

Schleifen, Überhitzen und Härteverlust – Überlegungen zu einem "heißen" Thema

von

Dr. Herbert Weisshaupt
im www.messerforum.net

1. Einleitung

Diese Frage beschäftigt ja alle, die sich mit Messern und dem Schleifen beschäftigen. Die einen schwören auf den Bandschleifer, die anderen packt das kalte Entsetzen. Was ist nun Mythos, und was ist Fakt?

Es dreht sich ja alles um die winzige Materiemenge in der eigentlichen Schneide. Die gilt es zu schützen vor dem Einfluss der Wärme, die bei jeder mechanischen Bearbeitung entsteht. Auch beim Polieren mittels Tuchscheibe und Diamant können erhebliche Erwärmungen entstehen. Das Schlimme ist, dass das Gefühl am Gesamtwerkstück sehr täuschen kann, wenn lokalisierte Wärme eingebracht wird, die nicht schnell genug abgeführt werden kann.

Was ist denn da schnell genug?

Das Gefühl in der Hand ist kein Maßstab, denn damit ermittelt man eine Durchschnittstemperatur. Nein, die aktuelle im Maschineneingriff befindliche Werkstoffpartie ist ausschlaggebend. Berechnungen mit Finiten Elementen sowie praktische Untersuchungen zur Energieabfuhr durch den Span bei Bearbeitung zeigten, dass Temperaturen von ca. 600 °C keine Seltenheit sind, und diese Temperaturen werden erst in Laufe einer gewissen Zeit egalisiert oder gar komplett abgeführt. Im Folgenden werden wir einige Betrachtungen anstellen, die den Einfluss solcher lokalisierten Erwärmungen erhellen. Inwieweit 600 °C beim Schleifen lokal an der eigenen Klinge auftreten können, überlasse ich in der Beurteilung dem Leser.

Man muss sich davor hüten zu sagen: "der macht's mit dem Bandschleifer, also geht's". Es muss in diesem Falle heißen: "so wie der es mit dem Bandschleifer macht, so geht's". Das ist ein Unterschied. Aber beschäftigen wir uns einfach mit den physikalischen und werkstofftechnischen Effekten. Aufpassen auf seine Klinge bzw. seine Schneidfase muss jeder selbst.

Uns fehlt ein Gefühl dafür, wie schnell etwa gehen kann, wenn wir es nicht direkt spüren. Wie z.B. lokale Erhitzung.

Gehen wir doch einfach einmal davon aus, dass infolge des trockenen Schleifens eine lokale Überhitzung der Schneidfase erfolgen kann, und dass die Temperaturen dort erheblich sein können. Bleiben wir doch bei den berühmten 600 °C. Die bleiben dann eine kurze Zeit in der Fase, bevor sie vom Klingenkörper oder durch das Eintauchen in Wasser abgeführt werden.

Dann ist die Frage doch, wie lange einem Zeit bleibt zwischen zwei Kühlvorgängen.

Wir werden auch einer etwas polemischen Äußerung, dass man das Messer ja wohl nicht in der Sonne liegen lassen dürfe, nachgehen.

Wissenschaftlich betrachtet werden wir uns mit der Austauschbarkeit von Temperatur und Zeit bei Anlassvorgängen beschäftigen.

Beim Anlassen spielen nämlich diese beiden Kenngrößen eine wichtige Rolle. Beim Härten ist es die Mindesttemperatur, die man erreichen muss, und eine Mindesthaltedauer, um die Gleichmäßigkeit der Erwärmung zu gewährleisten und um Karbide zu lösen, man will ja den Kohlenstoff für Härtegewinn nutzen.

Das Härten beruht auf einem Umklappvorgang des Gitters, der ziemlich schnell geschieht, so dass der Kohlenstoff nicht heraus kann, er bleibt zwangsweise gelöst. Drum die schnelle Abkühlung, sonst bekommt der Kohlenstoff die Chance zum Austritt.

