähle und Werkzeugstähle.
- Das zu vergütende Werkstück muss die Kriterien zur Vergütung erfüllen.

Relevanz des durchärtbare Durchmessers

- Für die Wärmebehandlungen ist es sehr wichtig, dass das stahl in welcher Tiefe, in welcher Durmesser Härtet
- Wegen der Wärmeleitung können wir die Werkstücke nicht in allen Größen durchärten
- Wenn Abkühlungsgeschwindigkeit im ganzen Masse des Werkstückes größer ist als die kritische Abkühlungsgeschwindigkeit, dann wird es durchgehärtet (Martensit+Bainit(Zwischenstufe), im Praxis 50 %)
- Der der Durchärtbarkeit kann man auch ausrechnen

Relevanz des durchärtbare

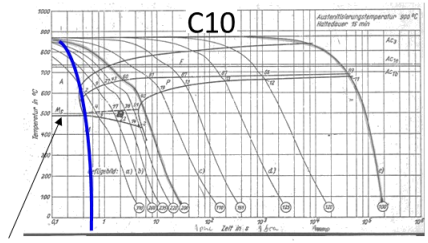
- Ein kleine 7,36 Millioner inute
  → Ha



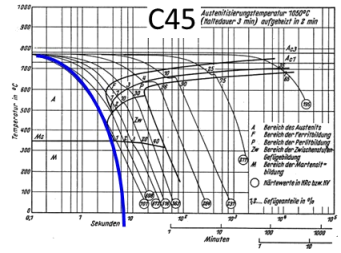
Kriterien zur Vergütung der Stähle

- Erhitzen über die Austenitisierungs-temperatur, A_3 + (20 … 50 ° C)
- Austenitisierung im ganzen Durchmesser
- Schnelleres Abkühlen als die Kritische Abkühlungsgeschwindigkeit
- Praktische Bedingung des Härtens; $C \geq 0{,}2\%$

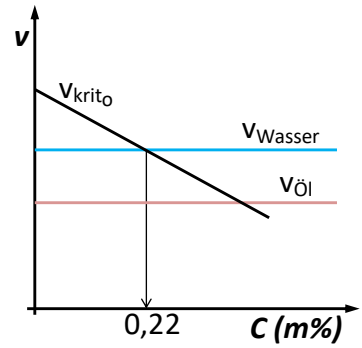
Praktische Bedingungen des Härtens



M_S = 480°C



M_S = 340°C

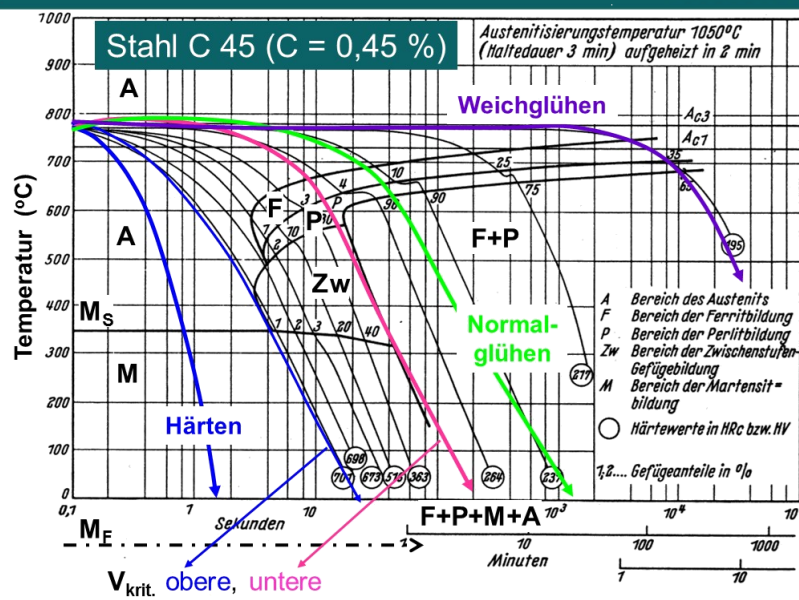


Praktische Grenze der Härtbarkeit

Die Legierungselemente vermindern die Kritische Abkühlungsgeschwindigkeit und die M_S Temperatur

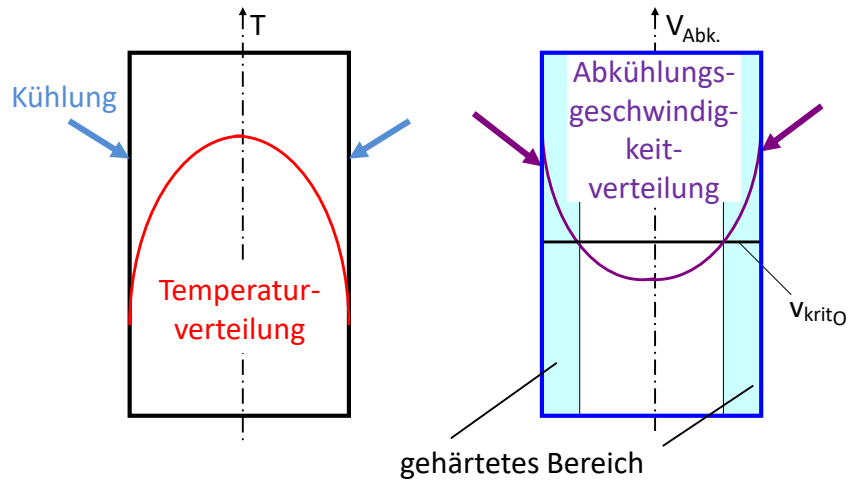
Folie: 25

Einfluss der Wärmebehandlung



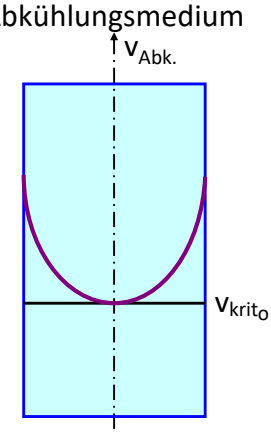
Folie: 26

Durchhärtbare Durchmesser



Definition des Ausärtbare Durchmessers

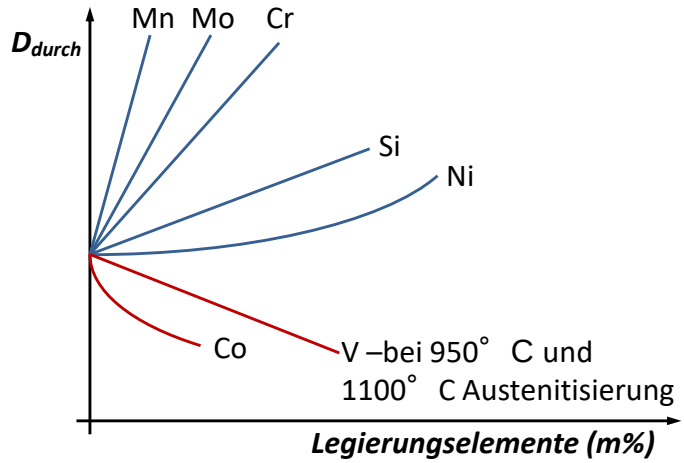
Bei gegebenes Abkühlungsmedium



Durchhärtbares Durchmesser ist das Durchmesser, wobei bei gegebenes Abkühlungsmedium sich das innerste Punkt des Werkstücks noch minimum mit der Kritische (obere) Abkühlungsgeschwindigkeit abkühlt.

$D_{einh.}$ = f (chem. Zusammensetzung, Abkühlungsmedium, Korngröße, gewünschte Martensitmenge)

Einfluss der Legierungselemente auf dem Durchhärtbarem Durchmesser



Berechnung des durchärtbare Durchmessers

Grossmann Formel:

Idele durchärtbare Durchmesser bei 50% Martensitgehalt:

$$D_{id} = 8\sqrt{C}\,1{,}08^{8-n}\prod_{i=1}^{m}\left(1+f_{Me_i}Me_i\right)$$

n Kennzahl für die Korngröße
f_{Me_i} Konstante fürs *i*-te Metall
Me_i Menge der *i*-te Metall
C Kohlenstoffgehalt

Reale durchärtbare Durchmesser

$$D_{re} = D_{id}\eta_{Medium}$$

$\eta_{Wasser} 0{,}75$
$\eta_{Öl} = 0{,}5$
$\eta_{Luft} = 0{,}25$

Konstanten zur Berechnung den durchärtbare Durchmessers und deren Verwendung

$f_{Mn} = 4{,}1$	$f_{Cu} = 0{,}27$	$f_{Ni} = 0{,}52$
$f_{Cr} = 2{,}33$	$f_{Mo} = 3{,}14$	$f_{P} = 2{,}83$
$f_{Si} = 0{,}64$	$f_{S} = -0{,}62$	$f_{V} = 1{,}73$
	$f_{Ti} = 5{,}7$	

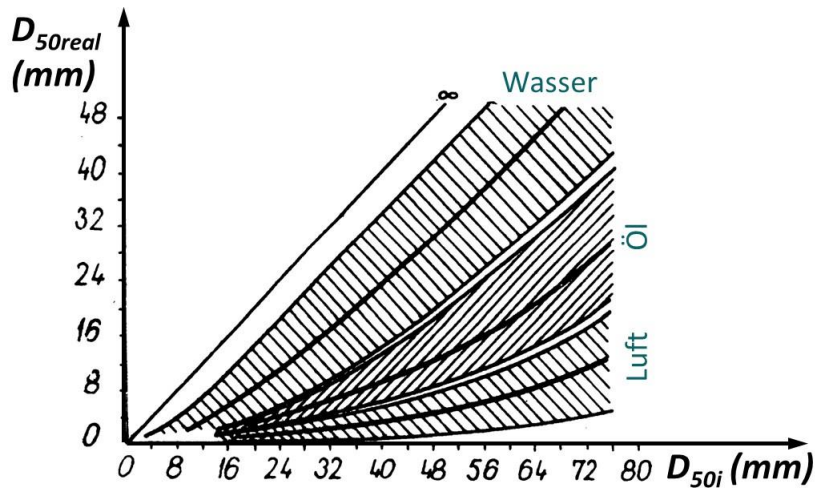
Beispiel:	C = 0,2 %	n = 6	Mn = 2 %
	Cr = 1,3 %		Mo = 0,3 %

$$D_{id50} = 8\sqrt{0{,}2} \times 1{,}08^{8-6}\left[(1+4{,}1\times 2)(1+2{,}33\times 1{,}3)(1+3{,}14\times 0{,}3)\right]$$

$$D_{reWasser} = D_{id50} \times 0{,}75$$

Folie: 31

Ideale und reale durchärtbare Durchmesser bei verschiedene Kühlmedien



Folie: 32

Messungdes durchärtbare Durchmessers
= Stirnabschreckprobe

Jominy-Probe ist auch die gebrauchliche Bezeichnung

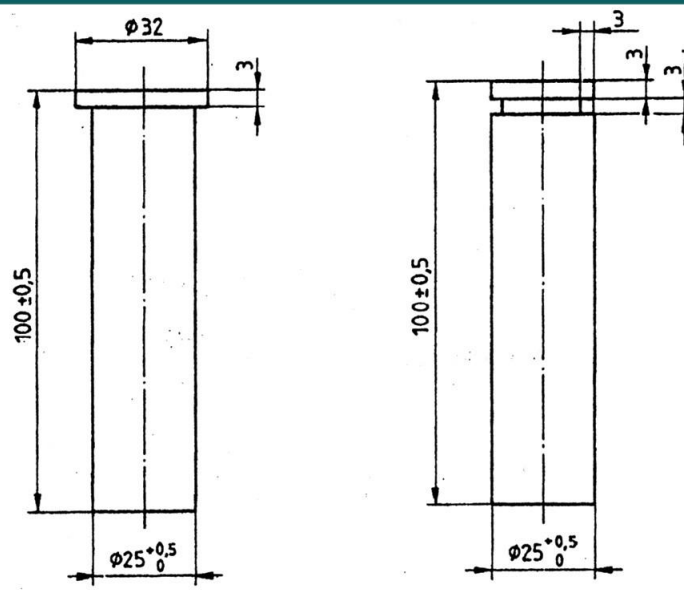
- Genormte Probe
- Genormte Abkühlungsbedingungen

Schritte:

