

Vergleich von Wärmebehandlungsverfahren für Nachfolgebesechichtungsprozesse

Ulrich Reese, Härtereireese Chemnitz GmbH&Co.KG, Chemnitz, ureese@haertereireese.com

1. Einleitung:

Wärmebehandlungsverfahren dienen bei metallischen Werkstoffen allgemein zur Verbesserung der Bauteileigenschaften für den gewünschten Anwendungsfall.

Sehr oft soll auch der Ausgangszustand für mögliche thermochemische oder physikalische Folgeprozesse verbessert werden.

Ziel ist dann u.a. den Härtegradienten oder die Tragfähigkeit für die Oberflächenschicht zu verbessern.

Beachtet werden muss, dass jede Wärmebehandlung sowohl mit Verzug als auch mit Maßänderungen verbunden sein kann.

Viele Behandlungsprozesse sind dabei temperaturabhängig hinsichtlich der Eigenschafts- und Maßänderungen in Abhängigkeit reversibel.

Diese Zusammenhänge werden oftmals nicht beachtet und führen in der Praxis zu einem frühzeitigen Ausfall des Bauteils.

Nachfolgend einzelne gängige Wärmebehandlungsverfahren, die hier betrachtet werden sollen:

1. Härten und Vergüten
2. Einsatzhärten
3. Randschichthärten
4. Vakuumhärten
5. Nitrierprozesse

1. Härten und Vergüten

Komplette Bauteilerwärmung auf oberhalb A_{c3} – (Temperatur: 790 – 900 °C)

Härteprozess: Gas-*, Warmbad-, Öl-, Emulsion- oder Wasser-härtung (Abschreckung)
Anlassen oder Entspannen auf Sollhärte.
Bis ca. 300°C: Härten, ab ca. 300 – 700 °C: Vergüten.

Ziel des Härteprozesses:

Dem Gebrauchszweck angepasste Härte. – geringe Zähigkeitssteigerung.

Ziel des Vergütens:

Verbesserung des Werkstoffgefüges mit einer möglichst hohen Zähigkeit bei einer dem Verwendungszweck angepassten Streckgrenze/Zugfestigkeit.
Eine Umrechnung von Härte auf Festigkeitskennwerte ist nur bedingt möglich.

Härten und Vergüten

Vorteilhaft für thermische Folgeprozesse:
Anlassbeständige Vergütungsstähle mit entsprechend Anlasstemperaturen
(550 – 700°C)
* s.a. Vakuumhärten.

Bild 1 zeigt hierzu einige Anlassdiagramme ausgewählter Stahlsorten.

2. Einsatzhärten

Komplette Bauteilerwärmung während des Aufkohlprozesses und des Härstens.
Aufkohlung im Gas, Plasma oder im Niederdruck - Temperatur: 880- 980°C.
Härteprozess: Gasdruck-, Öl- oder Warmbad-abkühlung - Temperatur: 790 – 950°C
Eht (Einsatzhärtungstiefe): i. d. Regel Grenzhärte 550 HV
Anwendbar für niedrigleg. Stähle,
z. Bsp. :16 MnCr 5; 21 MnCr 5; 17CrNiMo6*; 18 CrNi 8*
Sonderstähle mit erhöhten P- oder S-Gehalten zur besseren Zerspanbarkeit -
Datenblätter erforderlich für Festigkeitswerte und Wärmebehandlungen.
* Für Gashärtung geeignet.

Bild 2 zeigt mögliche Wärmebehandlungsvarianten als Temperatur-Zeit-Folge-
Diagramm, sowie ein Anlassdiagramm eines Einsatzstahls.

3.Randschichthärten

Erwärmung nur der Randschicht - (Temperatur: 800 – 950 °C)
Flamm-, Induktiv-, Laser- und Elektronenstrahlverfahren.
Härteprozess: Eigenkühlung, Emulsions- oder Wasserkühlung.
Leg. und unleg. Stähle ab ca. 0,40 % C.
z. Bsp.: Cf 45, Cf 55, 41 Cr Mo 4, u.a. Vergütungsstähle.
Einsatzstähle nach dem Aufkohlen, unter Beachtung von fehlender Kernfestigkeit.
Rht (Rand-Härtetiefe): Grenzhärte i. d. Regel 80% der Oberflächen-Sollhärte.
Flamm- u. Induktivhärten: bis ca. 4 mm je nach Technologie auch tiefer.
Elektronenstrahl- und Laserhärten: bis ca. 1- 2 mm z. Zt. technisch möglich.