Das Anlassen hingegen ist ein diffusionsgesteuerter Prozess, bei dem zum einen eine gewisse Energie zugeführt werden muss (Erwärmung), und dem man in Abhängigkeit von der Höhe der Erwärmung unterschiedliche Zeiten zum vollständigen Ablaufen geben muss. Insofern besteht eine gegenseitige Abhängigkeit und auch eine gewisse Austauschbarkeit dieser beiden Größen. Grob

Schleifen, Überhitzen und Härteverlust – Überlegungen zu einem "heißen" Thema

von

Dr. Herbert Weisshaupt
im www.messerforum.net

gesagt dauert es bei niedrigen Temperaturen wesentlich länger als bei hohen, und es ist zu vermuten, dass der Zusammenhang gewiss nicht einfach ist.

Aber zunächst wollen wir untersuchen, inwieweit Überhitzung überhaupt zustande kommt, und wie sie sich auswirken kann.

2. Indizien für eine Überhitzung

Wie gesagt, wir betrachten nur kleine Werkstoffpartien, aber genau die, die im "Betrieb" nicht spröde reagieren sollen, also nicht ausbrechen sollen, und eine gute Standzeit haben sollen. Klar, es bricht keine Welt zusammen, wenn es nicht optimal ist. Aber wenn man viel Mühe aufgewendet hat, eine gute Schneide mit einem Klassestahl und bester Wärmebehandlung aller Zeit zu fertigen, dann will man das Ergebnis ja nicht durch Schleifen verderben.

Hat man denn eine Chance, Überhitzung zu bemerken?

Eigentlich nicht viele. Nehmen wir die Anlassfarben als Indiz. Die gelten nur für nicht oder niedrig legierte Stähle, bei rostfreien verschieben sich die Temperaturen erheblich.

Beispiel: 1.4034 (X 46 Cr 13)

Tabelle 1. Verschiebung der Anlassfarben zu höheren Temperaturen am Beispiel des Stahls 1.4034 gegenüber unlegierten Stählen

Anlassfarbe	unlegiert	1.4034
Gelb	220 °C	400 °C
Blau	300 °C	500 °C

Zudem kommt noch die Schwierigkeit hinzu, den Farbumschlag auf der kleinen betrachteten Fläche auch sicher zu bemerken.

Und: die Bildung der Farbe ist eine dünne Oxidschicht, die typischerweise eine gewisse Zeit braucht, bis sie so dick geworden ist, dass sie tatsächlich wie ein Interferenzfilter wirken und den Farbeffekt hervorrufen kann.

Das ist also kein sehr sicheres Verfahren, die Gefahr einer lokalen Überhitzung zu bemerken.

Zwischenkühlen. Zwischenkühlen im Wassereimer führt natürlich die Wärme ab. Aber wie lange lässt man sich Zeit zwischen den Kühlzyklen?

Wie man sieht, erfordert die Sache Fingerspitzengefühl. Manche erzielen mit Methoden, die in die Schneide Wärme einführen, durchaus Erfolge, aber das erfordert Übung und genaue Kenntnis der Stähle und der Maschinen.

3. Wechselspiel von Zeit und Temperatur

Wir wissen, dass Umklappvorgänge wie das Austenitisieren und später die Martensitbildung instantan erfolgen und nur temperaturabhängig sind. Anlassen ist jedoch ein Diffusionsprozess, der erfordert Aktivierungsenergie (Temperaturerhöhung) und Zeit, und es erscheint logisch, dass man eventuell mangelnde Zeit durch höhere Temperatur und auch umgekehrt ausgleichen kann.

Viele Messermacher lassen ihre Klingen auch nicht 2 Stunden lang bei der vorschrittmäßigen Temperatur an, sondern gehen in der Temperatur höher und verkürzen die Zeit.
Das funktioniert in der Praxis auch sehr gut.