- Austenitisierung
- Kühlung am Stirn (Endplatte)
- Härtemessung
- Auswertung

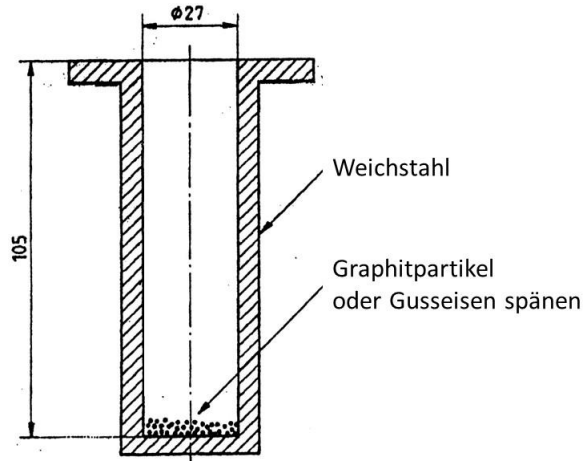
Folie: 33

Genormte Probengeometrie



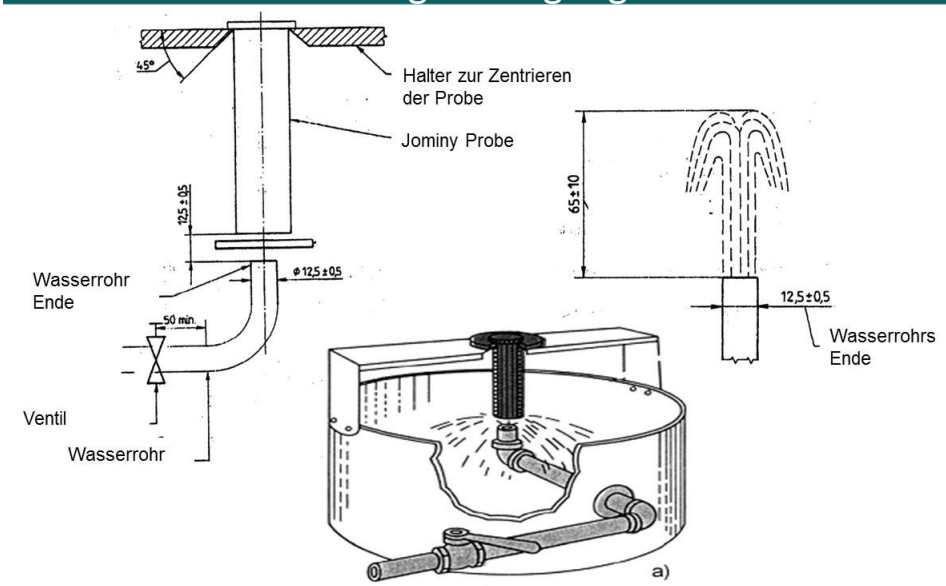
Folie: 34

Austenitisierung

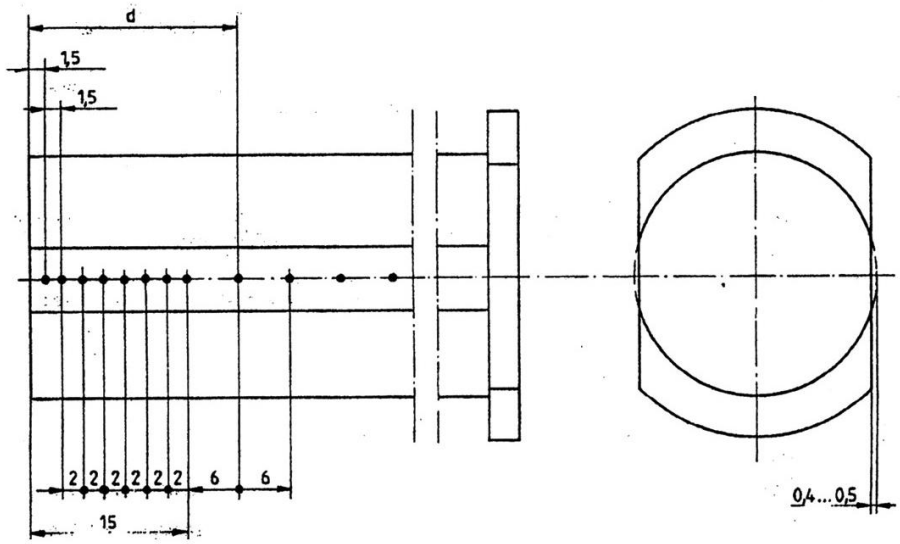


Auf genormte Temperatur mit mindestens 30 Minuten Haltedauer in reduzierender Atmosphäre

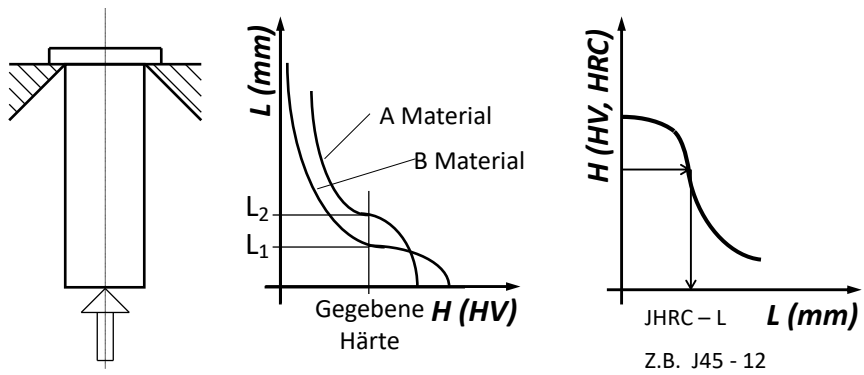
Genormte Abkühlungsbedingungen



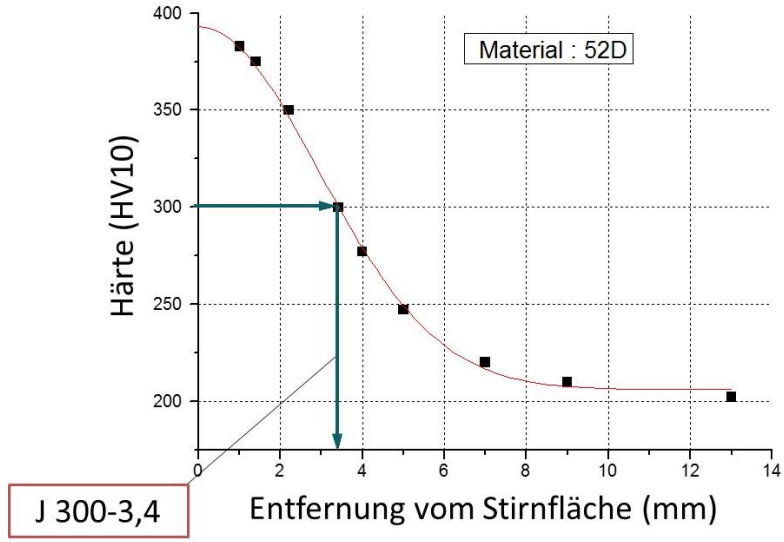
Härtemessung



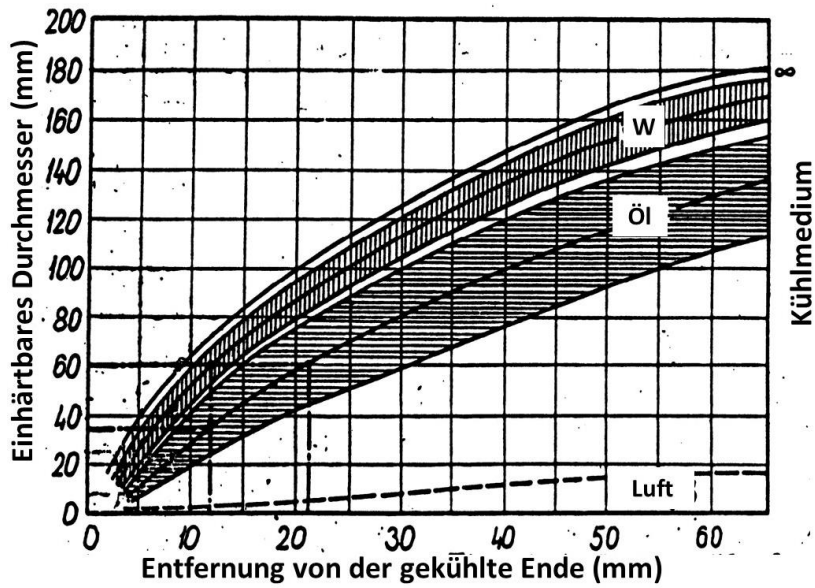
Härteverteilung



Bsp. konkretes Messergebniss

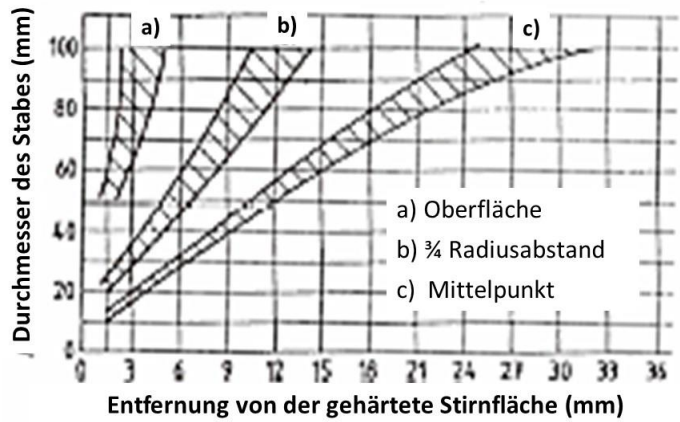


Annähernde Auswertung



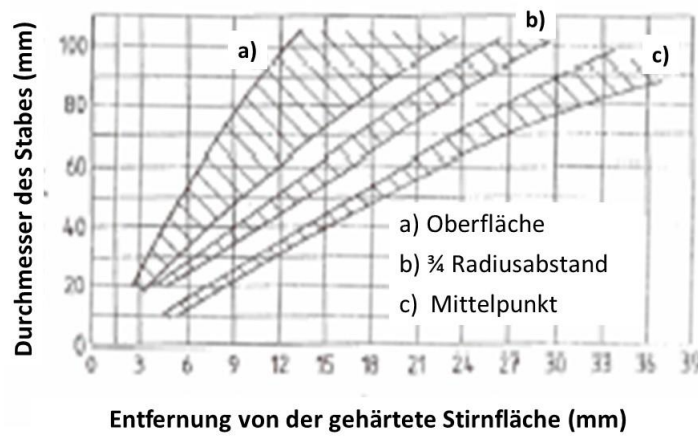
Auswertung nach Norm

Rundstähle, in leicht gerührtes Wasser gehärtet

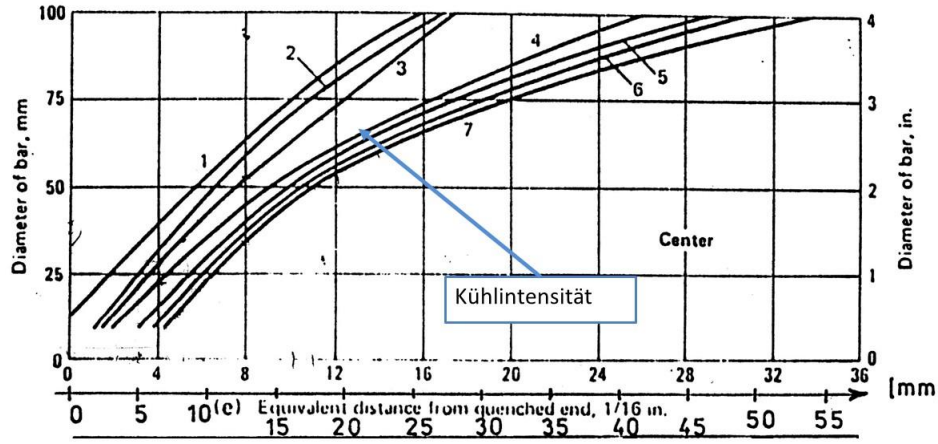


Auswertung nach Norm

Rundstähle in leicht gerührtes Öl gehärtet



Auswertung nach ASM Handbook

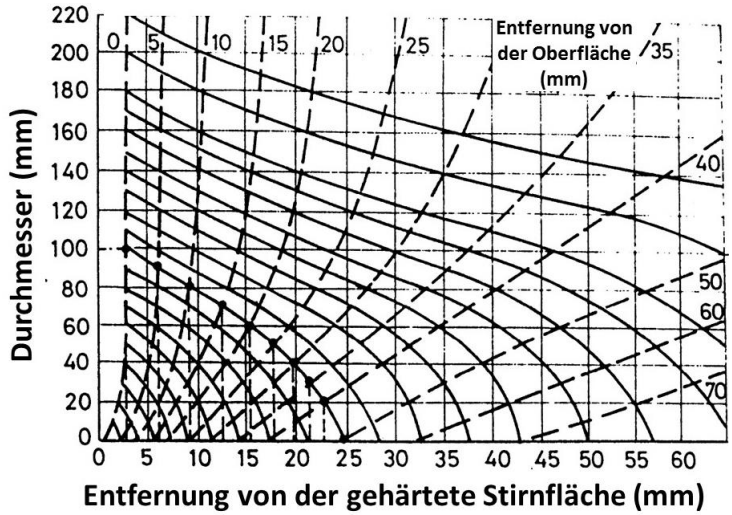


3: ruhiges Wasser 7: ruhiges Öl

Weitere Verwendung der Stirnabschreckprobe

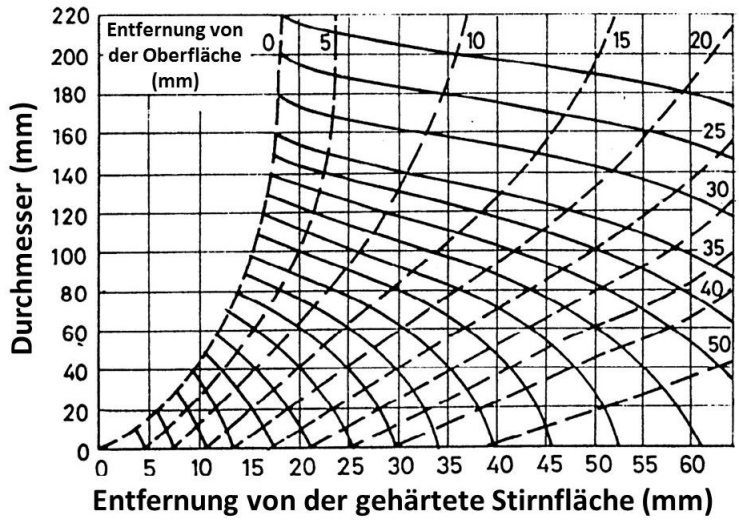
- **Zur Überprüfung der Grundmateriale**
  - Bei gegebener Härte, die gemessene Strecke (6-18mm) soll im genormten Bereich liegen (z.B.. J 45 – 6/18 hier is Die Härte in HRC gegeben, es ist auch möglich in HV anzugeben: J350-6/18)
  - Bei gegebener Distanz (15 mm) soll die gemessene Härte im genormten Bereich liegen (J 38/45-15) oder J340/490-15
  - In einigen Ländern: J 15=35/40
- **Technologische Informationen:**
  - mit Härten erreichbare maximale und minimale Härte,
  - Härteverteilung im Durchmesser
    - (Oberflächenhärten-Verschleißfestigkeit, Spanbarkeit usw.)

