

Teil II: Fertigungstechnik – Verfahren und Anwendung**G Beschichtungs- und Randschichtverfahren****G.1 Einleitung**

G.1.1 Motivation

G.1.2 Anwendungsbereiche

G.2 Eigenschaftsänderung & Ausbildung von Grenzflächen**G.3 Beschichtungsverfahren**

G.3.1 Vorbehandlung des Grundkörpers und allg. Einteilung

Säubern des Grundkörpers (Substrat)

Einteilung nach Zustand des schichtbildenden Mediums

Einteilung nach Abscheidungsart

Einteilung nach Schichtart

G.3.2 Beschichten aus der Gasphase

Chemische Gasphasenabscheidung

Plasmapolymerisation

Physikalische Gasphasenabscheidung

Schichtaufbau

Bedampfen

Ionenplattieren

Kathodenzerstäubung (Sputter-Prozess)

G.3.3 Beschichten aus der Flüssigphase

Chemische Abscheidung

Chromatieren

Phosphatieren

Oxalatieren

Stromloses Vernickeln

Physikalische Abscheidung

Schmelztauchen von Stahl

Feuerverzinnen (300 °C)

Feuerverbleien (380 °C)

Feuerverzinken (460 °C)

Feueraluminieren (700 °C)

Lackieren

Polymerbeschichtung von Bändern

G.3.4 Beschichten aus der festen Phase

Emaillieren

Polymerbeschichtung im Wirbelbett

Thermisches Spritzen

Auftragschweißen

Trommelplattieren

G.3.5 Elektrochemische Beschichtung (Galvanotechnik)

G.4 Randschichtverfahren

G.4.1 Thermische Randschichten

G.4.2 Thermochemische Randschichten

Einsatzhärten

Nitrierhärten

Borieren

Alitieren u.a.

G.4.3 Physikalische Randschichtverfahren

Ionenimplantieren

G.4.4 Mechanische Randschichtverfahren

Kugelstrahlen

Festwalzen

Teil II: Fertigungstechnik – Verfahren und Anwendung

G Beschichtungs- und Randschichtverfahren

G.1 Einleitung

G.1.1 Motivation

Beschichtungsverfahren (DIN 8580.5)

- Schicht auf Grundkörper ohne Veränderung der Randschicht mit Maßzuwachs
V-G1 (Abb.G.1)
V-G2 (Abb.G.2)

Randschichtverfahren (DIN 8580.6)

- Veränderung der Randschicht des Grundkörpers ohne Auftragung mit geringer Maßänderung

G.1.2 Anwendungsbereiche

allgemeine Ziele:

- Optimierung der Eigenschaften, die von der Oberfläche abhängen,
- z.B. Korrosionsbeständigkeit
- Kombination von Grundkörper- und Schichteigenschaften
- z.B. harte Schicht, zäher Kern
- Kosten senken durch Begrenzung einer Eigenschaft auf die Schicht
- z.B. Chromstahl/verchromter Stahl
- Beeinflussung der Fertigungseigenschaften
- z.B. Schmiermittelträger und Schmierschichten für die Kaltumformung
- Verbesserung der Gebrauchseigenschaften

a) tribologische Eigenschaften

V-G3

- Reibungszahl
- Verschleißwiderstand
- Abrasion, Adhäsion, tribochem. Reaktion, Oberfl.-zerrüttung

b) chemische Eigenschaften:

- Nasskorrosion
 - Hochtemperaturkorrosion (Zundern)
- c) mechanische Eigenschaften:
- Zeit- und Dauerfestigkeit insbesondere bei Biegung und Torsion
- d) optische Eigenschaften:
- Reflexionsvermögen
 - Absorptionsvermögen
 - Färbung, Dekor
- e) elektrische Eigenschaften:
- Leitfähigkeit
 - Kontaktfähigkeit
 - Isolierung, Halbleiter
- f) maßliche Eigenschaften
- Regenerierung abgenutzter Teile
- g) Fügehilfe
- Lötthilfe durch Cu-Schicht
 - Klebehilfe durch Polymerschicht
- h.) Diffusionssperre
- Barriere gegen Wasserstoffdiffusion
 - (Wasserstoffversprödung)

