

# Das Härten

Von P. Biber

(Abt. Feinmechanik der Deutschen Uhrmacherschule, Glashütte i. Sa.)

## I. Die mechanische Werkstoffverfestigung vor allem von Bronze, Neusilber und Messing

Es ist kaum zuviel behauptet, daß wohl jeder Praktiker, der oft Stahlteile zu härten hat, keine Abhandlung über diese Arbeit ungelesen läßt. So wird er auch diesen Versuch, das alte Thema doch wieder zu behandeln, zum wenigsten überprüfen. Bevor aber auf das ihn besonders Interessierende eingegangen wird, ist zu berücksichtigen, daß die zwar recht kurze, aber sehr umfassende Überschrift ganz allgemein vom Härten spricht. Hierunter fällt nicht immer nur das Härten von Stahlteilen durch Glühen und Abschrecken. Wir kennen ja auch ein „Hartmachen“ bzw. Widerstandsfähigmachen der Werkstoffe auf andere Weise, wobei natürlich niemals die durch den Härteprozeß bei Stahlteilen mögliche Härte erreicht werden kann, wohl aber die so oft benötigte „Federhärte“. Dies gilt besonders dort, wo der Gebrauch von Stahl nicht erwünscht ist, sei dies nun wegen der Kostgefahr oder aus Gründen magnetischer oder elektrischer Natur.

Hier steht im Vordergrund das Dichter- und damit Härtermachen der Nichteisenmetalle, von denen sich besonders Bronze und Neusilber gut für den meist geforderten Zweck, zum Gebrauch als Federn, Schleifkontakte oder ähnliches, eignet. Das Kennzeichnende ist wohl allgemein hierbei, daß erst der Stoff gehärtet wird und dann die Formgebung erfolgt. Dieses Härten wird durch einfaches Hämmern oder Walzen des Stoffes erreicht; eine an sich recht leichte Aufgabe, die nur in der einen Richtung Schwierigkeit bietet, daß man nie so recht weiß, wann man aufhören darf mit Hämmern oder Walzen, um bei größter Federhärte gerade noch das Springen oder Reißen zu vermeiden. Hier kann stets nur der Versuch zum Ziele führen; denn jede auch nur angenäherte Angabe ist unmöglich, weil sie von dem ganz verschiedenen Ausgangszustand des Metalles abhängt.

Recht schlecht ist es heute meist mit dem Rundmessing bestellt, denn da kommen wir oft mit unserem alten Grundsatz „Messing wird kalt geschmiedet“ im wahrsten Sinne des Wortes richtig „in die Brüche“. Hier können wir besser im warmen Zustand „schmieden und biegen“. Federhart hämmern ist nicht möglich. Der Grund hierfür ist, daß Rundmessing heute meist in „Drehqualität“ geliefert wird. Ein geringer Bleizusatz verhindert die lästige Spanlockenbildung. Das Messing „spritzt“ beim Drehen.

Aber auch bei Messingblech finden wir heute nicht hämmerbares; denn gerade in der Uhrmacherei wird jetzt auch bleihaltiges Messingblech für die Zahnräder verwendet, weil es beim Einfräsen der Zähne keinen Grat entstehen läßt. Die Messingwerke liefern es als sogenanntes „Rädermessing“.

Ganz allgemein dürfte es wohl immer besser sein, für Federn statt Messing lieber Bronze, Neusilber oder „Nickelin“ zu benutzen. Sie besitzen größere Federkräfte, und die beiden letztgenannten Metalle behalten außerdem ihr gutes Aussehen.

Das Hämmern hat außer dem Hauptvorteil, daß man den Hammer auf jeden Fall besitzt, eine Walze aber nur selten, den besonderen Vorzug, daß man durch entsprechendes geschicktes Ziehen des Hammers im Augenblick des Aufschlages die Reckung des Metalles in dieser oder jener Richtung etwas in der Hand hat. Wie groß hierbei die Änderung der Festigkeit werden kann, zeigen die nachstehenden Angaben:

Brinellhärte von Messing: gegossen 63; gezogen 70 bis 90; hart gewalzt 200 kg/mm<sup>2</sup>.

Zugfestigkeit von Bronze: weich geglüht 40 bis 45 kg/mm<sup>2</sup>; hart gewalzt 70 bis 90 kg/mm<sup>2</sup>.

Zugfestigkeit von Neusilber: weich geglüht 35 bis 45 kg/mm<sup>2</sup>; hart gewalzt 60 bis 70 kg/mm<sup>2</sup>.

Zugfestigkeit von Nickel: weich geglüht 40 bis 45; hart gewalzt 70 bis 80 kg/mm<sup>2</sup>.