Auswertung mit Härtetrajektorien, für Wasserkühlung



Folie: 45

Auswertung mit Härtetrajektorien, für Ölkühlung



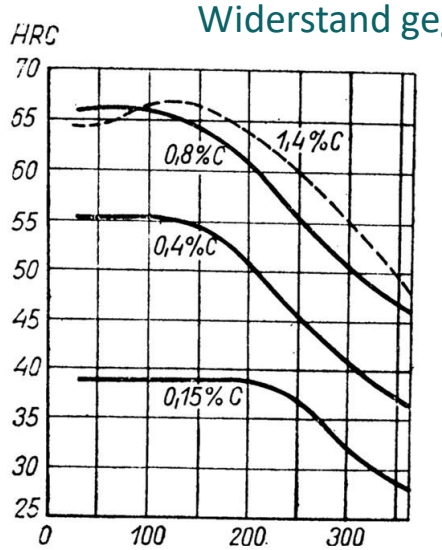
Folie: 49

3. Einfluss der Legierungselemente auf der Austenitkorn-Wachstum

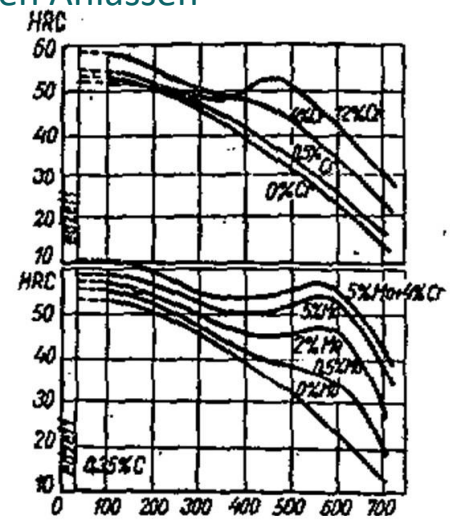
- Mn, Si und B erhöhen die Neigung zur Kornvergröberung
- Kornfeinernd sind: Ti, V, Nb, Al, Zr
  - Bilden kleine gut verteilte Karbonitriden, die als Kristallkeime dienen und erhöhen die Energiebedarf auch für die Korngrenzen-Bewegung
- Die anderen Legierungselemente haben praktisch kein Einfluss auf die Kornvergröberung

Folie: 46

4. Einfluss der Legierungselemente auf der Widerstand gegen Anlassen



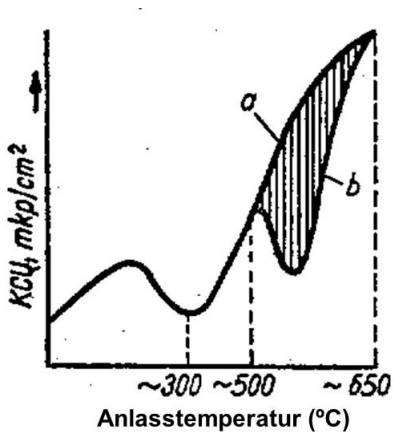
Anlasstemperatur für 1 Stunde (°C)



Anlasstemperatur für 1 Stunde (°C)

Folie: 47

5. Einfluss der Legierungselemente auf der Anlasssprödigkeit



- **Cr, Mn** auf 500-650°C Temp. angelassen und langsam abgekühlt verursacht Sprödigkeit (KV sinkt)
- Andere Eigenschaften ändern sich nicht
- Ursache: Karbide, Nitride, Fosphide, Leg.elmente seigern an der Korngrenzen
- **P** → wird schlimmer
- **Ni** – kein Problem aber mit **Mn** und **Cr** nicht gut
- 0,2…0,3% **Mo** oder 0,5-0,7% **W** und schnelle Abkühlung hilft

Folie: 48

6. Einfluss der Legierungselemente auf der Zäh-Spröd Übergangstemperatur ($TTKV_{50-50}$)

- **Ni** Legierung Verschiebt das KV(T) Diagramm nach links (besser)
  - 1% Ni ~20°C Verschiebung
- Komplexe Kornfeinerung hilft
  - N**b, V, Ti, Al, Zr** Mikrolegierung ~40°C Effekt
- KV(T) Diagramm nach rechts verschoben (schlechter)
  - **C**, 0,1% C ~25°C
  - **P**, 0,1% P ~55°C
  - **N**, 0,01% N ~300°C (in gelöste Zustand)
  - **O**, 0,01% O ~200°C (in gelöste Zustand)

Folie: 49

6. Einfluss der Legierungselemente auf der Rekristallisationstemperatur

- Die Warmfestigkeit und Rekristallisationstemperatur wird erhöht:
  - W, Mo ~110°C/At%
  - V ~55°C/at%
  - Cr~30°C/at%

Gruppierung der Stähle

Gruppierung der Stähle

- Nach der Qualitätsgruppen:
  - Grundstähle
    - Es gibt keine solche Vorschreibung wofür bei der Herstellung Besondere Behandlungen nötig wären
  - Qualitätsstähle
    - Die Vorschriften zwischen Grundstählen und Vergütungsstählen sind Gültig, man braucht sie genau herzustellen (Korngröße, S-Gehalt, Oberflächenqualität…usw.)
  - Vergütungsstähle
    - Man braucht sie mit große Gründlichkeit herzustellen, können legiert und unlegiert sein (alle Stähle für Wärmebehandlungen)

Folie: 53

Gruppierung der Stähle

- Nach der Herstellung:
  - Konverterstahl
    - (Bessemer Stähle)
    - L-D Stähle (Sauerstoff-Aufblas Verf.)
    - AOD (Argon Oxygen Decarburization)
  - Elektrostahl
    - Lichtbogenofen
    - Induktionsofen
  - Siemens-Martin Stähle
  - Umgeschmolzene Stähle
    - Vakuumstähle

Folie: 54

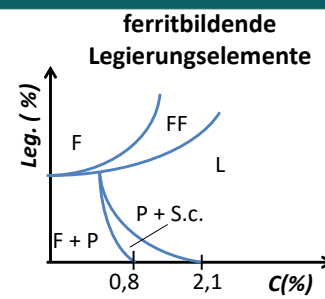
Gruppierung der Stähle

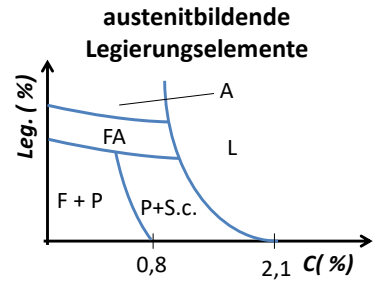
- Nach Desoxidation
  - Unberuhigter Stahl (csillapítatlan)
    - gutes Materialausbeute, Oberflächenqualität gut, kalt gut verformbar, altern sich schnell, C<0,2-0,25%
    - Si < 0,07 % unberuhigter Stahl
    - halbberuhigter Stahl
  - Beruhigter Stahl
    - Si ≥ 0,12 % beruhigter Stahl
    - Sauerstoff wird im festen Zustand gebunden (Si, Mn, Al), einen Teil kann als Einschluss im Material bleiben, schlechtere Materialausbeute, keine Gasbalsen
  - Besonders Beruhigte Stähle:
    - Stickstoff wird auch gebunden und kornfeinernde Legierungselemente (Al, V, Nb, Ti edle Desoxidierungselemente), Altern sich am wenigsten, TTKV besser

Gruppierung der Stähle

- Nach Gefüge(struktur):
  - Ferritisch (F)
  - Halbferritisch (FF)
  - Hipoeutektoidisch (F+P)
  - Eutektoidisch (P)
  - Hipereutektoidisch (P+S.c.)
  - Ledeburitisch (L)
  - Halbaustenitisch (FA)
  - Austenitisch (A)

Gefüge(struktur) im Gleichgewicht





Gruppierung der Stähle Gefüge nach Wärmebehandlungen

- Gleichgewichtsgefügen
  - r Ferrit
  - r Perlit
  - r Zementit (s Eisenkarbid)
- Nicht Gleichgewichtsgefügen
  - r Zwischenstufe
  - r Martensit
  - r Sferoidit

Gruppierung der Stähle

- Nach chemische Zusammensetzung
  - Unlegierte Baustähle:

    Mn < 0,8 %, Si < 0,5 %, P, S, Cr, Ni, Nb, V zufällig

  - Legierte Stähle
    - Niedriglegierte (Bau)stähle:

      Σ Legierungselement < 5 %
    - Legierte Stähle:

      5 % ≤ Σ Legierungselement < 10 %
    - Hochlegierte Stähle:

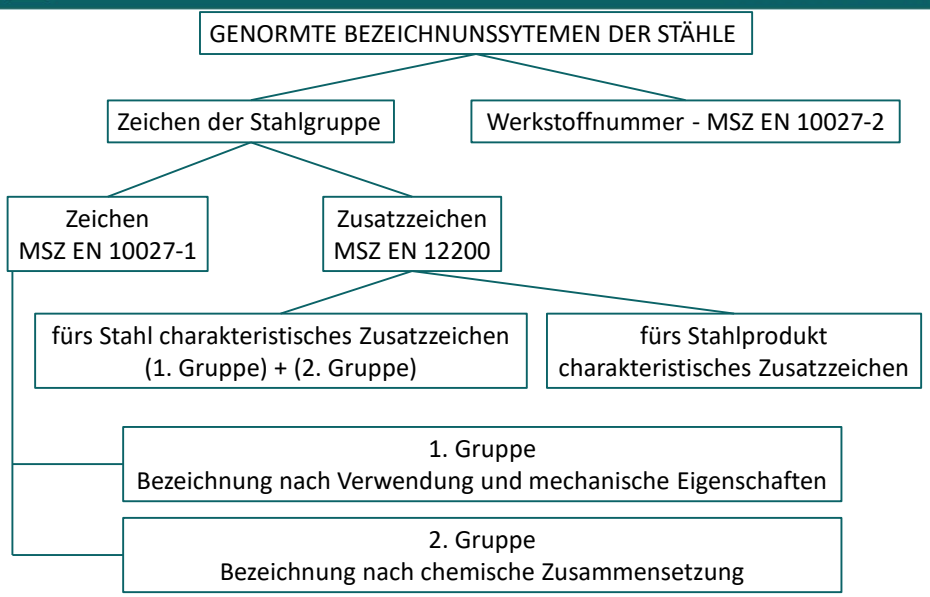
      Σ Legierungselement ≥ 10 %

      Bis zu 55 % Legierungselementgehalt

Gruppierung der Stähle

- Nach Anwendung:
- Baustähle (C = 0 … 0,6 %)
  - Maschinenbau, Fahrzeugbau, Stahlkonstruktionen
  - Neben Festigkeit auch die Zähigkeit ist eine Anforderung
- Werkzeugstähle (C = 0,4 … 2,1 %)
  - Spanwerkzeuge und Umformwerkzeuge
  - Verschleißfestigkeit, Starrheit, Harte (Zähigkeit)
  - Vergütbare und ausscheidungshätbare Legierungen
- Besondere Stähle und Legierungen (wenn Σ Leg. El. < 55 %)
  - Erwünschte spezielle Eigeneschaften: warmfeste Stähle, kaltzähe Stähle, Rost- und säurebeständige Stähle, Hitze- und zunderbeständige Stähle

Stahlbezeichnungen



Werkstoffnummern

(MSZ EN 10027 -2)

Stahlgruppe | Zeilenniummer

1 . 77 83 . xx (X 41 CrMoV 5 1)

Werkstoff-Hauptgruppe | Sorten-Nummer | Anhängezahl

Hauptgruppenr.	Werkstoff Hauptgruppen
0	Gußeisen
1	Stahl
2	Schwermetalle
3	Leichtmetalle
4	Metallpulver
5-8	Nichtmetallische Werkstoffe
9	Frei für andere

Stahl-Kurznamen – physikalische Eigenschaften

Z.	Anwendungsgebiet	Haupteig.	Bsp.
S	Konstruktionsstähle	R_{eH} (MPa)	S235
P	Stähle für Druckbehälter	R_{eH} (MPa)	P275
L	Stähle für Rohrleitungen	R_{eH} (MPa)	
E	Maschinenstähle	R_{eH} (MPa)	E235
B	Betonstähle	R_{eH} (MPa)	
Y	Stähle für vorgespannte Stahlkonstruktionen	R_{eH} (MPa)	
R	Schienenstähle und Schienen	R_{eH} (MPa)	
H	Kalt gewalzte Flachprodukte aus hochfeste Stähle fürs Kaltziehen	R_{eH} (MPa)	H400
		$T+R_{eH}$ (MPa)	HT400

Stahl-Kurznamen – physikalische Eigenschaften

Z.	Anwendungsgebiet	Bemerkung
D	Flachprodukte für Kaltverformung	C – kaltgewalzt Produkt + Nummer
		D – warmgewalzte Produkt + zwei Nummern
		X – Walzzustand ist nicht vorgeschrieben + zwei Nummern
T	Verzinnte Produkte (fürs Verpackungen)	H + vorgeschriebene Rockwell Härte
		R_{eH} (MPa)

Folie: 76

Stahl-Kurznamen – physikalische Eigenschaften

Z.	Verwendungsgebiet	Bemerkung
M	Elektrotechnische Stähle	Wattverlust × 100, Dicke × 100
		A – keine Kornorientation
		B – unlegiertes Halbprodukt
		E – legiertes Halbprodukt
		N – herkömmlich orientierte Körner
		S – kleine Verlust orientierte Körner
		P – Große Permeabilität mit orientierte Körner

Folie: 77

Zusatzzeichen I

- G, als erste Zeichen → Guss

Zusatzzeichen für ergänzende Eigenschaft			Prüf-temperatur (° C)
Vorgeschriebene Kerbschlagarbeit KV			
27 J	40 J	60 J	
JR	KR	LR	+20
J0	K0	L0	0
J2	K2	L2	-20
J3	K3	L3	-30
J4	K4	L4	-40
J5	K5	L5	-50
J6	K6	L6	-60