G.2 Eigenschaftsänderung & Ausbildung von Grenzflächen

- Erweichung des Substrats
- z.B. Nitrieren gehärteter Stahlteile bei 570 °C
- Verzug /Eigenspannungen
- z.B. Feuerverzinken kaltumgeformter Stahlteile bei 460 °C
- Versprödung durch Wasserstoffaufnahme beim Galvanisieren
- Innere Oxidation beim Einsatzhärten

V-G4

- 5 verschiedene Typen von Übergangszonen V-G5 (Abb.G.3)
 - mechanisch
 - Monoschicht/Monoschicht
 - chem. Bindung
 - Diffusion
 - Pseudodiffusion
- Diffusionsübergang meistens mit günstigen Eigenschaften

G.3 Beschichtungsverfahren

G.3.1 Vorbehandlung des Grundkörpers und allg. Einteilung

Säubern des Grundkörpers (Substrat)

- chemisch (beizen) V-G6 (Abb. G.4)
- physikalisch (sputtern, entfetten)
- mechanisch (sandstrahlen, schleifen,...)

Einteilung nach Zustand des schichtbildenden Mediums

- gasförmig (z.B. Bedampfen)
- flüssig (z.B. Feuerverzinken)
- fest (z.B. Emaillieren)

Einteilung nach Abscheidungsart

- chemisch
- Verbindungsbildung
 - physikalisch
- Sublimieren
- Erstarren
- Abdampfen von Lösungs- oder Suspensionsmitteln
 - elektronisch
- Galvanisieren

Einteilung nach Schichtart

- homogen
- heterogen, mehrlagig, Gradient

G.3.2 Beschichten aus der Gasphase

Chemische Gasphasenabscheidung

- (chemical vapor deposition, CVD) Schichtbestandteile kommen aus der Gasphase V-G7
- Substrat in beheiztem Reaktorraum V-G8 (Abb.G.5)
- Durchfluss von Reaktionsgas
- Reaktion an der Substratoberfläche
- $\text{Ni}(\text{CO})_4 (\text{g}) \rightarrow \text{Ni} (\text{s}) + 4 \text{CO} (\text{g}) (180 \text{ }^\circ\text{C})$
- $\text{TiCl}_4 (\text{g}) + \text{CH}_4 (\text{g}) \rightarrow \text{TiC} (\text{s}) + 4 \text{HCl} (\text{g}) (1000 \text{ }^\circ\text{C})$
- $\text{AlCl}_3 (\text{g}) + 3/2 \text{H}_2\text{O} (\text{g}) \rightarrow \text{Al}_2\text{O}_3 (\text{s}) + 3\text{HCl} (\text{g}) (850^\circ\text{C})$

Erzeugbare Schichten

- Metallschichten (z.B. Ni, W)
- Carbid- bzw. Nitridschichten (z.B. TiC)
- Oxidschichten (z.B. Al_2O_3)
- Einkristalle (z.B. Si)
- Mehrlagenschichten V-G9

Vorteile

- Gleichmäßig dicke, dichte Schicht
- keine Abschattungen
- Refraktärmetall- oder Verbindungsschichten wie
- Karbide, Nitride, Boride, Oxide weit unter Schmelztemperatur
- Normaldruck oder schwaches Vakuum

Nachteile

- überwiegend hohe Substrattemperatur (unerwünschte Wärmebehandlung des Substrates, Verzug)
- Geringes Ausbringen des Reaktionsgases
- Giftigkeit und Reaktivität der Prekursoren und gasförmigen Reaktionsprodukte

Anwendung

- 5 μm TiC Beschichtung von X 155 CrVMo 12 1 für Kaltumformwerkzeuge

V-G10,11,12

- 5 μm TiC + 2 μm Al₂O₃ auf WC-Co Schneidplatten (Kap. C)