4. Vakuumhärten

Kompletterwärmung des Bauteils.
Gängig für hochleg. und mittelleg. Werkzeugstähle:
Verzugsarm, sauberes Verfahren. Temperatur: 840 – 1200 °C*

Härteprozess: Gasdruck- oder Öl-abkühlung.

Aussicht:

Bei Änderungen der Einsatzstähle zu mittelleg. Stählen auch für diese Gruppe eine
verzugsarme Alternative. Z.Zt. jedoch nur für dünnwandige Bauteile im Automobilbau.
(Einspritzdüsen)

Nachteil:

geringere Kernfestigkeit*.

* materialabhängig

5. Nitrierprozesse

Komplette Bauteilerwärmung auf Nitriertemperatur. - Temperatur: 480 – 580 °C.

Härtungsprozess:

Die Nitrierprozesse basieren auf thermochemische Diffusionsprozesse ohne folgende Abschreckung/schnelle Abkühlung des Bauteils. Auf Grund der Nitridbildung werden Druckspannungen in der Oberfläche erzeugt. Neben Fe führen besonders die Sondernitridbildner wie Al, Cr, Ti, V und Mo zu einer höheren Härte in der Diffusionsschicht.

Nht (Nitrierhärteiefe): Grenzhärte= Kernhärte + 50 HV

Anwendbar für niedrigleg. Stähle, die Nitridbildner beinhalten, sowie bedingt Vergütungs- und Einsatzstähle.

z. Bsp.: 31CrMoV 9 / 30 CrMoV 9; 34 CrAlNi 7; 42 CrMo 4; 16 MnCr 5

Bild 3: Nitrierhärteiefenverläufe im Vergleich und GDOS-Analyse einer Nitrierschicht, sowie das dazugehörige metallographische Schliffbild.

2. Vergleich der vorgestellten Verfahren für Folgeprozesse

Die zu den Punkten 1-4 vorgestellten Verfahren sind, wie bereits erwähnt in Temperaturabhängigkeit reversibel hinsichtlich der Gefüge- und Härteausbildung.

Neben den Änderungen der Festigkeitskennwerte treten dabei auch maßliche Änderungen auf.

Bild 4 zeigt eine Dilatometerkurve mit den bei der Abschreckung/Härtung verbundenen Maßänderungen.

In Abhängigkeit der Anlasstemperatur erfolgt eine Verringerung des Bauteilwachstums. Als Faustregel für Folgeprozesse gilt zur Vermeidung von maßlichen Änderungen, dass die Anlasstemperatur mind. 50 °C oberhalb der möglichen Folgebehandlungstemperatur liegen sollte.

Bild 5 zeigte einige Anlassdiagramme von ausgesuchten Werkzeug- und Vergütungsstählen. Deutlich erkennbar ist dabei, dass einige Werkzeugstähle, z. Bsp. 1.2379, ein Sekundärhärtemaximum aufweisen, die diese besonders für thermische Folgeprozesse favorisieren. Sekundärkarbidausscheidungen führen dabei zu einer Härtesteigerung, die gleichzeitig mit einer Zähigkeitszunahme verbunden ist.

Für thermische Folgeprozesse ist eine solche Vorbehandlung hinsichtlich der Maß- und Formbeständigkeit optimal.

Auf Bild 5 ist auch die erhöhte Anlassbeständigkeit des Vergütungsstahl 1.7707 (30 CrMoV 9) erkennbar, der bis 650°C relativ gute Festigkeitskennwerte bei einer entsprechend gesteigerten Brucheinschnürung aufweist.

Die Nitrierprozesse basieren auf einen thermochemischen Diffusionsprozess ohne folgende Abschreckung/ schnelle Abkühlung des Bauteils.