In diesem Zusammenhang sei aber auch ein ganz modernes Verfahren genannt, das gewissermaßen „mit kleinsten Hämmern“ arbeitet und außer der Erprobung von Werkstoffen besonders zur weiteren Verfestigung der Oberfläche gehärteter Stahlteile benutzt wird. Man läßt 3 mm starke Stahlkugeln aus einer einstellbaren Höhe von 2 bis 4 m auf das Werkstück „regnen“.

Diese Kugelregenmaschinen werden von der Firma Losenhausen, Düsseldorf, geliefert, und das Verfahren dürfte sich wohl ebenso auch für Nichteisenmetalle anwenden lassen.

Damit sei das Gebiet der mechanischen Werkstoffverfestigung genügend erörtert, und es soll nun die Härtung von Stahl durch innere Umwandlung eingehend behandelt werden.

## II. Die Grundlagen der Härtung von niedrig legiertem Kohlenstoffstahl und die allgemeinen Fehlerquellen

Wenn im ersten Abschnitt gesagt wurde, daß jeder, welcher oft Stahlteile zu härten hat, auch diesen Aufsatz lesen wird, so liegt der Grund zu dieser Annahme darin, daß er noch immer nach der „Formel“ oder „Regel“, nach dem „Zauberwort“ sucht, um wirklich beste Härtung des Stückes zu erzielen, und um vor der Zertrümmerung seiner Arbeit durch die „Tücke des Objektes“ geschützt zu sein. Es sei gleich vorausgeschickt, daß auch in diesen Ausführungen solche Formeln nicht gegeben werden können. Aber es soll einmal die Härtepraxis allgemein, insbesondere auch für kleinere Teile, und was darüber hinaus sonst noch erforderlich und wissenschaftlich erscheint, näher beleuchtet werden.

Sieht man von der Großfabrikation ab und betrachtet nur die vorwiegende Einzelstückfertigung der Kleinwerkstatt, so ist zu sagen, daß von dem zur Zeit gewaltigen, später noch näher zu betrachtenden Gebiet der Werkzeugstähle hier auch heute praktisch nur ein guter, einfacher, evtl. niedrig legierter Kohlenstoffstahl zur Verarbeitung gelangt. Um die Härtearbeit mit diesem Stahl näher zu erörtern, wollen wir uns zunächst mit den einfachsten Grundlagen über das Wesen dieses Stahles begnügen, d. h. mit den Tatsachen, die gewissermaßen, vorerst ohne jede nähere Begründung, die Praxis uns selbst lehrt. Da haben wir also gelegentlich beim Arbeiten folgendes beobachtet:

1. Der Stahl wird hart bei rascher Abkühlung nach dem Glühen und weich bei sehr langsamem Erkalten.

2. Der Bruch verschiedener Stahlstücke hat sowohl vor wie nach dem Härten auch verschiedene Aussehen, und wir können danach die Güte des Stahles beurteilen.

3. Bei zu niedriger Glühtemperatur tritt keine Härtung ein, und bei zu hoher wird der Stahl verdorben.

4. Durch Anlassen nach dem Härten wird der Stahl weicher und bruchsfester.

5. Oft entsteht auf dem Stahl eine Schicht, die nicht hart wird.

6. Der Stahl verzieht sich beim Härten, bekommt Risse oder springt auch ganz entzwei.

Verschärft man diese Beobachtungen und geht, wiederum rein praktisch, den Fehlerquellen genauer nach, so kommt man zu den in der folgenden Tabelle zusammengestellten Ergebnissen.

Diese Zusammenstellung läßt erkennen, wie schwierig es ist, nach einer Ausschußhärtung den gemachten Fehler mit Sicherheit anzugeben, besonders wenn man das „Überschneiden“ der Wirkungen obiger Fehler betrachtet. So kann man z. B. bei einem eingetretenen Härteiß nach dem Zerschlagen des Stückes wohl sagen, daß das Werkstück zu hoch erhitzt war, weil der Bruch grobkörniges Aussehen zeigt. Ist der Bruch aber einwandfrei im Korn, dann kann die Ablösung zu schroff gewesen sein; es können aber

auch Erwärmungs-, Werkstoff- und Konstruktionsfehler vorliegen.

Es sollen daher in den weiteren Abschnitten die Ursachen der Fehlerwirkungen näher betrachtet werden, um daraus Schlüsse auf richtiges Arbeiten und geeignete Hilfsmittel zu ziehen.

