OBERFLÄCHENHÄRTENVERFAHREN

Nitrieren, Einsatzhärten und weitere thermochemische Behandlungen

Thermochemische Verfahren bzw. Oberflächenhärteverfahren sind Wärmebehandlungen, bei denen gezielt chemische Elemente wie Kohlenstoff oder Stickstoff bei erhöhter Temperatur in die Randschicht von Werkstoffen eindiffundieret werden mit dem Ziel Eigenschaften in (normalerweise eher kostengünstigen) Werkstoffen zu erhalten, die sich üblicherweise ausschließen, wie hohe Härte und hohe Zähigkeit.

Das grundsätzliche Problem: Harte Stähle (hoher Kohlenstoffgehalt) sind oft verschleißfest, dafür spröde und bruchanfällig. Zähe Stähle (wenig Kohlenstoff), sind zwar bruchsicherer, aber dafür weich und verschleißen schneller. Viele Bauteile benötigen aber dennoch beide Eigenschaften, eine harte Oberfläche für höheren Verschleißschutz und einen zähen Kern für höhere Bruchsicherheit.

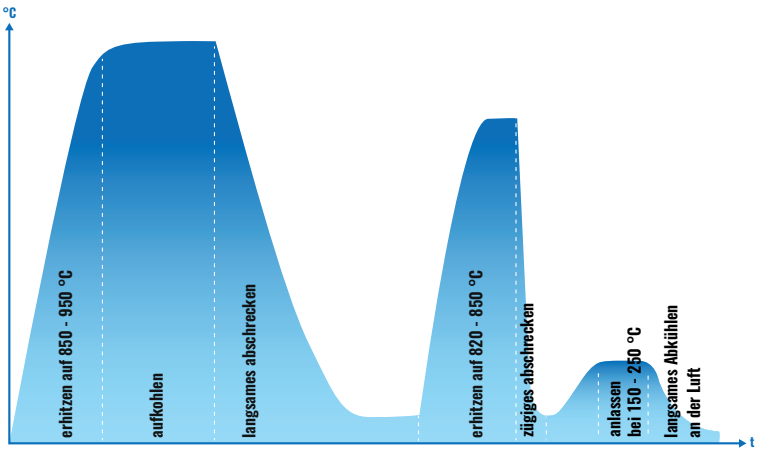
Zu den wichtigsten Verfahren gehören Einsatzhärten, Nitrieren, Carbonitrieren und Nitrocarburieren - die Wahl hängt von den gewünschten Eigenschaften, der erforderlichen Einhärtetiefe und der Bauteilbelastung ab.

Einsatzhärten

Beim Einsatzhärten wird Kohlenstoff bei Temperaturen zwischen 880 - 950 °C in die Randschicht kohlenstoffarmer (0,1 - 0,2 %) Stähle diffundiert, wodurch der Kohlenstoffgehalt dort auf 0,7 - 1,0 % erhöht wird. Nach der Aufkohlung wird das Bauteil abgeschreckt, dadurch wird die kohlenstoffreiche Randschicht zu hartem Martensit umgewandelt während der Kern weich und zäh bleibt. Das Verfahren ermöglicht relativ große Einhärtetiefen von bis zu 3 mm.

Der **Vorteil** ist klar: Es entstehen sehr harte, verschleißfeste Randschichten bei gleichzeitig hoher Kernzähigkeit. Zudem erlauben Einhärtetiefen von bis zu 3 mm eine hohe Belastungs- und Ermüdungsfestigkeit. Gleichzeitig bietet die Kombination aus zähem Kern und dicker harter Randschicht eine sehr hohe Schlagfestigkeit wie kaum ein anderes Verfahren.

Der **Nachteil** ist die Behandlungszeit von bis zu 20 Stunden bei gleichzeitig sehr hohen Temperaturen. Das macht es sehr energieintensiv und somit relativ teuer. Zudem ist der Verzug durch die hohen Temperaturen und das Abschrecken höher als bei Verfahren mit geringerer Behandlungstemperatur oder weitere Härteverfahren. Dadurch ist oft eine meist aufwändige Nachbearbeitung (Schleifen, Härten) nötig.