Schleifen, Überhitzen und Härteverlust – Überlegungen zu einem "heißen" Thema

von

Dr. Herbert Weisshaupt
im www.messerforum.net

Das ganze hat natürlich einen theoretischen Hintergrund. Konnte ja auch gar nicht anders sein.

Das ganze funktioniert nach einer sogenannten "Larson – Miller – Abhängigkeit".
Das sehen wir uns einmal genauer an.

Eine solche Abhängigkeit beschreibt genau eine solche Austauschbarkeit von Temperatur und Zeit, wie wir sie suchen.

In Formelsprache sieht das so aus:

$$P = T(20 + \ln t) \quad (1)$$

T ist die Temperatur (in K) und t ist die Zeit, z.B. in Stunden (h). P bedeutet die "Auswirkung", z.B. die sich einstellende Härte aus einer Kombination von T und t, die aus Experimenten kommt. Die oben genannte Formel ist eine solche aus der Erfahrung und experimentellen Daten gewonnene Beziehung. Die Zahl 20 folgt aus den experimentell ermittelten Daten. Die Temperatur T geht sehr stark ein, wohingegen die Zeit t nur logarithmisch eingeht.

Nehmen wir einmal an, dass wir einen Stahl, z.B. 1.2842, untersucht haben. Wir haben eine Kurve erstellt, bei der wir jeweils 2h angelassen haben, und die Härte in Abhängigkeit von der Anlasstemperatur gemessen haben. Das wäre eine ganz normale Anlasskurve, so wie sie im folgenden Bild 1 zu sehen ist.

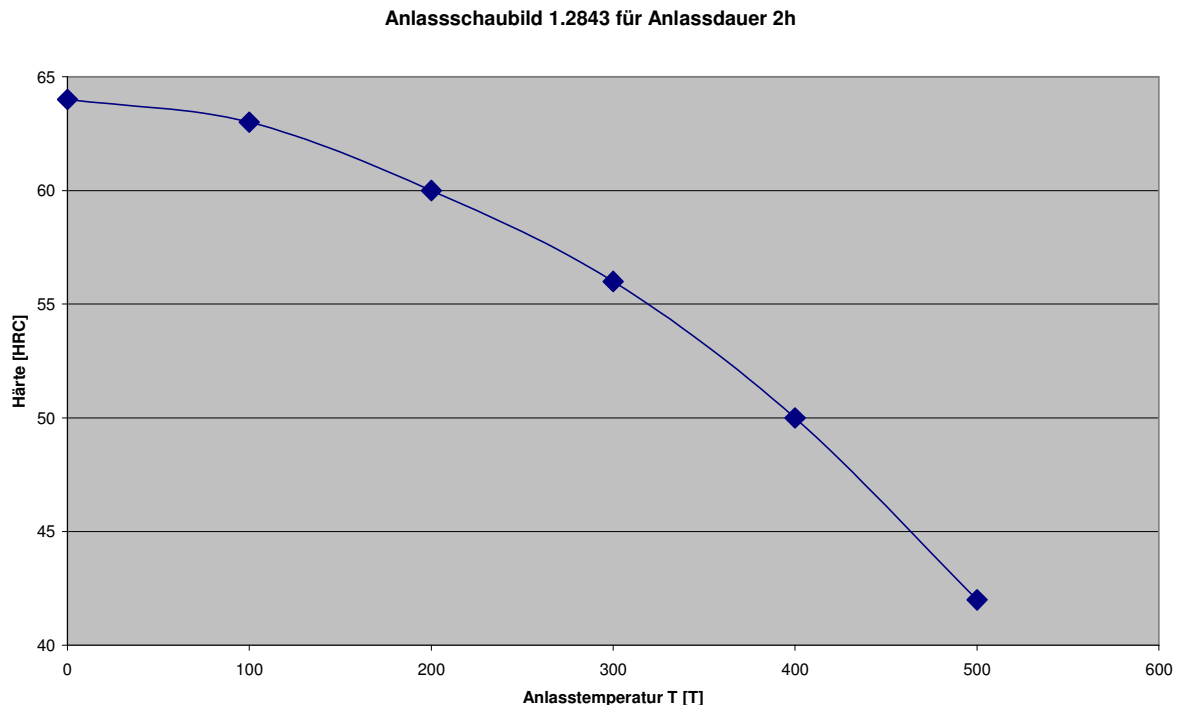


Bild 1. Anlasskurve des Stahls 1.2842 (Anlassedauer 2h)