Tabelle der begangenen Fehler am Härtgut und ihre Wirkungen

| Arbeitsstufe        | Fehler  | Wirkung   |
|---------------------|---|---|
| a) Erwärmung        | Zu schnell, besonders im Anfang   | Verziehen und Ribbildung. Verbrennen teiner Spitzen und Schneiden. Bei größeren Stücken ungleiche Härte                                       |
|                     | Zu langsam, besonders nach dem Beginn der Rotglut                             | Entkohlung und damit Weichbleiben der oberen Schicht. Evtl. Zunderbildung (ausgenommen bei Erwärmung in Härtebüchsen bzw. unter Luftabschluß) |
| b) Härte-temperatur | Zu niedrig  | Weichbleiben  |
|                     | Zu hoch   | Nachteilige Gefügeänderung; grober, sehr spröder Bruch auch nach dem Anlassen. Evtl. Blasenbildung an der Oberfläche                          |
| c) Abkühlen         | Zu schroff (Ablöschmittel falsch oder zu kalt)                                | Ribbildung, Zerspringen, starkes Verziehen, evtl. Reißen noch kurze Zeit nach dem Härten  |
|                     | Zu langsam (Ablöschmittel falsch oder zu warm)                                | Ungenügende und ungleiche Härte   |
|                     | Unsachgemäß durch falsches Eintauchen   | Verziehen (Springen und Reißen weicher Stellen)   |
| d) Nachbehandlung   | Zu wenig oder unzureichend angelassen   | Bruch oder Auspringen beim Gebrauch   |
|                     | Zu hoch angelassen  | Zu weich  |
|                     | Zu spät angelassen  | Reißen und Springen   |
| e) Werkstoff        | Nicht dem Zweck entsprechend  | Härte oder Elastizität zu groß oder zu gering, daher in beiden Fällen zu wenig widerstandsfähig   |
|                     | Selbst fehlerhaft, rissig und teilweise entkohlt, schlacken- und lunkerhaltig | Reißen und Springen. Weiche Stellen   |
| f) Konstruktion     | Nicht sachgemäß   | Verziehen, Einreißen und Springen beim Härten. Brechen beim Gebrauch  |

## III. Einfluß der Erwärmung und der Temperatur auf den Härtvorgang

Die Wärme wird von der Oberfläche des Körpers aufgenommen und breitet sich durch das Wärmeleitvermögen des Stoffes nach und nach in ihm aus. Bei sehr rascher bzw. sehr hoher Wärmezufuhr folgt die Wärmeausbreitung

nicht rasch genug nach. Eine Schicht ist schon sehr warm, während die nebenliegende noch kalt ist. Sehr gefährdet sind Kanten und feine Schneiden, weil hier die Gestalt der die Wärme zuführenden Oberfläche ihren Einfluß



ausübt. Abbildung 1 erklärt diese Tatsache. Die Pfeile stellen gleichmäßig eindringende, kleine Wärmemengen dar.

Schon beim ersten Eindringen tritt an den Kanten eine Häufung der Wärmeinheiten und damit eine höhere Temperatur ein, die eine größere Ausdehnung und damit das Auf-



Abb. 1 Schematische Darstellung des Wärmeintritts an Kanten und Schneiden

treten von Spannungen zur Folge hat. Die Ursache zum Verziehen ist somit schon beim Erwärmen des vor Beginn der Rotglut noch starren Werkstückes gegeben. Die hierbei auftretenden erheblichen Kräfte lassen sich nach folgender Gleichung berechnen:

$$P = \alpha \cdot t \cdot E \cdot F.$$

Beispiel: Ausdehnungskoeffizient  $\alpha = 0,000011$ . Angenommene Temperaturdifferenz zwischen warmer und kalter Schicht  $t = 60^\circ$ . Elastizitätsmodul für Stahl:  $E = 20\,700\text{ kg/mm}^2$ . Angenommener Querschnitt der warmen Schicht  $F = 5 \cdot 1\text{ mm} = 5\text{ mm}^2$ . Die auftretende Kraft wird  $P = 0,000011 \cdot 60 \cdot 20\,700\text{ kg/mm}^2 = 68,3\text{ kg}$ .

Nach Beginn der Rotglut kann und muß schnellere Erwärmung einsetzen; denn hier treten zwei schädliche Wirkungen auf. Der Sauerstoff der Luft verbindet sich mit dem Eisen zu Eisenoxyd und bildet die nach dem Härten vorhandene schwarze Schicht, die sich bei sehr langer Dauer der Erwärmung und besonders bei höherer Temperatur so verstärkt, daß sie abblättert. Es entsteht Zunder (Hammerschlag, Walzsinter). Ebenso kann eine Entkohlung eintreten; denn der Luftsaurestoff verbindet sich schon bei geringer Rotglut mit dem Kohlenstoff des Stahles. Die obere Schicht ist kein Werkzeugstahl mehr, weil der Kohlenstoff entzogen ist, und wird somit auch nicht hart. Dieser Fehler hat nun nicht unbedingt die falsche Erwärmung beim Härten zur Ursache. In den weitaus meisten Fällen und ganz besonders bei den hier in Frage kommenden kleinen Teilen war diese Schicht schon vorher entkohlt und zwar durch vorhergehendes Glühen zwecks guter Bearbeitung. (Siehe auch „Konstruktionsfehler“).

