

Werkstoffauswahl

für Stanz- und Umformwerkzeuge
und deren Wärmebehandlung





Bei allen industriellen Prozessen spielt die Wirtschaftlichkeit eine große Rolle.

Der zunehmende Kostendruck zwingt zu einer immer strengeren Beachtung der Kosten. Übertragen auf den Werkzeugbau bedeutet das, dass einerseits an die Werkstoffauswahl, andererseits aber auch an die Wärme- und Oberflächenbehandlung immer größere Ansprüche gestellt werden.

Wirtschaftliche Stahlauswahl bedeutet aber keineswegs den Einsatz des preiswertesten Stahles. Wichtiger ist es vielmehr, den für den jeweiligen Anwendungszweck am besten geeigneten Werkstoff auszuwählen. Eine fehlerhafte Werkstoffauswahl stellt sich oft erst im betrieblichen Einsatz des Werkzeugs heraus und kann erhebliche Folgekosten verursachen.

Bei der Auswahl eines Werkzeugstahles muss grundsätzlich bedacht werden, dass das daraus gefertigte Werkzeug im betrieblichen Einsatz nicht bricht oder im Schneidkantenbereich ausbröckelt. Ebenso müssen bleibende Verformungen

sowie vorzeitige Veränderungen der Werkzeugoberflächen durch Verschleiß oder Korrosion ausgeschlossen werden. Darüber hinaus sollte die Verfügbarkeit der Stähle überprüft werden. Die Stahlhersteller werden einerseits durch die Kostensituation zur Einschränkung ihrer Produktpalette gezwungen, andererseits haben sie in den letzten Jahren verschiedene sehr vielseitig einsetzbare Werkzeugstähle entwickelt, die eine Einschränkung der Werkzeugstahlpalette ohne Einbußen technischer Eigenschaften ermöglichen. Daraus ergeben sich letztlich auch für die Werkzeugbauer erhebliche Vorteile.

Belastung der Werkzeuge

Für die dem Verwendungszweck entsprechende Stahlauswahl ist es notwendig, die in den einzelnen Verfahren auftretenden Werkzeugbelastungen zu kennen. Diese sollen im Folgenden an Hand einiger Prinzip-Skizzen dargestellt werden.

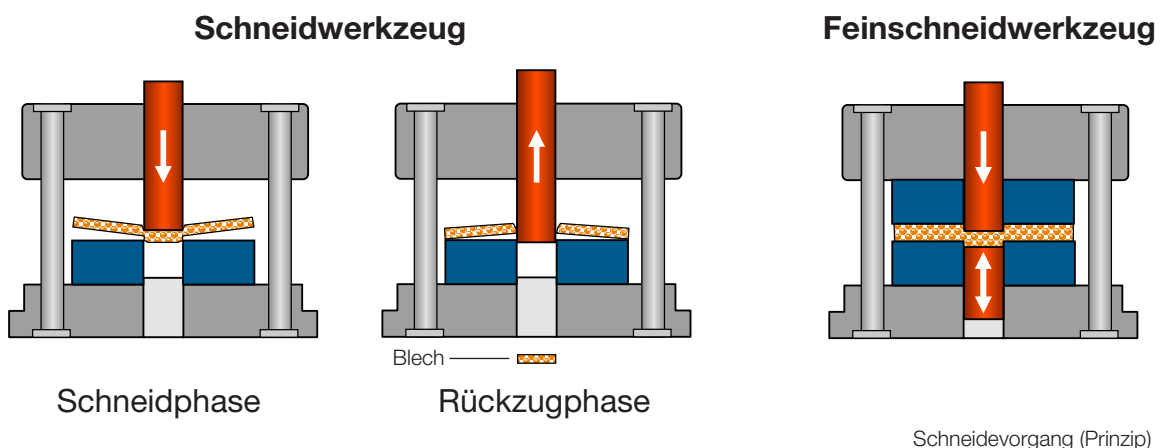
Schneiden

Die Schneidflächen des Stempels und der Schneidplatte dringen in das zu schneidende Blech ein und verformen es zunächst elastisch und später in der Scherzone plastisch. Mit dem Überschreiten des Formänderungsvermögens des zu schneidenden Werkstoffes bilden sich zunächst feine Anrisse, die beim weiteren Schneiden aufgespreizt werden und sich vergrößern. Schließlich erfolgt die völlige Materialtrennung durch einen Trennbruch. Da beim Schneiden nur etwa ein Drittel der Blechdicke geschnitten wird, der Rest unter der Wirkung von Zugspannungen jedoch abreißt, entsteht an den Schnittteilen ein Grat. Dieser kann sich beim Zurückziehen des Schneidstempels mit dem Werkzeug verhaken, wodurch der Stempel unter unerwünschte, gefährliche Zugspannungen gerät. Abhilfe kann hier der Einsatz von Feinschneidwerkzeugen schaffen, bei denen sich dieser Grat erheblich reduzieren lässt. Die Schneidwerkzeuge werden beim Schneidprozess auf Druck belastet. Bei hohen Taktzeiten kann diese Belastung sogar schlagartig auftreten.

Die für Schneidwerkzeuge geeigneten Werkstoffe erfordern daher nicht nur eine hohe Druckfestigkeit, sondern auch eine ausreichende Schlagzähigkeit. Auftretende Relativbewegungen zwischen den Schneidflächen des Werkzeuges und dem zu schneidenden Blech führen bei gleichzeitiger Druckbelastung immer zu Reibung und damit zu Verschleiß. Man unterscheidet je nach betroffenem Werkzeugbereich zwischen Stirnflächen-, Mantelflächen- und Kolkverschleiß. Ausgeprägter Mantelflächenverschleiß erweist sich als besonders ungünstig, da er intensives Nachschleifen erfordert. Daraus leitet sich die Forderung nach einem hohen Verschleißwiderstand der Werkzeugstähle für Schneidwerkzeuge ab.

Aus dieser kurzen Beschreibung geht hervor, dass Werkzeugstähle für Schneidwerkzeuge folgende Eigenschaften erfüllen sollen:

- » hohe Härte
- » hohe Druckfestigkeit
- » ausreichende Schlagzähigkeit
- » hoher Verschleißwiderstand.



Kaltfließpressen

Beim Kaltfließpressen werden vorwiegend rotationssymmetrische Werkstücke aus Rohlingen wie Scheiben, Stababschnitten oder Vorpresslingen erzeugt. Die dabei möglichen Verfahrensprinzipien

- » Vorwärtsfließpressen
- » Rückwärtsfließpressen
- » Mischfließpressen

sind in nachfolgendem Bild dargestellt. Sie unterscheiden sich in erster Linie in der Bewegungsrichtung. Die Werkzeuge sind aus mehreren Einzelteilen zusammengesetzt.

Der umzuformende Werkstoff wird in die Pressbüchse eingebracht. Der Dorn presst beim Voll- bzw. beim Hohlfließpressen den Werkstoff durch die Pressbüchse.

Beim Napfflößpressen formt der Dorn die innere Oberfläche des Werkstücks ab.

Die Druckplatte muss die mechanische Belastung aufnehmen und gleichmäßig

verteilen. Der Pressvorgang übt enorme Kräfte auf das Werkstück aus und ruft dabei eine Sprengwirkung in der Pressbüchse hervor, die durch einen oder mehrere Schrumpfringe, die die Pressbüchse umspannen, aufgenommen werden müssen. Die Anforderungen an die einzelnen Werkzeugteile sind im Folgenden stichwortartig zusammengestellt:

Pressbüchse:

- » hohe Dauerfestigkeit,
- » hoher Verschleißwiderstand

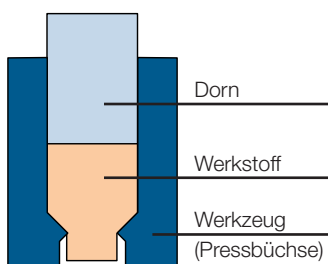
Dorn:

- » hoher Verschleißwiderstand,
- » hohe Druckfestigkeit

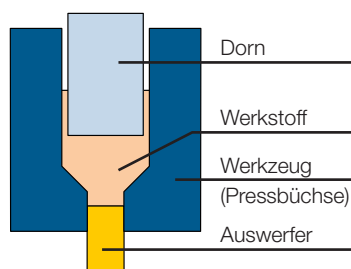
Schrumpfring:

- » hohe Zugfestigkeit,
- » hohe Zähigkeit

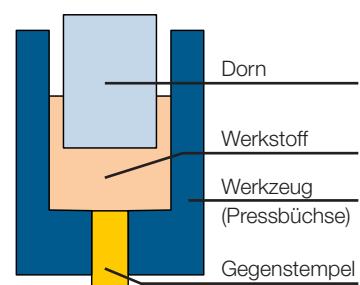
Vorwärts-Fließpressen



Rückwärts-Fließpressen



Vor-/Rückwärts-Fließpressen



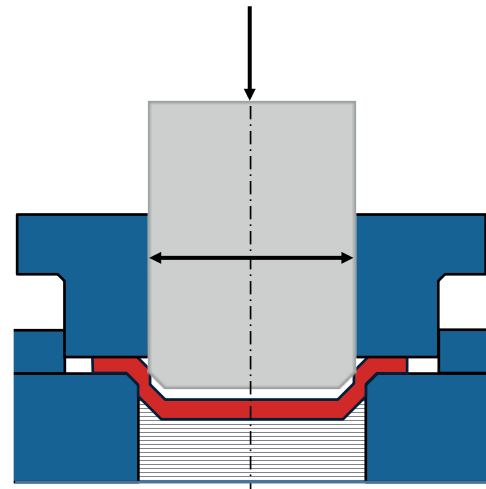
Fließpressen (Prinzip)

Tiefziehen

Der prinzipielle Aufbau von Tiefziehwerkzeugen gliedert sich in

- » Ziehstempel
- » Niederhalter
- » Ziehring

Die Belastung des Ziehstempels erfolgt im Wesentlichen durch Druck. Niederhalter und Ziehring werden besonders im Kantenbereich auf **Verschleiß** beansprucht.

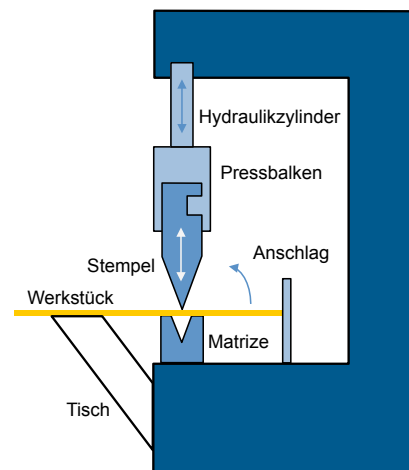


Tiefziehvorgang (Prinzip)

Biegen bzw. Abkanten

Beim Biegen bzw. Abkanten erfolgt keine wesentliche Veränderung der Blechdicke. Damit ist die Reibung zwischen Werkstück und Werkzeug von untergeordneter Bedeutung, so dass der Verschleißwiderstand hier von geringerem Interesse ist.

Die Werkzeuge werden auf Druck belastet und benötigen daher eine hohe **Druckfestigkeit**, wobei gleichzeitig auch die Zähigkeit nicht vernachlässigt werden darf. Um die Druckfestigkeit zu gewähren, wird eine hohe Härte der Werkzeuge eingestellt.

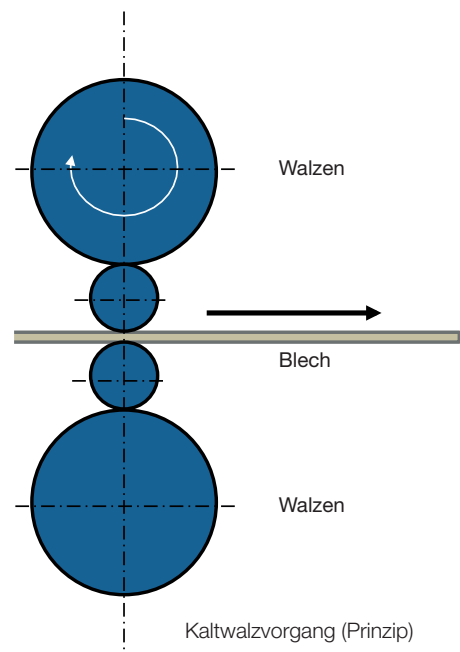


Biegen (Prinzip)

Kaltwalzen

Beim **Walzen** unterscheidet man grob zwischen Profilwalzen und Flachwalzen. Beim Flachwalzen werden auf kaltem Wege Bleche, Bänder o.ä. Produkte erzeugt.

Ein typisches Anwendungsbeispiel für das Profilwalzen ist das Gewinderollen, mit dem Gewinde auf Werkstücke aufgebracht werden. Von den Walzenoberflächen wird eine sehr hohe **Härte** verlangt, um dem Verschleiß durch die umzuformenden Werkstoffe zu begegnen. Im Kern sollten die Werkzeuge **zäh** genug sein, um die auftretenden Biegebelastungen abzufangen. Vielfach verwendet man für diese Zwecke die Stähle Cryodur 2379 und Rapidur 3343.



Kaltwalzvorgang (Prinzip)



Kaltwalzen

Werkstoffeigenschaften

Die Härte und der Verschleißwiderstand einerseits sowie die Zähigkeit andererseits sind gegenläufige Eigenschaften, zwischen denen sehr häufig Kompromisse geschlossen werden müssen.

Verschleißwiderstand

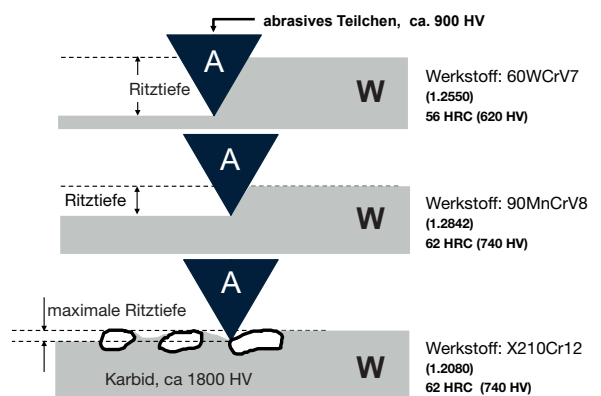
Durch Reibung zwischen Werkzeug und Werkstück werden Arbeitsflächen und Schneiden von Werkzeugen partiell abgetragen und dadurch in ihrer Lebensdauer begrenzt. Deshalb ist der Verschleißwiderstand eine wichtige Eigenschaft bei Werkzeugstählen, die jedoch weder eindeutig definierbar noch werkstofftypisch ist. Häufig überlagern sich beim Einsatz eines Werkzeuges mehrere Verschleißarten, oftmals zusätzlich durch eine Erwärmung überlagert. Da der Verschleißwiderstand also im Wesentlichen von zahlreichen äußeren Einflüssen abhängt, kann aus den Ergebnissen der verschiedenen Verschleißprüfungsmethoden nicht auf einen allgemeingültigen Verschleißwiderstand geschlossen werden. Vielmehr sind die Ergebnisse immer nur für den geprüften Fall aussagefähig.

Der Verschleißwiderstand eines Werkzeugstahles hängt ab von seiner chemischen Zusammensetzung, der Gefügeausbildung (Karbide), der Härte und der Oberflächenbeschaffenheit sowie von der Art der Beanspruchung. Es kann in diesem Zusammenhang grundsätzlich festgehalten werden: mit steigender Härte des Stahles steigt sein Verschleißwiderstand an, durch eine Veränderung der Härte im Oberflächenbereich (z.B. durch Nitrieren, Beschichtungen,

Oberflächenhärten) steigt der Verschleißwiderstand an.

Der Verschleißwiderstand weist eine deutliche Abhängigkeit vom Kohlenstoffgehalt der Stahles auf. Kohlenstoff ist, da er für die Martensitbildung beim Härten verantwortlich ist, das die Härte bestimmende Element im Stahl. Darüber hinaus neigt Kohlenstoff in den Stählen mit höheren Legierungsgehalten (besonders Cr, Mo, V, W) zur Bildung der sehr harten Karbide. Diese sind als mehr oder weniger feine Partikel in den Stahl eingebettet und tragen erheblich zur Steigerung des Verschleißwiderstandes bei.