Einsatzhärten ist optimal geeignet für stark belastete Maschinenteile wie Zahnräder oder Wellen oder, aufgrund der großen Einhärtetiefe, für Bauteile die eine enorme Tragfähigkeit und Ermüdungsfestigkeit benötigen. Für sehr dicke oder sehr dünne Bauteile ist das Einsatzhärten jedoch weniger geeignet und auch bei Präzisionsteilen sollte aufgrund der dennoch vorhandenen Verzugsgefahr eine andere Methoden oder Werkstoffe gewählt werden.

Perfekt geeignet zum Einsatzhärten ist der Einsatzstahl 1.7131 (16MnCr5) bzw. generell kohlenstoffarme Stähle.
Hochlegierte Stähle sind nicht zum Einsatzhärten, da Legierungselemente wie Chrom, Molybdän, Vanadium oder Wolfram stabile Karbide bilden und die Kohlenstoffdiffusion deutlich verlangsamt bzw. abgefangen wird. Zudem haben hochlegierte Stähle oft bereits zwischen 0,3 und 1,5 % Kohlenstoff und eine erneute Aufkohlung würde zu Überkohlung und somit zu Sprödigkeit und Rissbildung beim Abschrecken führen. Ganz davon abgesehen, dass hochlegierte Stähle ohnehin bereits teurer sind und der Stahl durch die Legierungselemente oft bereits die gewünschten Eigenschaften besitzt.

Nitrieren

Anders als beim Einsatzhärten verhält es sich beim Nitrieren. Hier wird nicht Kohlenstoff eindiffundiert sondern Stickstoff mit dem Ziel eine extrem harte dünne Randschicht zu erhalten bei gleichzeitig unverändertem Grundwerkstoff. Beim Nitrieren wird ein Werkstück oder Bauteil in eine stickstoffhaltige Atmosphäre eingetaucht und erhitzt auf i.d.R. 500 - 580° C, also deutlich niedrigere Temperaturen als beim Einsatzhärten. Dabei wandert der Stickstoff in die Oberfläche des Werkstoffs und bildet dort Nitridverbindungen, was die Oberfläche anschließend äußerst verschleißfest macht. Nach dem Nitrieren ist der Prozess abgeschlossen - es braucht keine weitere Härtebehandlung oder ein Abschrecken wie beim Einsatzhärten. Es gibt verschiedene Verfahren des Nitrierens, die sich je „Eintauch"medium, Temperatur, und Dauer des Prozesses unterscheiden, wie das Gasnitrieren, Salzbadnitrieren, Plasmanitrieren oder Pulvernitrieren.

Vorteile beim Nitrieren sind die niedrigen Behandlungstemperaturen, dadurch verzieht sich das Material noch weniger. Zudem erreicht man mit dem Nitrieren eine extrem hohe Härte (mit einem soften Übergang in den zähen Kern) und eine sehr hevorragende Verschleißfestigkeit, sowie Korrosionsbeständigkeit. Es muss auch nicht einem weiteren Abschreckprozess unterzogen werden - die Härte entsteht bereits während des Nitrierens selbst. Zudem bleibt auch, wie beim Einsatzhärten, der zähe Kern des Materials erhalten.

Nachteile sind die zum Teil langen Prozesszeiten von bis zu 100 Stunden und die damit verbundenen höheren Behandlungskosten (lange Ofenzeiten = hohe Energiekosten). Auch die geringere Härtetiefe von maximal 0,8 mm (Einsatzhärten bis zu 3 mm) macht das Verfahren nicht für jede Anwendung sinnvoll. Zudem funktioniert diese Behandlungsmethode nicht bei jedem Werkstoff - es sollten legierte Stähle sein, die oft in der Anschaffungs bereits etwas teurer sind. Nitrierte Oberflächen lassen sich gut nachbearbeiten und die nitrierte Schichte kann spröde werden und abplatzen - eine Reparatur ist jedoch nicht möglich. Auch sind die Anschaffungskosten für spezielle Nitrieranlagen höher.