Die außerdem in der Tabelle angeführte Wirkung: „ungleiche Härte“ wird verursacht durch die Abhängig-

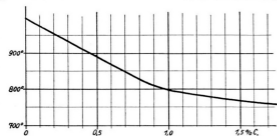


Abb. 2 Abhängigkeit der Härte-temperatur vom Kohlenstoffgehalt (% C)

keit der Härte von der Abkühlungstemperatur. Man mache selbst z. B. folgenden Versuch: In ein Stück Rundstahl werden in etwa 10 mm Abstand scharfe Rillen eingestochen oder eingefeilt und darauf das Ganze so erwärmt, daß das eine Ende dunkelrot und das andere kräftig hellrot glüht. Nach dem Härten beobachtet man das Aussehen und probt die Härte. An einer bestimmten Stelle wird fast ohne Über-

gang die Feile nicht greifen, d. h. die Härting ist eingetreten. An dieser Stelle war die unbedingt erforderliche Glüh-temperatur vorhanden. Das harte Ende wird an den Rillen zer-schlagen. Die Bruchflächen werden mit zunehmender Tem-peratur ein immer größeres Korn zeigen; das ist der schäd-liche Einfluß der zu hohen Härte-temperatur, die außerdem auch noch Anlaß zu stärkerem Verziehen gibt.

Diese somit bestimmte Härte-temperatur ist aber wesentlich abhängig von der chemischen Zusammensetzung des Stahles, insbesondere vom Gehalt an Kohlenstoff. Ohne zunächst näher auf die bei der Härting entstehenden Gefügeumwan-dlungen einzugehen, ist in Abbildung 2 die Abhängigkeit der erforderlichen Härte-temperatur (des Umwandlungspunktes) vom Kohlenstoffgehalt des Stahles gezeigt. Ein Stahl z. B. von 0,4 % Kohlenstoffgehalt muß demnach zur Härting auf etwas über  $900^\circ\text{C}$  erhitzt werden, bei 1,5 % Kohlenstoffgehalt dagegen nur auf etwa  $770^\circ\text{C}$ .

Wenn wir uns jetzt einmal dieser Erwärmungsarbeit in der Härtepraxis zu, so müßten also nach Vorhergehendem folgende Fehler vermieden werden: Zu rasches Erwärmen, zu hohe Temperatur, zu langes Glühen, ungleiche Erwärmung und der Einfluß des Luftsaurestoffes.

### Das Härten in Büchsen

Am sichersten werden diese Bedingungen erfüllt, wenn man in Büchsen härte-t (der Werkzeug- und Maschinenbau verwendet besondere Kästen und große Rohre), die in jeder Werkstatt zur Härting feinsten Teile und dort, wo genügende Übung in anderen Verfahren wegen zu seltener Härting fehlt, vorhanden sein sollen.

Die Herstellung einer solchen Büchse sei ganz kurz beschrieben:

Ein Stück Stahlrohr 40 bis 70 mm lang absägen (Gasrohr oder besser altes Fahrradrohr von 10 bis 20 mm  $\varnothing$ ). Einen Stahlblechboden aufsetzen, etwa durch Verzinken wie bei Tischlerarbeiten oder Blechspielwaren. Einen Eisenstab von 3 bis 5 mm Stärke einerseits mit Zapfen, andererseits mit Angel versehen. Etwa in der Mitte des Rohrmantels einnieten und ein altes Feilenheft aufsetzen. (Läßt man — einfacher — den Eisenstab beim Schlosser autogen anschweißen, so kann auch der Boden mit geschweißt werden. Zinken ist dann unnötig.)

Die Anwendung dieser Härtebüchse ist folgende: Bei ungeschweißter Büchse einen Boden aus Lehmteig ein-führen. Die Büchse zur Hälfte mit gepulverter Holzkohle füllen und leicht einstampfen. Das Werkstück einlegen. Die Büchse fertigfüllen und mit Lehm leicht verschmieren. Die Büchse erwärmen bis zur gewünschten Härte-temperatur und diese so lange halten, bis man annimmt, daß das Werkstück ebenso warm ist. Lehmkappe entfernen. Den Büchsen-inhalt in das Ablöschbad entleeren durch rasches Umkippen der Büchse. Ein Teil der Büchse kann dabei in das Bad eintauchen. Hat man ein Sieb im Härtegefäß, so hebt man dieses und findet das Werkstück sofort. (Das Härte-wasser soll ja nicht dauernd weggeschüttelt werden! Gebrauchtes Wasser ist stets besser als frisches.)