Darüber hinaus besteht ein direkter Zusammenhang zum Wärmebehandlungszustand und damit zum Gefügebau des Stahles.



Marke	Härte	Verschleißwiderstand	Zähigkeit
Cryodur 2067	++	++	+
Cryodur 2080	+++	+++	O
Cryodur 2101	++	++	+
Cryodur 2243	+	+	+++
Cryodur 2363	++	++	+
Cryodur 2379	+++	+++	+
Cryodur 2436	+++	+++	O
Cryodur 2510	++	++	+
Cryodur 2516	++	++	+
Cryodur 2550	+	+	++
Cryodur 2767	+	+	+++
Cryodur 2842	++	++	+
Cryodur 2990	+++	++	++
Rapidur 3343	+++	+++	+

Vergleich der Zähigkeit und des Verschleißwiderstandes bei üblicher Arbeitshärte

Zähigkeit

Auch für die Zähigkeit ist eine allgemeingültige Definition nicht möglich. Im Zusammenhang mit Werkzeugstählen soll die Zähigkeit als die Fähigkeit eines Werkstoffes verstanden werden, durch geringe plastische Verformungen eine Rissbildung bei Belastung zu verhindern. Für die Beschreibung der Zähigkeit gibt es zahlreiche verschiedene Verfahren. Bei Stählen mit nur geringer Härte kann die Zähigkeit aus den im Zugversuch ermittelten Werten für die Bruchdehnung A5 oder Brucheinschnürung Z direkt übernommen werden. Ein einfaches Prüfverfahren für die Prüfung harter Stähle unter schlagartiger Belastung stellen der Schlagbiege- und der Kerbschlagbiegeversuch mit zahlreichen verschiedenen Probenformen

dar. Bei Stählen mit Härtewerten über 55 HRC, die von den meisten hier eingesetzten Kalt- und Schnellarbeitsstählen immer erreicht werden, liefern diese Versuche keine verlässlichen Werte. In diesen Fällen bedient man sich deshalb statischer Biege- oder Verdrehversuche, bei denen die dabei gemessene plastische Arbeit als Maß für die Zähigkeit herangezogen wird.

Die Härte und der Verschleißwiderstand einerseits sowie die Zähigkeit andererseits sind gegenläufige Eigenschaften, zwischen denen sehr häufig Kompromisse geschlossen werden müssen. Dies erfolgt in der Praxis üblicherweise über die Einbauhärte, aber auch durch gezielte Oberflächenbehandlungen.

Werkstoffe

Bei den in dieser Broschüre behandelten Verfahren der Stanz- und Umformtechnik treten an den Werkzeugen im Allgemeinen keine höheren Temperaturen auf. Daher finden in erster Linie hier die Kaltarbeitsstähle, ergänzt durch Schnellarbeitsstähle und vereinzelt auch durch Warmarbeitsstähle, Verwendung.

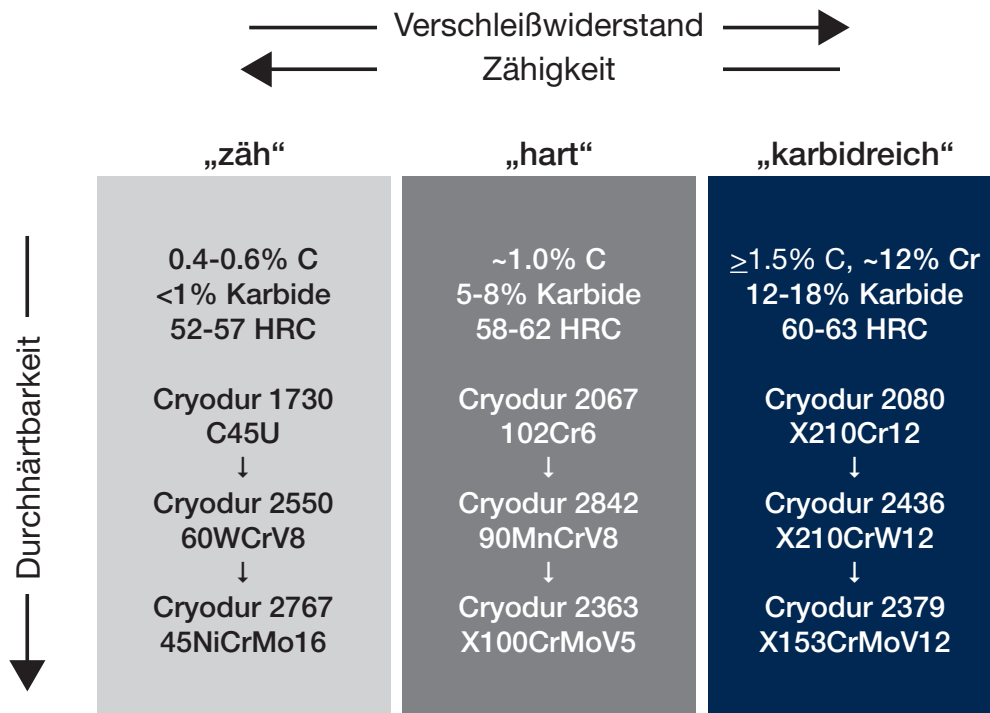
Kaltarbeitsstähle sind unlegierte oder legierte Stähle, bei denen die Oberflächentemperatur im Einsatz im Allgemeinen unter 200 °C liegt. Warmarbeitsstähle werden als legierte Stähle definiert, bei denen die Oberflächentemperatur im Einsatz im Allgemeinen über 200 °C liegt. Schnellarbeitsstähle sind Stähle, die aufgrund ihrer chemischen Zusammensetzung die höchste Warmhärte und Anlassbeständigkeit haben und deshalb bis zu Temperaturen von rund 600 °C einsetzbar sind.

Kaltarbeitsstähle finden bevorzugt Verwendung in Werkzeugen, die zur spanlosen Herstellung von Werkstücken aus Eisen- und Nichteisenmetallen verwendet werden (z.B. Schneid-, Stanz-, Zieh- oder Druckwerkzeuge).

Schnellarbeitsstähle werden hauptsächlich für schneidende Werkzeuge, darüber hinaus aber auch für besonders belastete Teile in Umformwerkzeugen eingesetzt. Da sich die Einsatzgebiete dieser Stahlgruppen überlagern können, sollen hier beide näher vorgestellt werden.

Die anforderungsorientierte Werkstoffentwicklung führte zu einer Vielzahl von Kaltarbeitsstählen, die teilweise nur geringfügige Unterschiede der Legierungszusammensetzungen oder der Eigenschaften aufweisen. Es wurde daher in der Vergangenheit wiederholt versucht, diese Vielfalt im Sinne einer verbesserten Wirtschaftlichkeit einzugrenzen.

Die unlegierten Kaltarbeitsstähle haben heute nur noch geringe Bedeutung. Außer Eisen enthalten sie praktisch nur Kohlenstoff, der allein für die Martensitbildung und damit für die Härte verantwortlich ist. Beim Härten erreichen diese Stähle durch die Wasserabschreckung nur im Randbereich eine hohe Härte, aber bleiben im Kern weich, sodass man sie als „Schalenhärter“ bezeichnet. Ihre Anwendung erstreckt sich auf Bereiche, in denen die Kombination einer harten Oberfläche mit einem weichen Kern gewünscht ist.



Systematik gebräuchlicher Kaltarbeitsstähle

Die legierten Kaltarbeitsstähle enthalten neben Kohlenstoff Anteile der karbidbildenden Elemente Chrom, Molybdän, Vanadin und gelegentlich auch Wolfram, wodurch diese Stähle eine Verbesserung des Verschleißwiderstandes erfahren. Ferner können Elemente wie Nickel und Mangan dazu beitragen, auch über größere Querschnitte hohe Härtewerte zu erzielen (Durchhärbarkeit). Die Wirkung derartiger Elemente beruht darauf, dass die Stähle umwandlungsträger werden, was für die Praxis den Vorteil bedeutet, dass auch mildere Abschreckmittel (Öl, Luft, Warmbad) geeignet sind, eine martensitische Härtung zu bewirken. Unter den legierten Kaltarbeitsstählen nehmen die ledeburitischen Chromstähle, die einen Kohlenstoffgehalt von mehr als 1% und einen Chromgehalt von 12% aufweisen, eine besondere Stellung ein. Wegen ihres Karbidgehaltes sind sie sehr verschleißbeständig. Ihre Zähigkeit ist etwas geringer als bei den zuvor genannten legierten Kaltar-

beitsstählen. Deshalb ist bei einem geplanten Einsatz dieser Stähle zu prüfen, ob die Zähigkeit des gewählten Stahles ausreicht oder ob diese durch eine gezielte Härtevariation gesteigert werden muss.

Auch Schnellarbeitsstähle finden in zahlreichen Werkzeugen der Stanz- und Umformtechnik Verwendung. Ursprünglich für den Einsatz in spanenden Werkzeugen entwickelt, verfügen sie über einen besonders hohen Verschleißwiderstand, über eine hohe Härte bei erhöhten Temperaturen und damit über eine gute Anlassbeständigkeit. Bei den Schnellarbeitsstählen liegt der Kohlenstoffgehalt zwischen 0,8% und 1,4%. Hauptlegierungselemente sind Wolfram, Molybdän, Vanadin und Kobalt. Der damit verbundene hohe Gehalt an Karbiden bewirkt einen sehr hohen Verschleißwiderstand. Die Grundmasse der Stähle ist ferner so zusammengesetzt, dass sie über eine hohe Anlassbeständigkeit verfügen.

Kaltarbeitsstähle

Kaltarbeitsstähle lassen sich grob in die Gruppen unlegierte, niedrig- oder mittellegierte, ölhärtende und hochlegierte, ledeburitische Stähle einteilen.

Bezeichnung	DIN-Bezeichnung	Chemische Zusammensetzung (Richtwerte in %)									
		C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	V	W	Co	Ti
Cryodur 1730	C45U	0,45	0,30	0,70							
Cryodur 2067	100Cr6	1,00	0,20	0,35	1,50						
Cryodur 2080	X210Cr12	2,00			12,00						
Cryodur 2101	62SiMnCr4	0,65	1,10	1,10	0,70						
Cryodur 2243	61CrSiV5	0,60	0,90	0,80	1,10			0,10			
Cryodur 2357	50CrMoV13-15	0,50	0,30	0,70	3,35	1,60		0,25			
Cryodur 2363	X100CrMoV5	1,00			5,30	1,10		0,20			
Cryodur 2379	X153CrMoV12	1,55			12,00	0,70		1,00			
Cryodur 2436	X210CrW12	2,10			12,00				0,70		
Cryodur 2516	120WV4	1,20			0,20				1,00		
Cryodur 2550	60WCrV8	0,60	0,60		1,10				2,00		
Cryodur 2709	X3NiCoMoTi18-9-5	< 0,03				5,00	18,00			10,00	1,00
Cryodur 2721	50NiCr13	0,55			1,10	0,10	3,20				
Cryodur 2767	45NiCrMo16	0,45			1,40	0,30	4,00				
Cryodur 2833	100V1	1,00	0,20	0,20				0,10			
Cryodur 2842	90MnCrV8	0,90		2,00	0,40			0,10			
Cryodur 2990	~X100CrMoV8-1-1	1,00	0,90		8,00	1,00		1,60			
Thermodur 2343	X37CrMoV5-1	0,38	1,00		5,30	1,30		0,40			
Rapidur 3343	HS6-5-2C	0,90	0,30	0,30	4,10	5,00		1,90	6,40		

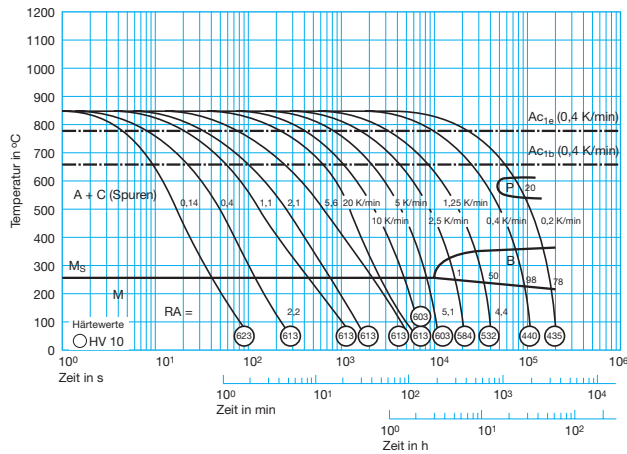
Aus der Gruppe der unlegierten Kaltarbeitsstähle soll hier nur kurz der Stahl **Cryodur 1730** genannt werden. Er muss, um gehärtet zu werden, mit Wasser abgeschreckt werden (Wasserhärter, Schalenhärter). Er vereint eine harte Oberfläche mit einem zähen Kern. Beim Anlassvorgang, der zum Erzielen der notwendigen Zähigkeit durchgeführt werden muss, sinkt seine Härte entsprechend der gewählten Anlass temperatur rasch ab.

Der Kaltarbeitsstahl **Cryodur 2067** enthält neben 1% Kohlenstoff auch noch 1,5% Chrom. Der Stahl ist bereits umwandlungsträger als der zuvor genannte Stahl. Er wird nicht mit Wasser, sondern mit Öl abgeschreckt. Dennoch ist seine Einhärtetiefe noch gering. Infolge seines Chromgehalts

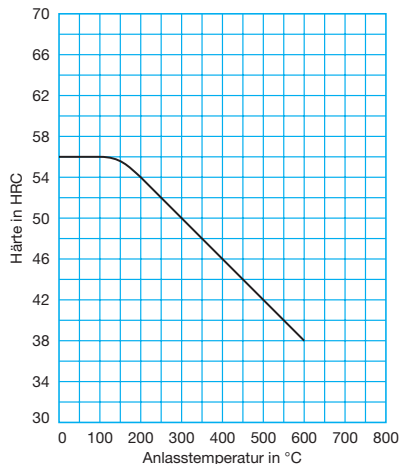
bildet er Karbide, die den Verschleißwiderstand des Stahles erhöhen.

Die beiden Stähle **Cryodur 2542** und **Cryodur 2550** sind sich in ihrer chemischen Zusammensetzung und daher auch in ihren Eigenschaften sehr ähnlich. Aufgrund dessen findet der Stahl Cryodur 2542 in der Praxis kaum noch Verwendung. Der Stahl Cryodur 2550 zählt zu den „Ölhärtern“, d.h. er kann mit einer Ölabschreckung gehärtet werden. Verwendung findet er aufgrund seiner Zähigkeit in Werkzeugen wie Meißeln, die eine schlagartige Belastung erfahren oder wenn für den vorgesehenen Einsatzfall die Zähigkeit höher legierter Stähle nicht ausreicht.