Zusatzzeichen II

M – Thermomechanisch behandelt
N – Normalisiert, oder auf geregelte Temperatur gewalzt
Q – Vergütet
G – andere Eigenschaften mit ein oder zwei Ziffern
G1 – desoxidiert
G2 – nicht desoxidiert

Zusatzzeichen III

C – spezielle Kaltverformbarkeit
D – in Metallschmelze eingetaucht Beschichtet
E – Emailliert
F – Geschmiedet
H – Hohlprofile (üreges szelvények)
L – für kleine Betriebstemperaturen
T – für Rohre
X – für große und kleine Betriebstemperaturen
W – Wetterfest
Elementsymbole einer Legierungselements (Multiplikatorfaktoren!), zB. Cu5 – 0,5% Cu

Folie: 80

Stahl-Kurznamen

(MSZ EN 10027 -1)

Kurznamen nach der Verwendung:

G S 355 J2 G2 W Cu5

- G S: Nur bei Gußmaterial **G** Buchstabe
- S: Konstruktionstahl
- 355: Haupteigenschaft R_{eH}=355 MPa
- J2: Additionale Zeichen:
  J2 – 27J -20 ºC
  M – Termomechanisch behandelt
  N – Normalisiert
  Q – Vergütet
- G2 W: Additionale Eigenschaft:
  W – Wetterfest
  G2 – beruhigt
- Cu5: Cu × 10 (m%)

Folie: 68

Stahl-Kurznamen

- Nach der chemischen Zusammensetzung
  - Unlegierte Stähle:
    - Wenn Mn < 1 % (ausgenommen Automatenstahl)

C45 → C × 100 (m%) (C = 0,45 %) (Mittelwert)

    - Wenn Mn ≥ 1 % und alle Legierungselementen < 10 % (ausgenommen Schnellarbeitsstähle und automatenstähle)

37 Cr Mo 4

C × 100 (m%) (C=0,37 %)	Legierungselementen, in der Reihenfolge	Legierungselementen gehalt, in der Reihenfolge Cr × 4; Mo × 10;

Stahl-Kurznamen

Multiplikatorfaktoren für chem. Zusammensetzung:

Cr, Co, Mn, Ni, Si, W	Al, Be, Cu, Mo, Nb, Pb, Ta, Ti, V, Zr	C, N, P, S	B
4	10	100	1000

- Legierte Stähle: Wenn min. ein Element Z.s. > 10%

X8 Cr Ni 18 - 10

C × 100 18 10

- Schnellarbeitsstähle

HS 6-5-2-5

W-Mo-V-Co %

Gruppierung nach Anwendung

- Baustähle (C = 0 … 0,6 %)
  - Maschinenbau, Fahrzeugbau, Stahlkonstruktionen
  - Neben Festigkeit auch die Zähigkeit ist eine Anforderung
- Werkzeugstähle (C = 0,4 … 2,1 %)
  - Spanwerkzeuge und Umformwerkzeuge
  - Verschleißfestigkeit, Starrheit, Harte (Zähigkeit)
  - Vergütbare und ausscheidungshätbare Legierungen
- Besondere Stähle und Legierungen (wenn Σ Leg. El. < 55 %)
  - Erwünschte spezielle Eigeneschaften: warmfeste Stähle, kaltzähe Stähle, Rost- und säurebeständige Stähle, Hitze- und zunderbeständige Stähle

Baustähle

- Baustähle
  - A: warmgewalzte Baustähle
  - B: Flachprodukte für Druckbehälter
    - Schweißbarkeit, Verformbarkeit
  - C: Stähle für Kaltverformung
  - D: Vergütungsstähle
  - E: einsatzhärtbare Stähle
  - F: nitrierbare Stähle
  - andere Stahltypen, für besondere Zwecke

A: wamgewalzte, unlegierte Baustähle

- Herkömmliche Verwendung, Zeichen S und E
- warmgewalzte oder geschmiedete Zustand
- Zertifikat für R_m, R_{eH}, A, KV, Zusammensetzung
  - im Fall von Flachprodukten auch Biegsamkeit
  - im Fall von Zeichen E keine KV
- Bei größeren Anforderungen können nicht verwendet werden, für Schweißen nur mit vorgeschriebene KV
  - C_e<0,5%
- viele Ausstattungen nach der Zusatzzeichen
- Bsp.: S235JR

A: normalisierte, normalisiert gewalzte, schweißbare, feinkörnige Stähle

- Während normalisierendes Walzen der Wärme Zu- und abfuhr wird überwacht
- Korngröße größer als 6
- Gleiche Kennzeichen aber zusätzlich:
  - N: normalisiert (in allen Fällen)
  - L: vorgeschriebene KV auf -50°C 27 J
- Bsp.: S275N, S275NL

A: thermomechanisch gewalzte, schweißbare, feinkörnige Stähle I

- Während thermomechanisches Walzen beginnt der Verformung über die Rekristallisationstemperatur, aber der Prozeß beendet unter der Rekristallisations-temperatur
- Die Rekristallisationstemperatur wird mit Nb erhöht
- Die Kornfeinerung wird mit Ti gefördert
- Zusatzkennzeichen: M
- Bsp.: S355MN, S355ML

A: thermomechanisch gewalzte, schweißbare, feinkörnige StählelI

- Wasserstoff-druckbehälterstähle
- Problem: H zerlegt die Eisenkarbide im Stahl durch Oberflächendissoziation und Diffusion
  - auf größere Temperatur 200°C beschleunigt sich das Prozess
  - Zugspannung beschleunigt das Prozess
- Lösung: Legierungselemente mit stabilen Karbide
  - Cr, Mo, V, W
- Warmfestigkeit wird auch besser
- wird im vergüteten Zustand eingebaut
- Ölindustrie, Rafinieranlagen, Wasserstoffanlagen
- HSLA

A: Wetterfeste Sähle

- Baustahl wird mit der Feuchtigkeit und O-Gehalt der Umgebung korrodieren - porös
- Der Schädignungsprozess kann bis zur völligen Versagen des Materials gehen
- Cu, Cr, P, Ni, Mo Legierung (in kleinen Mengen)
- Phosphidische Sulfidische und hidroxidische Verbindungen stopft die Poren ein, der Prozeß wird langsamer und bleibt stehen
- Passiviertes Schicht ist rotbraun <0,3 mm
- Bsp.: S235J0W, S355J0WP

Cr = 0,5 – 1 %
Ni = 0,2 – 0,6 %
Cu = 0,2 – 0,5 %

A: Bläche und breite Stahlprodukte aus vergüteten Stahl mit hohe Streckgrenze

- Auf Raumtemperatur und auf kleinen Temperatur arbeitende geschweißte Konstruktionen mit große mechanische Beanspruchung
- Behälter, Brücken, Kräne...usw.
- Q: Zusatzkennzeichen
- mit herkömmlichen Methoden schweißbar, aber anfällig gegen Kaltriss (je dicker, je größere Festigkeit, Spannungskonzentratoren)
- Bsp.: S460QL

B: unlegierte und legierte Stähle auf erhöte Temperatur

vorgeschriebene Eigenschaften

- Unlegierte Stähle (zB.: P235GH)
  - Warmstreckgrenze oder Kriechgrenze ist angegeben
  - Dampfkessel, Druckbehälter
  - ~ bis 400°C
- Legierte Stähle (zB.: 12CrMo9-10)
  - Mn, Mo, Cr, V, Nb Legierung + zur Schweißbarkeit Si, Ni
  - Kesseltrommel, Dampfröhren, Chemieanlagen, Verbindungselemente,
  - ~500-530°C

B: schweißbare, feinkörnige, normalisierte Stähle

- Drei Gruppen
  - Grundqualitäten auf Raumtemperatur (P...N) bis 20°C verwendbar
  - Warmfeste Qualitäten (P...NH) zwischen 20-400°C verwendbar
  - Kaltzähe Qualitäten (P...NL1 und P...NL2) sind auch auf -40 °C bzw. -50°C noch nicht spröd
- Korngrößenzahl>6
- Zur Schweißen C_e beachten

B: kaltzähe, Ni legierte Stähle

- Anspruchsvolle Konstruktionen dürfen nur aus Stahl mit vorgeschriebene KV gebaut werden
- unter -60°C dafür Ni-legierungen
- KFZ Gitter wird nicht versprödet
- Auswahl anhand Wanddicke und Temperatur
- KV sogar auf -200°C
- Kühl- und Kriogentechnik
- 11MnNi5-3, 12Ni14, X7Ni9

B: schweißbare, feinkörnige, thermomechanisch gewalzte Stähle

- Ähnlich zur Flachprodukte Nb Legierung zur Erhöhen der Rekristallisatiostemperatur
- Ti Legierung zur Kornfeinerung
- V und Mo Legierung zur Festigkeitserhöhung
- KV 27J sogar auf -20°C, im kaltzähen Fall Zusatzkennzeichen L1 und L2
- Zusatzkennzeichen: M Bsp.: P355ML1

B: schweißbare, feinkörnige, vergütbare Stähle

- Drei Gruppen
  - Grundqualitäten auf Raumtemperatur (P...Q) bis 20°C verwendbar
  - Warmfeste Qualitäten (P...QH) zwischen 20-400°C verwendbar
  - Kaltzähe Qualitäten bis -40 °C (P...QL1) bis -50°C (P...QL2)
- Die feinkörnige Qualität und Festigkeit wird durch Mikrolegieren (Ti, Nb, V, N, B) gewährleistet
- Schweißen wird beeinflusst durch: Materialdicke, Energie, Konstruktion, Elektrodenausnutzung, Schweißprozess, Zusatzmaterialeigenschaften

Folie: 83

B: Korrosionsbeständige Stähle

- Ferritische kb. Stähle
  - für Korr.medien mit kleine Ätzfähigkeit, Druckbehälter, Lebensmittelindustrie, Katalisatoren
  - bis 350°C Streckgrenze 155-215 MPa
- Martensitische kb. Stähle
  - Pumpenteile, Ventile, Turbinenbestandteile
  - bis 300°C Streckgrenze 530-580 MPa
- Austenititische kb. Stähle
  - sehr breite Anwendungsbereich
  - von -196-600°C (KFZ nach Weichen kein Kaltbruch, kein TTKV)
- Austenit-Ferritische (Duplex) kb. Stähle
  - Schweißen und Wärmebehandlung in Normen vorgeschrieben

Folie: 84

C: kalt gewalzte Flachprodukte für Kaltverformung aus kohlenstoffarmen Stahl

- Kleine C-Gehalt, ferritisch
- sehr wenig Legierungselemente, zur Desoxidation Al, zur Binden der N Gehalt (Altern) mit Ti
- DC01...DC06, Zusatzzeichen A, oder B-Oberflächenqualität
  - A: Oberflächenfehler (Poren , kleine Kratzer, wenig Verfärbung zugelassen)
  - B: bessere Oberfläche soll Fehlerlos sein, andere minimum A Qualität aber dressiert
- Oberflächenrauigkeiten
  - b: glänzend, g: halbglänzend, m: normal, r: rau
- Bsp: DC01Am

C: kalt gewalzte, unbeschichtete dünne Weichstahlbänder für Kaltverformung

- Schmaler als 600 mm, dünner als 10 mm unlegiertes oder legiertes Band
- Zusatzzeichen:
  - weichgeglüht (A)
  - kalt nachgewalzt (C und erhöhte R_m)
  - dressiert (LC)
  - Oberflächenqualität MA, MB und MC
- Bsp: DC03C440MB

C: warmgewalzte, Flachprodukte aus Stahl mit erhöhte Streckgrenze für Kaltverf.

- Für Kaltverformung, warmgewalzt, schweißbar, erhöhte Streckgrenze, legiert
- Thermomechanisch oder normalisiert gewalzt
- Perlitarme stähle (Ti, Nb, V) - HSLA
- Bsp: S420NC, S460MC
- kaltverformbar, biegbar, spanbar, scherbar
- Fahrzeugbau, geschweißte Konstruktionen

Folie: 87

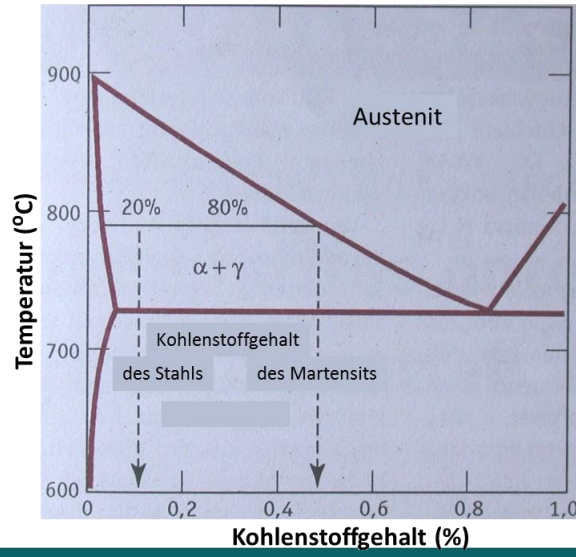
Dual Phase (DP) zweiphasige Stähle

- Dual Phase
- Zwei Phasen: in sehr weichen Ferrit, sehr harte fein verteilte Martensit Phase
- Gute festigkeitswerte bei gute Verformbarkeit
- Felgen, PKV/LKV Karosserien, Drähte, Gerüste, Bauteile