Die Vorteile dieses Verfahrens sind ohne weiteres einleuchtend. Der bedeutendste ist, daß evtl. jede Feuer-stelle zur Erwärmung benutzt werden kann, also z. B. in kleineren Werkstätten auch der Küchenofen, da bei sach-gemäßer Arbeit Luft- und Gaseinwirkung ausgeschlossen ist.

Leider hat aber jedes Verfahren Nachteile, und auch hier ist es wichtig, diese zu kennen. Recht unangenehm ist, daß die Härte-temperatur nicht sichtbar ist. Holz-kohle ist ein sehr schlechter Wärmeleiter. Bevor das Werk-stück glühen kann, muß erst der gesamte Holzkohleninhalt der Büchse glühen. Dies ist noch lange nicht der Fall, wenn die Büchse außen glüht. (Im Werkzeugbau führt man einen Draht durch die Wandung bis zur Kastenmitte, den man

öfters herauszieht. An seinem Glühen sieht man den Fortschritt der Erwärmung.) Es ist also unbedingt zu beachten, daß man die Büchse gefühlsmäßig genügend lange in der richtigen Wärme glühen läßt. (Der Inhalt kann auch höher glühen als die Büchse!) Weitere Nachteile sind die unbestimmte Einfallslage des Werkstückes in das Wasser und der verhältnismäßig hohe Zeitaufwand sowohl zur Vorbereitung als auch zur Erwärmung selbst. Für wertvolle Werkstücke aber muß schon wegen der sicheren Vermeidung des Zunders stets die Büchsenwärmer angewendet werden.

### Härten mit offener Flamme

Diesem Verfahren steht nun als einfachstes zunächst das Erwärmen in offenen Feuerstellen gegenüber, d. h. bei den hier in Frage kommenden kleinen Teilen das Glühen in der offenen Flamme. Betrachten wir zunächst einmal die Vorteile und Nachteile dieser Erwärmungsart, um daraus Schlüsse auf ein möglichst gutes Arbeiten ziehen zu können. Von besonderem Wert ist hier zunächst die dauernde Arbeitsbereitschaft, welche die Vorbereitungszeit auf das niedrigste Maß herabdrückt, ferner aber auch die stets genau beobachtbare Höhe der Erwärmung, die sichtbare Lage des Werkstückes beim Abschrecken und der geringe Heizwertbedarf, da keine Fremdteile zu erhizen sind.

Nachteilig ist in erster Linie die leicht mögliche Verbrennung kleiner Teile und besonders ihrer zarten Stellen sowie die Gefahr der Sauerstoffaufnahme, des Oxydierens, ja evtl. des Zunders der Werkstücke; Nachteile, die allerdings äußerst gewichtig sind. Jedoch sind die Vorteile so groß, daß unbedingt versucht werden muß, diese Arbeitsweise, wenn irgend möglich, anzuwenden und die Uebelstände durch sachgemäßes Arbeiten und besonders durch geschicktes Vorgehen zu vermeiden. Besonders das letztere muß natürlich durch vieles Üben erlernt werden. Im Erlernen soll ja aber die Stärke des Handwerkes liegen! Die Arbeit soll billig werden; daß sie dabei aber doch gut wird, ist Sache des tüchtigen, in jeder Arbeitsweise erfahrenen Arbeiters, der dem Werkstück und seinem Können entsprechend die eine oder andere Arbeitsweise wählt.

Arbeiten benötigt, wie zum Auflacken, Auskochen usw. Im anderen Fall muß die Härtung mit Hilfe der Spirituslampe oder bei größeren Stücken besser mit einer Benzinlötampe vorgenommen werden. Sehen wir uns nun einmal die in der Praxis vorhandenen Gasbrenner an, so finden wir meistens recht ungeeignete. Am zweckmäßigsten sind Blaubrenner in niedriger Form, die nicht allein bei entsprechenden Arbeiten die Benutzung niedriger und sicher stehender Dreifüße zum Tragen der zu erwärmenden Teile oder Gefäße gestatten, sondern auch bei den Härtearbeiten sehr bequem und handlich sind; die Abbildungen 3a und 3b zeigen die Bauweise im einzelnen.