Nitrieren ist hervorragend geeignet für bereits bearbeitete Präzisionsteile, die eine hohe Lebensdauer, Ermüdungbeständigkeit, Verschleißfestigkeit und Härte benötigen, bei gleichzeitig geringer Nachbearbeitung, wie beispielsweise für Zahnräder oder Kurbelwellen oder im Allgemeinen Maschinenbauteile.

Perfekt zum Nitrieren geeignet ist der Vergütungsstahl 42CrMo4 bzw. 1.7225

Carbonnitrieren

Einen Mix aus beidem erhält man beim Carbonnitrieren. Bei diesem Verfahren diffundieren sowohl Kohlenstoff als auch Stickstoff gleichzeitig in die Randschicht des Stahls ein, typischerweise bei Temperaturen um 850 °C in einer Gasatmosphäre. Die Kohlenstoffanreicherung ermöglicht, wie beim Einsatzhärten auch, eine hohe Härte durch die Bildung von Martensit beim Abschrecken, während der Stickstoff zusätzlich die Anlassbeständigkeit und Verschleißfestigkeit erhöht.

Es kombiniert die **Vorteile** beider Verfahren: Man erhält eine harte, verschleißfeste Randschicht mit guter Tragfähigkeit (durch den Kohlenstoff) und gleichzeitig verbesserte Dauerfestigkeit bzw. Ermüdungsfestigkeit mit geringeren Verzug (durch den Stickstoff). Das Carbonnitrieren ist auch wirtschaftlich betrachtet attraktiv (wenn man die Kosten für die etwas aufwändigere Anlage außen vor lässt): Es können günstige Grundwerkstoffe mit einem niedrigen Kohlenstoffgehalt verwendet werden, da der Kohlenstoff im Laufe des Prozesses eingebracht wird. Zudem liegen die Prozesszeiten, je nach Einhärtetiefe, oft bei nur 1 - 3h. Das reduziert die Energiekosten und ermöglicht höheren Durchsatzraten, was es speziell für die Massenproduktion dünner Teile interessant macht. Und der geringe Verzug reduziert den Aufwand für eine aufwändige Nachbearbeitung.

Nachteil ist, dass die Kosten für eine solche Anlage höher sind. Auch erfordert die Prozessführung eine präzise Atmosphärenkontrolle, was die Anwendung anspruchsvoller macht und die erreichbare Einhärtetiefe ist mit 0,1 - 0,75 mm deutlich geringer als beim Einsatzhärten, wodurch das Verfahren für hochbelastete oder sehr dicke Bauteile mit großen Härtungstiefen ungeeignet ist. Zudem weisen dünnere Randschichten eher eine erhöhte Sprödigkeit auf.

Perfekt geeignet zum Carbonnitrieren sind niedrig legierte Einsatzstähle wie der 1.7131 (16MnCr5).

Nitrocarburieren

Beim Nitrocarburieren werden Bauteile bei 570 - 590 °C in einer Salzbad- oder Gasatmosphäre (mit Ammoniak und Kohlenstoff-abgebenden Gasen) behandelt.
Die niedrige Temperatur liegt jedoch unterhalb der Austenitisierungstemperatur, weshalb keine Gefügeumwandlung stattfindet und kein Abschrecken nötig ist.
Dabei entsteht eine extrem dünne Verbindungsschicht aus Eisennitriden direkt an der Oberfläche. Darunter folgt eine Diffusionsschicht mit gelöstem Stickstoff.
Die Verbindungsschicht ist extrem hart und sehr korrosionsbeständig, während die Diffusionsschicht für eine erhöhte Dauerfestigkeit sorgt.