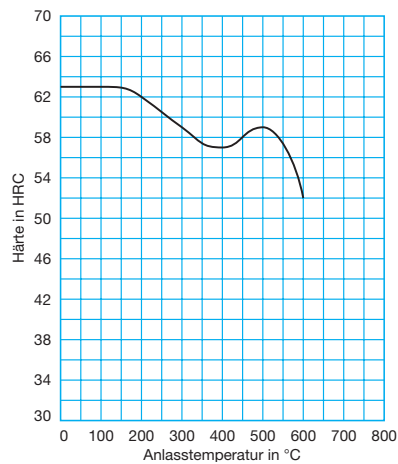
Kontinuierliches ZTU-Schaubild Cryodur 2767



Anlassschaubild Cryodur 2767



Anlassschaubild Cryodur 2363



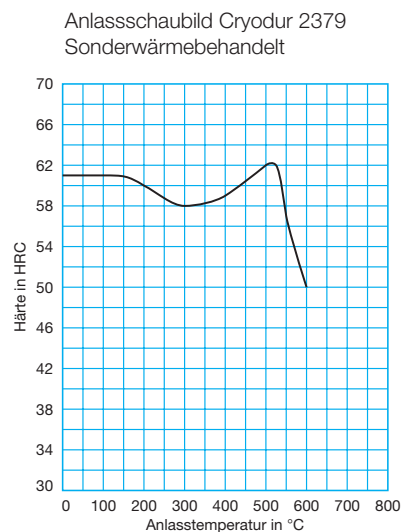
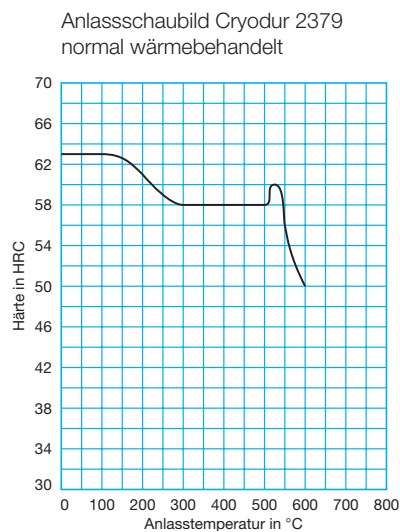
Der hochlegierte Stahl **Cryodur 2767** zeichnet sich aufgrund seines Nickelgehaltes von 4,0% durch eine hohe Härbarkeit bei gleichzeitig guter Zähigkeit aus. Er wird deshalb bevorzugt in schneidenden Werkzeugen für dicke Abmessungen eingesetzt. Das ZTU-Schaubild dieses Stahles deutet dadurch, dass die Bereiche der perlitischen und der bainitischen Umwandlung erst bei sehr langen Zeiten beginnen, auf die Umwandlungsträgheit dieses Stahles hin. Diese Tatsache birgt für die Wärmebehandlung den Vorteil, den Stahl mit sehr milden Abschreckmitteln wie Luft, Öl oder einem Warmbad (180-220 °C) härten zu können. Beim Anlassen verändert dieser Stahl seine Härte entsprechend seiner Anlasskurve. Hier sollte aber im Interesse einer guten Zähigkeit der Anlass temperaturbereich zwischen 250 und 350 °C vermieden werden, da der Stahl in diesem Bereich eine Versprödung erfährt. Da dieser Stahl bevorzugt in Werkzeugen mit großen Abmessungen eingesetzt wird, sollte bei sehr hohen Anforderungen an die Zähigkeit die ESU-Variante (Elektro-Schlacke-umgeschmolzen) dieses Stahles verwendet werden. Dieses Umschmelzverfahren führt aufgrund seines

besonderen Erstarrungsverhaltens zu Werkstoffen mit einer sehr hohen Homogenität und Isotropie.

Ein wichtiger legierter Kaltarbeitsstahl ist der Werkstoff **Cryodur 2363**, der aufgrund seiner Zusammensetzung mit 1,0% C und rd. 5% Cr sowie 1,0% Mo die Lücke zwischen den mittellegierten und den hochlegierten, ledeburitischen Chromstählen schließt.

Infolge des hohen Kohlenstoffgehaltes dieses Stahles erreicht der Stahl nicht nur eine hohe Härte, sondern durch den hohen Karbidgehalt auch noch einen hohen Verschleißwiderstand. Er findet deshalb bevorzugt Verwendung in all den Fällen, in denen eine gemischte Werkzeugbelastung auftritt. Üblicherweise wird dieser Stahl von Härtetemperaturen zwischen 930 und 970 °C gehärtet und anschließend entsprechend seinem Anlassschaubild auf die Gebrauchshärte angelassen.

Dieses Schaubild deutet aber in einem erneuten Härteanstieg bei Anlass temperaturen von rd. 500 °C die Möglichkeit an, diesen Stahl einer „Sekundärhärtung“ zu unterziehen.



Um diese Sekundärhärtung sachgemäß durchzuführen, muss jedoch eine Härtetemperatur zwischen 1020 und 1040 °C gewählt werden und ein mindestens zweimaliges Anlassen bei Temperaturen von 510 bis 530 °C erfolgen. Für die mechanisch – technologischen Eigenschaften wie Festigkeit, Härte und Zähigkeit hat diese Behandlung zwar zunächst keine nennenswerten Auswirkungen, sie bietet aber die Möglichkeit, diesen Stahl einer späteren Oberflächenbehandlung, z.B. dem Plasmanitrieren, bei Temperaturen um 500 °C zu unterziehen, ohne dass dabei dann die Eigenschaften des Stahles nennenswert beeinflusst würden.

Zwei einander sehr ähnliche ledeburitische Kaltarbeitsstähle sind die Werkstoffe **Cryodur 2080** und **Cryodur 2436**, die sich lediglich durch den Wolframgehalt des Stahles Cryodur 2436 (0,7%) unterscheiden. Ihre hohen Karbidgehalte verleihen ihnen einen hohen Verschleißwiderstand und machen sie zu wichtigen Werkzeugstählen bei Schneidwerkzeugen und anderen Werkzeugen mit

hoher Verschleißbelastung. Durch den Wolframgehalt ist der Stahl Cryodur 2436 im Vergleich Cryodur 2080 besser härtbar.

Infolge des Wolframgehaltes benötigt der Stahl Cryodur 2436 eine etwas höhere Härtetemperatur. Cryodur 2080 kann, wenn eine Abschreckung in Öl vorgesehen ist, von 930 bis 960 °C gehärtet werden. Bei dünnen Abmessungen (< 30 mm Dicke) kann auch eine Luftabkühlung gewählt werden, die besonders hinsichtlich eines geringen Verzuges günstig sein kann. In diesem Fall ist jedoch eine Härtetemperatur von 950 bis 980 °C zu wählen. Diese Temperaturspanne wird auch für den wolframhaltigen Werkstoff Cryodur 2436 genutzt.

Der Stahl **Cryodur 2379** gehört ebenfalls zu den ledeburitischen Kaltarbeitsstählen. Er weist bei guter Zähigkeit maximalen Verschleißwiderstand auf, wodurch er eine hervorragende Schneidhaltigkeit erhält. Sein Anlassschaubild deutet die Möglichkeit einer Sekundärhärtbarkeit an, die bei

*Führungsleisten*

diesem Stahl vor allem immer dann angewendet wird, wenn die Werkzeuge noch nitriert werden sollen. Während für die „normale“, primäre Härtetemperatur zwischen 1000 und 1050 °C gewählt werden müssen, erfordert die Sekundärhärtung höhere Härtetemperaturen, nämlich 1050 - 1080 °C. Eine genauere Beschreibung der bei der Sekundärhärtung ablaufenden Vorgänge erfolgt im Kapitel über die Wärmebehandlung der Stähle. Die ZTU-Schaubilder für diese beiden Fälle weisen zwischen dem Perlit- und dem Bainit- bzw. Martensitgebiet einen breiten Bereich metastabiler Austenits auf. Daher kann beim Härten als Abschreckmedium nicht nur Öl oder Luft, sondern auch ein Warmbad von 500 - 550 °C verwendet werden. Dieses führt zu besonders geringen Härtespannungen und damit auch nur zu minimalem Verzug. Auch der Vorgang der Warmbadhärtung wird im Kapitel über die Wärmebehandlung der Stähle näher beschrieben. Aufgrund seines Eigenschaftsspektrums hat sich der Stahl Cryodur 2379 ein weites Anwendungsgebiet

erschlossen. Als Universalstahl kann er die Stähle Cryodur 2080 und 2436 weitgehend ersetzen und damit einen sinnvollen Beitrag zu der allseits gewünschten Einschränkung der Sortenvielfalt leisten.

Cryodur 2990 zeichnet sich durch besonders hohe Härte, Festigkeit und adhäsive Verschleißbeständigkeit aus. Durch die verbesserte Zähigkeit im Vergleich mit Cryodur 2379 wird die Bruchsicherheit verbessert. Dies hat eine Steigerung der Standzeit zur Folge. Cryodur 2990 ist ein Stahl mit idealem Eigenschaftsprofil für die Blechverarbeitung sowie für alle Stanz-, Schneid- und Scherwerkzeuge wie Rund- und Rollscherenmesser, Stempel und Matrizen sowie Folgeschnittwerkzeuge. Weitere Kaltanwendungen: Gewindewalzen, Tiefziehen und vieles mehr. Cryodur 2990 zeichnet sich durch eine gute funkenerosive Bearbeitbarkeit und gute induktive Härbarkeit aus.

Eigenschaftsvergleich

Cryodur 2990 sticht hervor durch seine spezielle chemische Zusammensetzung und das dadurch erzielte feine homogene Mikrogefüge.

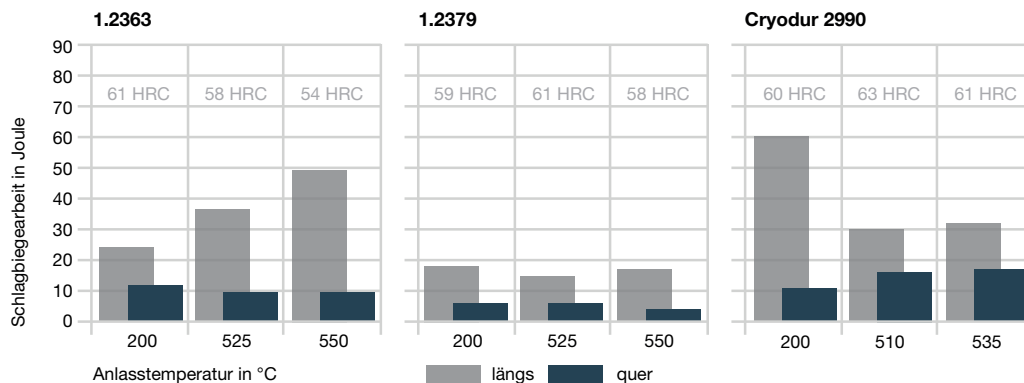
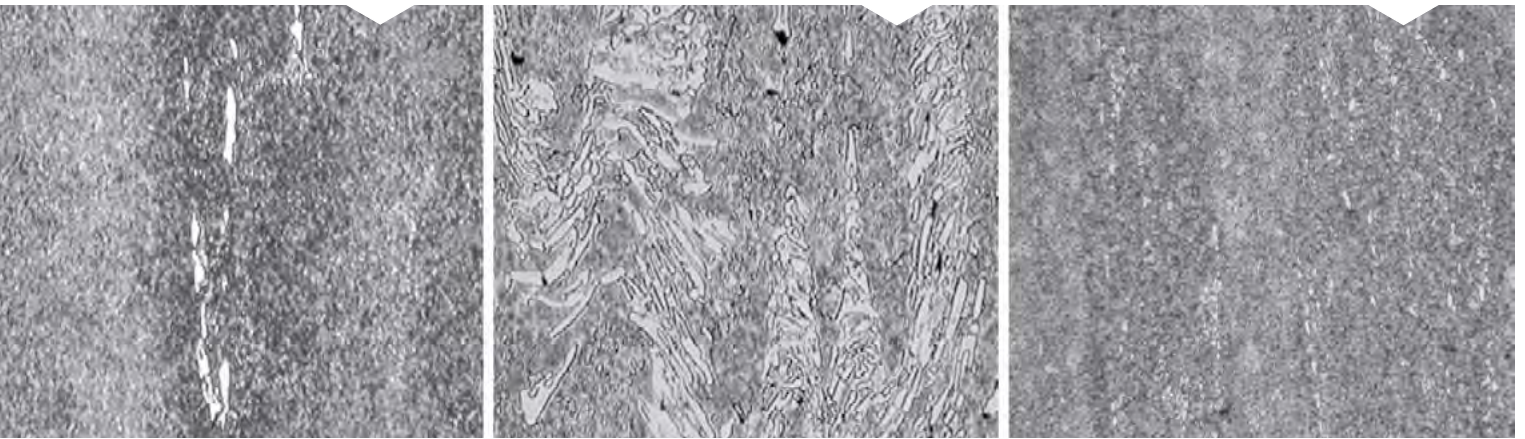
Cryodur 2990 zeichnet sich durch eine außerordentlich hohe Härte, Festigkeit und einen hohen Verschleißwiderstand aus und

steht mit seiner enormen Zähigkeit für hohe Bruchsicherheit, höhere Standzeiten und damit höhere Stückzahlen der Werkzeuge.

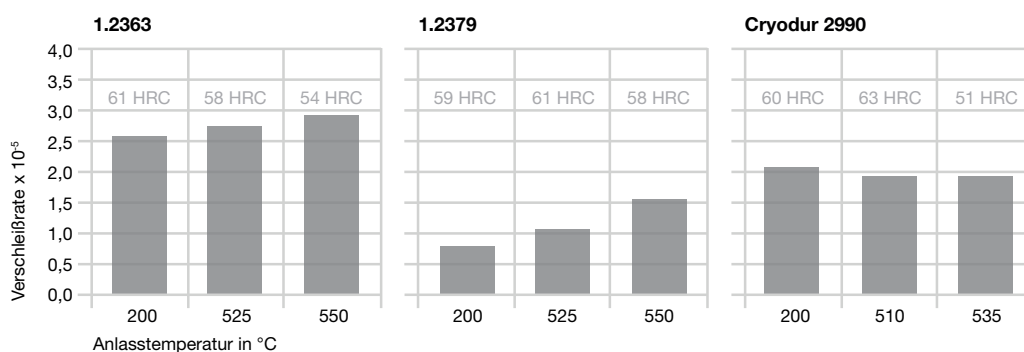
1.2363

1.2379

Cryodur 2990



Hohe Zähigkeit bei gleichzeitig höherer Härte



Sehr guter Verschleißwiderstand, sowohl abrasiv als auch adhäsiv. Beispiel: „Stift-Scheibe-Versuch zum Vergleich der Verschleißrate.“



Schnellarbeits- und Warmarbeitsstähle

Zu einem Standardstahl im Bereich der Stanz- und Umformtechnik hat sich der Schnellarbeitsstahl Rapidur 3343 entwickelt.

Seine besonders gut ausgewogene chemische Zusammensetzung weist neben Kohlenstoff einen hohen Gehalt der Karbidbildner Chrom, Molybdän, Vanadin und Wolfram auf. Diese Zusammensetzung führt dazu, dass der Stahl im Lieferzustand (weichgeglüht) einen Karbidgehalt von rd. 20% enthält. Dem hohen Karbidgehalt verdankt der Stahl seinen hohen Verschleißwiderstand.

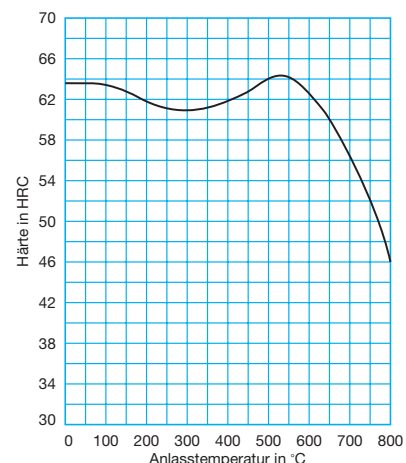
Das Datenblatt zeigt, dass für das Härten von Schnellarbeitsstählen wesentlich höhere Austenitisierungstemperaturen notwendig sind als bei Kaltarbeitsstählen. Dafür ist die hohe thermische Stabilität der in den Schnellarbeitsstählen vorliegenden Karbide ursächlich, die bei der Austenitisierung in erheblichem Umfang gelöst werden müssen. Die Durchführung der Schnellarbeitsstahlhärtung erfordert eine besondere Sorgfalt. Nach dem Härten erreicht der Stahl Rapidur 3343 Härtewerte von rd. 64 - 66 HRC. Die hohen Gehalte an Chrom und Molybdän bewirken eine gute Durchhärbarkeit.

Die Anlasskurve dieses Stahles weist ein ausgeprägtes Sekundärhärtemaximum zwischen 520 und 560 °C auf.

Die Höhe und Temperaturlage dieses Maximums sind von der Härtetemperatur abhängig. Das Anlassen auf die gewünschte Anlasshärte ist bei Schnellarbeitsstählen grundsätzlich mindestens zweimal, besser noch dreimal, bei Anlasstemperaturen oberhalb des Sekundärhärtemaximums durchzuführen.

Im Bereich der hier beschriebenen Fertigungsverfahren findet auch der Warmarbeitsstahl **Thermodur 2343 EFS** Verwendung. Er zeigt eine hohe Anlassbeständigkeit und zeichnet sich vor allem durch sehr gute Zähigkeit aus.