Ist diese Brennerart in einer einschlägigen Handlung nicht zu beschaffen, so kann man sie sich sehr leicht selbst anfertigen. Ein irgendwie zum Fuß geeignetes altes Teil findet sich bald. Als Rohr verwendet man 10 bis 12 mm starkes Eisen-, Messing- oder Kupferrohr. Die Bohrung der kleinen Düse *D* muß dem Gasdruck und dem Brennerrohr entsprechend erprobt werden. (Etwa 2 mm. Recht praktisch ist es auch, den Brenner mit Kleinsteller auszurüsten. Dann muß er mit einem Gashahn versehen werden, vor dem ein feines Messingröhrchen *K* abweigt und zur Flammenstelle führt; s. Abb.)

In einer solchen Flamme läßt sich ein Stahldraht von etwa 3,5 mm Durchmesser noch gut auf Härtewärme bringen. Bis zu welchen kleinsten Abmessungen eine Erwärmung ohne das teilweise Verbrennen zarter Stellen in der etwa 1550° warmen Flamme möglich ist, wird Sache vieler Übung bleiben und hängt auch von der Form des Stückes ab.

Wesentlich für recht geringes Oxydieren ist eine sauerstoffarme Flamme, die dann vorhanden sein muß, wenn nicht alle Kohlenstoffteilchen des Gases verbrennen (eben wegen Sauerstoffmangels). Dieser Zustand ist an einer gelben Flamme erkenntlich, die dann auch rußt. Es ist mit einer solchen Flamme bei entsprechender Glühdauer sogar eine Kohlenstoffanreicherung an der Oberfläche des Werkstückes möglich. Die gelbbrennende Flamme ist bedeutend kälter, und man wird daher gut tun, evtl. den Anfang der Erwärmung mit einer solchen vorzunehmen. Für schwache Teile genügt sie überhaupt. Eine derartige Regulierung erreicht man nun sehr bequem durch ein entsprechendes Zuhalten der Luftöffnung. Man kann auch ein Rohrstück oder Rohrsegment anbringen und durch dessen Verschiebung oder Drehung die Luftzufuhr regeln.

Ganz besonders zu empfehlen sind vor allen Dingen auch die Gasbrenner nach Teclu (vgl. Abb. 4). Sie brennen in gleicher Weise wie ein Gasbrenner mit Luftgebläse und geben daher eine zwar etwas kleinere, dafür aber kräftigere Flamme. Mit einem solchen Brenner kann man kleine Teile ähnlich erwärmen, wie es mit großen Werkstücken in Muffelöfen möglich ist, indem man folgendermaßen arbeitet: Aus schwachem Konservendübel wird ein Streifen geschnitten. Diesen rollt man vorn auf eine entsprechende Länge röhrenlich zusammen, aber so, daß oben noch ein genügend breiter Spalt zum Einlegen und Beobachten des Werkstückes offen bleibt. Das Werkstück wird eingelegt und das Rohr bei entsprechender Hin- und Herbewegung richtig erwärmt. Ein Verbrennen ist hierbei fast ausgeschlossen, weil das Teil nie wärmer werden kann als das Rohr. Außerdem kommt es auch nicht mit der Flamme und ihren Gasen in Berührung. Auch das Erwärmen schwacher Bohrer neben der Flamme ist vorteilhaft. Man kann es mit Draht üben. Oftmals müssen nur die Düsen in den Brennern durch entsprechende Nacharbeit dem Gasdruck angepaßt werden.

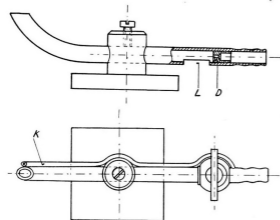


Abb. 3a und b. Blaubrenner in niedriger Bauform für Härtearbeiten, unten mit Kleinsteller; *D* = Düse, *L* = eingeeiteter Luftschlit

Der für das Härten in offener Flamme praktisch am besten geeignete Brennstoff ist das Leuchtgas, das heute auch in allen kleinen Städten vorhanden ist. Wo die Möglichkeit irgendwie besteht, sollte auf keinen Fall der Gashahn am Arbeitsplatz fehlen (je ein Brenner zwischen zwei Arbeitsplätzen); wird ja eine Flamme auch zu vielen anderen



Abb. 4 Gasbrenner nach Teclu

Nachdem die richtige Härtewärme erreicht ist, muß die Abkühlung so rasch wie möglich erfolgen. Das Ablöschmittel muß daher möglichst nahe bei der Erwärmungsstelle stehen, also direkt neben der Flamme. Noch zweckmäßiger ist es, mit der Flamme über das Wasser zu gehen, also den Brenner entsprechend zu halten, um von der Flamme direkt zum Wasser zu gelangen.

Es ist nicht ratsam, höher zu erwärmen und erst nach langsamem Abkühlen auf die richtige Härtewärme abzukühlen. Nur wenn versehentlich zu hoch erwärmt wurde, ist so zu verfahren, keinesfalls also bei zu hoher Temperatur abzulöschen.