Die entsprechende Temperatur T und die Zeit t (hier 2h) führen zu einer Zahl P, die dann charakteristisch für die Härte ist. Wenn man die Härteverläufe dann kennt, aus obiger Kurve zum

Schleifen, Überhitzen und Härteverlust – Überlegungen zu einem "heißen" Thema

von

Dr. Herbert Weisshaupt
im www.messerforum.net

Beispiel, kann man mit der mit jeder Härte verknüpften Zahl P dann entweder bei gegebener Zeit die erforderliche Temperatur oder umgekehrt berechnen.

Formel (1) sieht dann z.B. so aus, wenn man die Zeit berechnen will:

$$t = \exp\left(\frac{P}{T} - 20\right) \quad (2)$$

Also, in der Praxis: wenn wir von einer lokalen Temperatur lokal in der Schneidfase von 600 °C ausgehen, dann können wir mit der Formel (2) berechnen, wie lange wir den Werkstoff (lokal) dieser Temperatur aussetzen müssen, um einen bestimmten Härteabfall zu erreichen. Es geht jetzt nicht um Aufheizzeiten etc, sondern darum, dass wir schnell wieder kühlen müssen, wenn entsprechende Temperaturen herrschen.

Nehmen wir einmal an, dass wir ermitteln wollen, wie lange wir Zeit haben bei einer gegebenen Temperatur, um z.B. eine Härte von 55 HRC zu erreichen. Diese Härte ist so ziemlich die unterste Grenze, die ein Messer haben sollte. Der Zusammenhang, der sich nach Formel (2) ergibt, ist in Bild 2 graphisch dargestellt.