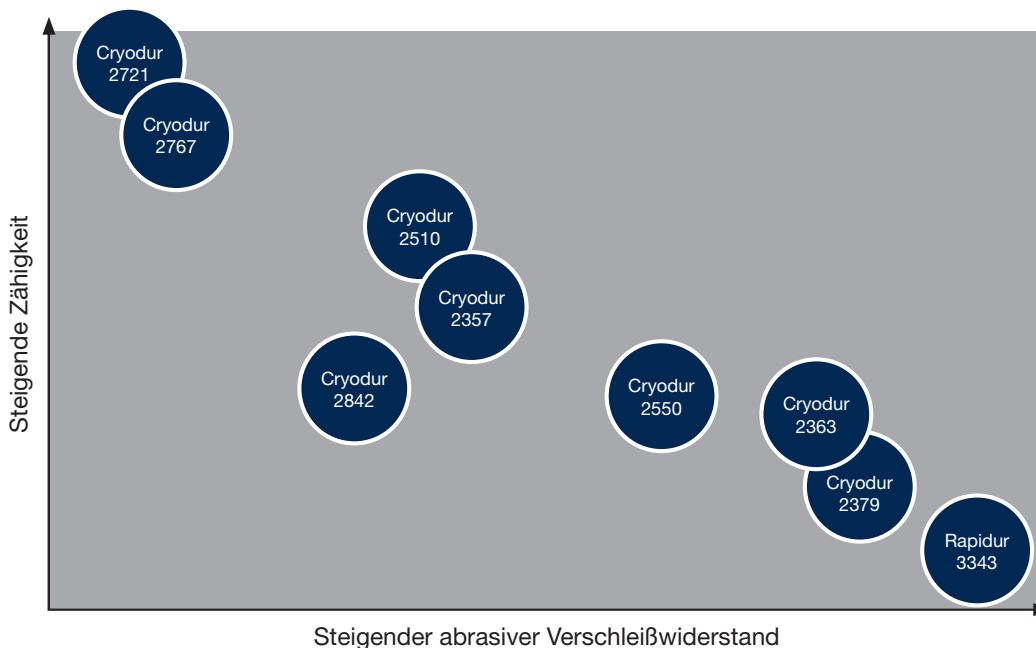
Anlassschaubild Rapidur 3343



Werkstoffauswahl

Um aus der Vielzahl von Werkzeugstählen die jeweils sinnvollste Auswahl zu treffen, bedarf es eines auf die Belange der Werkzeuge abgestimmten Eigenschaftsvergleichs.

Das Diagramm zeigt Gegenüberstellung von Verschleißwiderstand und Zähigkeit einiger Werkzeugstähle für Kaltarbeitsanwendungen.



Schneiden:

Die Stahlauswahl und Einbauhärtung hängen von der Dicke und Festigkeit des zu schneidenden Materials ab. Je größer die Dicke und Festigkeit des Schneidgutes, desto höher sind die Belastungen des Werkzeuges und insbesondere die Spannungsspitzen an den Schneiden. Dementsprechend muss auch die Zähigkeit des Werkzeugwerkstoffes steigen. Diese Voraussetzung lässt sich einerseits durch eine Absenkung der Werkzeughärte erfüllen, andererseits ist es sinnvoll, von Legierungen mit höheren Kohlenstoffgehalten auf solche mit niedrigeren Gehalten zu wechseln. Im unteren Abmessungsbereich kommen vornehmlich die hochverschleißfesten 12%igen Chromstähle zum Einsatz, während für größere Blechdicken nur noch die zäheren Werkstoffe Cryodur 2550, Cryodur 2767 und Cryodur 2842 den Anforderungen entsprechen.

Da bei den 12%igen Chromstählen der Werkstoff Cryodur 2379 im Vergleich zu Cryodur 2080 bzw. Cryodur 2436 einen gleich guten Verschleißwiderstand und eine höhere Zähigkeit erreicht, verdrängt Cryodur 2379 die beiden anderen Stähle weitgehend. Die Übergänge zwischen den Einsatzgebieten der verschiedenen Stähle sind natürlich fließend, sodass sich die Anwendungsbereiche mehrerer Stähle überschneiden können.

Zur Bearbeitung von austenitischen Werkstückwerkstoffen und Dynamoblechen sollte die Werkzeughärte um 1 bis 2 HRC erhöht werden. Feinschneidwerkzeuge unterliegen aufgrund ihres geringeren Schneidspaltes höheren Belastungen als Normalschneidwerkzeuge, sodass bei derartigen Werkzeugen der Einsatz der Stähle Rapidur 3343 und Cryodur 2379 zweckmäßig ist.



Tiefgezogene Blechdosen

Scheren

Das Scheren ist als trennendes, spanloses Formgebungsverfahren dem Schneiden ähnlich. Die Werkzeuge müssen einen hohen Verschleißwiderstand und ausreichende Zähigkeit aufweisen. Die Werte der Einbauhärte werden auch hier von der Art, Dicke und Härte des Schneidgutes bestimmt. Verwendung finden besonders die ledeburitischen Kaltarbeitsstähle, besonders Cryodur 2379, aber auch Schnellarbeitsstähle wie Rapidur 3343. Der Vergleich der Werkstoffe zeigt auch hierbei wieder die weite Einsatzmöglichkeit des Stahles Cryodur 2379, der erst bei höheren Anforderungen an die Zähigkeit (große Schneidgutdicke) durch die zäheren Stähle Cryodur 2363, Cryodur 2842, Cryodur 2550 sowie Cryodur 2767 abgelöst wird.

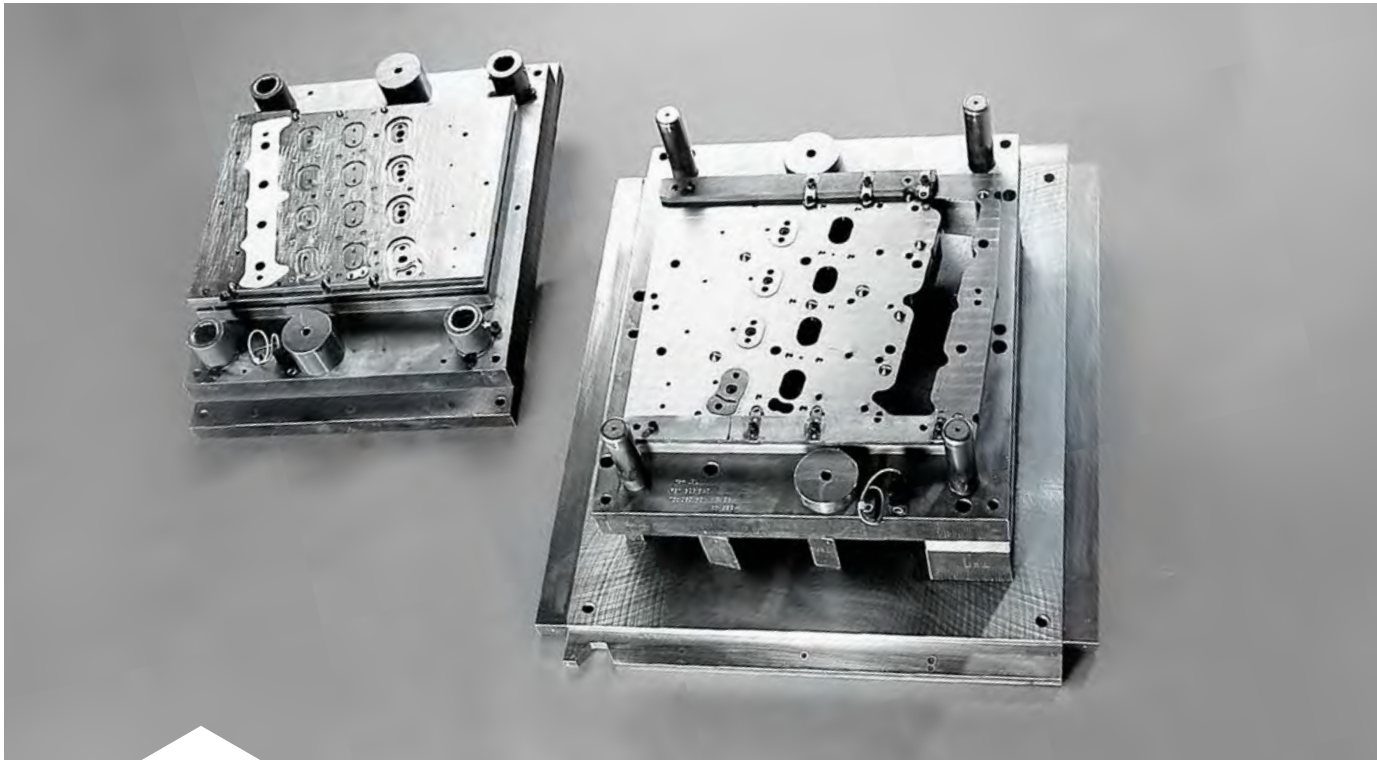
Kaltfließpressen

Die Empfehlungen für die Stahlauswahl für Kaltfließpresswerkzeuge enthalten für die verschiedenen Werkzeuge entsprechend den jeweiligen Anforderungen verschiedene Stähle. Die auf Druck und Verschleiß beanspruchten Matrizen benötigen Werkstoffe mit ausreichendem Verschleißschutz und hoher Druckfestigkeit. Bei einteiligen Matrizen, die in erster Linie nur auf Verschleiß beansprucht werden, erfüllen die

unlegierten Stähle Cryodur 1545 und Cryodur 2833 noch die Anforderungen. Bei komplizierteren Werkzeugbelastungen, die sich aus Druck-, Verschleiß- und Sprengbelastungen zusammensetzen, muss der Matrizeneinsatz (Büchse) der Verschleißbelastung widerstehen. Hier haben sich die ledeburitischen Chromstähle, besonders Cryodur 2379, bewährt. Gerade dieser Stahl vereint die Eigenschaften Härte, Verschleißwiderstand bei vielfach ausreichender Zähigkeit in hervorragender Weise. Die Armierungsringe müssen hohe Zugspannungen aufnehmen können, so dass Werkzeugstähle mit ausreichender Zähigkeit benötigt werden. Bewährt hat sich dabei besonders der Stahl Cryodur 2767, der durch seinen hohen Nickelgehalt von 4% besonders zäh ist. Bewährt hat sich auch aufgrund seiner guten Zähigkeit der Warmarbeitsstahl Thermodur 2343. Dieser kann vor allem auch aufgrund seines Anlassverhaltens zwecks Aufschumpfens auf bis zu 550 °C erwärmt werden.

Tiefziehen

Bei den Tiefziehwerkzeugen finden vor allem die ledeburitischen Kaltarbeitsstähle Verwendung. Auch hier hat sich wieder der Stahl Cryodur 2379 zu einem Standardwerkstoff entwickelt.



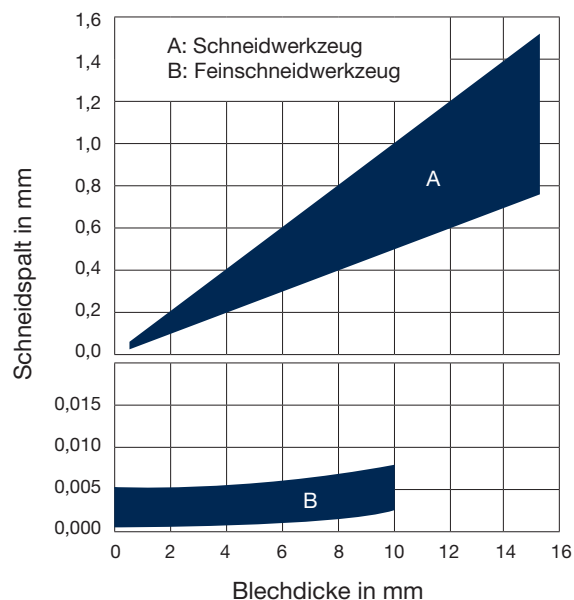
Stanzwerkzeug

Der Schneidspalt

Um ein Stauchen des Werkstückes beim Schneiden zu verhindern und um die Reibung gering zu halten, muss der Durchbruch der Schneidplatte etwas größer sein als der Querschnitt des Schneidstempels. Der Abstand zwischen den Schneidkanten der Platte und des Stempels wird als Schneidspalt bezeichnet. Seine Größe ist von den Eigenschaften und der Dicke des Werkstückes sowie vom Schneidverfahren abhängig. Je enger der Schneidspalt ist, umso sauberer ist die Schneidfläche. Bei einem zu kleinen Schneidspalt wächst jedoch infolge der erhöhten Reibung und der Stauchung des zu verarbeitenden Werkstoffes der Kraftbedarf stark an. Die Schneidkanten können hierdurch vorzeitig stumpf werden oder ausbrechen. Ebenso nachteilig ist ein zu großer Schneidspalt, da sich der zu trennende Werkstoff in die Zwischenräume einpressen kann und zu starken Sprengbeanspruchungen führt, die ein vorzeitiges Reißen der Schneidplatten verursachen können. Im Diagramm werden für Schneid- und für Feinschneidwerkzeuge Richtwerte für den Schneidspalt in Abhängigkeit von der Blechdicke

angegeben. Beim Schneiden von weichen Werkstoffen sollte der Schneidspalt an der unteren Grenze, beim Schneiden von Werkstoffen mit höherer Festigkeit an der oberen Grenze des jeweiligen Streubereiches liegen.

Empfohlener Schneidspalt in Abhängigkeit von der Blechdicke



Übersicht: Stahlauswahl für das Schneiden, Stanzen, Scheren

Zu bearbeitendes Material	Materialdicke	Marke	Härte (HRC)
Stahlbleche, Bänder, Aluminium und Aluminiumlegierungen, Kupfer und Kupferlegierungen	bis 4 mm	Cryodur 2080	58 – 62
		Cryodur 2436	58 – 62
		Cryodur 2516	59 – 63
	bis 6 mm	Cryodur 2379	56 – 60
Cryodur 2363		56 – 60	
bis 12 mm	Cryodur 2510	56 – 60	
	Cryodur 2842	56 – 60	
über 12 mm	Cryodur 2550	54 – 58	
	Cryodur 2767	48 – 52	
	Cryodur 2243	52 – 59	
	Cryodur 2101	50 – 58	
Trafo-, Dynamobleche und Dynamobänder	bis 2 mm	Cryodur 2436	60 – 63
	bis 6 mm	Cryodur 2379	58 – 62
Austenitische Stähle	bis 4 mm	Cryodur 2379	60 – 62
		Rapidur 3343	60 – 64
	bis 6 mm	Cryodur 2379	58 – 62
		Rapidur 3343	58 – 62
bis 12 mm	Cryodur 2550	54 – 58	
über 12 mm	Cryodur 2767	50 – 54	
Bleche und Bänder aus metallischen Werkstoffen	bis 4 mm	Cryodur 2379	60 – 62
		Cryodur 2516	59 – 63
		Rapidur 3343	60 – 64
	bis 6 mm	Cryodur 2379	58 – 62
		Rapidur 3343	58 – 62
	bis 12 mm	Cryodur 2379	56 – 60
Rapidur 3343		56 – 60	
Cryodur 2243		52 – 59	
Kunststoffe, Holz, Gummi, Leder, Textilien, Papier		Cryodur 2080	58 – 63
		Cryodur 2379	58 – 62
		Cryodur 2436	58 – 63
		Cryodur 2510	57 – 61
		Cryodur 2550	54 – 58
		Cryodur 2842	58 – 63

Übersicht: Stahlauswahl für Hilfswerkzeuge (Aufbauteile)

Werkzeuge	Marke	Einbauhärtigkeit in HRC bzw. Einbaufestigkeit in N/mm ²
Druckstück, Druckplatte, Zwischenplatte	Cryodur 2842	56 – 60 HRC
Abstreifer, Abstreiferplatte,	Cryodur 2842 Cryodur 1730	58 – 60 HRC ca. 650 N/mm ²
Federbolzen, Stempelführung, Führungsstift, Führungssäule	Cryodur 2842 Cryodur 2210 Formadur 2162	58 – 62 HRC 58 – 62 HRC 58 – 60 HRC
Auswerfer, Auswerferplatte	Cryodur 2210 Cryodur 2842	56 – 60 HRC 56 – 60 HRC
Stempelhalterplatte, Grundplatte	Cryodur 1730	ca. 650 N/mm ²
Niederhalter	Cryodur 2379 Cryodur 2842	58 – 62 HRC 58 – 62 HRC

Übersicht: Stahlauswahl für Kaltfließpresswerkzeuge

Werkzeuge	Marke	Einbauhärtigkeit in HRC
Einteilige Matrizen	Cryodur 1545 Cryodur 2833	60 – 64 60 – 64
Matrizeneinsätze, Stempel	Cryodur 2379 Cryodur 2436 Cryodur 2721 Rapidur 3343	58 – 62 58 – 62 54 – 58 60 – 64
Armierungsringe	Thermodur 2343 Cryodur 2709 Thermodur 2714 Cryodur 2767	46 – 52 52 – 56 48 – 52 48 – 52
Abschermesser	Rapidur 3343	60 – 64
Abscherbüchsen	Cryodur 2363 Cryodur 2379 Cryodur 2550 Rapidur 3343	56 – 60 58 – 62 54 – 58 60 – 64

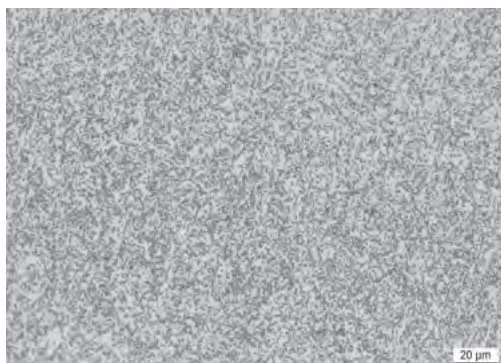
Die Wärmebehandlung der Kaltarbeitsstähle

Ein wesentlicher Schritt in der Produktion von Werkzeugen ist die Wärmebehandlung. Durch sie erhalten die Werkzeugstähle erst die geforderten Eigenschaften, um im späteren betrieblichen Einsatz die gewünschte Leistung zu erreichen. Die Wärmebehandlung steht am Ende des Produktionsprozesses, so dass hier begangene Fehler oftmals zu irreparablen Schäden am (fast) fertigen Werkzeug führen können. Die Tatsache, dass viele Schäden an Werkzeugen auf eine unsachgemäße Wärmebehandlung zurückzuführen sind, macht deutlich, dass eine intensive Beschreibung der Vorgänge und Verfahren der Wärmebehandlung wichtig ist.