Der **Vorteil** liegt aufgrund der niedrigen Behandlungstemperatur im geringen Verzug - das macht eine Nachbearbeitung nahezu überflüssig. Zudem ist die Korrosionsbeständig ist deutlich besser als beim Nitrieren oder Einsatzhärten. **Nachteil** ist allerdings, dass diese korrosionsbeständige Schicht sehr dünn ist und bei bei Stößen und starker Belastung abplatzen oder spröde werden kann.

Nitrocarburieren eignet sich somit besonders für Präzisionsteile mit Fokus auf Korrosionsschutz bzw. Verschleißschutz ohne extreme Belastungen.

Und auch hier sind die idealen Werkstoffe der Einsatzstahl 1.7131 (16MnCr5) bzw. der Vergütungsstahl 42CrMo4 bzw. 1.7225

OBERFLÄCHENHÄRTENVERFAHREN

Nitrieren, Einsatzhärten und weitere thermochemische Behandlungen

stauberstahl.com
Stauber GmbH Metalltechnologie • Daimlerstr. 14 • 74909 Meckesheim • Telefon: 0 62 26-9 33 33 0

	EINSATZHÄRTEN	PLASMANITRIEREN	GASNITRIEREN	SALZBADNITRIEREN	PULVERNITRIEREN	CARBONNITRIEREN	NTROCARBURIEREN
WAS PASSIERT?	Kohlenstoff diffundiert bei 850 - 950 °C in kohlenstoffarmen Stahl ein, danach wird abgeschreckt um Martensit zu bilden	Stickstoff-Ionen werden im elektrischen Plasma beschleunigt und „schießen" gezielt in die Werkstückoberfläche, wo sie Nitride bilden.	Ammoniak-Gas zersetzt sich bei 520 - 580 °C und der freiwerdende Stickstoff diffundiert in die Stahloberfläche und bildet dort harte Nitride	Das Werkstück wird in geschmolzene Cyanidsalze getaucht, die Stickstoff abgeben und in die Oberfläche eindringen lassen.	Das Werkstück wird in stickstoffhaltiges Pulver (meist mit Aktivatoren wie NH_4Cl) eingebettet und bei 500 - 580 °C erhitzt, wobei der freiwerdende Stickstoff in die Oberfläche diffundiert.	Kohlenstoff und Stickstoff diffundieren gleichzeitig bei hohen Temperaturen (700 - 900 °C) in die Oberfläche und bilden Karbide und Nitride.	Bei moderaten Temperaturen (570 °C) werden gleichzeitig kleine Mengen Kohlenstoff und Stickstoff eingelagert, hauptsächlich für Korrosionsschutz.
ANWENDUNGSBEREICHE	Zahnräder, Getriebe, Wellen, Lager, Bolzen, Ketten, Verzahnungen	Medizintechnik, Fahrwerkskomponenten, Schneidwerkzeuge, Umformwerkzeuge, Präzisionsteile, Wellen	Serienproduktion, Präzisionswerkzeuge, Messwerkzeuge, Hydraulikteile, Einspritz-komponenten, Zahnräder, Wellen	Massenproduktion für kleine Teile in großen Mengen, wenn zeitkritisch	einfache Werkzeuge wie Schraubenzieher, Landmaschinenteile (Pflugscharen)	Getriebe, Zahnräder, Maschinenbau, Bohrwerkzeuge, Teile mit schweren Belastungen	Gewehrteile, Bremsscheiben, Kolbenstangen, Ventile, Gabeln, für feuchte Umgebungen
BEHANDLUNGSTEMPERATUR	850 - 950 °C	350 - 550 °C	500 - 580 °C	520 - 580 °C	500 - 580 °C	700 - 900 °C	570 - 590 °C
