

Wärmebehandlungen und Verzug – Überblick und Ursachenbetrachtung

Von Dipl. Ing. Ulrich Reese, Geschäftsführer der Härterei Reese Chemnitz GmbH & Co. KG

Spricht man von Verzug oder Maß- und Formänderung in Verbindung mit der Wärmebehandlung, so muss unterschieden werden zwischen den beeinflussbaren und den stoffspezifischen Einflussgrößen.

Weiterhin von Bedeutung ist das durchgeführte Härteverfahren bzw. die Wärmebehandlung.

Die in der Härterei-Branche vielfach zitierte Aussage: „Was nicht krumm geworden ist, ist auch nicht hart!“, ist in der heutigen Fertigungspraxis nicht akzeptabel.

Nachfolgend soll nun ein Überblick über die Einflussgrößen im Allgemeinen gegeben werden sowie über die der gängigen Wärmebehandlungen oder Härteverfahren.

I. Einflussfaktoren auf die Maß- und Formänderung

1. Konstruktion
2. Werkstoffherzeugung
3. Werkstoffumformung
4. Mechanische Werkstoffbearbeitung
5. Wärmebehandlung / Härteprozess

1. Konstruktion

Hier sollte in Abhängigkeit der Bauteilfunktion und der geplanten Wärmebehandlung auf entsprechende Querschnittsübergänge geachtet werden. Gerade im konstruktiven Leichtbau entstehen hier schon extreme Spannungsspitzen an den Querschnittsübergängen.

2. Werkstoffherzeugung

Die wesentlichen Faktoren sind hier die Güte des Materials und etwaige Inhomogenitäten, die durch geeignete Erzeugungsauswahl minimiert werden können. Durch Inhomogenitäten und Seigerungen kann ein unterschiedliches Umwandlungsverhalten auftreten und es sind unterschiedliche Gefügeausbildungen möglich. Ein unterschiedliches Verzugsverhalten ist in diesen Fällen vorprogrammiert. Nicht zu unterschätzen ist auch der Einfluss der Korngröße.

3. Werkstoffumformung

Durch zu hohe oder zu niedrige Umformungstemperaturen und durch falsche Folgeglühprozesse können ebenfalls inhomogene Gefügestände erzeugt werden, die sowohl Einfluss auf das Verzugsverhalten als auch die Härtewerte haben können.

4. Mechanische Werkstoffbearbeitung

Hier entstehen gerade durch zunehmende Schnittgeschwindigkeiten hohe und inhomogene Eigenspannungszustände. Daneben können die Kühlschmierstoffe durch die Bildung von Passivschichten negative Einflüsse auf die thermochemische Wärmebehandlung ausüben. Beide Punkte werden als mitverursachend für den Verzug angenommen.

5. Wärmebehandlung

Sofern diese nicht zur Spannungsminderung als Zwischenfertigungsschritt folgt, erzeugt sie verfahrensabhängig die werkstoffspezifische Maß- und Formänderung, die durch eine zu schnelle Bauteilerwärmung verstärkt werden kann.

Zusammen mit den sich lösenden Eigenspannungen aus den Vorfertigungsstufen, bedingt durch die sich verringernde Streckgrenze während der Wärmebehandlung sowie den inhomogenen Gefügestrukturen, können nicht definierte Maß- und Formänderungen entstehen.

Sehr oft treten auch mehrere der einzelnen Faktoren zusammen auf und führen damit zu erheblichen Steigerungen des möglichen Maßverzuges oder der Formänderung.

Die einzelnen Faktoren sind nicht immer im vollen Umfange durch den Anwender beeinflussbar.

Hierzu sollen heute gängige Wärmebehandlungsverfahren auf ihren möglichen Einfluss näher beschrieben werden.

II. Gängige Wärmebehandlungsverfahren

Diese sind:

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

1. Härten und Vergüten mit und ohne Schutzgas

Beide Verfahren sind prinzipiell gleich, bis zu einer Anlasstemperatur von 300°C spricht man von dem Härten, darüber von dem Vergüten. Das zu behandelnde Bauteil wird komplett erwärmt und in der Regel in Öl oder Emulsion abgehärtet. Mit Schutzgas wird eine Entkohlung oder Verzunderung der Randzone weitestgehend verhindert. Gängige Härtetemperaturen liegen bei 790 - 900°C für unlegierte bis mittellegierte Stahlsorten.

Durch das nachfolgende Anlassen erfolgen die gewünschte Einstellung des Härtewertes, sowie die Einstellung von Festigkeitswerten und der Spannungsminimierung des martensitischen Gefüges.

2. Einsatzhärten

Der Prozess gliedert sich in den Aufkohlungsvorgang, wobei im Temperaturgebiet oberhalb Ac3 zunächst die Oberflächenschicht mit Kohlenstoff angereichert wird, anschließend erfolgt der Härteprozess entweder direkt oder nach einer thermischen Zwischenbehandlung. Als Abschreckmittel dient in der Regel Härteöl oder Emulsion. Übliche Aufkohlungstemperaturen betragen dabei 900 – 950°C, Härtetemperaturen sind materialabhängig zu wählen (ca. 790 – 900°C).

3. Randschichthärten

Hier findet der Härteprozess durch eine kurzzeitige und reine Erwärmung der Randschicht statt.

Übliche Verfahren sind hier das Induktions- und Flammhärten.

Die Abkühlung oder die Abhärtung erfolgt in der Regel mittels einer Emulsion.

Daneben sind Elektronenstrahl- oder Laserhärtungen möglich, wobei hier dann die Eigenkühlung genutzt wird.

Die erzielbaren Härtetiefen sind verfahrens- und materialabhängig.