Wärmebehandlungszustände

Bis auf wenige Ausnahmen werden Werkzeugstähle im weichgeglühten Zustand an die Werkzeugbauer ausgeliefert. Je nach ihrer chemischen Zusammensetzung weisen die Stähle in diesem Zustand eine Härte von maximal 180 bis 250 HB auf. Lediglich Schnellarbeitsstähle weisen aufgrund ihres sehr hohen Anteils an Legierungselementen Härtewerte von 240 bis 300 HB auf. In diesem Zustand können die Stähle gut mechanisch bearbeitet werden. Für den eigentlichen Einsatzzweck sind sie in diesem Zustand jedoch ungeeignet.

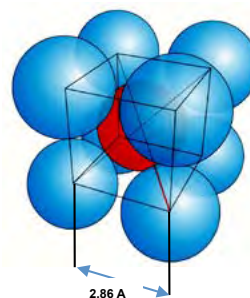
Aus metallkundlicher Sicht betrachtet, ist im weichgeglühten Zustand der gesamte Kohlenstoff des Stahls in Form von Karbiden abgebunden. Diese liegen als feine kugelförmige Partikel in einer ferritischen Grundmasse vor. Da die Grundmasse praktisch frei von Kohlenstoff ist, ist ihre Härte gering, sodass die mechanische Bearbeitung der Stähle in diesem Zustand gut möglich ist.



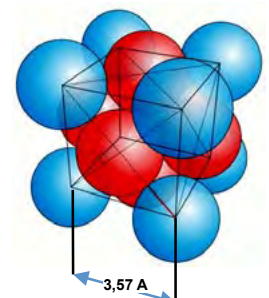
Glühgefüge

Um einen Stahl in den gehärteten Zustand zu überführen, muss er verschiedene Umwandlungen durchlaufen. Wichtigstes Legierungselement für die Härtung ist der Kohlenstoff. Im Eisengitter wird er, da seine Atomgröße deutlich geringer ist als die des Eisens, auf Zwischengitterplätzen (Lücken) eingebaut.

Bei Raumtemperatur liegt Eisen im kubischraumzentrierten (krz) Gitter (Ferrit), das eine Gitterkonstante von $0,286 \times 10^{-9}$ m aufweist, vor. Oberhalb 911°C wandelt es in das kubischflächenzentrierte (kfz) Gitter (Austenit) mit einer Gitterkonstanten von $0,357 \times 10^{-9}$ m um. Bei dieser Umwandlung bilden zwei Elementarzellen des Ferrits eine neue Elementarzelle des Austenits. Zwischen den als kugelförmig anzusehenden Eisenatomen existieren Gitterlücken, in denen der Kohlenstoff eingelagert werden kann.



Kubisch raumzentriertes (krz) Gitter



Kubisch flächenzentriertes (kfz) Gitter, höchste Packungsdichte

Die Gitterstruktur des Austenits erlaubt es, bis zu 2,1% C zu lösen (einzulagern). Im Ferrit kann jedoch nur maximal 0,02% C, bei Raumtemperatur sogar nur 0,00001% C gelöst werden. Diese unterschiedliche Fähigkeit, Kohlenstoff in Gitterlücken zu lösen, nutzt man bewusst beim Härten von Stählen aus. Stähle enthalten praktisch immer mehr Kohlenstoff als bei Raumtemperatur im Ferrit gelöst werden kann. Dieser Kohlenstoff liegt im weichgeglühten Zustand in Form von Karbiden (Verbindungen aus C mit den Elementen Fe, Cr, Mo, V, W) vor. Wird der Stahl nun über seine Umwandlungstemperatur hinaus erwärmt, sodass er austenitisch wird, kann nun der Kohlenstoff in den Gitterlücken des Austenits eingelagert werden. Dieser Kohlenstoff muss aber dafür aus den Karbiden bereitgestellt werden, d.h. die Karbide geben ihren Kohlenstoff an den Austenit ab, wobei gleichzeitig auch die übrigen Elemente der Karbide in den Austenit gelangen. Für die Vorgänge der Ferrit-Austenit-Umwandlung und die Kohlenstofflösung ist ausreichend Zeit erforderlich. Von der Austenitisierungstemperatur (Härtetemperatur) wird der Stahl schnell abgekühlt (abgeschreckt). Der in hoher Konzentration im Austenit gelöste Kohlenstoff hat dabei das Bestreben, seine mit sinkender Temperatur geringer werdende Löslichkeit dadurch auszugleichen, dass er die Zwischengitterplätze des Austenits verlassen will. Durch die schnelle Abkühlung wird diese Rückdiffusion jedoch verhindert und der Kohlenstoff in einem Zustand der Zwangslösung gehalten. Das Eisengitter gerät dadurch unter extreme Spannungen. Es kann nicht mehr vom Austenitgitter in das Ferritgitter umwandeln, sondern wird in Sekundenbruchteilen in eine verzerrte Struktur (Martensit) umgeklappt.

Derart gehärteter Stahl weist zwar eine sehr hohe Härte auf, ist aber extrem spröde. Deshalb muss der Stahl angelassen werden. Hierzu wird der Stahl erneut erwärmt, jedoch auf eine wesentlich niedrigere Temperatur als beim Härten. Dabei werden mit steigender Temperatur zunächst Kohlenstoffatome aus dem verzerrten Gitter freigesetzt, die sich mit freien Legierungselementen zu Karbiden verbinden können. Bei einigen hochlegierten Stählen, z. B. bei den Schnell-

arbeitsstählen, können dabei die sogenannten Sonderkarbide entstehen, die zu einem ausgeprägten Sekundärhärtemaximum führen. Das verspannte martensitische Gitter verliert dadurch an Verspannung, womit ein gewisser Härteverlust verbunden ist.

Bei dem vorausgegangenen Härten ist oftmals nicht der gesamte Austenit in Martensit umgewandelt worden. Gerade bei hochlegierten Stählen ist der Austenit umwandlungsträge, sodass nach dem Härten neben dem Martensit noch ein gewisser Anteil Restaustenit vorliegt. Dadurch, dass der angelassene Martensit an Verspannung verliert, kann bei der Abkühlung von der Anlassstemperatur der Restaustenit in Martensit umwandeln, der beim zweiten Anlassvorgang die zuvor beschriebenen Prozesse durchläuft.

Ablauf der Wärmebehandlung

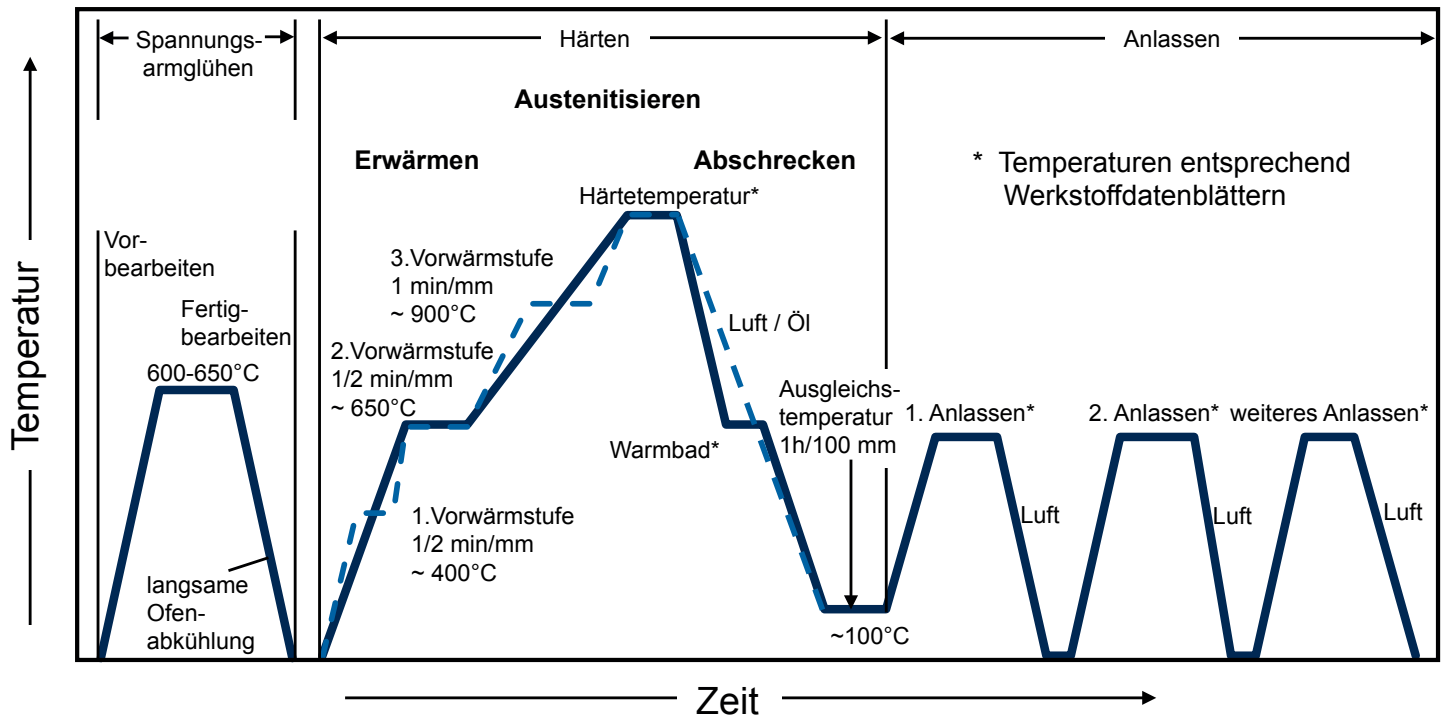
Der erste Schritt der Wärmebehandlung ist das Spannungsarmglühen. Die spannen und spanlosen Verfahren, mit denen das Werkzeug gefertigt wurde, haben zu Spannungen in dem zu behandelnden Werkzeug geführt. Würden diese Spannungen vor dem Härten nicht beseitigt, wären starke Verzüge oder Risse im Werkzeug unvermeidlich. Zum Spannungsarmglühen werden die Werkzeuge langsam und durchgreifend auf 600 - 650°C erwärmt und mindestens zwei Stunden auf dieser Temperatur gehalten. Bei größeren Werkzeugen wird eine Haltezeit von mindestens 1 Stunde je 50 mm Wandstärke empfohlen. Die anschließende Abkühlung muss, um die Bildung neuer Spannungen zu vermeiden, langsam in einem Ofen erfolgen. Mit dem Spannungsabbau ist fast immer eine Formänderung verbunden, die beim anschließenden Fertigbearbeiten beseitigt werden muss.

Das Härten der Werkzeuge setzt sich zusammen aus den drei Teilvorgängen

» **Erwärmen auf Härtetemperatur**

» **Austenitisieren und**

» **Abschrecken**

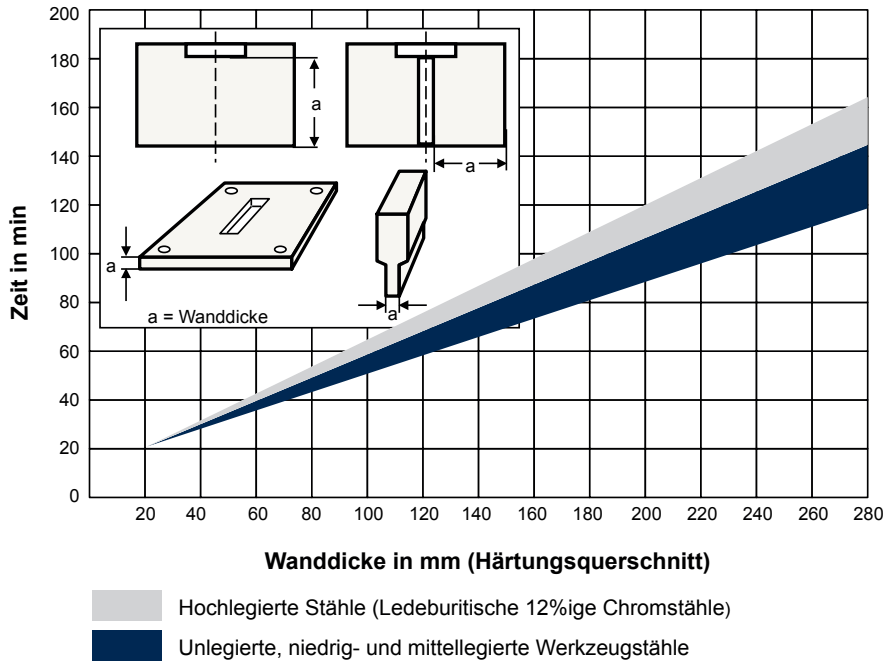


Zeit-Temperatur-Folge Diagramm für die Wärmebehandlung ledeburitscher Chromstähle

Große Bedeutung hat das Erwärmen auf Härtetemperatur. Die Wärmeleitfähigkeit hochlegierter Stähle ist verhältnismäßig gering, sodass beim Aufheizen großer Werkzeuge erhebliche Temperaturdifferenzen zwischen dem Rand und Kern auftreten können. Ein schnelles Aufwärmen würde daher zu starken Wärmespannungen führen, die Verzug oder Risse zur Folge haben können. Mehrere Vorwärmstufen in dem Aufheizprozess dienen daher einem Temperaturengleich über den gesamten Querschnitt. Je nach gewähltem Stahl und zu härtendem Werkzeug können bis zu drei Vorwärmstufen erforderlich sein. Die Erwärmung von der letzten Vorwärmstufe zur Härtetemperatur sollte möglichst rasch erfolgen. Auf der Härtetemperatur ist das Werkzeug eine ausreichende Zeit zu halten, damit nach einem Temperaturengleich die notwendige Menge an Karbiden im Austenit gelöst werden kann.

Ein zu langes Verweilen ist jedoch zu vermeiden, da bei derart hohen Temperaturen mit einem schädlichen Kornwachstum zu rechnen ist. Das Diagramm auf der gegenüberliegenden Seite gibt Hinweise über die sachgerechte Haltezeit nach Erreichen der Härtetemperatur an der Werkzeugoberfläche.

