

Die Wärmebehandlung von Stahl gehört zu den anspruchsvollsten Disziplinen der Metallurgie und ist ein komplexes Zusammenspiel physikalischer, chemischer und werkstofftechnischer Wechselwirkungen. Wärmebehandlungen sind kontrollierte Erwärmungs- und Abkühlungsprozesse, durch die das Gefüge des Stahls umgewandelt wird und so die Eigenschaften des Werkstoffs, wie Härte, Festigkeit, Zähigkeit und Bearbeitbarkeit, gezielt verändert werden können. Sie ermöglichen eine wirtschaftliche Bearbeitung, Steigerung der maximalen Leistung, bessere Maßhaltigkeit oder verbesserten Verschleißschutz. Die Kunst besteht darin, die richtige Wärmebehandlung zum richtigen Zeitpunkt anzuwenden – und die Balance zwischen Härte, Zähigkeit und Bearbeitbarkeit zu finden! Der Clou: Derselbe Stahl kann je nach Wärmebehandlung „butterweich“ und gut zerspanbar sein – oder steinhart und verschleißfest. Das macht Werkzeugstahl so vielseitig!

Warum braucht man Wärmebehandlungen bei Werkzeugstahl?

Werkzeugstahl hat für gewöhnlich einen relativ hohen Kohlenstoffgehalt (0,3 - 2 %) und oft zusätzliche Legierungselemente wie Chrom, Molybdän, Vanadium oder Wolfram. Die Bearbeitbarkeit variiert mit dem Kohlenstoffgehalt: Niedrigkohlenstoffstähle sind besser schweiß- und bearbeitbar, während Stähle mit hohem Kohlenstoffanteil härter, verschleißfester, aber schwerer zu schweißen und spröder sind. Deshalb kann der Stahl verschiedene Wärmebehandlungen durchlaufen, um die Bearbeitungseigenschaften zu verändern. Ohne Wärmebehandlungen würde das Material im Einsatz nicht die volle Leistung bringen und man könnte Werkzeugstahl nicht wirtschaftlich bearbeiten.

Die Hauptziele von Wärmebehandlungen

Wärmebehandlungen verfolgen je nach Prozessschritt unterschiedliche Ziele, Hauptziel ist die Änderung der mechanischen Eigenschaften (hart, zäh, fest, spröde) und/oder die gezielte Vorbereitung eines Werkstoffs für weitere Fertigungsschritte, wobei der kritische Faktor stets die Abkühlgeschwindigkeit ist – sie entscheidet darüber, welches Gefüge im Werkstoff entsteht.

Typische Probleme bei Wärmebehandlungen:

Wichtig zu wissen ist, dass nicht jeder Werkzeugstahl jedes Abschreckmedium verträgt! Manche Stähle (wie [1.2379](#)) sind „lufthärtend“ und würden in Wasser reißen. Andere (wie [1.2842](#)) brauchen Öl zum Härten. Hier hilft ein Blick in das [Datenblatt des gewünschten Werkstoffs](#).

Verzug: Beim Härten entstehen Spannungen und Formänderungen. Deshalb arbeitet man mit Aufmaß und schleift nach dem Härten.

Entkohlung: An der Oberfläche kann Kohlenstoff verbrennen, was eine weichere Randschicht und Härteverluste verursacht.

Risse: Zu schnelles Abschrecken oder ungünstige Geometrien können zu Härterissen führen.

Ungleichmäßige Härte: Dicke Querschnitte härten schlechter durch als dünne. Legierungselemente (Chrom, Molybdän) verbessern die Durchhärbarkeit.

Die wichtigsten Gefügearten

Um Wärmebehandlungen zu verstehen, hilft zunächst ein kurzer Blick auf die Gefügearten, denn die Kunst der Wärmebehandlung ist es, das richtige Gefüge zur richtigen Zeit zu erzeugen!

Austenit: Entsteht bei hohen Temperaturen (> 800 °C). Weich, nicht magnetisch, instabil bei Raumtemperatur

Martensit: Entsteht beim schnellen Abkühlen aus Austenit. Extrem hart, spröde, nadelförmige Struktur

Perlit/Ferrit: Entsteht beim langsamen Abkühlen. Weich, gut zerspanbar, stabil

Bainit: Entsteht bei mittleren Abkühlgeschwindigkeiten. Kompromiss zwischen Härte und Zähigkeit.