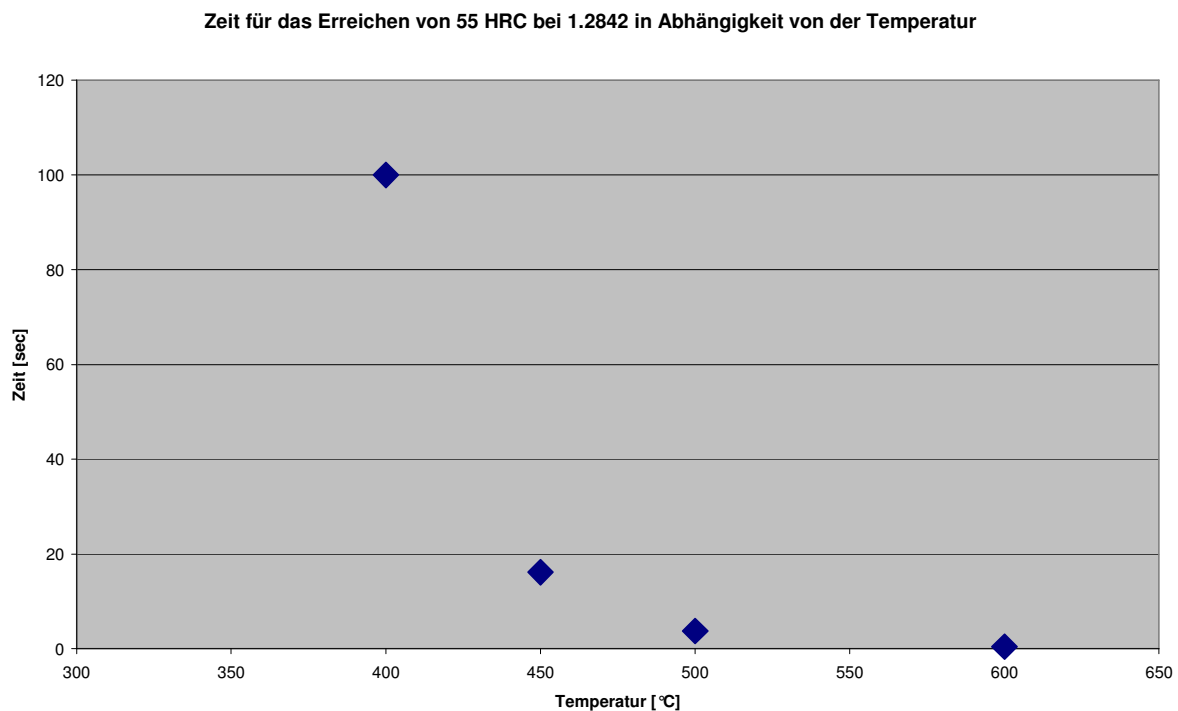


Bild 2. Haltezeit für das Erreichen der Härte 55 HRC in Abhängigkeit von der lokal herrschenden Temperatur

Wie man sieht, geht das bei 400 °C in 100 Sekunden, bei 500 °C braucht man ca. 5 Sekunden, und bei 600 °C geht das sehr schnell.

Schleifen, Überhitzen und Härteverlust – Überlegungen zu einem "heißen" Thema

von

Dr. Herbert Weisshaupt
im www.messerforum.net

Etwas deutlicher wird der Zusammenhang, wenn man sich ansieht, wie bei einer herrschenden Temperatur von 600 °C die Härte über der Einwirkdauer abfällt, Bild 3.

Härteabfall durch Überhitzen

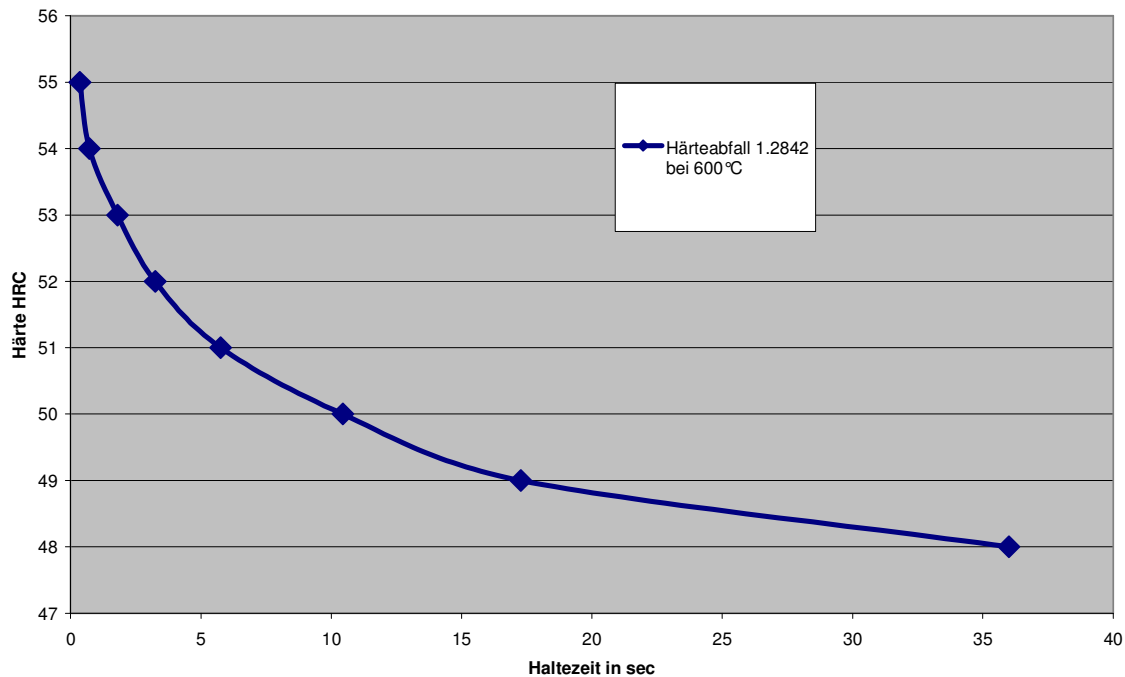


Bild 3. Härteabfall in einer lokal auf 600 °C stehenden Schneide über der Einwirkzeit der Temperatur.