4. Vakuumhärten

Die Erwärmung findet im Vakuum statt, der Härteprozess besteht aus einer Druckgasabschreckung meist mittels Stickstoff.

Zur Anwendung kommt dieses Verfahren in der Regel bei legierten Werkzeug- und Formbaustählen, sowie bei sonstigen legierten Stahlsorten, die eine Luft- oder Warmbadhärtung erlauben.

5. Nitrierprozesse

Gängig sind das Nitrieren oder das Nitrocarburieren.

Entweder findet eine Oberflächendiffusion von Stickstoff (Nitrieren) oder von Stickstoff und Kohlenstoff zusammen (Nitrocarburieren) statt.

Im Gegensatz zu den vorgenannten Verfahren von 1 – 4 handelt es sich hier um einen reinen Ausscheidungshärtungsprozess durch die Nitridbildung in der Randzone der Werkstückoberfläche. Daneben findet durch die sich an der Oberfläche bildende Verbindungsschicht ein verfahrensspezifisches Bauteilwachstum statt.

Den Verfahren von 1 - 4 ist neben der martensitischen Gefügeumwandlung eine Erhöhung des Eigenspannungszustandes durch die sich ergebende Umkehrung des Spannungszustandes bei der beschleunigten Abkühlung beim Härtevorgang gemeinsam.

Bei den Verfahren zu 1- 2 findet bedingt durch die Wahl des Abschreckmediums (Emulsion und Härteöl) eine zeitlich gesehen schnelle Bauteilabkühlung statt.

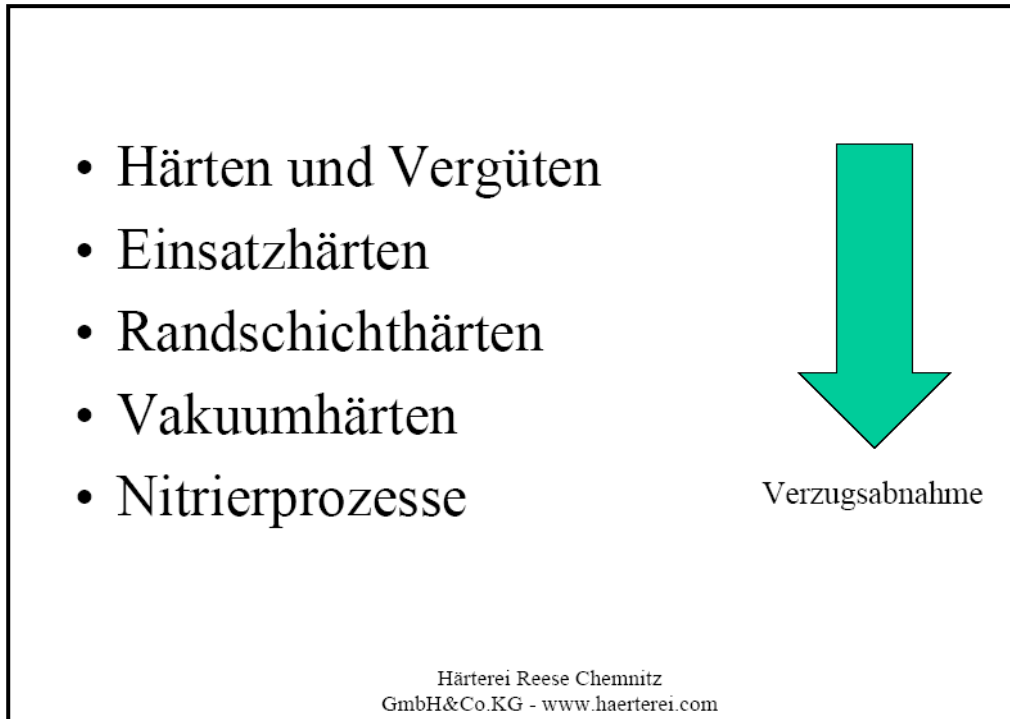
Die Spannungsüberlagerung der durch den Martensit erzeugten Druckspannungen mit den thermischen Abkühlspannungen und den sich lösenden Spannungen aus den Vorbearbeitungsschritten ist hier extrem.

Bei dem Randschichthärten ist der letztere Effekt nicht gegeben, jedoch erhöht sich die Druckspannung auf das Kerngefüge.

Das Vakuumhärten erfolgt mittels Gasgebläseabkühlung in materialabhängig unterschiedlichen Druckstufen bis ca. 10 bar. Die Abkühlgeschwindigkeit ist hierbei geringer als bei der Abschreckung mittels flüssiger Medien. Somit entstehen geringere Eigenspannungen bei der Abkühlung.

(Bild 1 stellt die Verzugsabnahme in Abhängigkeit vom Härteverfahren vereinfacht dar.)

Bild 1: Verzugsabnahme in Abhängigkeit vom Härteverfahren



Zusammenfassung

Zwischen der Wärmebehandlung und dem Maßverzug besteht ein komplexer Zusammenhang.

Bei der Bauteilfertigung sollte daher von einem komplexen Gesamtsystem **Maß- und Formänderung** gesprochen werden.

Die Beachtung dieser Zusammenhänge zu I. und II. schon während der konstruktiven Phase und bei der Werkstoffauswahl kann zu einer Minimierung des Maßverzuges bei der finalen Wärmebehandlung führen.

Bei Einzel- und Kleinserienprozessen ist der Einfluss auf die Werkstoffherzeugung und die Werkstoffumformung relativ gering. So werden sich in der Regel materialspezifische Anforderungen nicht realisieren lassen.

Für den Serienprozess sind diese materialspezifischen Anforderungen für reproduzierbare Ergebnisse von hoher Bedeutung und lassen sich sicherlich leichter umsetzen.