Folie: 88

Dual Phase (DP) zweiphasige Stähle

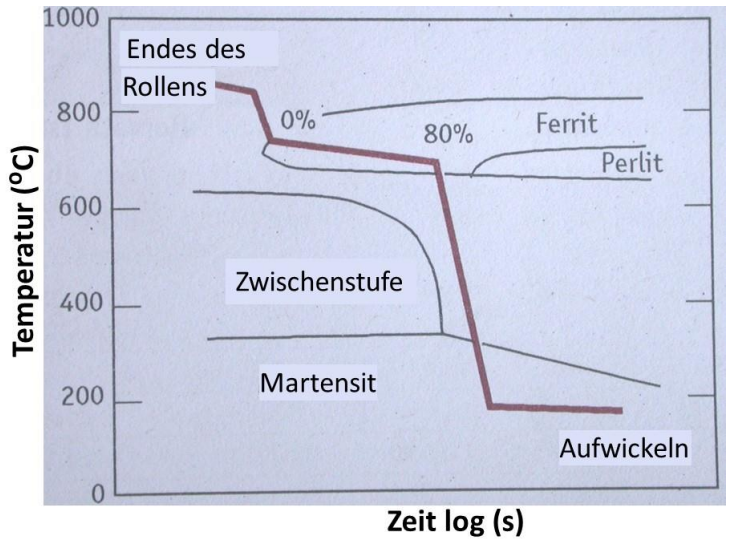
Interkritisches Weichglühen



(Kohászati lapok)

Herstellung von (DP) Stählen

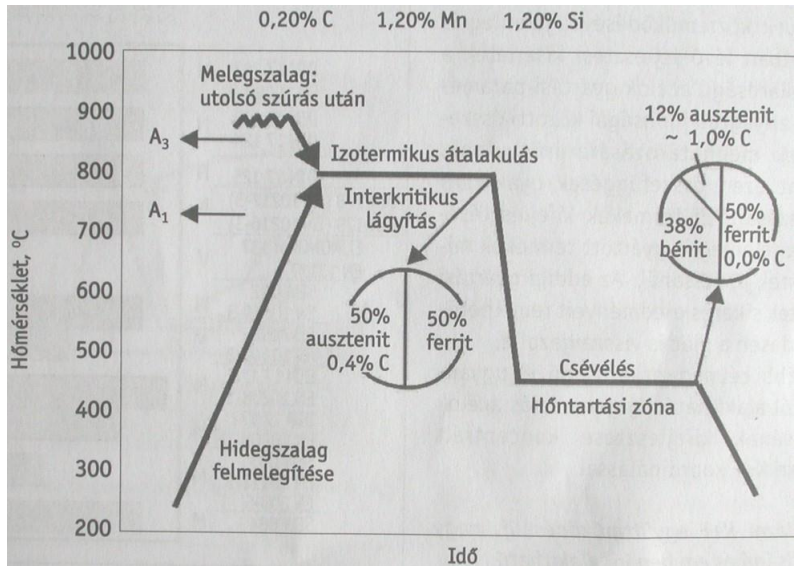
Abkühlung stufenweise



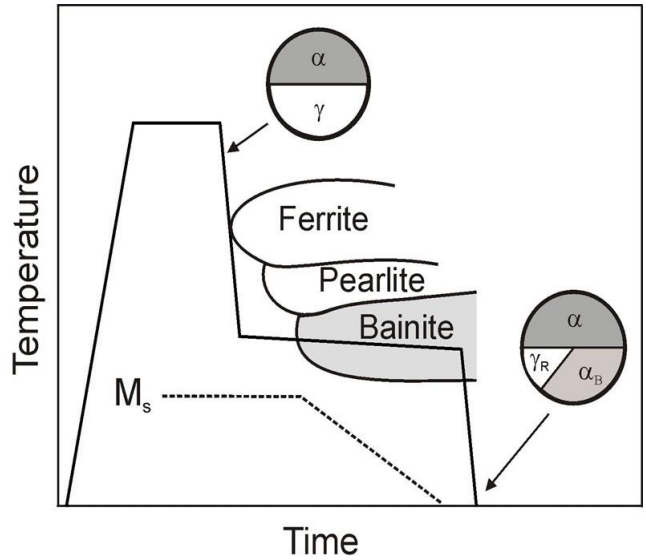
TRIP Stahl

- **Tr**ansformation-**i**nduced-**p**lasticity
- Umwandlung verursachte Plastizität
- Umwandlung verursachte Verformbarkeit
- Gefüge nach Warmverformung: Ferrit-Zwischenstufe(Bainit)-Martensit
- Nach weitere Verformung der metastabile Restaustenit wandelt sich in Martensit um
- Karosseriebauteile, Fahrzeugbau

TRIP wirkung in der Produktionsprozess



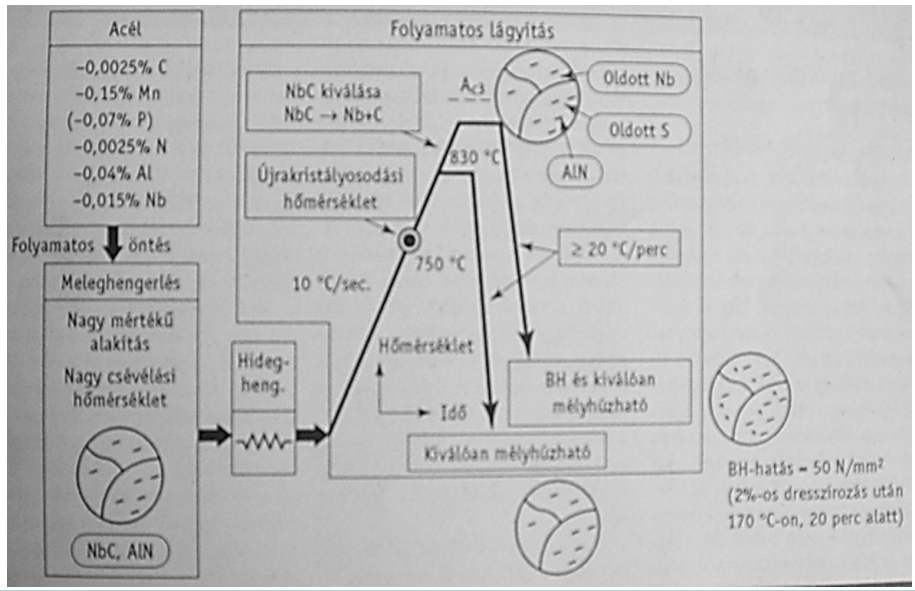
TRIP wirkung in der Produktionsprozess



IF (interstitial-free) Stählen

- Kleine C-, O-… usw. Gehalt, „clean (reines) Stahl. Beim Herstellung 30-60 ppm interstitielle Legierungselemente, wenige Stabilisatorelementen
- Verwendung in Automobilindustrie, Haushaltsgeräte, gut verformbar, tiefziehbar (EDDQ-extra deep drawing quality), Möglichkeiten zur Festigkeitserhöhung
- Blech Altert nicht (die herkömmliche tiefziehbare Stähle sind unberuhigt)
- Zur Herstellung große, komplexe Formen, 20% Werkzeugkosten Ersparniss und Produktivitätssteigerung

Herstellungsprozess für IF Stählen



Festigkeiterhöhung von IF Stählen

- Vollständige Rekristallisation beim Walzen
- Nur Mischkristallbildung für Festigkeitserhöhung:
  - 0,1 % Mn 4 MPa Festigkeitserhöhung
  - 0,1 % Si 10 MPa
  - 0,1 % P 100 MPa, aber an den korngrenzen versprödet -B verhindert
  - BH Wirkung mindestens 5 ppm C +50 MPa

BH Stähle

- Bake Hardening
- Legierungen mit kleine C-Gehalt, ~200°C ausscheidungshärtbar
- C und N scheiden sich aus ~ + 40 MPa Zunahme der Streckgrenze
- Nach Verformung zB: beim Lakieren kann gemach werden
- Karosseriebauteile

Folie: 97

D: vergütbare Stähle

- sollen zäh sein und gegen dynamische Belastungen gut standhalten
- Verbindungselemente, Stifte, Gelenke, Stabwerke, Wellen, Kreuz-Gelenke, Zahnräder, Werkzeugmaschinenspindeln usw.
- Legiert oder unlegiert
- Ziel der Legierung:
  - Vergrößerung der durchärtbare Durchmesser
  - Erhöhung der Zähigkeit, (TTKV kleiner)
  - Erhöhung der Ermüdungsgrenze
  - Erhöhung der Anlasswiderstand

Folie: 98

D: unlegierte vergütbare Stähle

- neben der Legierungselemente und Verunreinigungselemente die beim Herstellungsprozess im Stahl blieben beinhaltet nur Kohlenstoff
- Die mit kleineren C-gehalt haben kleinere Festigkeit sind aber zäher
- Durchhärtbare Durchmesser ist klein (ein paar mal 10 mm)
- R_m: 500…1000 MPa, R_{eH}: 300-580 MPa, A: 20-11%, Z: 50-20%
- Bezeichnung: C nn, wo nn das C Gehalt x100, 20 < nn < 60
- Zusatzzeichen: E: S < 0,035%, R: 0,020% < S < 0,040%

Folie: 99

D: legierte vergütbare Stähle I.

- **Mn (1,4-1,65%)**
  - billig
  - Vergrößert die durchärtbare Durchmesser erheblich
  - kann überhitzt werden, empfindlich gegen Anlassprödigkeit (schnellere Abkühlung nötig)
  - unter 0°C für dynamisch beanspruchte Bauteile <u>nicht</u> geeignet
  - Bsp.: 28Mn6

Folie: 100

D: legierte vergütbare Stähle II.

- **Cr (sogar bis 2%)**
  - häufigste Legierungselement
  - erhöht stark die durchärtbare Durchmesser und die Streckgrenze
  - können gut harte Kruste herstellen (50-60HRc)
  - für Antriebe mit mittelmäßige Beanspruchung
  - Bsp.: 34Cr4

Folie: 101

D: legierte vergütbare Stähle III.

- **Cr-Mo (sogar bis 2% Cr, 0,9-1,2% Mo)**
  - Mo beseitigt die Anlassprödigkeit
  - Cr und Mo sind starke Karbidbilder, können auf größere Temperatur (~600°C) angelassen werden
  - beachtliche Festigkeit gute Zähigkeit
  - mittelgroße, für stark gegen Ermüdung und dynamisch benutzte Bauteile, Wellen, Antriebswellen, Nockenwellen, Hauptwellen, zahnige Bauteile
  - zB: 50CrMo4

Folie: 102

D: legierte vergütbare Stähle IV.

- **Cr-V (0,7-1,1% Cr, 0,1-0,2% V)**
  - ähnlich zur Cr-Mo Stählen
  - ein bisschen billiger aber die Zähigkeit ist schlechter
  - mittelgroße, für stark gegen Ermüdung und dynamisch benutzte Bauteile, Wellen, Antriebswellen, Nockenwellen, Hauptwellen, Schrauben, Schraubenschlüssel
  - zB: 51CrV4

D: legierte vergütbare Stähle V.

- **Ni-Cr-Mo(-V) (0,7-1,1% Cr, 0,1-0,2% Mo)**
  - für große Bauteile wo die schnelle Abkühlung nicht zu verwirklichen ist + Ni Zulegierung
  - Ni sinkt der TTKV
  - Mo sinkt die Anlassprödigkeit
  - durchärtbare Durchmesser erheblich größer (~150 mm)
  - gute Widerstand gegen der Wirkung der Zustandskenngrößen
  - Antriebsmotorbauteile, Kurbelwelle für Schmiedewerke im vergüteten und geschmideten Zustand
  - zB: 36NiCrMo16

D: legierte vergütbare Stähle VI.

- **B (Bóracélok)**
  - Mn, Mn-Cr Grundlegieren, B Mikrolegieren
  - erhebliche Zunahme in der durchärtbare Durchmesser
  - allgemein im warmverformten Zustand geliefert
  - bei gegebene Festigkeit gute Zähigkeit
  - zB: 20MnB5, 27MnCrB5-2

Folie: 105

Randschicht erzeugende Technologien

- Ziel:
  - harte, verscleißfeste Oberfläche, Schicht (Martensit große C –Gehalt, Verbindung Nitrid, Karbid),
  - Zähes Kern (kleines C-Gehalt oder vergütetes Gefüge)
- Oberflächenhärten (bei härtbaren Stählen)
- Thermochemische Behandlungen (Nitrieren, Einsatzhärten)
- (Oberflächenlegieren, Auftragschweißen, Oberflächenschmelzen, Metall/Keramik Aufspritzen usw. …)

Folie: 119

E: einsatzhärtbare Stähle

- C-Gehalt unter 0,2%
- zähes Kern und verschleißfeste Kruste mit ~1% C 60-63 HRc
- wegen Durchhärtbarkeit bis ~ 80 mm brauchbar
- bei gleiche A_{10} und KV die R_m und R_{eH} der vergütbare Stähle ist besser
- wenn Ermüdung als Beanspruchung ist Zementieren (Aufkohlen) wird weggelassen (vakedzett állapot), dann Härte 35-45 HRc

E: unlegierte einsatzhärtbare Stähle

- Bauteile für Verschleiß beansprucht mit kleine Größe und kleine Festigkeit
- Stifte, Zahnradpumpen
- Erreichbare Härte 55-60 HRC
- bis 20-30 mm Größe
- zB: C10, C15

E: legierte einsatzhärtbare Stähle

- Legierungselemente gleich wie bei der vergütbare Stählen
- C-Gehalt weniger als 0,2%
- Cr-Mo Legieren für mittelgroße Bauteile mit mittlere Belastung (Hülsen, Stifte, Zahnräder)
  - Anfällig gegen Überhitzung
  - bis 40-60 mm Durchmesser
- Mn-Cr-Mo für große Belastung (Zahnräder, Kettenräder, Wellen
  - bis 70-80 mm Durchmesser
- Ni-Cr-Mo Legieren für besonders große dynamische Belastung , zähes Kern, große Oberflächenhärte