Nach ca. 36 Sekunden hat man die Härte auf 48 HRC reduziert.

Mit Hilfe dieser Formel lässt sich auch die Frage beantworten, ob ein Messer einen Härteabfall haben wird, wenn es in der heißen Sonne liegt.

Gehen wir einmal davon aus, dass die Formel auch für diese niedrigen Temperaturen und diese langen Zeiten uneingeschränkt gilt.

Nehmen wir weiterhin an, die Klinge wird dabei 150 °C heiß.
Dann ergibt sich folgendes Bild:

Tabelle 2. Zeit für Härteabfall durch Sonneneinstrahlung mit einer angenommenen Temperatur von 150 °C.

Härte nach Einwirkung von 150 °C	Erreicht nach	Zeit
62 HRC	23	Minuten
61 HRC	21	Stunden
60 HRC	3	Tage
59 HRC	6	Monate
58 HRC	16	Jahre

Natürlich gehen wir davon aus, dass die Ausgangshärte höher als 62 HRC war.
Wie man sieht, besteht wenig Gefahr für die Klinge in funkelnder Sonne.

Schleifen, Überhitzen und Härteverlust – Überlegungen zu einem "heißen" Thema

von

Dr. Herbert Weisshaupt
im www.messerforum.net

4. Rostfreie Stähle und Stähle mit Sekundärhärtemaximum (Sonderkarbidbildner)

Stähle mit einem gewissen Mindestgehalt an aggressiven Karbidbildnern (z.B. Cr) besitzen ein sogenanntes Sekundärhärtemaximum (SHM), das typischerweise auftritt, wenn man solche Stähle im Bereich um die 500°C anlässt. Hervorgerufen wird dies durch die Bildung von sehr kleinen Sonderkarbiden (z.B. des Cr), die eine Härtesteigerung nach sich ziehen. Für die Bildung und auch für das Auflösen von Karbiden braucht man Zeit, insofern bringt ein Kurzzeitanlassen keine Vorteile durch Sonderkarbidbildung. Andererseits sind diese Werkstoffe natürlich sehr anlassstabil, so dass durch eine kurzfristige Überlastung beim Schleifen kaum eine Erweichung zu befürchten ist, denn das Auflösen der Sonderkarbide braucht länger.

Ist der rostfreie Stahl nicht im Sekundärhärtemaximum angelassen, dann laufen im Wesentlichen die gleichen Effekte ab, wie oben beschrieben.

Auch wenn man anlassstabile Werkstoffe, wie z.B. Warmarbeitsstähle, oder überhaupt W-legierte Stähle betrachtet, dann sind die dargestellten Effekte kleiner. Die Karbide von W, Cr, V, Mo lösen sich unterschiedlich gut auf bzw. sind unterschiedlich anlassstabil. Das müsste man dann jeweils anhand der Anlasskurve berechnen.

Der sichere Weg ist, wenn man die Temperaturkontrolle nicht hat, Hitzeeinwirkung auf die Schneidfase zu vermeiden.

Das ist ja auch der Hintergrund der Warmarbeitsstähle, die deutlich anlassstabiler sind als die normalen Werkzeugstähle für Kaltarbeit.