Plasmapolymerisation

- Abscheidung organischer oder anorganischer Polymere
- Verdampfung durch Elektronenstrahl, Ionen oder Photonen
- fest haftende, abriebfeste Schichten
- Herstellung von Membranen, Gasdiffusionsbarrieren, Antireflexschichten

Physikalische Gasphasenabscheidung

- (physical vapor deposition, PVD) Schichtbildung durch feste Spender und ggf. Gase V-G13 (Abb.G.6)
- Spender wird in Vakuumkammer in den gasförmigen Zustand gebracht und sublimiert auf dem Substrat
- Verdampfen des Spenders mittels
- Widerstandserwärmung
- Induktionserwärmung
- Elektronen-(Laser)strahl
- mechanisches Ablösen (Sputtern) von Spenderatomen durch auftreffende Inertgasionen (Ar)
- ohne Hilfsplasma => Bedampfen
- Substrat als Kathode => Ionenplattieren
- Spender als Kathode => Kathodenzerstäuben

Schichtaufbau

- reine Metalle
- Metalllegierungen (legierter Spender oder mehrere reine Metalle)
- Metallverbindungen (ein oder mehrere Spender oder Reaktionsgas)

Bedampfen

- Verdampfen, kein Plasma V-G14 (Abb.G.7)
- Vakuum 10^{-2} bis 10^{-5} Pa
- Dampfdruck des Spenders von ~ 1 Pa bei
- Cd 265 °C
- Ti 1740 °C
- W 3230 °C
- Substrat muss im Strom parallel austretender Spenderatome bewegt und gedreht werden, um Abschattungen zu vermeiden V-G15
- fast alle Metalle (Al, Cu, Ni, Cr, Ni-Cr, Mo, Ti, Cd, W)
- Vorteile
- hohe Abscheidungsrate bis 50 $\mu\text{m}/\text{min}$
- auch für nichtleitende Substrate
- geringe Erwärmung des Substrates, daher auch zur Beschichtung von Polymerwerkstoffen geeignet
- (relativ) umweltfreundlich
- Nachteile
- ausgeprägte Abschattung
- dichte Schichten nur bei geringem Abstand Spender-Substrat (nicht in Bohrungen)
- Anwendung
- Dekoration mit 0.1 μm Al
- Rückspiegel mit beschichteter Vorderseite
- Schießnägel (gegen Nasskorrosion) V-G16
- 60 bis 300 μm NiCrAlY (gegen Hochtemperaturkorrosion in Gasturbinen)
- Vergüten optischer Geräte
- Aufbringen supraleitender Schichten

Ionenplattieren

- Vakuum 10^{-3} bis 10^{-4} Pa V-G17 (Abb.G.8)
- auffüllen mit Ar auf 0.01 bis 7 Pa V-G18 (Abb.G.9)
- 3 bis 5 kV zwischen Spender (+) und Substrat oder Substrathalter (-)
- Glimmentladung, Ar-Plasma
- Sputtern (säubern) des Substrates V-G19
- Verdampfen des Spenders durch Beheizung wie beim Bedampfen
- Wechselwirkung zwischen neutralen Spenderatomen und Ar-Ionen
- Beschleunigung und Streuung der Spenderatome
- Sputterrate < Abscheidungsrate
- Vorteile
- bessere Schichthaftung, da gute Substratsäuberung
- weniger Abschattung
- auch für nichtleitende Substrate auf leitenden Haltern
 - Nachteile
- geringe Abscheidungsrate (z.B. $5 \mu\text{m}/\text{min}$)
- Erwärmung des Substrates ungeeignet für Polymerwerkstoffe
 - Anwendung
- Metallgrundierung für anschließende Galvanisierung
- Cu auf Ti (Absputtern des Oxidfilms)
- Cd Ersatz durch Al in der Raumfahrt
- Korrosionsschutz in Kernreaktoren durch Al-Beschichtung
- Reaktives Ionenplattieren
 - $2 \text{ Ti (verdampft) + N}_2 \rightarrow 2 \text{ TiN}$
- Beschichtung von Fräsern und Bohrern aus HSS bei $\sim 500 \text{ }^\circ\text{C}$ V-G20,21