BEHANDLUNGSDAUER*	4 - 20 h	2- 20 h	20 - 100 h	2 - 6 h	10 - 50 h	1 - 20 h	1 - 4 h
HÄRTETIEFE*	bis 0,5 - 3 mm	0,05 - 0,6 mm	0,1 - 0,8 mm	0,1 - 0,3 mm	0,1 - 0,5 mm	0,1 - 0,75 mm	0,1 - 0,5 mm
OBERFLÄCHENHÄRTE	650 - 750 HV	900 - 1400 HV	800 - 1200 HV	600 - 900 HV	600 - 900 HV	700 - 1000 HV	600 - 800 HV
ANSCHLIESSENDE EIGENSCHAFTEN	Bruchzähigkeit ●●●●○○ Ermüdungsfestigkeit ●●●●●○ Verschleißfestigkeit ●●●●●● Druckfestigkeit ●●●●●● Schlagfestigkeit ●●●●○○ Korrosionsbeständigkeit ●●○○○○ bis 200 °C temperaturstabil (ohne anlassen) steigerbar je nach Anlasstempertur (bis 400 °C	Bruchzähigkeit ●●●●○○ Ermüdungsfestigkeit ●●●●●● Verschleißfestigkeit ●●●●●● Druckfestigkeit ●●●●●○ Schlagfestigkeit ●●●●○○ Korrosionsbeständigkeit ●●●●●○ bis 550 °C temperaturstabil	Bruchzähigkeit ●●●●○○ Ermüdungsfestigkeit ●●●●●● Verschleißfestigkeit ●●●●●● Druckfestigkeit ●●●●●○ Schlagfestigkeit ●●●●○○ Korrosionsbeständigkeit ●●●●●○ bis 500 °C temperaturstabil	Bruchzähigkeit ●●●●○○ Ermüdungsfestigkeit ●●●●●○ Verschleißfestigkeit ●●●●●○ Druckfestigkeit ●●●●○○ Schlagfestigkeit ●●●●○○ Korrosionsbeständigkeit ●●●●●● bis 450 °C temperaturstabil	Bruchzähigkeit ●●●●○○ Ermüdungsfestigkeit ●●●●●○ Verschleißfestigkeit ●●●●●○ Druckfestigkeit ●●●●●○ Schlagfestigkeit ●●●●○○ Korrosionsbeständigkeit ●●●●○○ bis 550 °C temperaturstabil	Bruchzähigkeit ●●●●○○ Ermüdungsfestigkeit ●●●●●● Verschleißfestigkeit ●●●●●● Druckfestigkeit ●●●●●○ Schlagfestigkeit ●●●●○○ Korrosionsbeständigkeit ●●●○○○ bis 600 °C temperaturstabil	Bruchzähigkeit ●●●●●○ Ermüdungsfestigkeit ●●●●●● Verschleißfestigkeit ●●●●●● Druckfestigkeit ●●●●●○ Schlagfestigkeit ●●●●●○ Korrosionsbeständigkeit ●●●●●● bis 400 °C temperaturstabil
VORTEILE	tiefe Härteschicht, kostengünstig, reparierbar, breite Werkstoffpalette möglich	umweltfreundlich, schnelle Behandlungszeiten, extrem gute Maßgenauigkeit, sehr glatte Oberfläche, auch für Edelstähle oder Titanlegierungen	sehr gohe Maßgenauigkeit, glatte gleichmäßige Oberflächenqualität, minimaler Verzug, hohe Härte, für Präzisionsteile gut geeignet, schonender und präziser, funktioniert auch bei legierten Stählen, minimale Nachbearbeitung, oft direkt einsatzbereit, oft lange Bauteilelebensdauer, gute Maßstabilität, niedrigere Bearbeitungstemp. = min. Verzug, kein Abschrecken nötig	schnelle Behandlungszeiten, gleichmäßige Erwärmung, einfache Handhabung, Massenproduktionstauglich	einfache Anlage, günstig, keine Gase, ideal für kleine Serien und Prototypen	tiefe Schichten möglich, Kohlenstoff und Stickstoff wird gleichzeitig diffundiert, hohe Belastbarkeit, sehr temperaturbeständig, reparierbar	herausragende Korrosionsbeständigkeit, sehr hohe Maßgenauigkeit, sehr glatte Oberflächenqualität, sehr schnell, releativ kostengünstig, für viele Werkstoffe geeignet