Geschwindigkeit	Medium	Gefüge	Ergebnis
sehr langsam	Ofen, 10 - 20 °C/h	Perlit/Ferrit	weich, zerspanbar
langsam	Luft	Bainit	mittelhart, zäh
schnell	Öl	Martensit	sehr hart spröde
sehr schnell	Wasser o. Polymer	Martensit	extrem hart (Rissgefahr!)

Typische Reihenfolge bei Werkzeugstahl:

1. Weichglühen für „weiches“ Material, das sich gut bearbeiten lässt
2. Grobe Bearbeitung (Fräsen, Drehen, Bohren)
Es entstehen Materialspannungen
3. Spannungsarmglühen um Spannungen wieder abzubauen und Verzug beim späteren Härten zu minimieren
4. Feine Bearbeitung nahezu auf Endmaß
5. Härten für maximale Härte (Material ist aber spröde)
6. Anlassen für optimale Balance zwischen Härte und Zähigkeit
7. Feinbearbeitung auf Endmaß

Die klassischen Wärmebehandlungen

Weichglühen

Beim Weichglühen wird der Stahl langsam auf ca. 700 – 850 °C erhitzt und anschließend sehr langsam (meistens im Ofen) – wieder abgekühlt. Dabei wandelt sich das Gefüge so um, dass der Stahl weich und gut spanbar wird.

Ablauf:

Langsames Aufheizen auf 700 – 850 °C

Halten auf Temperatur (Durchwärmen)

Sehr langsame Abkühlung im Ofen

Ergebnis:

Weiches Gefüge (Perlit) entsteht. Deutlich reduzierte Härte, gute Zerspanbarkeit – der Stahl lässt sich problemlos fräsen, drehen oder bohren. Nach der Bearbeitung kann anschließend gehärtet werden.

Beispiel:

Ein Rohling aus [1.2379](#) wird vor der mechanischen Bearbeitung weichgeglüht, damit er sich wirtschaftlich auf Maß fräsen lässt – erst danach folgt der Härteprozess auf die gewünschte Endhärte.

Spannungsarm glühen

Nach grober mechanischer Bearbeitung oder Schweißvorgängen entstehen im Material innere Eigenspannungen. Beim Spannungsarmglühen werden diese gezielt abgebaut, um späteren Verzug – etwa nach dem Härten oder im Betrieb – zu vermeiden.

Ablauf:

Langsames Aufheizen auf 550 – 650 °C

Halten auf Temperatur für mehrere Stunden

Langsame, kontrollierte Abkühlung im Ofen

Ergebnis:

Spannungsfreies Gefüge ohne wesentliche Änderung der Härte oder Festigkeit – das Bauteil bleibt maßhaltig und verzugsarm.

Beispiel:

Ein Formeinsatz aus [1.2311](#) (40CrMnMo7) wird nach dem Vorfräsen spannungsarmgeglüht, bevor die Fertigbearbeitung auf Endmaß erfolgt – so werden Maßabweichungen durch Eigenspannungen zuverlässig verhindert.

Härten

Beim Härten wird der Stahl auf Härtetemperatur erhitzt, je nach Werkstoff ca. 800 – 1100 °C und dann schnell abgekühlt („abgeschreckt“). Dabei wandelt sich das Gefüge von Austenit in extrem hartes Martensit um und der Stahl erreicht seine maximale Härte (bei hoher Sprödigkeit)

Ablauf:

Aufheizen auf Härtetemperatur (langsam, um Verzug zu vermeiden)

Halten auf Temperatur (Durchwärmen)

Abschrecken (in Öl, Wasser, Luft oder Polymer – je nach Werkstoff)

Ergebnis:

Maximale Härte (oft 60 – 65 HRC), aber das Material ist oft noch zu spröde für die meisten Anwendungen.

Beispiel:

Eine Lehre (Messwerkzeug) aus [1.2842](#) wird auf ca. 800 °C erhitzt und in Öl abgeschreckt – Ergebnis: ca. 63 HRC. Die hohe Härte sorgt dafür, dass sich die Messflächen im Dauereinsatz nicht abnutzen und die Maßhaltigkeit dauerhaft erhalten bleibt.