Grundbegriffe der Einsatzhärten

- Direkthärten
  - Zementieren, Austenitisierungsstufe, Härten, Anlassen auf kleine Temperatur
  - Auf große Temperatur Kornvergröberung, wirtschaftlich, schnell
- auf Kruste Härten
  - Zementieren, ohne Austenitisierungsstufe Härten, auf Kruste Härten, Anlassen auf kleine Temperatur
  - Kern grobkörnig mit kleine Festigkeit, Kruste feinkörnig, verschleißfest

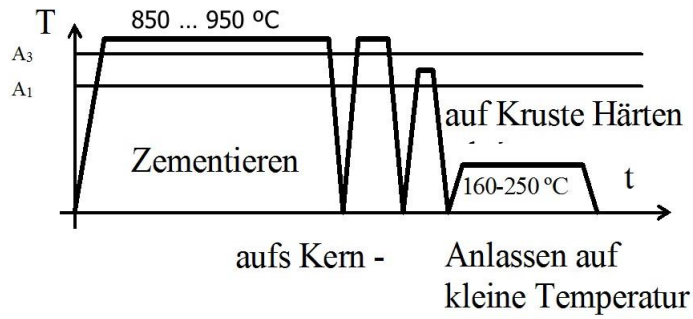
Grundbegriffe der Einsatzhärten

- Auf Kern Härten
  - Zementieren, ohne Austenitisierungsstufe Härten, Anlassen auf kleine Temperatur
  - feinkörniges Kern mit große Festigkeit, Kruste kann auch feinkörnig bleiben
- Doppelhärten
  - Zementieren, auf Kern Härten, auf Kruste Härten, Anlassen auf kleine Temperatur

Stähle für Einsatzhärten

- Höhere Zähigkeit
- Niedrigere Festigkeit als bei Vergütungsstählen
- In vielen Fällen können Vergütungsstähle und Stähle für Einsatzhärten zur gleichen Anwendung geeignet werden

Einsatzhärtbare Stähle und ihre Wärmebehandlung



C10, C10E, C10R, C15_, C16_, 17Cr 3, 17CrS 3, 28Cr 4, 28CrS 4, 16MnCr 5, 16MnCrS 5, 16MnCrB 5, 20MnCr 5, 20MnCrS 5, 18CrMo 4, 18CrMoS 4, 22CrMoS 3-5, 20MoCr 4, 20MoCrS 4, 16NiCr 4, 16NiCrS 4, 10NiCr 5-4, 18NiCr 5-4, 17CrNi 6-6, 15NiCr 13, 20NiCrMo 2-2, 20NiCrMoS 2-2, 17NiCrMo 6-4, 17NiCrMoS 6-4, 20NiCrMoS 6-4, 18CrNiMo 7-6, 14NiCrMo 13-14

Folie: 113

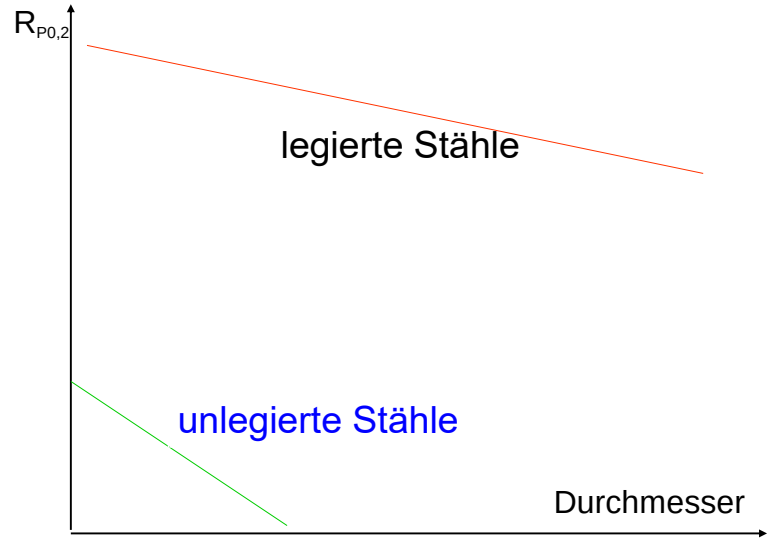
Einsatzhärtbare Stähle

Az acélminőségek besorolása edzés és 200 °C-os megeresztés után az átmérő függvényében elérhető legkisebb szakítószilárdság szerint

tulajdonságok „vakedzett” állapotban

Rm_{min} (N/mm²)	d ≤ 16 mm	16 mm < d ≤ 40mm	40 mm < d ≤ 100 mm
1200	20MnCr5, 20MnCrS5, 17NiCrMo6-4, 17NiCrMoS6-4, 20NiCrMoS6-4, 18NiCr5-4, 17CrNi6-6, 18CrNiMo7-6, 14NiCrMo13-4		
1100	22CrMoS3-5 18CrMo4, 18CrMoS4, 20NiCrMo2-2, 20NiCrMoS2-2	18NiCr5-4, 17CrNi6-6, 18CrNiMo7-6, 20NiCrMoS6-4 14NiCrMo13-4	
1000	15NiCr13 16MnCr5, 16MnCrS5, 16MnCrB5	17NiCrMo6-4, 17NiCrMoS6-4,	
900	16NiCr4, 16NiCrS4 20MoCr3, 20MoCrS3, 20MoCr4, 20MoCrS4 28Cr4, 28CrS4, 10NiCr5-4	20MnCr5, 20MnCrS5 22CrMoS3-5 18CrMo4, 18CrMoS4, 15NiCr13 16MnCr5, 16MnCrS5, 16MnCrB5, 16NiCr4, 16NiCrS4	18NiCr5-4, 17CrNi6-6, 18CrNiMo7-6 14NiCrMo13-4 22CrMoS3-5, 17NiCrMo6-4, 17NiCrMoS6-4, 20NiCrMoS6-4
800	C16E, C16R, 17Cr3, 17CrS3	20NiCrMo2-2, 20NiCrMoS2-2 20MoCr3, 20MoCrS3, 20MoCr4, 20MoCrS4	15NiCr13
700	C15E, C15R	28Cr4, 28CrS4, 10NiCr5-4 17Cr3, 17CrS3	20MnCr5, 20MnCrS5 18CrMo4, 18CrMoS4, 20NiCrMo2-2, 20NiCrMoS2-2 28Cr4, 28CrS4, 16MnCr5, 16MnCrS5, 16MnCrB5
600		C16E, C16R, C15E, C15R	
500	C10E, C10R		10NiCr5-4
400		C10E, C10R	

Größenabhängigkeit der Festigkeitseigenschaften der Stählen



F. nitrierbare Stähle

Stähle für Nitrierhärten

- grundsätzlich vergütbare Stähle
- Ziel: sehr harte verschleißfeste Randschicht
- Legieren mit Nitridbilder (Cr, Al, Ti)
- Ergebnis: verschleißfeste, harte Randschicht, Erhöht die Ermüdungsgrenze, für spezifische Druckbelastung schlechter als einsatzhartbare Stahle
- Aufstickmedium: Ammonia, oder Zyanidsalze
- Nitrieren ist ein Wärmebehandlungsschritt soll ~ 50°C kleinere Temperatur als Anlassen gemacht werden
- zB: 34CrAlNi7-10

F. nitrierbare Stähle

- Verschleißfest auch auf höheren Temperaturen
  - Martensit über 500°C wird angelassen
- Maßhaltige Ersatzteile erzeugbar
  - Über A_1 Temperatur Maßänderungen durch Allotrope Umwandlung

F. nitrierbare Stähle

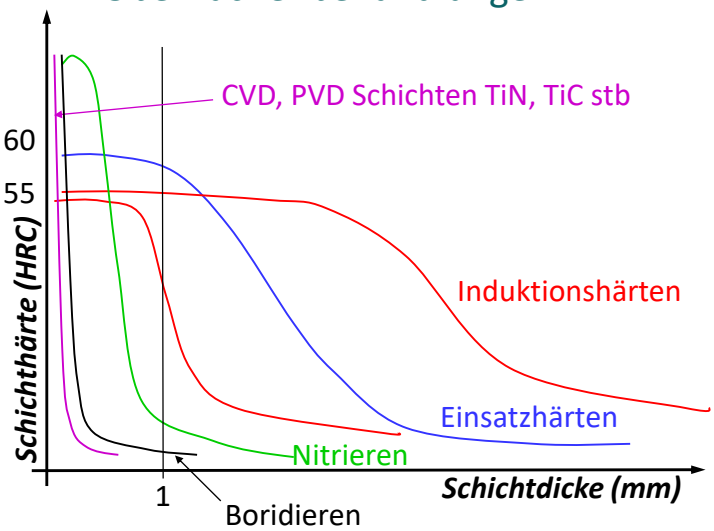
Abhängigkeit von Maß und Festigkeit

Table 6 - Mechanical properties in the quenched and tempered condition (+QT)[a]

Designation		16 ≤ d ≤ 40 mm				40 < d ≤ 100 mm				100 < d ≤ 160 mm				160 < d ≤250 mm				HV1 [b]
Steel name	Steel number	R_m MPa [1]	Re MPa [1] min.	A % min.	KV J min.	R_m MPa [1]	Re MPa [1] min.	A % min.	KV J min.	R_m MPa [1]	Re MPa [1] min.	A % min.	KV J min.	R_m MPa [1]	Re MPa [1] min.	A % min.	KV J min.	
24CrMo13-6	1.8516	1000 to 1200	800	10	25	950 to 1150	750	11	30	900 to 1100	700	12	30	850 to 1050	650	13	30	-
[c]31CrMo12	1.8515	1030 to 1230	835	10	25	980 to 1180	785	11	30	930 to 1130	735	12	30	880 to 1080	675	12	30	800
32CrAlMo7-10	1.8505	1030 to 1230	835	10	25	980 to 1180	835	10	25	930 to 1130	735	12	30	880 to 1080	675	12	30	-
31CrMoV9	1.8519	1100 to 1300	900	9	25	1000 to 1200	800	10	30	900 to 1100	700	11	35	850 to 1050	650	12	40	800
33CrMoV12-9	1.8522	1150 to 1350	950	11	30	1050 to 1250	850	12	35	950 to 1150	750	12	40	900 to 1100	700	13	45	-
34CrAlNi7-10	1.8550	900 to 1100	680	10	30	850 to 1050	650	12	30	800 to 1000	600	13	35	800 to 1000	600	13	35	950
41CrAlMo7-10	1.8509	950 to 1150	750	11	25	900 to 1100	720	13	25	850 to 1050	670	14	30	800 to 1000	625	15	30	950
40CrMoV13-9	1.8523	950 to 1150	750	11	25	900 to 1100	720	13	25	870 to 1070	700	14	30	800 to 1000	625	15	30	-
34CrAlMo5-10	1.8507	800 to 1000	600	14	35	800 to 1000	600	14	35	-	-	-	-	-	-	-	-	950

[a] R_m = Tensile strength; Re = Yield strength (0,2 % proof stress); A = Elongation after fracture; KV = Impact strength for V-notch test pieces.
[b] HV = Hardness for nitrided surface. Values for information/guidance only. Actual surface hardness may vary with nitriding treatment and initial quenched and tempered condition.
[c] Available for thicknesses d ≤ 70 mm.
[1] 1 MPa = 1 N/mm²

Vergleich der Randschicht erzeugende Oberflächenbehandlungen



Weitere Baustähle, Zielstähle

- Automatenstähle
- Stähle für Kugellager und Kugel für Kugellager
- Federstähle
- Warmfeste und/oder kaltzähe Stähle und Nickellegierungen für Verbindungselemente
- Hitzebeständige Stähle und Nickellegierungen
- Stähle für Ventile der Verbrennungsmotoren

Automatenstähle

- für Verarbeitung in Automaten mit große Leistung und große Spangeschwindigkeit
- Ziel: gut brechbare Span
- Legieren mit S und S+Bi
- früher auch Legieren mit S+Pb heutzutage weniger
- zB: 11SMn37, 10S20, 44SMn28

Automatenstähle

- 11SMn 30
- 11SMnPb 30
- 11SMn 37
- 11SMnPb 37

S = 0,3 % (30 = S . 100)
Pb = 0,15 … 0,35 %

---

einsatzhärtbar

- 10S 20
- 10SPb 20
- 15SMn 13

Vergütungsstähle

- 35S 20 35SPb 20
- 36SMn 14 36SMnPb 14
- 38SMn 28 38SMnPb 28
- 44SMn 28 44SMnPb 28
- 46S 20 46SPb 20

Stähle für Kugellager und Kugel für Kugellager

- Anforderung: Große Härte, große Verschleißbeständigkeit, hohe Dauerfestigkeit
- C-Gehalt 0,85-1,1% (Härte)
- S<0,015%, P<0,025%, O<0,002% und polierte Oberfläche (Dauerfestigkeit)
- Härten und Unterkühlung (-30°C), Anlassen auf kleine Temperatur - 62 HRc Härte
- z.B.: 100Cr6, 100CrMnMoSi8-4-6, BE: 19MnCr5, 18NiCrMo14-6, IE: 70Mn4, KO:X65Cr14, X89CrMoV18-1, T: 80MoCrV42-16, X82WMoCrV6-5-4

Federstähle I.

- Elastische Energiespeicherkapazität ist ausgenutzt
- Große Streckgrenze (1000-1350 MPa) und brauchbare A10 (6-8%)
- vergütbare Stähle (0,4-0,7% C) Anlassen auf kleine Temperatur (450-480°C)
- Typen nach Verwendung

Federstähle II.

- aus warm gewalzte Stähle, verformte, vergütete Feder
  - Si-Legieren, R_{eH} wächst
  - Cr-V, Cr-MoV, für dynamisch belastete Hochleistungsfeder
  - zB: 38Si7, 60SiCrV7, 60CrMo3-2
- fürs Wärmebehandlung gedachte, kaltgewalzte dünne Stahlband
  - gute Oberflächenqualität, sogar R_m=2100 MPa
  - z.B: C75S
- korrosionsbeständige Stahlband für Feder
  - fürs korrosive Medien

Federstähle III.