NACHTEILE	braucht Nacharbeitung, muss abgeschreckt werden sonst wird es nicht hart, mehr Verzug durch hohe Hitze und Abschreckung (Abschreckrisse möglich), Gefügeveränderung im Grundstoff möglich aufgrund hoher Temperaturen, nicht für sehr dicke oder sehr dünne Teile geeignet, nicht für hochlegierte Stähle geeignet, energieintensiv	hohe Anschaffungskosten, spezielle Anlagen werden benötigt = teuer, begrenzte Stückzahlen	lange Behandlungszeit, teuer, umweltkritisch, begrenzte Härtetiefe, nur für legierte Stähle geeignet, nicht reparierbar, nicht für sehr dicke Bauteile geeignet, Schichtsprödigkeit, schwierige Nachbearbeitung aufgrund hoher Härte, temperaturempfindlich	giftige Salze, starke Umweltprobleme, ungleichmäßige Oberfläche, Nachbehandlung oft nötig, Korrosionsbeständigkeit nicht optimal, mäßige Maßgenauigkeit, in der EU weitestgehend verboten	ungleichmäßige Schicht, schlechteste Qualität, Nachbearbeitung oft nötig, kein präzise steuerbarer Prozess, niedrige Härte	mäßige Maßgenauigkeit, höhere Temperaturen = mehr Verzugsgefahr, lange Prozessdauer, Steuerung sehr komplex, Nachbearbeitung oft nötig, nur für Stähle mit niedrigen Kohlenstoffgehalt,	sehr dünne Schicht = begrenzte Standzeit, lohnt sich mehr bei Priorität auf Korrosionsschutz liegt, geringere Härte, nicht für starke Belastungen geeignet, optische Einschränkungen (Oberfläche oft geschwärzt), Reparatur nur schwierig möglich
IDEALER WERKSTOFF	**16MnCr5** (1.7131) kohlenstoffarme Stähle (0,1 - 0,2 % C)	**X38CrMoV5-1** (1.2343), **X40CrMoV5-1** (1.2344), **42CrMo4** (1.7225), **X30CrMoN15-1** (1.4108), **X20Cr13** (1.4021), **X5CrNi18-10** (1.4301), **CrVMo12-1** (1.2379), auch schwierige Werkstoffe möglich	**X38CrMoV5-1** (1.2343), **40CrAlMo7** (1.8509), **42CrMo4** (1.7225), **16MnCr5** (1.7131), **34CrMo4** (1.7220), **34CrAlNi7** (1.8550), **42CrMoS4** (1.7227), legierte Stähle mit Cr, Al, Mo	**C45** (1.0503), **42CrMo4** (1.7225), **16MnCr5** (1.7131)	**42CrMo4** (1.7225), **C45** (1.0503) niedrig gekohlte Einsatzstähle für C-Aufnahme	**16MnCr5** (1.7131), **20MnCr5** (1.7147), **18CrNiMo7-6** (1.6587), **15CrNi6**(1.5919), **C15**(1.0401), **C22** (1.0402)	**42CrMo4** (1.7225), **16MnCr5** (1.7131), **X20Cr13** (1.4021), **C45** (1.0503) unlegierte Stähle funktionieren gut, anders als beim nitrieren, Werkzeugstähle kombinieren Härte und Korrosionsschutz

* die Behandlungsdauer ist immer abhängig von der Einhärtetiefe und die Einhärtetiefe von der Behandlungsdauer!

HAFTUNGSAUSSCHLUSS: Da die Werte je nach Bearbeitung variieren können sind die o.g. Werte lediglich Richtwerte ohne Garantie!