#### IV. Das Abkühlen

Dem Ablöschmittel wird in der Regel zu wenig Beachtung geschenkt, und doch hängt davon sehr viel ab. Für guten Kohlenstoffstahl ist immer reines Wasser das richtige Mittel, auch wenn er etwas legiert ist. Wenigstens sollte man zur Stahlerprobung nur dieses verwenden, aber dabei eben folgendes gewissenhaft beachten: Genügend

Beachtet man all dies und übt vor allen Dingen recht oft mit kleinen Drahtstücken oder alten Gesperr- und Federstücken, so wird man auch mit dieser billigen, rein handwerklichen Art gute Arbeit liefern und leistungsfähig bleiben.

Kurz sei aber auch noch das vorteilhafte Erhitzen in Blei erwähnt, welches erst später genauer beschrieben werden soll. Das Eintauchen in flüssiges, rotglühendes Blei gestattet ein rasches, gleichmäßiges Erwärmen bis zu einer gewünschten Stelle, so daß der dicht daneben liegende Werkstoff kalt bleibt, wenn dies erforderlich ist. In solchen Fällen kann man ja beim Erwärmen in der offenen Flamme nur so vorgehen, daß man das zu schonende Ende in eine Kartoffel steckt.

Vorteilhaft benutzt man für Neufüllung Regen- oder Kondenswasser. Es sei auch hier nochmals an das Sieb im Härtewasser erinnert.

Die Abschreckwirkung des Wassers wird erhöht durch Zusatz von Kochsalz oder Säure, gemindert durch Kalk, Seife, Alaun, Glycerin und ähnliches. Man kann dadurch also größtmögliche oder zähere Härte erreichen.

Die Temperatur des Wassers soll 18 bis 20° C betragen, keinesfalls darunter.

Fette und Öle als Ablöschmittel, wie Petroleum, Rüböl, Maschinenöle (letztere nicht allein) kommen nur für hochlegierte Stähle in Anwendung, bei deren Verarbeitung wegen ihrer großen Unterschiede stets die Härtevorschriften beim Kauf des Stahles angefordert werden müssen. Es gibt heute ganz hervorragende Stähle, die als „Ölhärter“ bezeichnet werden. Sie sind natürlich teurer, aber ihr besonderer Vorteil ist die äußerst geringe Formänderung beim Härten, neben vorzüglicher Härte an sich, was sie besonders für Schnitte wertvoll macht.

Die in der Tabelle in Nr. 5 dieses Jahrgangs, S. 54, angegebene Wirkung falscher Abkühlung, wie Ribbildung, Zerspringen usw., haben ihre Ursache in auftretenden inneren Spannungen, die auf die gleiche Art, aber

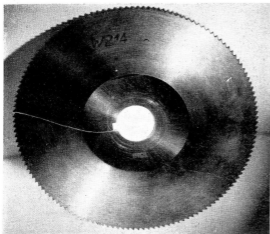


Abb. 5a. Sprung eines Kreissägeblattes beim Anlassen durch Aufstecken auf einen glühenden Eisenstab

Wasser, reines Wasser und richtige Temperatur<sup>1)</sup>. Ein guter Werkzeugstahl muß hiermit immer gute Härteergebnisse aufweisen.

Das Leitungswasser enthält meist fremde Salze, und es ist daher ratsam, Härtewasser nicht oft wegzuschütten, sondern nur nachzufüllen, da gebrauchtes Wasser salzärmer ist.

<sup>1)</sup> Siehe auch den recht hübschen Versuch von J. P. Hartfuß in dem Aufsatz „Härten, Bohren, Zapfenpolieren“ in Nr. 37, Jahrgang 1934, dieser Zeitschrift.



Abb. 5b. Verworfen eines Kreissägeblattes beim Anlassen (der Anschaulichkeit wegen etwas übertrieben gezeichnet)

im umgekehrten Sinne entstehen, wie früher bei der zu raschen Erwärmung dargestellt wurde. Die Ecken und Kanten erstarren und verkürzen sich rascher und stärker als der Kern. Oft sind sie auch vorhanden, ohne zur Ribbildung genügend groß zu sein (siehe nachstehend unter „Nachbehandlung“).

Um die durch falsches Eintauchen entstehenden Fehler zu vermeiden, ist manches zu beachten, und es ist unerlässlich, sich schon vor Beginn der Erwärmung genau

zu überlegen, wie das Härtegut zu fassen, in welcher Lage es zu halten, und wie es evtl. im Wasser bewegt werden muß, ob eine geeignete Zange zum Fassen vorhanden ist, ob ein Draht anzubringen oder ein Drahhaken zu benutzen ist, damit das Wasser von allen Seiten richtigen Zutritt hat.