- 38Si 7
- 46Si 7
- 56Si 7
- 55Cr 3
- 54SiCr 6
- 51CrV 4
- 45SiCrV 6-2
- 60SiCrV 7

60Cr 3
56SiCr 7
54SiCrV6

- 46SiCrMo 6
- 50SiCrMo 6
- 52SiCrNi 5
- 52CrMoV 4
- 60CrMo 3-1
- 60CrMo 3-2
- 60CrMo 3-3

Warmfeste und/oder kaltzähe Stähle und Nickellegierungen für Verbindungselemente

- unlegiert/legiert (auch korrosionsbeständig)
- sogar bis 700°C verwendbar
- Mo Legieren, erhöht die Streckgrenze, Karbidbilder
- neben Wärmebelastung soll auch Korrosion ins Betracht genommen werden
  - zB: 42CrMo5-6, 25CrMo4, NiCr20TiAl (Ni Legierung), X10CrNiMoMnNbVB15-10-1
- Zur Verwendung auf kleine Temperaturen Ni-Legieren
- sogar bis -270 °C
  - zB: 41NiCrMo7-3-2, X8Ni9, X6CrNi18-10

Warmfeste Stähle und Nickellegierungen I.

- Problem: über 500°C die Säthle bilden starkes Zunder auf der Oberfläche
- austenitisches, ferritisches, austenit-ferritisches Stahl
- Zeitstandfestigkeit und Kriechfestigkeit is maßgebend
- Legierungselemente: Cr, Si, Al
- Verwendung bis 900°C
- Kornvergröberung kann Probleme verursachen
- Ni-Basis Superlegierungen (keine Eisenlegierung)

Warmfeste Stähle und Nickellegierungen II.

- ferritisches
  - auf 350-550°C und über 900°C empfindlich gegen Kornvergröberung und Versprödung
  - gegen Medien mit große S-Gehalt hat bessere Widerstand
- austenitisches
  - auf größere Temperatur noch keine Kornvergröberung
  - zwischen 600-800°C σ-Phase verursacht Versprödung
  - zB: X10NiCrAlTi32-21
- austenit-ferritisch
  - gut in oxidierende S-haltige Medien
  - zB:X15CrNiSi25-4
- Ni-Basis "Super" Legierungen
  - Gasturbinen, Rakeenindustrie zB:NiCr23Fe

Folie: 129

Stähle für Ventile der Verbrennungsmotoren

- homogene Gefügestruktur, stark legiert, gut rechenbare Wärmeusdehnung
- Beanspruchung schwankende Wärmeeinfluss, Korrosion, Oxidation, Ermüdung, Schlag, Verschleiß
- Stangen, Drähte, Schmiedestücke
- warmverformbar, schwer zerspanbar
- Haupttypen
  - martensitischer Ventilstahl (Saugventil, und Auspuffventilschaft) zB: X40CrSiMo10-2
  - austenitischer Ventilstahl (Auspuffventilteller) zB: X50CrMnNiNbN21-9, NiFe25Cr20NbTi

Folie: 130

Ventilstähle

Martensitische:
- X45CrSi 9-3
- X40CrSiMo 10-2
- X85CrMoV 18-2

Austenitische:
- X55CrMnNiN 20-8
- X53CrMnNiN 21-9
- X50CrMnNiNbN 21-9
- X53CrMnNiNbN 21-9
- X33CrNiMn 23-8

Nickellegierungen:
- NiFe25Cr20NbTi
- NiCr20TiAl

Hadfield Stahl

- Austenitischer mit Mn stark legierter Stahl
  - ~1,2%C, ~0,4 Si, ~12,5% Mn
- Schlagfest, durch schlagartige Beanspruchung (plastische Kaltverformung) wird härter
- innere nicht aufgehärtete Schichten sind zäh
- Stahl für dynamische Ansprüche und Verschleiß
- Eisenbahnwechsel, Erdbaumaschienen, Steinhauerklappen⇒ Festigkeit, Härte wächst kontinuierlich
- zB: X120Mn 13

Werkzeugstähle

- A: unlegierte Werkzeugstähle
- B: Werkzeugstähle für Warmarbeit
- C: Werkzeugstähle für Kaltarbeit
- D: Schnellarbeitsstähle

- Allgemeine Anforderungen:
  - Harte Verschleißfestigkeit
  - Festigkeitseigenschaften
  - Warmfestigkeit
  - Widerstand gegen thermische Ermüdung
  - Entsprechende durchärtbare Durchmesser

Folie: 133

A: unlegierte Werkzeugstähle

- 0,45-1,25% C-Gehalt
  - 0,45% C - 54 HRc
  - 1,25% C - 62 HRc
- daneben nur Grundlegierungselemente (Mn, Si) und Verunreinigungselemente (S, P)
- Handwerkzeuge mit kleine Belastung
- zB: C90U, C100U
  C45, C45U, C70_, C80_, C90_, C105_, C120
  - U Zusatzzeichen unbehandelte Zustand

Folie: 134

B: Werkzeugstähle für Warmarbeit

- Betriebstemperatur über 200°C aber Härte, und Wärmebeständigkeit muss bei 600°C erhalten bleiben (38-46 HRc)
- Hauptlegierungselemente: Cr, Mo, W, Ni, Co
- Karbide - Härte sogar auf große Temperaturen
- Schmidegesenke, Druckgusswerkzeuge
- z.B.: 55NiCrMoV7, X40CrMoV5-155NiCrMoV 7, 32CrMov 12-28, X37CrMoV 5–1, X38CrMoV 5–3, X40CrMoV 5-1, 50CrMoV 13-15, X30WCrV 9–3, X35CrWMoV 5, 38CrCoWV 18-17-17

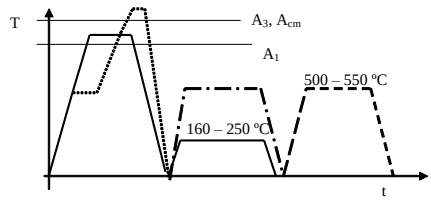
Folie: 135

C: Werkzeugstähle für Kaltarbeit

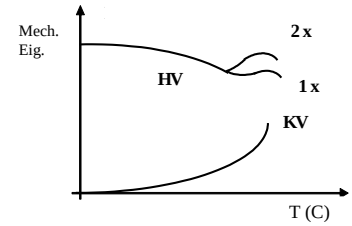
- Hauptlegierungselemente: Mn, Cr, Mo, V, W, Ni
- Legierungselemente erhöhen der asuhärtbare Durchmesser und verbessern die:
  - Festigkeit
  - Verschleißfestigkeit
  - Härte
- Nach Wärmebehandlung auf Raumtemperatur benutzt, Betriebstemperatur max. 150-180°C Schneide und Ausschneidwerkzeuge
- zB: : 95MnWCrV5, X210CrW12, 105V, 50WCrV 8, 60WCrV 8, 102Cr 6, 21MnCr 5, 70MnMoCr 8, 90MnCrV 8, 95MnWCr 5, X100CrMoV 5, X153CrMoV 12 , X210Cr 12, X210CrW 12, 35CrMo 7, 40CrMnNiMo 8–6–4, 45NiCrMo 16, X40Cr 14, X38CrMo 16

Folie: 136

Wärmebehandlung der Werkzeugstähle



Wärmebehandlungstemperaturen hängen von Legiegung ab.



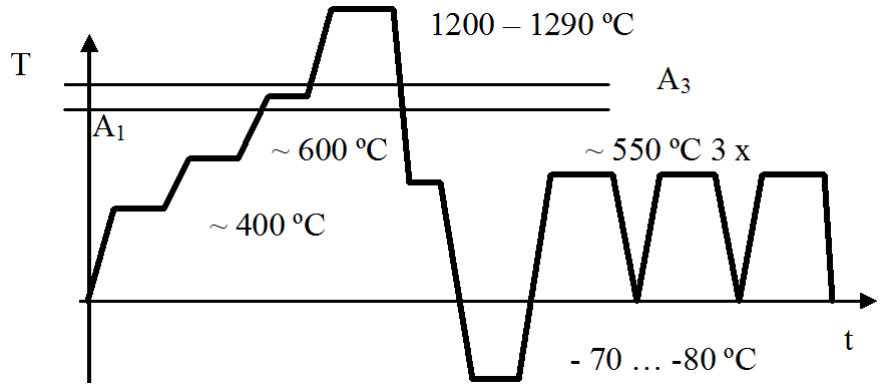
Die mehr legierte Stähle sind mehr mal für Begünstigung der Karbidsegregation angelaßen.

D: Schnellarbeitsstähle

- Große Zerspangeschwindigkeiten, sogar in der Nähe von 600°C muss 62-64 HRc hart sein
- Hauptlegierungselemente: W, Mo, V, Co („Werseny Motor Vadul Cotor”)
- Wärmebehandlung kritisch, muss prezise durchgeführt werden (Ausscheidungshärten)
- z.B.: HS6-5-2, HS10-4-3-10

HS 0-4-1 (W-Mo-V-Co), HS 1-4-2, HS 18-0-1, HS 2-9-2, HS 1-8-1, HS 3-3-2, HS 6-5-2, HS 6-5-2C, HS 6-5-3, HS 6-6-2, HS 6-5-2-5, HS 6-5-3-8, HS 6-5-4, HS 10-4-3-10, HS 2-9-1-8

W.B. der Schnellarbeitsstähle



Korrosionssutz vom Materialseite

Gute korrosionsbeständige Materialien

Materialien mit homogenes Gefügestruktur

Gemisch von edlen Gefüghen

ferritisch martensitisch austenitisch duplex

Passivität

Oberflächenschicht $\Rightarrow Cr_2O_3$

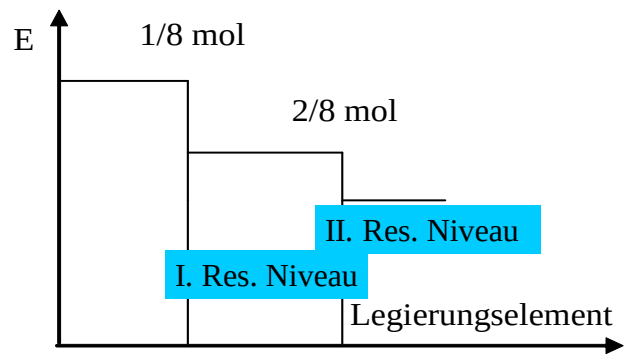
Resistenz → legieren mindestens aufs I. Resistenzniveau

Wirkung der Hauptlegierungselemente

- Cr Resistenz, Passzivität, Ferritbilder
- Ni Austenitbilder, verbessert die Korrosionsbest.
- Mn Austenitbilder, Hatfield-Stahl(12 - 16%)
- Si verbessert die Wärmebeständigkeit, verursacht Warmbruch
- Mo verbessert die Korrosionsbest. gegen lokaler Korr.
- Cu verbessert in Schwefelsäure
- N festigkeitserhöhen, Austenitbilder
- C Austenitbilder, Karbidausscheidungen und andere Ausscheidungen können vorkommen → soll beschränkt werden max. 0,08 % (früher: 0,12 %)

Folie: 141

Legieren mindestens aufs I. Resistenzniveau



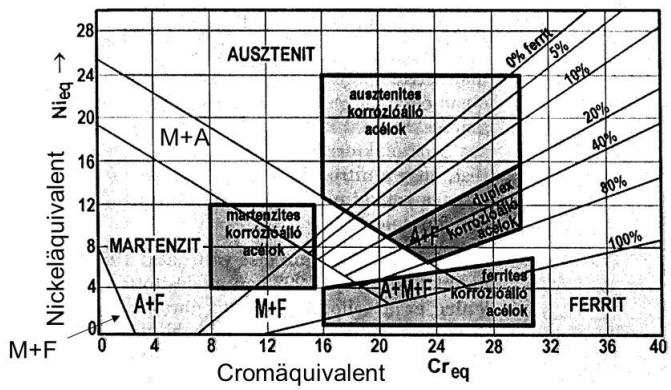
Beim Stählen wir Korrosionsresistenz von Cr verursacht,
I. res. Niveau: 11,7 % II. 23,4%

Folie: 142

Korrosionsbeständige Stähle

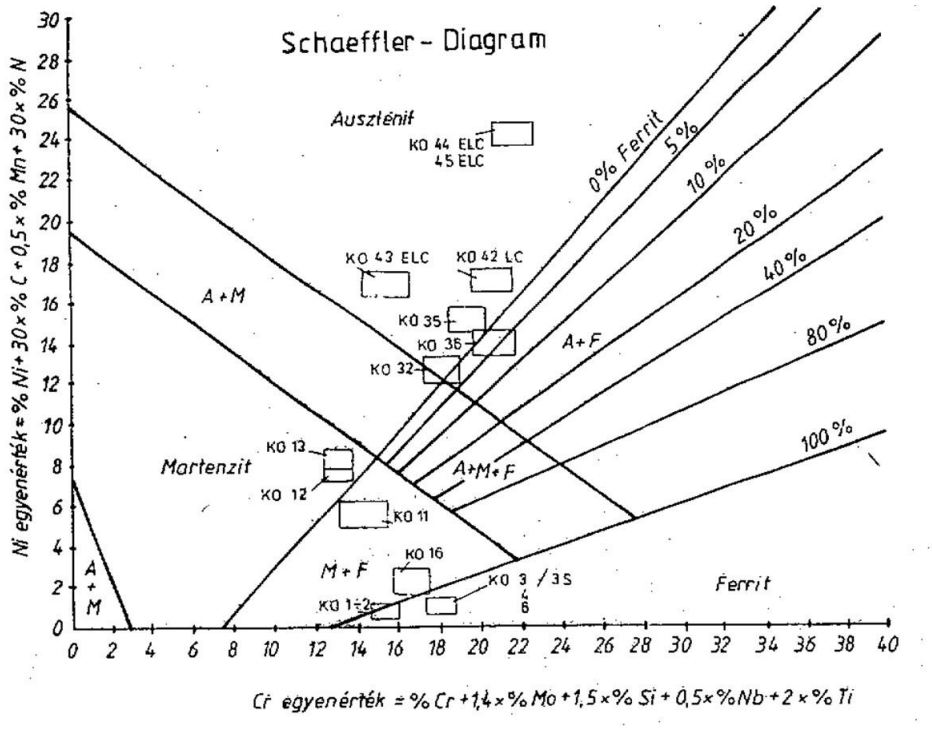
- A: ferritische korrosionsbeständige Stähle
- B: martensitische korrosionsbeständige Stähle
- C: austenitische korrosionsbeständige Stähle
- D: Duplexstähle (austenit-ferritische) korrosionsbeständige Stähle