Kathodenzerstäubung (Sputter-Prozess)

- Vakuum 10^{-3} bis 10^{-5} Pa V-G22 (Abb.G.10)
- Auffüllen mit Ar auf 0.1 bis 10 Pa
- Glimmentladung sputtert neutrale Atome aus dem Spender, Wechselwirkung mit Argonionen

- Vorteile
- Gute Haftung durch vorgeschaltetes Sputtern des Substrates am (-) Pol
- Hohe Auftreffgeschwindigkeit der Spenderatome \Rightarrow dichte Schichten
- Erwärmung des Substrates \Rightarrow Diffusion
- Bombardierung des Substrates durch reflektierte neutralisierte Ar-Atome \Rightarrow Verbesserung der Dichtigkeit
- Abscheidung von Verbindungen aller Art
 - Nachteile
- kleine Abscheidungsrate
 - Metalle 0.3 bis 2 $\mu\text{m}/\text{min}$
 - Verbindungen 0.05 bis 0.5 $\mu\text{m}/\text{min}$)
- Brechen spröder Spender
 - Anwendung
- Mikroelektronik
- 0.5 μm TiN Schicht, goldgelb und hart ersetzt Goldplattierung (reaktives Sputtern)
- 3 μm TiN auf Schnellstahlwerkzeugen bei 500 °C verzugsarm
- MoS₂-Schmierschicht

G.3.3 Beschichten aus der Flüssigphase

Chemische Abscheidung

Chromatieren

- Korrosionshemmende Chromatschicht durch Reaktion mit Grundmetall (Al, Mg, Zn)
- $\text{Zn} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{ZnSO}_4 + \text{H}_2$ V-G23,24
- $5 \text{H}_2\text{CrO}_4 + 3 \text{H}_2 \rightarrow \text{Cr}_2 (\text{CrO}_4)_3 \downarrow + 8 \text{H}_2\text{O}$
- Cr⁶⁺ gelb, daher Gelbchromatieren
- Schichtbildung durch Tauchen
- Anwendung
- Korrosionsschutz von Stahl, auch verzinkt
- Grundierung für Farbanstrich

Phosphatieren

- Korrosionshemmende 0.1 bis 10 µm dicke Zn, Fe oder Mn-Phosphatschicht durch Reaktion mit Grundmetall (Gusseisen, Al, Stahl)
- $3 \text{Zn}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 + 2\text{Fe} + 4 \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Zn}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 4 \text{H}_2\text{O} \downarrow + 2 \text{Fe}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 + 2 \text{H}_2 \uparrow$
Schichtbildung durch Tauchen, Walzen oder Sprühen
- Prozesstemperatur 20 – 100 °C
- Anwendung
- Grundierung für Farbanstrich
- Korrosionsschutz oft zusammen mit Öl, Fett, Wachs
- Schmiermittel beim Einlaufen
- Schmiermittel bei der Kaltumformung V-G25

Oxalatieren

- wie vor, jedoch für hochlegierte Stähle und Titanlegierungen
- $\text{Fe} + \text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \rightarrow \text{FeC}_2\text{O}_4 \downarrow + \text{H}_2 \uparrow$