Auf Grund des Härtungsmechanismus durch die Nitridbildung werden Druckspannungen in der Oberfläche erzeugt.

Damit verbunden ist ebenfalls, in Abhängigkeit von der Verfahrensauswahl, ein mehr oder weniger stärkeres Bauteilwachstum.

Dieses Wachstum wird u. a. durch die sich bildende Verbindungsschicht erzeugt. Neben einigen Vorteilen wie bedingter Korrosionsschutz und Verbesserung der tribologischen Gleit- und Einlaufeigenschaften, führt dies zu einem Wachstum des Bauteils von ca. 1-2% in Abhängigkeit der Oberflächenrauigkeit, die gleichzeitig auch zunimmt.

Vielfach ist diese Verbindungsschicht jedoch auf Grund der vorhandenen Sprödigkeit nicht erwünscht oder sollte nur gering ausfallen.

Folgeprozesse können durchaus im annähernd gleichen Temperaturgebiet stattfinden, wobei die erzeugte Verbindungsschicht wegen der vorhandenen Sprödigkeit für

Folgebeschichtungen mechanisch entfernt werden sollte.

In Abhängigkeit der Behandlungsdauer des Folgeprozesses ist ein Abbau der Oberflächenhärte zu beachten.

3. Zusammenfassung

Die kurz dargestellten Wärmebehandlungsverfahren sind unter Beachtung der aufgezeigten Vor- und Nachteile für Folgeprozesse geeignet.

Es wurden dabei einige wesentliche Vor- und Nachteile der Verfahren aufgezeigt und deren Einfluss auf die thermischen Folgeprozesse hingewiesen.

Neben möglicher Maß- und Formbeständigkeit ist die Bauteilfestigkeit und der damit verbundene Härtegradient ein wesentlicher Faktor.

Der Härtegradient sollte optimal gewählt werden, wobei die eingesetzten Materialien diese Wahl zu lassen sollten.

Bild 6 zeigt den typischen Fertigungsablauf bei der Einsatzhärtung und bei den Nitrierprozessen. Ähnlich wie für das Einsatzhärten verläuft die Arbeitsfolge für das Randschichthärten, Härten und Vakuumhärten.

Bild 7 zeigt grundsätzliche Einflussfaktoren auf das Verzugverhalten, die natürlich auch nachgeschaltete thermische Beschichtungsprozesse beeinflussen.

Die Tendenzen zur weiterer Massereduzierung und Erhöhung der Festigkeitseigenschaften führen immer mehr zu Kombinationen von verschleißbeständigen Schichten auf entsprechenden geeigneten Grundwerkstoffen.

Eine Kombination und Verkettung dieser Prozesse wird daher immer wichtiger.

Forschungen auf dem Gebiet der Steigerungen der Verschleißfestigkeiten von Zahnrädern durch optimale Vergütung, Nitrierung und PVD-Beschichtungen bestätigen diese Tendenzen.

Vergleich der gängigen Wärmebehandlungsverfahren für Nachfolgeschichtungsprozesse
Anlass-Schaubilder