Korrosionsbeständige Stähle geschweißt *Schaeffler-diagramm*



Nickeläquivalent = Ni% + 30 C% + 0,5 Mn%

Cromäquivalent = Cr% + Mo% + 1,5 Si% + 0,5 Nb%



A: ferritische korrosionsbeständige Stähle

- Legierungselemente bilden ein gut haftende, dichte Oberflächenschicht was die weitere Korrosion verhindert
- max. 0,08% C-Gehalt mit min ~13% Cr- Gehalt
- R_{eH} ~280-320 MPa, A=18-20%
- gut verformbar, schweißbar, magnetisierbar
- gegen schwache und mittelmäßig ätzende Korrosionsagenten, Lebensmittelindustrie, Bierindustrie, Milchindustrie
- bei einigen kann teilweise auch Martensit entstehen: halbferritisches korrosionsbeständiges Stahl
  - größere Festigkeit (Chemiindustrie)
- zB: X2CrTi12, X6CrMo17-1, X2CrMoTi29-4

Folie: 146

B: martensitische korrosionsb. Stähle

- ferritische korrosionsbeständige Stähle haben nicht genügend Festigkeit → größeres C-Gehalt + Wärmebehandlung
- C-Gehalt 0,08%-1,2%
- Chirurgische Messer, Skalpel, Nadel, Lebensmittelindustrieschneiden
- zB: X12Cr13, X105CrMo17, X7CrNiAl17-7

Folie: 147

C: austenitische korrosionsb. Stähle

- ferritische korrosionsbeständige Stähle haben nicht genügend Widerstand gegen starke Säuren→ austenitische korrosionsb. Stahl
  - C<0,03% + ~18% Cr + ~10% Ni (Mn, Cu, N)
- beim langsame Abkühlung im 600-800°C Bereich Chromkarbide scheiden sich entlang der korngrenzen aus Korrosionsbeständigkeit wird schlechter (interkristallin)
  - durch Legieren mit Ti und Nb wird besser
- sogar bis -270°C verwendbar für Konstruktionszwecke
- schwerer zu spanen
- Widerstand gegen Cl- Ionen ist schlecht mit Mo verbesserbar aber in Saltpetersäure haltigen und N-haltigen medien nicht gut
- zB: X10CrNi18-8, X3CrNiMo17-13-3

Folie: 148

D: Duplex korrosionsbeständige Stähle

- große Cr und Ni Gehalt
- auf Raumtemperatur ~40-60 % Austenit + Ferrit
- Festigkeit größer
- gegen Spannungskorrosion besser
- für wärmebeständiges und hitzebeständiges Stahl auch zu gebrauchen
- zB: X2CrNiN23-4, X2CrNiMoCuWN25-7-4

Folie: 149

Beispiele

Donaubrücke in Dunaújváros aus S460M

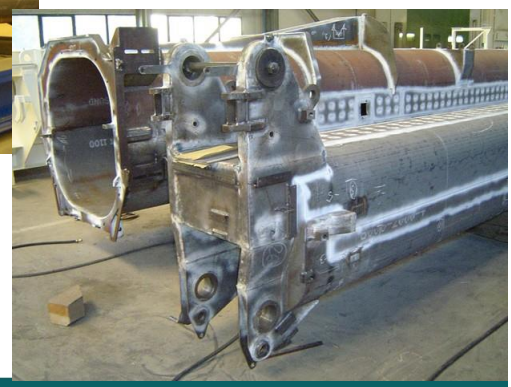
Folie: 210

Folie: 212

Autokran aus (S1100QL, max. Höhe 150m)

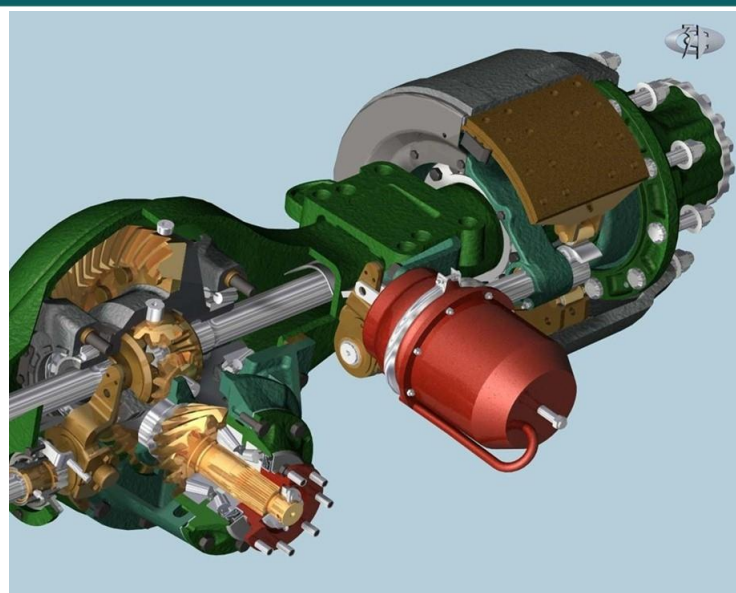
Folie: 215

Schweißen von Autokran aus feinkörnigem Stahl



Folie: 216

Anwendungsbeispiel 1.



Folie: 158

Anwendungsbeispiel 2.

Konstruktionstähle

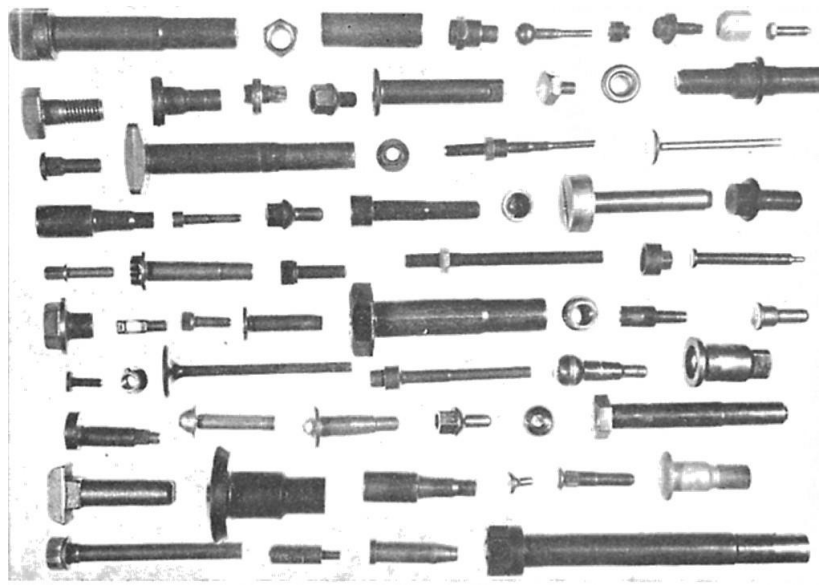
- Vergüteter Konstruktionsstahl
  - Kleines Maß - Unlegiereter (Charakt. Maß < 20 mm)
  - Gößeres Maß – Legierter (Durchhärtetiefe wächst)
- Vorfertigen durch Gesenkschmieden
  - Verschleißfeste Oberfläche
    - Krustenbildung

Kurbelstange

Kurbelwelle

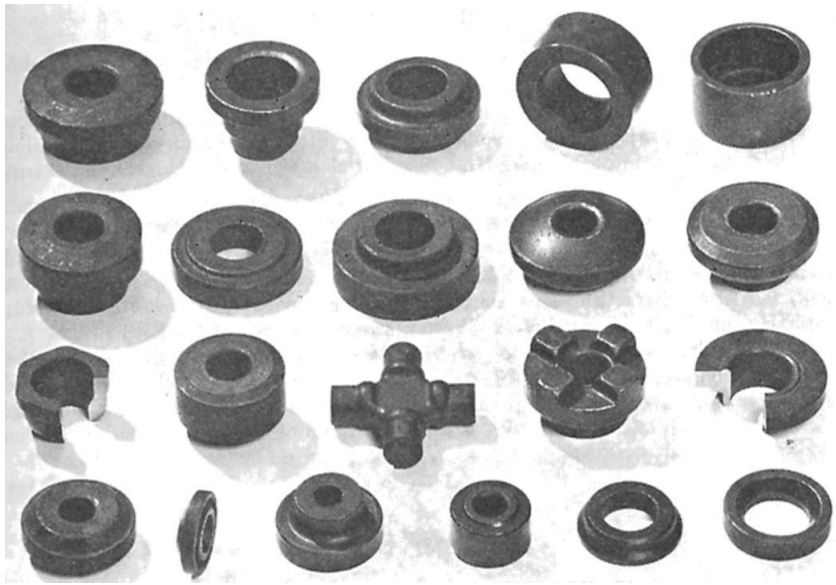
Folie: 159

Kaltverformte Werkstücke



Folie: 160

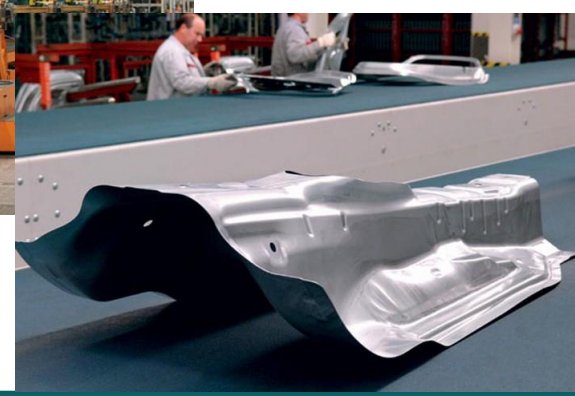
Warmverformte Werkstücke



Folie: 161

Werkzeugstähle

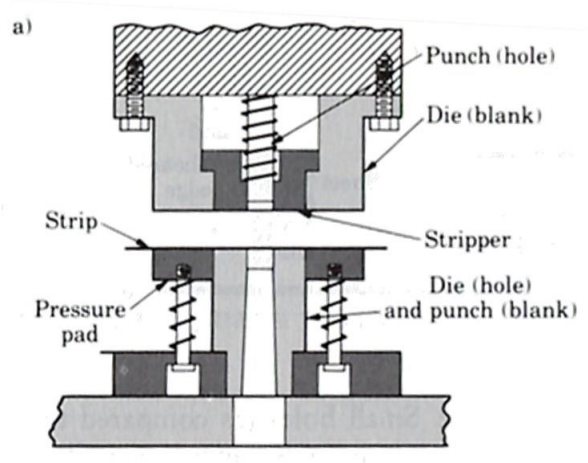
Presseerkzeuge



Folie: 162

Werkzeugstähle

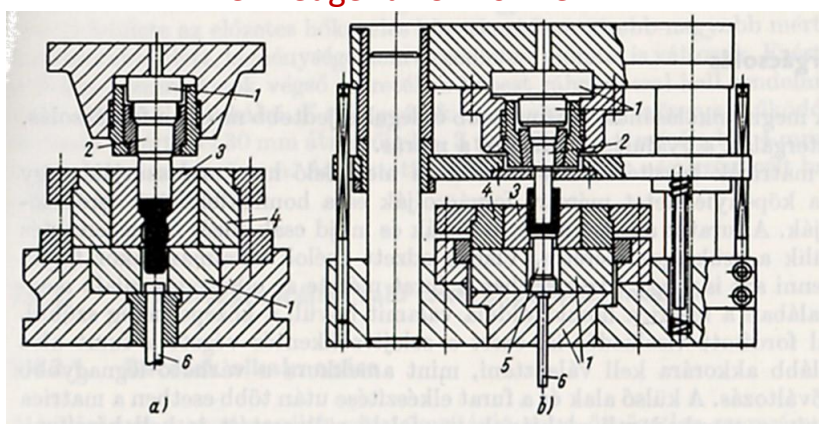
Werkzeuge für Umformen 1.



Stanzwerkzeug

Werkzeugstähle

Werkzeuge für Umformen 2.



5-30. ábra. Folyatószerszám felépítése a VDI 3138 2. lap szerint
a) tömör előrefolyató szerszám; *b)* csésze-hátrafolyató szerszám
1 nyomólap; *2* bélyeg; *3* folyatópersely; *4* zsugorító gyűrű (foglalás); *5* ellenbélyeg; *6* kilökő

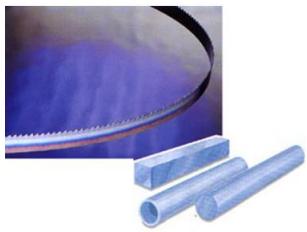
Werkzeuge für Fließtechnologien

Werkzeugstähle

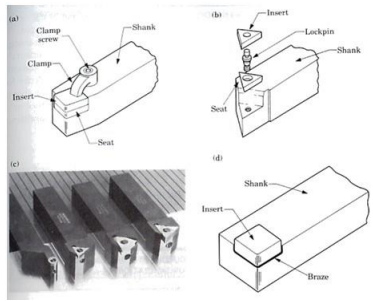
Schneidwerkzeuge

Walzenstirnfräser

Winkelfräser



Bandsäge



Dreheisen

Legierungselemente Stahlsorten

Danke für sie Aufmerksamkeit!