Stromloses Vernickeln

- Korrosions- und Verschleißschuttschicht bis 150 µm auf Stahl, Al, Messing, Bronze
- $(\text{H}_2\text{PO}_2)^- + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}^+ + (\text{HPO}_3)^- + 2\text{H}_{\text{abs}}$,
- $2\text{H}_{\text{abs}} + \text{Ni}^{++} \rightarrow \text{Ni} \downarrow + 2\text{H}^+$
- mögliche Nebenreaktionen
- $(\text{H}_2\text{PO}_2)^- + \text{H}_{\text{abs}} \rightarrow \text{H}_2\text{O} + (\text{OH})^- + \text{P} \downarrow$
- Einbau von ≤ 15 % P in Ni-Schicht Mischkristallhärtung V-G26
- Aushärtung nach Warmauslagern (Ni_3P bis auf 1100 HV) (Abb.G.15)
- Beim Nibodurverfahren ähnliche Aushärtung durch Ni_3B
- Anwendung
- Steuergetriebe und Hydraulikteile V-G27
- Druckereizylinder, Werkzeuge V-G28
- Schutz gegen Reibkorrosion in Passungen
- Kolben 93046

Physikalische Abscheidung

Schmelztauchen von Stahl

- höhere Prozesstemperatur
- Erwärmung und Verzug des Substrats
- Abbau von Kaltverfestigung

Feuerverzinnen (300 °C)

- 5 – 20 µm Schichtdicke
- Nahrungsmittel- und Verpackungsindustrie (Weißblech, zunehmend galvanisiert)
- Löthilfe
- Grundierung für weitere Metallschichten (Verzinnen gusseiserner Lagerschalen)

Feuerverbleien (380 °C)

- Auftrieb
- keine Verbindungsbildung
- Löthilfe

Feuerverzinken (460 °C)

- ≈ 25 µm Schichtdicke V-G29 (Abb.G.16)
- Zn-Fe Verbindungsschicht + Zn V-G30 (Abb.G.19)
- als Korrosionsschutz auf Stahl im Hochbau, Brückenbau, Eisenbahnoberbau, Betonarmierung V-G31 (Abb.G.18) V-G32

Feueraluminieren (700 °C)

- bis 400 µm Schichtdicke V-G33 (Abb.G.19)
- Al-Fe Verbindungsschicht + Al V-G34
- Korrosionsbeständige Hausverkleidung, Maste- Stahlbauten

- beständiger als verzinkt, aber Erweichung des Stahls
- zunderbeständige Wärmetauscher und Ofenteile

Lackieren

- Filmbildende organische Substanzen werden in einem Lösungsmittel gelöst oder dispergiert und auf das Substrat aufgetragen.
Schichtbildung durch Verdampfen des Lösungsmittels
- Grundwerkstoffe
- Metalle, Keramik, Polymere
 - Schichtstoffe:
- Lösungsmittel: organische, Wasser
- Bindemittel: Öl, Vinyl, Acryl, Epoxid, Polyester
 - Zusatzstoffe:
- Farbstoffe, Zinkstaub, UV-Schutz
 - Beschichtung:
- Streichen, Rollen, Tauchen, Sprühen
(auch elektrostatisch)

V-G35

Polymerbeschichtung von Bändern

- Aufschmelzen von Thermoplasten im Extruder oder zwischen beheizten Schmelzwalzen
- Beschichten durch:
 - Aufwalzen (Kaschieren)
 - Streichen (Rakeln)
 - Blasglätten (Luftbürste)
 - Elektrostatisches Aufstäuben
- Verfestigung der Schichten durch Abkühlen
- Grundwerkstoffe:
- Gewebe, Papier, Metallbänder
 - Schicht:
- Viele Thermoplaste
 - Anwendung:
- wasserfeste Kartons

V-G36 (Abb.G.20)