Das Abschrecken zur Bildung des gewünschten, harten Martensits muss schnell erfolgen. Andererseits kann eine zu schnelle Abkühlung erneut zu starken Spannungen führen, die Verzug oder Risse zur Folge haben können. Die Wahl des Abschreckmediums ist daher vom Stahl abhängig. Grundsätzlich gilt die Regel für die Abschreckgeschwindigkeit: „So langsam wie möglich, jedoch so schnell wie nötig“. Die Abkühlung der gehärteten Werkzeuge sollte grundsätzlich nicht bis auf Raumtemperatur erfolgen. Statt dessen



Haltezeit nach Erreichen der Härtetemperatur an der Werkzeugoberfläche

sollen sie bei rd. 100 °C abgefangen werden und bis zu einer vollständigen Martensitumwandlung gehalten werden.

Als Ausgleichszeit kann eine Stunde je 100 mm Wandstärke angenommen werden, wobei längere Zeiten nicht nachteilig sind. Die Ursache ist auch hier wieder in der begrenzten Wärmeleitfähigkeit der Werkzeugstähle zu sehen, die dazu führt, dass der Kern der Werkzeuge langsamer abkühlt als der Randbereich. Ohne die Ausgleichsbehandlung besteht die Gefahr, dass der Kern der Werkzeuge noch austenitisch ist, während der Rand bereits völlig martensitisch umgewandelt ist. Die Folge wären extreme Spannungen oder Risse, wenn auch der Kern martensitisch wird. Um bei der Abschreckung von der Härtetemperatur auftretende Maßänderungen sowie das Risiko einer Rissbildung möglichst gering zu halten, empfiehlt es sich immer, nicht schroffer als notwendig, sondern so mild wie möglich

abzuschrecken. Hierzu kann vor allem bei kompliziert geformten Werkzeugen aus legierten Stählen eine gestufte Abschreckung (Warmbadhärten) sinnvoll eingesetzt werden. Hierzu werden die Werkzeuge in eine Salzschnmelze oder ein temperiertes Ölbad, dessen Temperatur möglichst dicht oberhalb der Martensit-Start-Temperatur liegen sollte, gebracht. Dadurch wird der Abkühlvorgang in der Werkzeugrandsschicht unterbrochen. Der Kern kühlt sich jedoch bis auf die Randtemperatur ab, sodass ein völliger Temperaturausgleich entsteht. Spannungen, die bei dieser Abkühlung noch entstehen, können sich in dem noch verhältnismäßig weichen Austenit weitgehend abbauen. Nach erfolgtem Temperaturausgleich werden die Werkzeuge aus dem Warmbad entnommen und an Luft abgekühlt. Dabei läuft erst die Umwandlung des Austenits in Martensit ab.

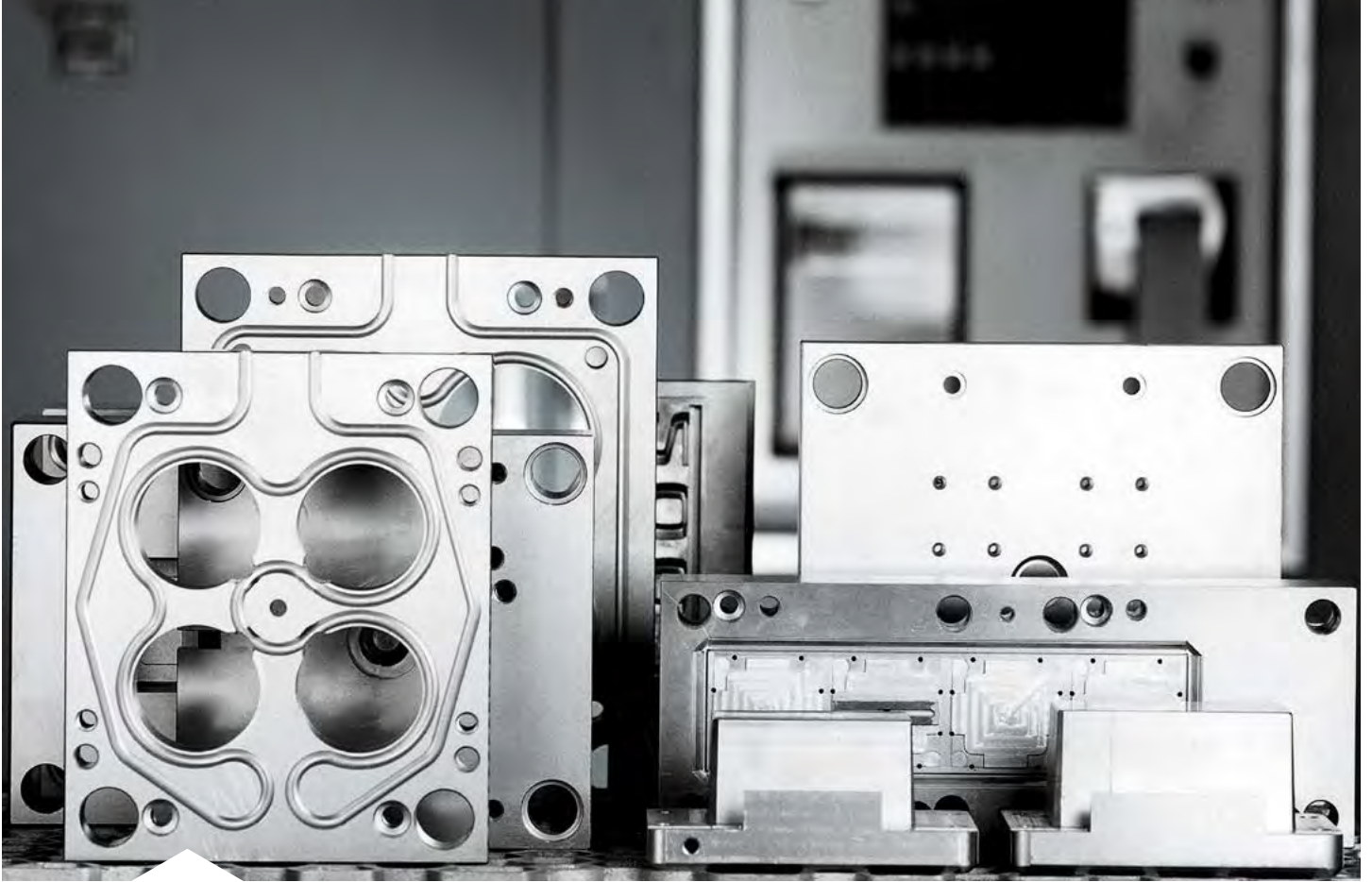


Vakuumofen

Die Datenblätter einiger Stähle geben für die Warmbadhärtung Temperaturen zwischen 180 und 220°C an, obwohl ihre Ms-Temperaturen über dieser Spanne liegen. In diesem Fall handelt es sich lediglich um eine sehr milde Abschreckung. Andere Stähle, besonders die hochlegierten Stähle wie Cryodur 2363, Cryodur 2379, Cryodur 2436 sowie die Rapidur-Schnellarbeitsstähle, benötigen eine Warmbadtemperatur von 500 - 550°C. Verständlich wird diese deutlich über Ms liegende Temperatur bei einer näheren Betrachtung der ZTU-Schaubilder für kontinuierliche Abkühlung dieser Stähle. In diesem Temperaturbereich zeigen die genannten Stähle zwischen der Perlit- und der Bainitstufe einen ausgeprägten Bereich metastabiler Austenits. In diesem Temperaturbereich kann das Werkzeug beliebig lange gehalten

werden, ohne eine Umwandlung zu erfahren, sodass ein ausreichender Temperaturausgleich sichergestellt werden kann. Die anschließende Abkühlung an Luft ist für eine Martensitbildung noch ausreichend schnell.

Nach Abschluss des Härtens muss zur Einstellung der Einsatzhärte und der Zähigkeit ein Anlassen der Werkzeuge durchgeführt werden. Die Wahl der Anlasstemperatur richtet sich nach dem Stahl und der gewünschten Arbeitshärte. Je 20 mm Wandstärke sollte das Werkzeug eine Stunde auf der Anlasstemperatur verweilen, ehe es an ruhender Luft abkühlt. Es hat sich als sinnvoll erwiesen, Werkzeuge mindestens zweimal, in vielen Fällen sogar dreimal anzulassen, um einen weitgehenden Abbau von Restaustenit zu erreichen.



Eine sachgemäße Wärmebehandlung ist das A und O

Wärmebehandlungsaggregate

Bei der Durchführung von Wärmebehandlungen finden verschiedene Ofentypen Verwendung.

Gas- oder elektrisch beheizte Muffelöfen stellen eine einfache Ofenbauart dar. Sie sind für Temperaturen bis rd. 1000°C geeignet. Da in diesen Öfen keine spezielle Atmosphäre eingestellt werden kann, müssen die Werkzeugoberflächen vor einer Oxidation und Entkohlung geschützt werden.

Bei der Wärmebehandlung in Salzbadöfen übertragen flüssige Salzschnmelzen die Wärme auf die Werkzeuge. Durch den guten Wärmeübergang wird eine schnelle Erwärmung erreicht. Salzbadöfen finden bis zu rd. 1350°C Verwendung, können daher also sowohl zum Härten als auch zum Anlassen genutzt werden. Die Oberflächen der Werkzeuge werden nicht entkohlt oder oxidiert. Sie müssen aber möglichst schnell und gründlich von anhaftenden Salzresten gereinigt werden, da sonst Korrosion eintreten kann. Vorteilhaft bei diesem Ofentyp ist ferner die große Temperaturgenauigkeit. Aufgrund ihrer Größe sind Salzbadöfen üblicherweise auf kleine Werkzeuge beschränkt. Darüber hinaus ist bei diesem

Verfahren zu beachten, dass die verwendeten Salze zyanhaltige Verbindungen enthalten, die zu hohen Umweltschutzaufgaben führen. Einen großen Stellenwert haben Vakuumöfen erlangt. Die zu behandelnden Werkzeuge werden in einem evakuierbaren Gefäß durch den Einfluss von Strahlungswärme erhitzt und auf die Härtetemperatur gebracht. Diese Art der Aufheizung, die je nach Ofenbauart im unteren Temperaturbereich durch eine zusätzliche Konvektionsheizung unterstützt wird, ist deutlich langsamer als beim Salzbad, was besonders bei großen Werkzeugen berücksichtigt werden muss. Die Abkühlung in diesen Öfen erfolgt üblicherweise durch Stickstoff, der mit einem Druck von üblicherweise bis zu 6 bar, in einigen Fällen sogar bis zu 20 bar, in die Ofenkammer strömt und die Abschreckung bewirkt. Als besonderer Vorteil bei diesem Verfahren gilt es, dass die Werkzeugoberflächen nach dieser Art der Wärmebehandlung absolut metallisch blank sind und die auftretenden Verzüge aufgrund der relativ milden Abschreckung gering sind.

Dieses Verfahren findet daher gerade immer dann Verwendung, wenn die Werkzeuge nach der Wärmebehandlung nur noch eine minimale Nachbehandlung erfahren sollen.

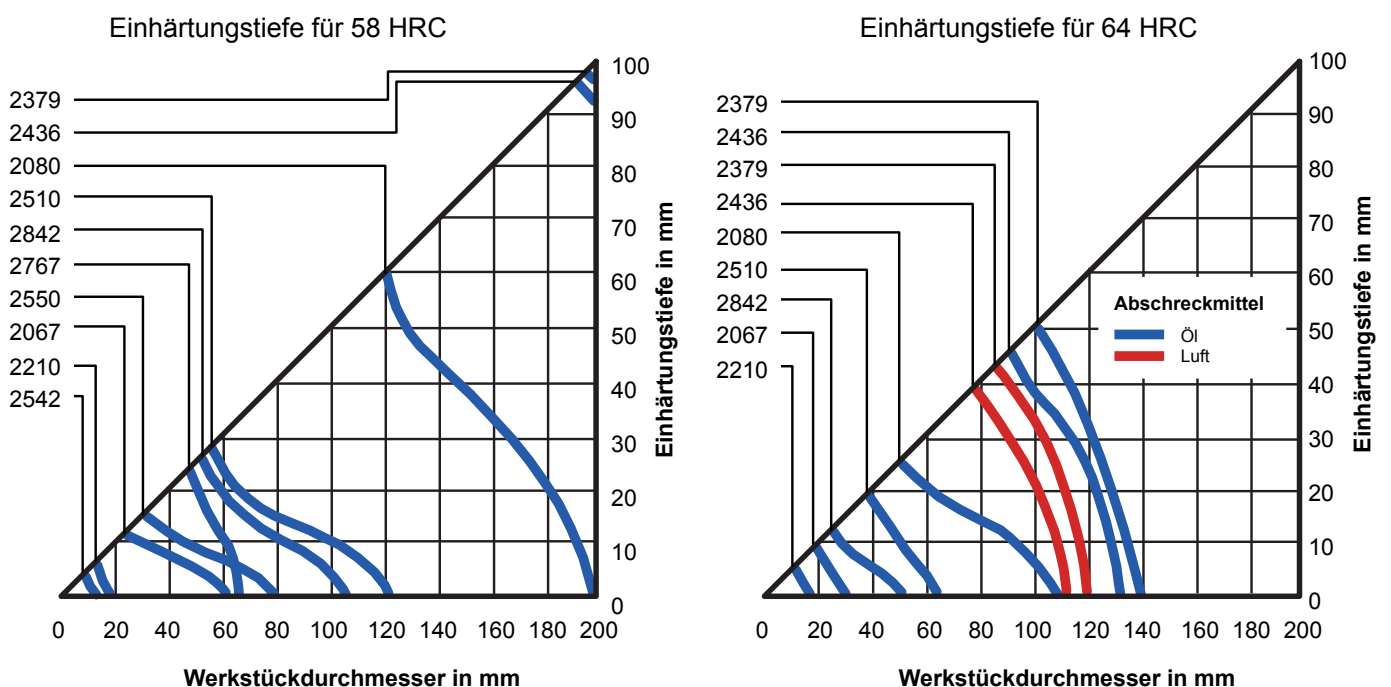
Härtbarkeit

Die Härteannahme der Werkzeugstähle ist nicht nur vom Kohlenstoffgehalt, sondern auch vom Querschnitt abhängig. Bei der Abschreckung wird im Randbereich zwar noch Martensit und damit volle Härte gebildet, im Kern wird aber die Wärme nur langsam abgeführt, sodass dort eine Martensitbildung nicht mehr erfolgen kann. Derartig langsam abgekühlte Bereiche weisen dann eine deutlich geringere Härte auf. Diese Tatsache ist dafür verantwortlich, dass viele Werkzeuge nicht über den gesamten Querschnitt die gewünschte Härte erreichen können, was gerade bei der Vakuumhärtung zu berücksichtigen ist.

Im Diagramm zur Ermittlung der Einhärtetiefe kann in Abhängigkeit vom Werkzeugdurchmesser und vom Abschreckmittel die erreichbare Einhärtetiefe abgelesen werden.

Wird z.B. für ein Werkzeug aus Cryodur 2379 von 120 mm rund im nichtangelassenen Zustand eine Härte von 64 HRC gefordert, geht man von der waagerechten Achse (Werkstückdurchmesser) senkrecht zu der entsprechenden Kurve des Stahles. Von diesem Schnittpunkt lotet man auf die senkrechte Achse, auf der die Einhärtetiefe (30 mm) abgelesen werden kann. Ein Werkstück von 120 mm rund aus Cryodur 2379 weist also nach dem Härten in einer Tiefe bis zu 30 mm eine Härte von 64 HRC auf. Der Schnittpunkt der Kurve für den Stahl mit der unter 45° geneigten Achse ergibt, auf die waagerechte Achse gelotet, den durchhärtenden Durchmesser an (100 mm).

Die Durchhärbarkeit von Werkzeugstählen bei der Härtung in Vakuumöfen geht aus der Darstellung im folgenden Bild hervor.