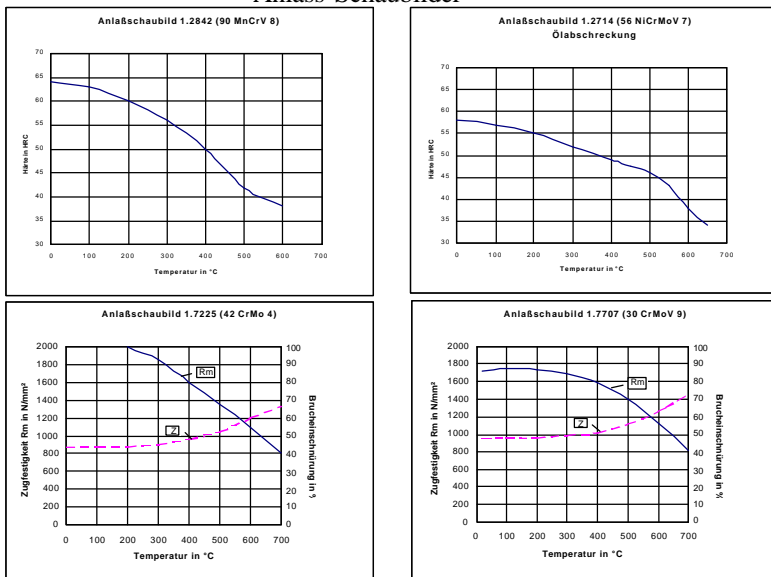


Bild 1

Härterei Reese Chemnitz
GmbH&Co.KG - www.haertere.com

Vergleich der gängigen Wärmebehandlungsverfahren für Nachfolgeschichtungsprozesse

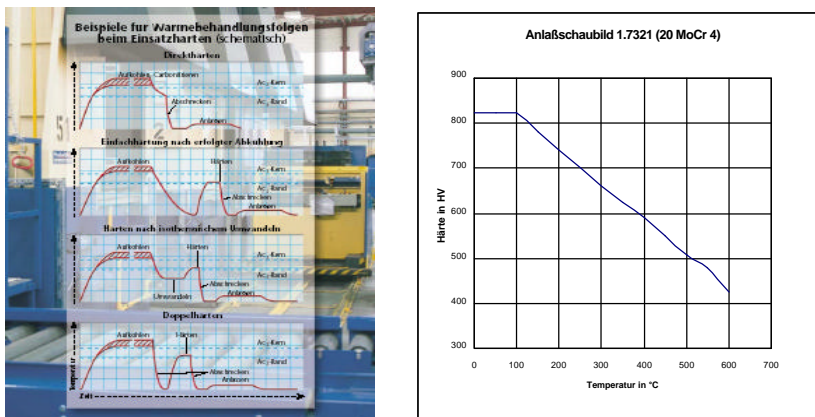


Bild 2: Temperatur-Zeit-Folgschema für verschiedene Einsatzhärtevarianten und Anlass-Schaubild.

Härterei Reese Chemnitz
GmbH&Co.KG - www.haertere.com

Vergleich der gängigen Wärmebehandlungsverfahren für Nachfolgeschichtungsprozesse

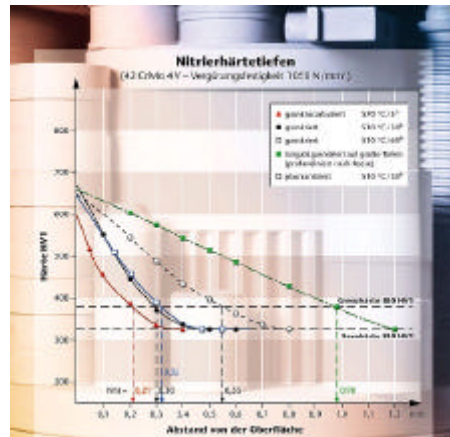
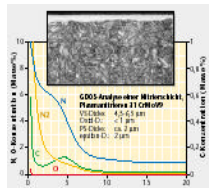


Bild 3: links: Typ. Schichtaufbau einer Nitrierschicht (Verbindungsschicht und Diffusionsschicht.
rechts: Nitrilhärtetiefenverläufe verschiedener Nitrierverfahren im Vergleich.

Härterei Reese Chemnitz
GmbH&Co.KG - www.haererei.com

Vergleich der gängigen Wärmebehandlungsverfahren für Nachfolgeschichtungsprozesse

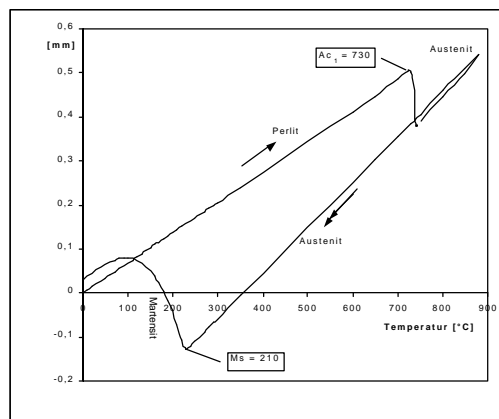


Bild 4: Dilatometerkurve eines Stahles mit 0,9% C; Erwärmungsgeschwindigkeit: 2°C / min
Abkühlgeschwindigkeit: Wasserabschreckung von 870°C

Quelle: Schumann: "Metallographie", S. 356, 10. Auflage, Dt. Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig.