Anlassen

Das Anlassen reduziert die Sprödigkeit des gehärteten (Werkzeug)Stahls und macht ihn zäher. Dabei wird der Stahl nochmal auf eine niedrigere Temperatur für 2 – 4 Stunden erhitzt, je nach Werkstoff zwischen 150 – 650 °C und langsam abgekühlt. Das Material verliert etwas Härte, erhält aber ein zäheres Gefüge. Mehrfaches Anlassen für stabileres Gefüge ist möglich.

Ablauf:

Aufheizen auf Anlasstemperatur (abhängig von Material und gewünschter Endhärte)

Halten (meist 2 – 4 Stunden)

Langsames Abkühlen

Ergebnis:

Je höher die Anlasstemperatur, desto weicher wird der Stahl, aber auch desto zäher. Man „opfert“ sozusagen etwas Härte für mehr Zähigkeit.

Beispiel:

Ein Messerklingenrohling aus [1.2379](#) wird auf ca. 1030 °C erhitzt und in Öl abgeschreckt – Ergebnis: ca. 63 HRC. Das ist aber zu spröde, erst nach dem anschließenden Anlassen ist die Klinge einsatzbereit.

Vergüten

Vergüten ist die Kombination aus Härten und anschließendem Anlassen bei höheren Temperaturen (ca. 550 – 650 °C). Das Ziel ist keine maximale Härte, sondern eine gute Balance aus Festigkeit und Zähigkeit.

Ablauf:

Härten (Aufheizen auf Härtetemperatur, Abschrecken) – Martensitgefüge entsteht

Anlassen bei hoher Temperatur (550 – 650 °C)

Halten (mind. 2 Stunden)

Langsames Abkühlen

Ergebnis:

Kein extrem hartes, aber ein zähes und festes Gefüge – der Stahl ist belastbar ohne spröde zu brechen.

Beispiel:

Eine Antriebswelle aus [1.7225](#) wird auf ca. 860 °C erhitzt, in Öl abgeschreckt und anschließend bei ca. 600 °C angelassen – Ergebnis: ca. 42 – 45 HRC mit guter Zähigkeit. Die Kombination aus Festigkeit und Schlagzähigkeit macht den Werkstoff ideal für rotierende und stoßbelastete Bauteile wie Wellen, Achsen oder Pleuelstangen.

WÄRMEBEHANDLUNG	ZIEL	TEMPERATUR	ERGEBNIS	WANN
weichglühen	beste Zerspanbarkeit	700 - 850 °C, sehr langsame Abkühlung	weiches Gefüge, niedrige Härte (ca. 200 - 250 HB)	vor der spanenden Bearbeitung
härten	maximale Härte und Verschleißfestigkeit	800 - 1100 °C (je nach Stahlsorte), schnelles Abschrecken	martensitisches Gefüge, 60 - 67 HRC	nach der Bearbeitung, wenn die Form fertig ist
vergüten	Balance aus Festigkeit und Zähigkeit	550 - 650 °C	kein extrem hartes, aber zäheres Material	
anlassen	Sprödigkeit reduzieren, Zähigkeit erhöhen	150 - 650 °C (je nach gewünschter Endhärte)	zähes Gefüge, 40 - 62 HRC (je nach Anlasstemperatur)	direkt nach dem Härten
spannungsarm glühen	innere Spannungen beseitigen, Verzug minimieren	550 - 650 °C, langsame Abkühlung	spannungsfreies Material	nach groben Bearbeitungsschritten, vor dem Härten
oberflächenhärten	superharte Oberfläche bei zähem Kern	500 - 580 °C, Stickstoff-/Kohlenstoff- Atmosphäre, je nachdem	harte Randschicht (bis 1200 HV), zäher Kern	als letzter Schritt für extreme Verschleißfestigkeit

Die Alternative - vorvergüteter Werkzeugstahl

Vorvergütete Stähle (wie [1.2311](#), [1.2312](#) oder [Toolox](#)) werden bereits vom Hersteller gehärtet und angelassen geliefert. Sie haben eine Gebrauchshärte von ca. 280 - 360 HB (30 - 40 HRC) und können direkt bearbeitet werden - ohne nachträgliches Härten! Die Vorteile liegen auf der Hand: Kein Verzug beim Härten, keine Nacharbeit durch Schleifen und eine schnellere Fertigung. Allerdings sind diese Werkstoffe nicht so hart wie nachträglich gehärteter Stahl (ca. 40 HRC gegenüber ca. 60+ HRC).

[Mehr Infos zu Vor- und Nachteilen von vorvergüteten Stählen.](#)