- wasserfeste Planen
- Blechverkleidungen

G.3.4 Beschichten aus der festen Phase

Emaillieren

- Aufschmelzen einer körnigen Keramiksicht, die zu einer dichten, glashaltigen Beschichtung erstarrt V-G37
- Grundwerkstoffe:
 - Stahl, Gusseisen, Aluminium
 - Schicht:
 - z.B. 40 % SiO_2 , 20 % B_2O_3 , 15 % Na_2O und andere Oxide zur Farbgebung, chemischen Beständigkeit und Härtung
 - Beschichtung:
 - Auftragen einer körnigen Schicht durch:
 - Tauchen in oder Übergießen und Besprühen mit wässriger Schlempe plus Trocknung
 - Einbrennen im Ofen bei 800 °C
 - Vorteile:
 - Chemische Beständigkeit, pflegeleicht, farbig, hart, verschleißbeständig, schlagfest, Druckeigenspannungen, elektrisch isolierend
 - Anwendung:
 - Wasserboiler, Sanitäreinrichtungen, Haushaltsteile,
 - Lagerbehälter für Landwirtschaft u. chemische Industrie
 - Verkleidungen, Mikroelektronik
 - Wärmetauscher in Rauchgas-Entschwefelungsanlagen

Polymerbeschichtung im Wirbelbett

- Eintauchen erwärmter Metallteile in ein Wirbelbett aus Thermoplastgranulat im Luft- oder Stickstoffstrom. Aufschmelzen von Körnern durch Eigenwärme des vorgewärmten Substrats. Erstarren einer Schicht außerhalb des Wirbelbettes. V-G38 (Abb.G.21)
- Anwendung:

- Aufbringen einer lackähnlichen, auch farbigen Rostschutz- schicht auf Maschinenteile und Gebrauchsgegenstände

Thermisches Spritzen

- An- und Aufschmelzen stab-, draht- oder pulverförmiger metallischer oder keramischer Stoffe in einem Brenner zu Tröpfchen oder teigigen Partikeln, die im heißen Brenn- oder Trägergasstrom mit hoher Geschwindigkeit auf die Substratoberfläche treffen und dort eine Schicht aufbauen. V-G39,40,41
- Bindung:
 - mechanische Verhakung, Diffusion und/ oder van der Waals Kräfte
 - Grundwerkstoff:
 - Metalle
 - Schicht:
 - Metalllegierungen, Keramik, (MMC-Verbundwerkstoffe)
 - Beschichtung:
 - härtere Metalllegierungen und Keramik, zu Pulver verdüst oder gemahlen, werden Plasma-, Lichtbogen- oder Gasbrennern zugeführt (Plasma heißer als Flamme).

Spritzverfahren

- Flamspritzen oder atmosphärisches Plasmaspritzen V-G42
 - Oxide in der Schicht V-G43 (Abb.G.22,23)
- Vakuumplasmaspritzen (VPS) mit Argon in Vakuumkammer V-G44
 - Nachbehandlung
- Einschmelzen oder HIP bei Flamspritzen
 - Vorteile:
 - große Schichtdicken
 - gradierter Aufbau möglich V-G45
 - vielseitige Schichtstoffe
 - Anwendung:
 - verschleiß-, korrosions- und zunderbeständige Schichten,
 - elektrisch leitende / nicht leitende Schichten
 - poröse Schichten für Katalysatoren
 - Regenerierung abgenutzter Teile

- Urformen durch Spritzen

V-G46 (Abb.G.24)
V-G47

Auftragschweißen

- Verfahren:
- siehe Teil F
- Vorteile:
- Haftfestigkeit > als Spritzschichten
- dickere Schichten möglich
- Investitionskosten geringer
- Nachteile:
- nur Metalllegierungen aufschweißbar
- Anwendung:
- Korrosionsschutz
- Verschleißschutz

V-G48
V-G49 (Abb.G.26)
V-G50 (Abb.G.25)

V-G51
V-G52,53,54,55

Trommelplattieren

- Kleinteile werden zusammen mit Metallpulver, Glaskugeln und aktivierenden Zusätzen in eine Trommel gegeben. Durch Rotation findet ein Reinigen der Oberfläche und ein Aufhämmern der Pulverteilchen durch die Glaskugeln auf das Substrat statt.
- Keine Erwärmung, keine Wasserstoffversprödung durch Beizen oder elektronische Abscheidung.