Maßänderung und Verzug

Diese beiden Phänomene sind bei der Wärmebehandlung von Werkzeugen von besonderer Bedeutung. Obwohl beide Begriffe zwei verschiedene Vorgänge beschreiben, sind sie vielfach nicht voneinander zu trennen. Während sich der Verzug durch technische Maßnahmen wie z. B. milde und gleichmäßige Abkühlung oder durch konstruktive Gestaltung der Werkzeuge eindämmen lässt, beruhen Maßänderungen auf den bei Gefügeumwandlungen ablaufenden Prozessen.

Nachfolgend werden die mit Wärmebehandlungsvorgängen verbundenen Gefüge- und Maßänderungen beschrieben und Hinweise gegeben, wie Verzug und Rissbildung vermieden werden können. Hingewiesen werden soll an dieser Stelle, dass nach EN 10052 unter Maßänderung „die Änderung der Maße eines Werkstückes ohne Formänderung“ verstanden wird. Formänderungen bestehen dagegen aus der Änderung von Krümmungen oder Winkelbeziehungen. Verzug beinhaltet sowohl die Änderung der Form als auch der Maße.

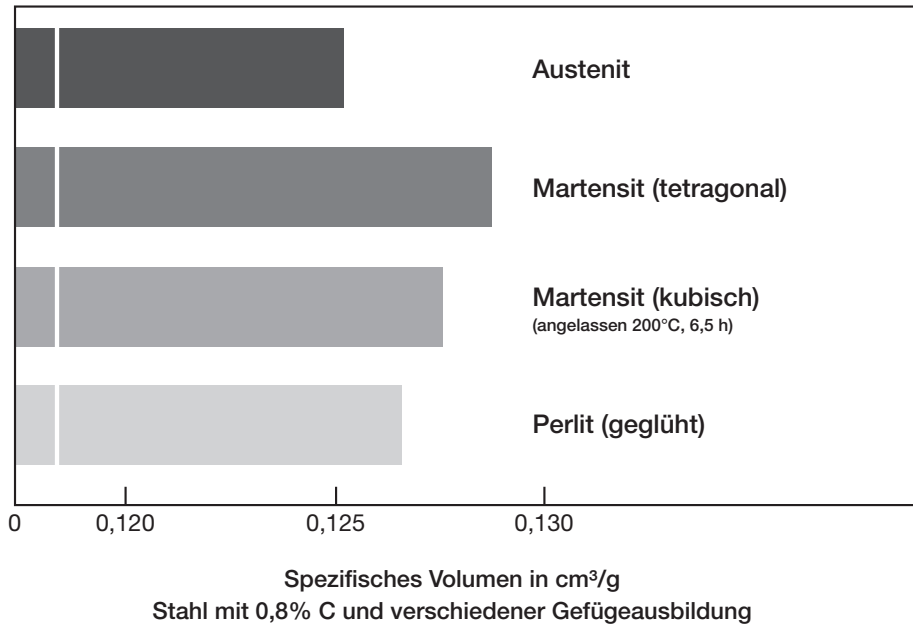
Maßänderung beim Erwärmen und Abkühlen

Mit Wärmebehandlungsvorgängen sind Temperaturänderungen verbunden, die über Wärmedehnungen zu Volumenänderungen im Werkstoff führen. Neben Wärmedehnungen wird zusätzlich der Lösungs- oder Ausscheidungszustand geändert, was mit einer Änderung der Gitterkonstanten einhergeht und sich daher ebenfalls in einer Volumenänderung ausdrückt.

Volumenänderung durch Wärmedehnungen

Verlaufen Erwärmung bzw. Abkühlung so langsam, dass die entstehenden Wärmespannungen elastisch abgebaut werden können, so liegt nach Abschluss der Wärmebehandlung keine messbare Volumenänderung am Werkstück vor.

Bei schnelleren Temperaturänderungen führen die in realen Werkzeugen immer auftretenden Temperaturunterschiede zur Ausbildung von Eigenspannungen, die die Streckgrenze des betrachteten Materials überschreiten können und dann plastisch abgebaut werden. Im Extremfall ist ein Überschreiten der Zugfestigkeit und damit eine Rissbildung möglich. Normalerweise sind jedoch nur abmessungsabhängige Maßänderungen die Folge. So wirken die beim Abschrecken im Rand auftretenden Zugspannungen auf ein Minimum des Verhältnisses von Oberfläche zu Volumen (Kugelgestalt), d.h. ein Zylinder schrumpft in der Länge und wächst im Durchmesser. Da zuletzt der Kern abkühlt und somit schrumpft, gerät der Rand unter Druckspannung (Spannungsumkehr), während im Kern Zugspannungen aufgebaut werden. Ein umwandlungsfreier austenitischer Stahl weist demzufolge im Randbereich Druck- und im Kern Zugspannungen auf.



Volumenänderung durch Gefügeumwandlung

Bei langsamen Erwärmungs- und Abkühlvorgängen bleiben Wärmespannungen gering. Trotzdem sind Maßänderungen möglich. Ursache dafür ist die mit der Wärmebehandlung beabsichtigte Gefügeänderung, die sich ebenfalls in einer Volumenänderung ausdrückt. So geht das Glühgefüge (Ausgangszustand Perlit) beim Halten auf der Härtetemperatur unter Volumenverkleinerung in Austenit über. Beim Abkühlen entsteht unter Volumenzunahme tetragonaler Martensit. Eine Volumenabnahme vollzieht sich parallel zum Anlassvorgang bei der Umwandlung des tetragonalen in kubischen Martensit.

Linear gesehen bedeutet dies bei langsamen Temperaturänderungen, z.B. beim Lufthärten legierter Stähle, eine abmessungsunabhängige Maßänderung. Diese ist unvermeidbar und muss bei der Werkzeugherstellung eingeplant werden.

Zusammenwirken von Wärmedehnung und Gefügeumwandlung

Kommen zur Gefügeumwandlung noch Wärmedehnungen hinzu (Normalfall), so ist

die zeitliche Folge von Bedeutung. Erfolgt z.B. in einem Zylinder die Umwandlung vor dem Maximum der Wärmespannung, so wird das vorliegende Ferrit-Perlitgefüge zur Tonnenform gestaucht. Findet die Umwandlung dagegen nach dem Spannungsmaximum statt, so wird der Austenit in eine Tonnenform gedrückt, bei nachfolgender Volumenzunahme durch die Martensitbildung. Sie beginnt im Rand und hebt die sich dort nach der Spannungsumkehr aufbauenden Druckwärmespannungen auf bzw. kehrt sie sogar um, da sie im Kern zuletzt eintritt. Die Restspannung an der Oberfläche besteht bei durchhärtenden Stählen meist aus einer Zugspannung, womit immer die Gefahr einer Rissbildung gegeben ist.

Fallen Umwandlungsspannungen mit den größten Wärmespannungen zeitlich zusammen, wird die Wirkung letzterer verstärkt, wenn die Umwandlung im Kern vor der im Rand abläuft. Wandelt dagegen der Rand vor dem Kern um, so bauen die Umwandlungsspannungen die Wärmespannungen ab bzw. kehren diese um, sodass eine Spulenform entsteht. In der Praxis sind eine Vielzahl von Überlagerungen der angesprochenen Grenzfälle denkbar.

Einfluss des Werkstoffes

Die Volumenzunahme durch Gefügeänderung (Martensitbildung) steigt mit dem Gehalt an gelöstem Kohlenstoff. Einer überproportionalen positiven Maßänderung kann bei mittellegierten Stählen durch eine Verringerung der Einhärtung entgegen gewirkt werden. Dazu ist bei gegebenem Werkzeugquerschnitt der Werkzeugstahl so zu wählen, dass eine hinreichende Einhärtung ohne Durchhärtung mit Perlitbildung im Kern eintritt.

Eine andere Möglichkeit, der Volumenzunahme durch Martensit entgegenzusteuern, ist die Erzeugung von hohem Restaustenitgehalt. Bei durch das Legierungssystem festliegendem Kohlenstoffgehalt lassen sich z.B. in ledeburitischen Chromstählen die Mengenanteile von Martensit und Austenit durch die Wahl der Härtetemperatur in weiten Grenzen variieren, da mit zunehmender Austenitisierungstemperatur (Lösungszustand) das Ende der Martensitbildung unterhalb der Raumtemperatur absinkt. Dabei wird der Härteverlust durch den weichen Austenit durch die harten Karbide, die ca. 20 % des Volumens ausmachen, weitgehend kompensiert. Anzumerken ist, dass letztere im Stabstahl in Verformungsrichtung gestreckt sind. Bei rascher Abkühlung behindern sie die Stahlgrundmasse beim Zusammenziehen aufgrund ihrer geringeren Wärmedehnung. Werkzeuge wachsen daher in Stabachse mehr als quer dazu.

Es ist hier jedoch darauf hinzuweisen, dass die Steuerung der Volumenzunahme über die gezielte Einstellung des Restaustenitanteils für viele Werkzeuge nicht genutzt

werden kann. Ursache dafür ist dessen Instabilität, die dazu führt, dass bei langandauernder Erwärmung im Einsatz bzw. verursacht durch äußere Spannungen Restaustenit zu Martensit umwandeln kann. Daraus resultiert ein Wachsen der Werkzeuge mit gegebenenfalls negativen Folgen (Klemmen, Bruch).

Maßänderungen beim Anlassen

Beim Anlassen eines gehärteten Stahls verliert zuerst der Martensit durch die Ausscheidung von Karbiden an Volumen. Bei höheren Anlasstemperaturen zerfällt dann der Restaustenit unter Volumenzunahme zu Martensit. Der Verlauf ist von der Stahlsorte, der Härtetemperatur, d.h. dem Mengenverhältnis von Martensit zu Restaustenit, der Anlassdauer und dem vorliegenden Eigenspannungszustand abhängig.

Neben der Volumenabnahme ist gleichzeitig ein Absinken der Härte zu beobachten (Entspannung des Martensits). Bei Warmarbeits- und Schnellarbeitsstählen wird dieser Härteabfall bei höheren Temperaturen durch die Ausscheidung von Sonderkarbiden (Sekundärhärtung) überkompensiert.

Wandelt Restaustenit beim Anlassen zu Martensit um, so entstehen aufgrund der unterschiedlichen Volumina erhebliche Eigenspannungen, die im Einsatz zur Rissbildung in diesem dann nicht angelassenen Martensit (spröde) führen kann. Demzufolge müssen höher legierte Stähle, bei denen sich Restaustenit bilden kann, mindestens zweimal angelassen werden.

Formänderungen

Im Vergleich zu Maßänderungen sind Formänderungen mit einem Verlust an Symmetrie verbunden. Sie sind jedoch im Gegensatz zu Maßänderungen nicht systemimmanent, sondern in vielen Fällen beeinflussbar. Bevorzugt treten Formänderungen an schlanken oder asymmetrisch geformten Werkzeugen auf.

Formänderungen durch Restspannungen

Asymmetrisch verteilte Eigenspannungen, die sich z.B. durch Richten oder durch Zerspannungsvorgänge im Material einstellen, können sich beim Erwärmen auf Härtetemperatur plastisch abbauen (Verzug), da mit zunehmender Temperatur die Festigkeit abnimmt. Im Extremfall kann es bei Überlagerung mit Wärme- und Umwandlungsspannungen sogar zur Rissbildung kommen.

Formänderungen aufgrund asymmetrischer Eigenspannungen sind vermeidbar, wenn die Fertigungsfolge und das Erwärmen auf Härtetemperatur vorhandene Restspannungen berücksichtigen. Bewährt haben sich ein Spannungsarmglühen nach dem Grobzerspannen sowie eine gestufte Erwärmung zur Einstellung einer möglichst querschnittsunabhängigen Temperaturverteilung.

Formänderungen durch falsche Entnahme bzw. einseitiger Abkühlung

Da vor allem bei größeren Abmessungen seigerungsbedingt der Kern eine vom Rand abweichende chemische Zusammensetzung aufweist, kann es bei falscher Entnahme auch bei optimaler Wärmebehandlung zu Verzug kommen. Ursache dafür ist die erhöhte Neigung zur Restaustenitbildung in Kernseigerungsbereichen. Zur Wärmebehandlung bestimmte Blöcke sollten daher nicht in der Dicke geteilt werden.

Umformvorgänge (Walzen, Schmieden) bei der Herstellung von Stahlprodukten müssen wegen des dann verringerten Formänderungswiderstandes bei hohen Temperaturen ablaufen. Aufgrund von Diffusion liegt im Randbereich daher immer eine Entkohlung

vor. Dieser Sachverhalt muss durch Bearbeitungszugaben berücksichtigt werden. Eine falsche Sparsamkeit bei den notwendigen Bearbeitungszugaben kann im hoch belasteten Randbereich (Zugspannungen) durch zusätzliche Gefügespannungen (Volumenunterschiede) zur Rissbildung führen bzw. kann es bei nur einseitig ausreichender Abarbeitung durch die dann geringere Volumenzunahme durch Abkühlung zu erheblichen Verzügen kommen.

Formänderungen durch falsche Auflage im Ofen bzw. ungleichmäßige Erwärmung/Abkühlung

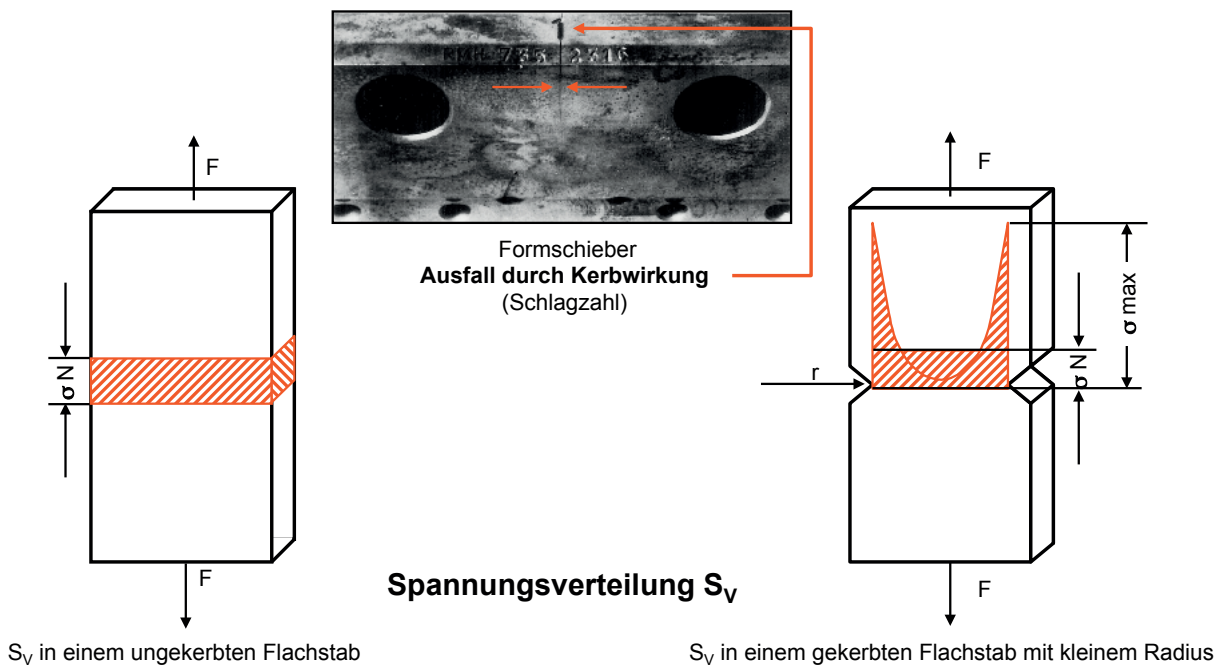
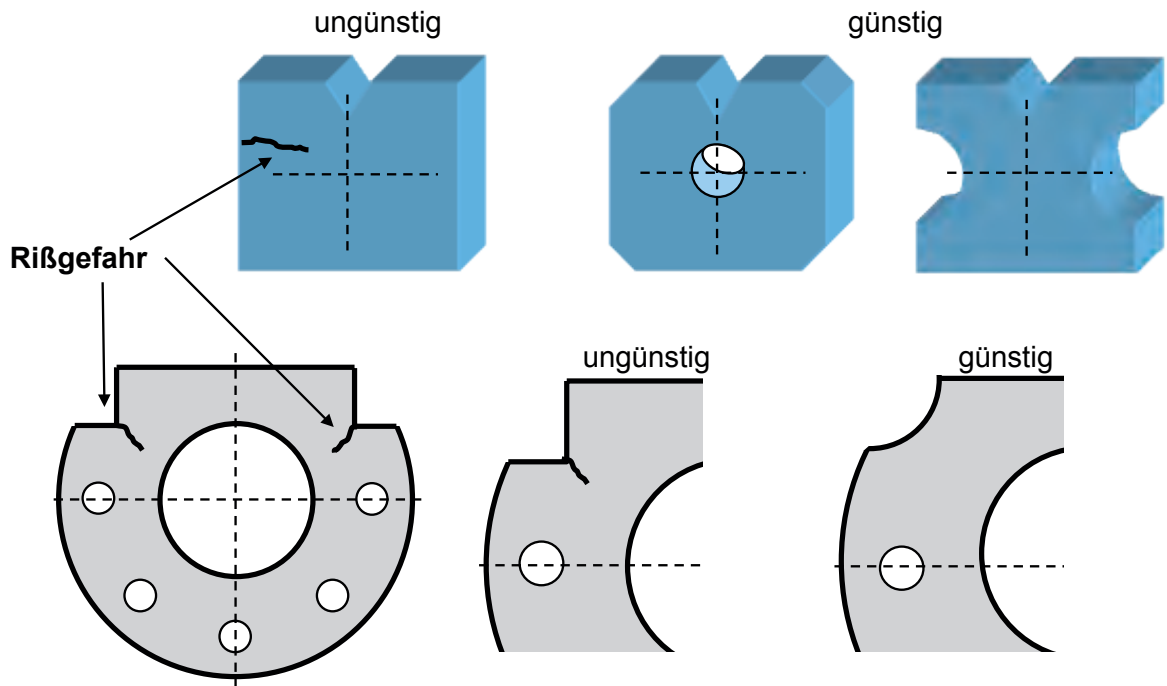
Verläuft die Erwärmung auf Wärmebehandlungstemperatur ungleichmäßig, z.B. bei einseitiger Anstrahlung, so kann eine Formänderung eintreten. Eine zusätzliche Gefahrenquelle ist bei einer ungeeigneten Auflage gegeben, da eine Durchbiegung aufgrund der bei hoher Temperatur reduzierten Festigkeit allein durch das Eigengewicht möglich ist. In einer ungleichmäßigen Abkühlung liegt ein weiterer Grund zur Formänderung.