Beispiele von Anlassstabilität am Beispiel von Anlasskurven:

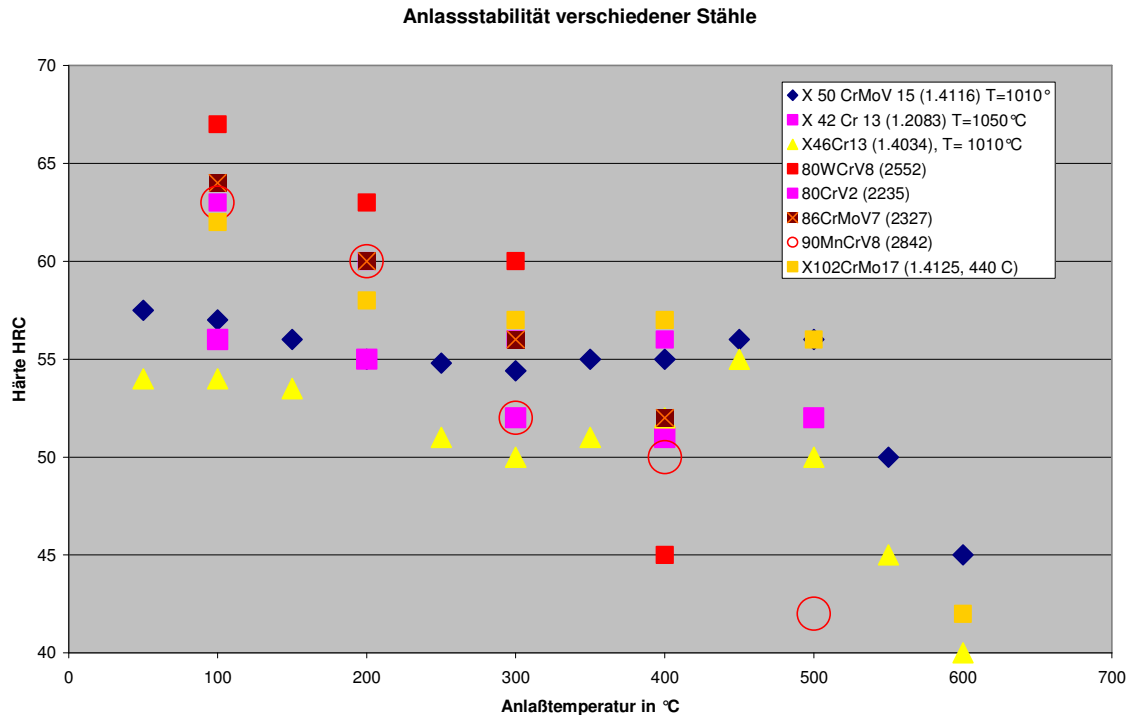
Zu beachten: 1.4034 kann durch Wahl einer anderen Härtetemperatur deutlich im Niveau angehoben werden, auf ca. 60 HRC bei 100° Anlass temperatur. Hier fehlen mir aber Daten.

Als Anhalt diene ein Wert, der von Günther im Messerforum realisiert wurde an 4034: Härtetemperatur 1075°, Tiefkühlen, Anlassen bei 150° führte zu 59 HRC, also deutlich über der hier gezeigten Kurve (etwa 53 HRC).

Man sieht dieses Verhalten aber auch deutlich an dem Vergleich zwischen 1.4034 und 1.2083, der bei fast gleicher Zusammensetzung (mit leicht reduziertem C-Gehalt) bei höherer Härtetemperatur deutlich höhere Werte bringt.

Schleifen, Überhitzen und Härteverlust – Überlegungen zu einem "heißen" Thema

von
Dr. Herbert Weisshaupt
im www.messerforum.net



Im Wesentlichen soll der Kurventrend verglichen werden, weniger das absolute Härteniveau.

Und da sieht man deutlich, dass man mit höher legierten Stählen über den gesamten Bereich eine größere Stabilität gegen Anlassen erreicht (die Kurven verlaufen weniger steil).

Interessant ist auch das Zusammenwirken von C-Gehalt und Legierungselementen: die aggressiven Karbidbildner ziehen C an sich, der dann für die Härtung nicht mehr zur Verfügung steht, obwohl sich der eutektoiden Punkt S im Eisen-Kohlenstoff-Diagramm (EKD) durch den Cr-Gehalt nach links verschieben sollte.