Härterei Reese Chemnitz
GmbH&Co.KG - www.haererei.com

Vergleich der gängigen Wärmebehandlungsverfahren für Nachfolgebeschichtungsprozesse

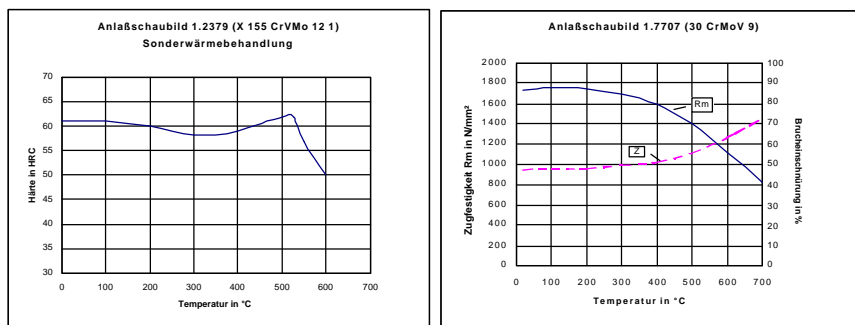


Bild 5: Anlassdiagramm für 1.2379 und 1.7707

Härterei Reese Chemnitz
 GmbH&Co.KG - www.haerterei.com

Vergleich der gängigen Wärmebehandlungsverfahren für Nachfolgebeschichtungsprozesse

Fertigungsablauf
Nitrieren:

- Grobbearbeitung
- Vor-Vergüten zum Nitrieren*
- *
- Feinbearbeitung
- Spannungsarmglühen zum Nitrieren* *
- (Aufmaß ca. 1 mm)
- Feinstbearbeitung
- Nitrierprozess*
- Schleifen / Läppen

* Beachtung von
 Mindesttemperaturen.

Fertigungsablauf
Einsatzhärten:

- Grobbearbeitung
- Spannungsarmglühen*
- (Aufmaß ca. 1 mm)
- Feinbearbeitung mit Schleifzugabe
- Einsatzhärtung / Richten*
- Schleifen

Härterei Reese Chemnitz
 GmbH&Co.KG - www.haerterei.com

Bild 6: Fertigungsabläufe Nitrieren und Einsatzhärten

Vergleich der gängigen Wärmebehandlungsverfahren für Nachfolgebeschichtungsprozesse

Maß- und Formänderungen – komplexe Betrachtung von Einflussfaktoren

-Konstruktion: konstruktive Bauteilauslegung, gerade Leichtbau.

-Werkstoffherstellung: Erschmelzung, Erstarrung können zu Inhomogenitäten (Seigerungen) führen. Seigerungen führen zu unterschiedlichen Umwandlungsverhalten und unterschiedliche Gefügeausbildung.

Folge: Inhomogenes Verzugsverhalten - extrem Riss.

-Umformung: Auswirkung auf die Gefüge-, Eigenspannungs- und Texturzustände. Beeinflusst nachfolgende Fertigung und Maß- und Formänderung.

-Spanende Bearbeitung: Erzeugen inhomogene Eigenspannungszustände, die als Quellen für Verzug gelten. (Oberflächenbeeinflussung und Passivschichtbildung für thermochemische Folgeprozesse).

-Wärmebehandlung: Legt als abschließender Fertigungsschritt die Maß- und Formänderungen frei. Kann jedoch als Zwischenfertigungsschritt zur Minderung beitragen.

grau: beeinflussbar - *kursiv: nur bedingt zu beeinflussen*

Härterei Reese Chemnitz
GmbH&Co.KG - www.haerterei.com

Bild 7: Grundsätzliche Einflussfaktoren auf die Maß- und Formbeständigkeit.