V-G56

G.3.5 Elektrochemische Beschichtung (Galvanotechnik)

- Kathodische Abscheidung von Metallen durch Gleichstrom aus wässrigen Lösungen ihrer ionisierten Salze.
- Prinzip:
- $\text{Me}^+ + \text{e}^- \rightarrow \text{Me} \downarrow$
- Grundwerkstoffe:
- Metalle, Graphit, bedampfte Keramik und Polymerwerkstoffe
- Schichtmetalle:
- Cu, Ni, Cr, Cd, Zn, Sn, Pb, Ag
- Einlagerungen:

V-G57
V-G58,59,60,61
(Abb.G.11,12,13,14)

- P, B, in Ni (Dispersionsschichten), SiC, Diamantkörner
 - Beschichtung:
- Beladen von Gestellen
- Eintauchen in Tank
- Kleinteile in langsam rotierende Trommel
- dekorativ: wenige μm , funktionell bis 500 μm
 - Anwendung: V-G62
- Erhöhung von Verschleiß- und Korrosionswiderstand
- Regenerierung
- Kontakte
- Dekor
- Urformen durch Galvanotechnik V-G63,64

G.4 Randschichtverfahren

- Gezielte Veränderung der Randschicht eines meist metallischen Festkörpers durch V-G65
 - thermische Verfahren V-G66
- Flammhärten
 - thermochemische Verfahren
- Nitrierhärten
 - mechanische Verfahren
- Kugelstrahlen
 - physikalische Verfahren
- Ionenimplantieren
 - Ziel:
- Steigerung von Verschleißwiderstand und Schwingfestigkeit
- Beeinflussung chemischer oder elektrischer Eigenschaften
 - Weg:
 - Härteverlauf
 - Eht, Nht, Rht V-G67

G.4.1 Thermische Randschichten

- Erwärmen der Randzone
- schnelles Abschrecken ==> Martensitbildung

- Wärmequelle
 - Brenngas (Flammhärten)
 - elektrische Induktion
 - Laser
 - Selbstabschreckung
- Rht
 - 0,1 - 30 mm bei Vergütungsstählen (C45, 42 CrMo4)
- Anwendung:
 - Kurbel- und Nockenwellen V-G68
 - Kaltwalzen
 - Zahnflanken

G.4.2 Thermochemische Randschichten

Einsatzhärten

- Erwärmen der Randzone eines C-armen Stahles (16MnCr5)
- bei 950 °C in C-haltiger Umgebung halten V-G69 (Abb.G.27)
- Abschrecken in Öl => Martensitbildung V-G70 (Abb.G.28)
- Anlassen bei 180 - 200 °C
- Eht
 - 0,1 - 10 mm V-G71
- Rand mit 0,8 C hat Druckeigenspannungen
- Kern zäh (ca. 300 HV)
- Aufkohlungsmittel
 - Pulver (Holzkohle + BaCO₃)
 - Salzbad (cyanidhaltig)
 - Gas (CO, CO₂,)
- Anwendung:
 - Verschleißminderung auf Zahnflanken
 - Erhöhung der Dauerfestigkeit von Zahnflanke und -fuß
 - Nockenscheiben V-G72
 - Ringe schnelllaufender Wälzlager V-G73

Nitrierhärten

- Erwärmen der Randzone von Cr, Al legierten Vergütungsstählen
 - bei 450 - 570 °C in N-haltiger Umgebung halten
 - langsame Abkühlung (verzugfrei)

 - Nht
 - 5 bis 500 µm

 - Rand:
 - Nitridzone, γ -Fe₄N, ϵ -Fe₃N
 - spröde, nur durch Schleifen bearbeitbar
 - Diffusionszone
 - Härte 700 - 1200 HV
 - Druckeigenspannungen
- V-G74
-
- Kern:
 - wenig beeinflusst
-
- Nitrierverfahren
 - Pulver (Pulnieren, selten)
 - Badnitrieren (Tenifer-Verfahren)
 - N-haltige Salzbad (cyanidhaltig)
 - Gasnitrieren (NH₃)
 - Plasmanitrieren (NH₃, N₂)
-
- Anwendung:
 - Werkzeuge, Spindeln, Getriebeteile,
 - Extruderschnecken (Reibkoeffizient)
 - Bauteile mit geringem Verzug
- V-G75