Das Cr wird aber für die Karbide benutzt. Der Vergleich zwischen 440 C und 4034 zeigt dies deutlich.

Das bedeutet, dass der 440C auf Überhitzung beim Schleifen vergleichsweise gutmütig reagiert, ähnlich wie 4034 und 2083, wohingegen die anderen Stähle Probleme haben. Wohlgermerkt, 600° Schleifhitze über kurze Zeit.

5. Beispiel und Schlussfolgerung

Wenden wir die oben dargestellten Formeln auf die beiden Stähle 80CrV3 (1.2235) und auf 440C (X102CrMo17, 1.4125). Wir wollen wissen, in welcher Zeit die Härte auf 56 HRC abfällt, wenn 600 °C in der Schneide herrschen und nicht abgeführt werden.

Ergebnis:

80CrV2 hat diese Härte theoretisch in 6 Sekunden erreicht, 440C braucht dafür etwa 673 Sekunden, ca. 11 Minuten, also grob etwa 100 mal so lange.
Anmerkung: wir gehen davon aus, dass die Stähle in einem Zustand vorlagen, dessen Härte höher war als die 56 HRC. Beide starten natürlich von einem anderen Niveau.

Schleifen, Überhitzen und Härteverlust – Überlegungen zu einem "heißen" Thema

von

Dr. Herbert Weisshaupt
im www.messerforum.net

Das sind extreme Beispiele, und auch, wenn man die absoluten Zahlen anzweifeln mag (Voraussetzungen, stimmt die Zahl 20, Formelgültigkeit....), so bleibt das Verhältnis doch erhalten, die Unterschiede sind sehr hoch.

Natürlich möchte keiner sein Messer riskieren, und es auf 56 HRC abfallen lassen. Aber wo legt jeder seine "Schmerzgrenze" beim Härteabfall hin.

Was ich zeigen wollte ist, dass der Härteverlust insbesondere beim maschinellen Schleifen in Betracht gezogen werden muss. Ich würde auch kein Messer aus 440 C so lange heiß halten an der Schneide.

Ich glaube, es macht auch keinen Sinn, für jeden Stahl jetzt auszurechnen, wie lange man das riskieren darf, dazu sind die experimentellen Randbedingungen zu unsicher (sind es wirklich 600°, oder gar mehr? Sind die Formeln im gesamten Bereich so gültig?).

Insofern ist es eine Trendaussage, die verdeutlichen soll, dass die Erweichung keine Spinnerei ist, sondern höchst wahrscheinlich auftritt.

Experimentelle Daten an einem 1%C-Stahl liegen ebenfalls vor:

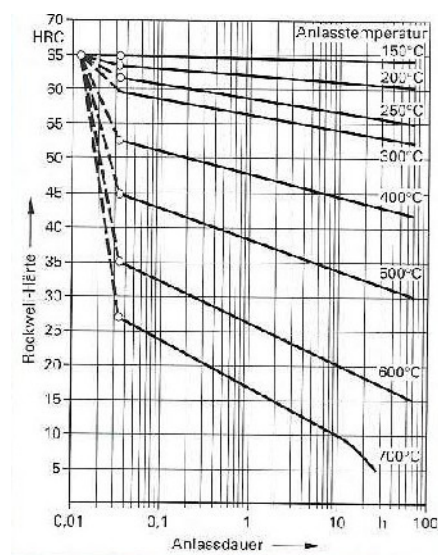


Bild 7.5: Einfluss der Anlassedauer auf die Härte am Beispiel eines unlegierten, nahezu martensitischen Stahles (etwa 1% C) [2]

Dieses Bild ist aus dem Buch

Volker Läßle, Wärmebehandlung des Stahls, 8. Auflage (2003), Verlag Europa Lehrmittel, Haan

Also keine bloße theoretische Überlegung, sondern schon Realität.