Die hier angesprochenen Fehlermöglichkeiten müssen von den Wärmebehandlungsbetrieben beachtet werden. Richtige Chargierung und geeignete Erwärmungs- und Abkühlssysteme sind notwendige Voraussetzungen für eine verzugsarme Härtung.

Wärmebehandlungsgerechte Formgestaltung

Die beim Härten entstehenden Spannungen und damit die Maß- und Formänderungen hängen wesentlich von der Abmessung und der Form der Werkzeuge ab. Berücksichtigt man bereits bei der Werkzeugkonstruktion einige Grundregeln, lassen sich zahlreiche Risiken bei der Wärmebehandlung vermeiden:

- » günstige Massenverteilungen (z.B. durch Zusatzbohrungen oder Aussparungen) sollten angestrebt werden,
- » scharfkantige Querschnittsübergänge sollten vermieden werden (z.B. durch Abschrägen, Abkanten, Schlagzahlen),
- » möglichst symmetrische Formen anstreben,
- » Vorrichtungen für eine fehlerfreie Handhabung der zu behandelnden Werkzeuge vorsehen.

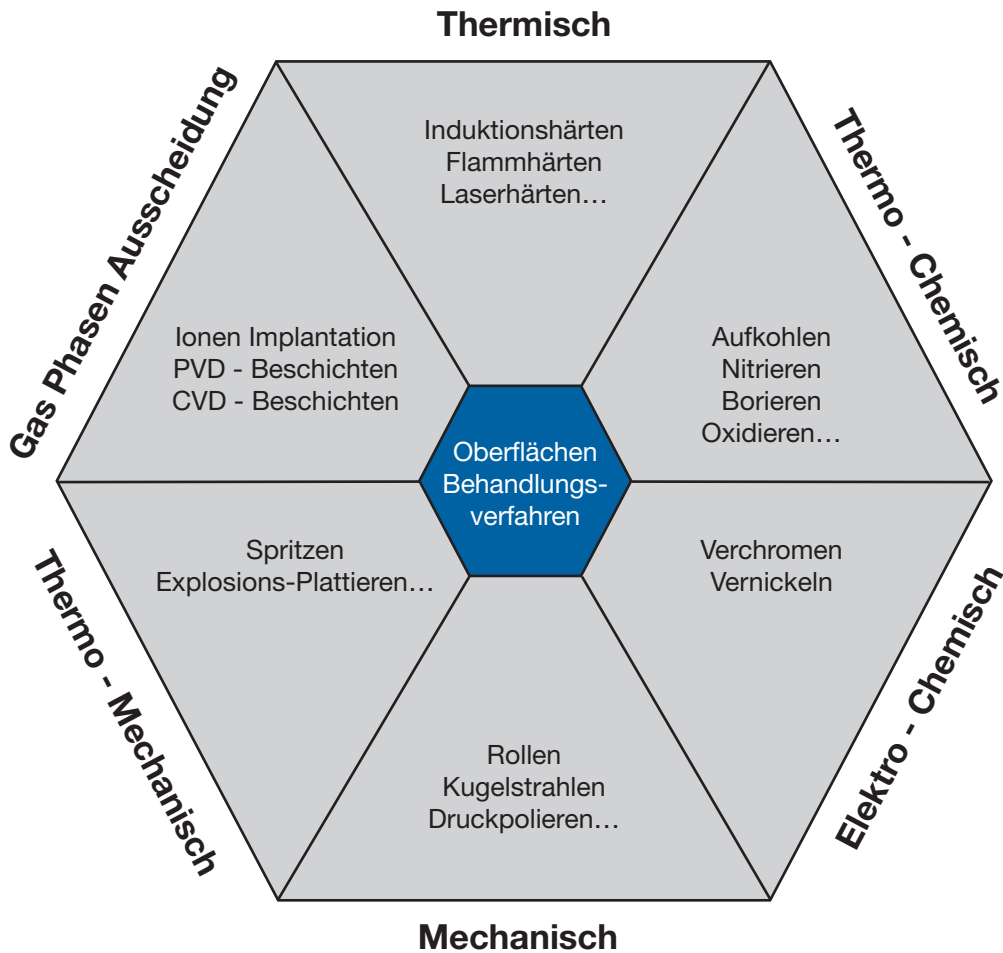


Zusammenfassung

Die sachgemäße Durchführung einer Wärmebehandlung ist für die Gebrauchseigenschaften und damit für die Lebensdauer von Werkzeugen von größter Bedeutung. Verschiedene Verfahren und Aggregate ermöglichen unter Berücksichtigung des

Umwandlungsverhaltens der Stähle sowie einiger Grundregeln eine optimale Wärmebehandlung der Werkzeuge. Gezielte Behandlungen der Werkzeugoberflächen können zur Einstellung gezielter Eigenschaften in diesen Bereichen genutzt werden.





Übersicht Oberflächenbehandlungsverfahren

Einfluss von Oberflächenbehandlungen

Es existieren zahlreiche verschiedene Verfahren der Oberflächentechnik, mit deren Hilfe spezielle Oberflächeneigenschaften von Werkzeugen verbessert werden können. Mittels spezieller Verfahren (PVD) können Substanzen wie TiN in Schichten von wenigen μm Dicke auf die Werkzeuge aufgebracht werden.

Ihre extrem hohe Härte führt zu einer spürbaren Steigerung des Verschleißwiderstandes und kann damit die Leistungsfähigkeit von Werkzeugen stark erhöhen.

Große Bedeutung hat das Nitrieren von Werkzeugen erlangt. Hierbei wird Stickstoff in die Randschicht der Werkzeuge eingebracht, wodurch die Härte und damit der Verschleißwiderstand erheblich ansteigen. Dies kann besonders bei Schneidwerkzeugen positive Auswirkungen haben, da die Neigung zu Kaltaufschweißungen vermindert wird. Bei der Anwendung des Nitrierens ist aber zu beachten, dass die Zähig-

keit des Randbereiches erheblich reduziert wird. Bei allen Anwendungen von PVD-Beschichtungs- und von Nitrierverfahren ist zu berücksichtigen, dass diese Verfahren bei erhöhten Temperaturen ablaufen.

PVD-Beschichtungen werden im Temperaturbereich um 500°C , Nitrierverfahren zwischen 400 und 600°C durchgeführt. Deshalb können diese Verfahren nur bei Werkzeugstählen angewendet werden, die über eine ausreichende Anlassbeständigkeit verfügen. Von den hier vorgestellten Kaltarbeitsstählen sind lediglich der Stahl Cryodur 2363 sowie Cryodur 2379 unbedenklich nitrierbar, wenn er zuvor der Sonderwärmebehandlung (Härten von 1050 - 1080°C , Anlassen bei Temperaturen oberhalb des Sekundärhärtemaximums) unterzogen worden ist. Aufgrund der hohen Prozesstemperatur beim Badnitrieren (570°C) ist dieses Verfahren mit einem Risiko verbunden, so dass man sinnvollerweise das Gasnitrieren (510°C) oder das Plasmanitrieren wählt.

Gewichtstabelle für Werkzeugstahl (kg/m)

Abmes - sungen in mm	Vierkant	Rund	Sechskant	Achtkant
5	0,196	0,154	0,170	0,163
6	0,283	0,222	0,245	0,234
7	0,385	0,302	0,333	0,319
8	0,502	0,395	0,435	0,416
9	0,636	0,499	0,551	0,527
10	0,785	0,617	0,680	0,650
11	0,950	0,746	0,823	0,789
12	1,130	0,888	0,979	0,936
13	1,327	1,042	1,149	1,099
14	1,539	1,208	1,332	1,275
15	1,766	1,387	1,530	1,463
16	2,010	1,578	1,740	1,665
17	2,269	1,782	1,965	1,879
18	2,543	1,998	2,203	2,107
19	2,834	2,226	2,454	2,348
20	3,140	2,466	2,719	2,601
21	3,462	2,719	2,998	2,868
22	3,799	2,984	3,290	3,148
23	4,153	3,261	3,596	3,440
24	4,522	3,551	3,916	3,746
25	4,906	3,853	4,249	4,065
26	5,307	4,168	4,596	4,396
27	5,723	4,495	4,956	4,741
28	6,154	4,836	5,330	5,099
29	6,602	5,185	5,717	5,469
30	7,055	5,549	6,118	5,853
31	7,544	5,925	6,533	6,250
32	8,038	6,313	6,961	6,659
33	8,549	6,714	7,403	7,082
34	9,075	7,127	7,859	7,518
35	9,616	7,553	8,328	7,966
36	10,714	7,990	8,811	8,428
37	10,747	8,440	9,307	8,903
38	11,335	8,903	9,817	9,391
39	11,940	9,378	10,340	9,891
40	12,560	9,865	11,877	10,405
41	13,196	10,364	11,428	10,932
42	13,847	10,876	11,992	11,472
43	14,515	11,400	12,570	12,024
44	15,198	11,936	13,162	12,590
45	15,896	12,485	13,767	13,169
46	16,611	13,046	14,385	13,761
47	17,341	13,619	15,017	14,336
48	18,086	14,205	15,663	14,983
49	18,848	14,803	16,323	15,614
50	19,625	15,414	16,996	16,258

Abmes - sungen in mm	Vierkant	Rund	Sechskant	Achtkant
51	20,418	16,036	16,915	16,915
52	21,226	16,671	17,585	17,585
53	22,051	17,319	18,267	18,267
54	22,891	17,978	18,963	18,963
55	23,745	18,750	19,772	19,772
56	24,618	19,335	20,394	20,394
57	25,505	20,031	21,129	21,129
58	26,407	20,740	21,877	21,877
59	27,326	21,462	22,638	22,638
60	28,260	22,195	23,412	23,412
61	29,210	29,210	25,296	24,198
62	30,175	30,175	26,133	24,998
63	31,157	31,157	26,982	25,881
64	32,154	32,154	27,846	26,637
65	33,170	33,170	28,720	27,480
66	34,200	34,200	29,610	28,330
67	35,240	35,240	30,520	29,190
68	36,300	36,300	31,440	30,070
69	37,370	37,370	32,370	30,960
70	38,460	38,460	33,310	31,870
71	39,570	39,570	34,270	32,780
72	40,690	40,690	35,240	33,710
73	41,830	41,830	36,230	34,660
74	42,990	42,990	37,230	35,610
75	44,160	44,160	38,240	36,580
76	45,340	45,340	39,270	37,560
77	46,540	46,540	40,310	38,560
78	47,760	47,760	41,360	39,560
79	48,990	48,990	42,430	40,590
80	50,240	50,240	43,510	41,620
81	51,500	51,500	44,500	42,670
82	52,780	52,780	45,710	43,730
83	54,080	54,080	46,830	44,800
84	55,390	55,390	47,970	45,890
85	56,720	56,720	49,120	46,990
86	58,060	58,060	50,280	48,100
87	59,420	59,420	51,460	49,220
88	60,790	60,790	52,650	50,360
89	62,180	62,180	53,850	51,510
90	63,580	63,580	55,070	52,680
91	65,010	65,010	56,300	53,850
92	66,440	66,440	57,540	55,040
93	67,900	67,900	58,800	56,250
94	69,360	69,360	60,070	57,460
95	70,850	70,850	61,360	58,690
96	72,350	72,350	62,650	59,930

Abmes - sungen in mm	Vierkant	Rund	Sechskant	Achtkant
97	73,860	58,010	63,960	61,190
98	75,390	59,210	65,290	62,460
99	76,940	60,340	66,630	63,740
100	78,500	61,650	67,980	65,030
102	81,670	64,150	70,730	67,660
104	84,910	66,680	73,530	70,340
106	88,200	69,270	76,390	73,070
108	91,560	71,910	79,300	75,850
110	94,980	74,600	82,260	78,690
112	98,470	77,340	85,280	81,580
114	102,02	80,130	88,350	84,520
116	105,63	82,960	91,480	87,510
118	109,30	85,850	94,660	90,550
120	113,04	88,780	97,900	93,650
122	116,84	91,770	101,19	96,790
124	120,70	94,800	104,53	99,990
126	124,63	97,880	107,93	103,25
128	128,61	101,01	111,38	106,55
130	132,66	104,20	114,89	109,90
135	142,50	112,35	123,60	118,40
140	153,86	120,84	133,25	127,46
145	164,20	129,10	142,96	136,70
150	176,60	138,70	153,00	146,30
160	201,00	157,80	174,00	165,50
170	225,90	178,20	196,50	187,90
180	254,30	199,80	220,30	210,70
190	283,40	222,60	245,40	243,80
200	314,00	246,60	271,90	260,10
220	379,90	298,40	329,00	314,80
240	452,20	355,10	391,60	374,60
260	530,70	416,80	459,60	439,50
280	615,40	483,40	533,00	509,90
300	706,50	554,90	611,80	585,30
320	803,80	631,30	696,10	665,90
340	907,50	712,70	785,90	751,80
360	1071,0	799,00	881,00	842,00
380	1133,0	890,00	982,00	939,00
400	1256,0	986,00	1088,0	1040,0
450	1589,0	1248,0	1377,0	1317,0
500	1962,0	1541,0	1699,0	1626,0
600	2826,0	2219,0	2447,0	2341,0
700	3846,0	3021,0	3331,0	3187,0
800	5024,0	3926,0	4351,0	4162,0
900	6358,0	4994,0	5507,0	5268,0
1000	7850,0	6165,0	6798,0	6503,0

Swiss Steel Group
www.swisssteel-group.com

Deutsche Edelstahlwerke GmbH

Deutschland

Auestraße 4
58452 Witten

info@dew-stahl.com
sales.coldworktoolsteel@dew-stahl.com
www.dew-stahl.com

07/2013 Änderungen, Irrtümer und Druckfehler vorbehalten.

Produktspezifische Datenblätter haben Vorrang vor den
Angaben in dieser Broschüre.

Die gewünschten Leistungsmerkmale sind nur dann verbindlich,
wenn sie bei Vertragsschluss ausschließlich vereinbart werden.