Borieren

- Eindiffusion von Bor bei \approx 900 °C aus Pulver in die Randschicht von Stählen V-G76
- Bildung von überwiegend Fe₂B mit 1800 HV
- 10 bis 100 µm dicke Diffusionszonen
- mit oder ohne nachfolgendem Härten
- Anwendung:
- Verschleißschutz z.B. in Steinpressformen, Pflugscharen, Drosseln

Alitieren u.a.

- Eindiffundieren von Al, (Cr, Y) bei 800 bis 1100 °C aus Pulver in die Randschicht von Superlegierungen auf Ni- und Co-Basis.
- Bei Hochtemperaturbeanspruchung z.B. Turbinenschaufel bildet sich eine gegen Verzunderung schützende Al (Cr,Y)- Oxidschicht.

G.4.3 Physikalische Randschichtverfahren**Ionenimplantieren**

- Beschleunigen ionisierter Legierungsatome in elektrischem Feld von z.B. 100 kV unter Vakuum und Einbau die Substratoberfläche bei 1µm bis 2 µm Tiefe
- Grundwerkstoff: V-G77 (Abb.G.29)
- Metalle, Keramik
- Implantierte Elemente:
- fast alle
- Vorteile:
- geringe Erwärmung (keine Diffusion) neuartige Ungleichgewichte:
- z.B. Legieren mit unlöslichen Stoffen (Ar-Blasen)
- Mehrfachimplantierung:
 - z.T. mit Verbindungsbildung
- verzugsarm
- Aushärtung durch nachträgliche Erwärmung
- Nachteile:
- teures Verfahren
- Abschattungen
- nur sehr dünne Schichten herstellbar
- Anwendung:
- Mikroelektronik ⇒ Dotierung von Halbleitern
- Werkzeuge (Erhöhung des Verschleißwiderstandes) V-G78
- Brennerspitzen, Turbinenschaufeln, Katalysatoren (Erhöhung des Widerstandes gegen Hochtemperaturkorrosion)

G.4.4 Mechanische Randschichtverfahren

- Ziel:
- Erhöhung der Schwingfestigkeit V-G79
- Wirkung:
- Kaltverfestigung, Druckeigenstress im Rand, Veränderung der Oberflächenfeingestalt (Rauheit)

Kugelstrahlen

- Luftdruckstrahl mit Kugelbeladung
- Schleuderrad mit zentraler Kornzufuhr, Trägergas, Pressluftstrom V-G80
- Strahlkabine mit Gummiauskleidung
- Grobstrahlen \Rightarrow Tiefenwirkung \uparrow
- Feinstrahlen \Rightarrow Rauheit \downarrow
- Spannungsstrahlen unter Zugvorspannung zur Erhöhung der Lebensdauer V-G81
- Strahlmittel:
- Gusskorn:
 - Gusseisen verdüst
 - rund, 0.3 bis 3 mm
 - weich 400 – 500 HV, hart 650 – 750 HV
- Drahtkorn:
 - Abschnitte von kaltgezogenen Draht
 - zylindrisch, arrondiert
 - 400 bis 500 HV
 - weniger brüchig
- Glaskugeln:
 - für nichtrostende Stähle, Ti, Al zur Vermeidung von Kontamination durch Fe
- Anwendung:
- Fahrzeugfedern
- Turbinenschaufelfüße

Festwalzen

- Ziel:
- Glattwalzen von Flächen zum Abbau von Rauigkeitsspitzen
- Lebensdauererhöhung durch Festwalzen von Hohlkehlen (Einbringung von Druckeigenspannung)
- Verfahren:

V-G82