Eintauch- und Bewegungsrichtung (Bewegen kommt bei kleinen Teilen nicht in Frage) soll so sein, daß sich das Werkstück möglichst nicht verzieht und keine weichen Stellen entstehen. Verziehen tritt ein, wenn das Teil schief eingetaucht wird, sich also eine Seite zusammenzieht und erstarrt, während die andere noch weiche, lang und nachgiebig ist. So sind also Achsen und Triebe immer senkrecht einzuführen. (Größere Teile läßt man oft auch auf einer schiefen Ebene in das Ablöschbad einrollen.) Schwache, streifenähnliche Stücke kann man beim Härten in einen Bügel spannen, wie etwa das Sägeblatt in der Handsäge. Scheiben mit oder ohne Bohrung werden ebenfalls senkrecht eingetaucht, also mit waagerechter Loch-

achse. Immer steht ganz allgemein die längste Ausdehnung senkrecht; wenn nicht besondere Umstände vorliegen. Ferner wird man hierbei das schwache Ende zuerst eintauchen, sofern nicht Bohrungen oder Eindrehungen nach unten liegen, die auch innen gut hart werden müssen. Es würde sich sonst in den Vertiefungen Dampf bilden, der das Eindringen des Ablöschmittels verhindert. Die Eindrehung würde innen weiche Stellen zeigen. Solche Teile sind also mit der Bohrung nach oben abzulösch, wie etwa ein Lochpuzen.

Ebenso ist mit Werkstücken zu verfahren, die nur teilweise gehärtet werden sollen, aber im Ofen, also ganz, erwärmt werden. In diesem Falle muß man das Werkstück in der Härtestellung etwas auf und ab bewegen. Hier ist bei Teilen entsprechender Größe das Erwärmen in offener Flamme, also im Gebläse, überlegen; denn es ist besser, das Stück nur auf die Härte länge zu erwärmen und ganz abzukühlen.

## V. Nachbehandlung

Das Anlassen muß möglichst sofort nach dem Härten erfolgen, um die im Werkstoff vorhandenen großen Spannungen so rasch wie möglich zu beseitigen, die sehr leicht noch eine geraume Zeit nach dem Ablösch durch äußere Geringfügigkeiten zum Springen und Reißen führen. So darf man z. B. auch das Werkstück nicht aus dem Ablöschbad heraus auf eine kalte Eisenplatte legen, aufstoßen, fallen lassen usw.

Bei der Wahl des Anlaßmittels handelt es sich besonders darum, ob das Anlassen dem Werkstück nur die gewünschte Zähigkeit geben soll, oder ob die Anlaßfarbe gleichzeitig dem Werkstück ein gutes Aussehen vermitteln soll. Das letztgenannte wird nur dann möglich sein, wenn die Anlaßtemperatur im ganzen Werkstück die gleiche sein darf, d. h. die Härte gleichmäßig werden kann. (Z. B. bei Werkzeugen fast nie möglich; die Schneide muß hier meist hellgelb, der Schaft aber violett bis blau angelassen sein.)

Um eine gleichmäßige Farbe zu erreichen, läßt man die Teile am besten auf Messingspänen, die in einem kleinen Blechkasten über der Flamme wunschgemäß erhitzt werden, an. Größere Federn läßt man vielfach noch durch Abbrennen an. Man taucht sie in Öl und erwärmt so lange, bis das Öl gleichmäßig brennt, und wiederholt dies eventuell nochmals. Der Federart entsprechend, wählt man ein leicht oder schwer brennendes Öl. Spiralfedern werden am besten mit Hilfe des elektrischen Stromes angelassen, indem man ihre Enden mit einem regelbaren Stromkreis verbindet und die Stromstärke bzw. Spannung solange erhöht, bis die gewünschte Farbe erreicht ist.

In allgemeinen Fällen kommt man rascher und damit billiger durch Anlassen auf einem Blech zum Ziel. Ein einfaches Konservendosenblech tut hier schon gute Dienste.

Werkstücke, die verschiedene Anlaßfarben bedingen, werden direkt in der Flamme angelassen, was natürlich am schnellsten zum Ziele führt, aber auch größere Geschicklichkeit und Aufmerksamkeit erfordert. Hier ist besonders zu beachten, daß man die Beobachtungsseite nie nach unten in die Flamme halten darf, auch nicht für kurze Zeit, weil die Verbrennungsgase der Flamme die Oxydbildung beeinflussen und dort keine saubere Anlaßfarbe<sup>2)</sup> entsteht. Unbedingte Voraussetzung ist natürlich, daß der Körper einwandfrei metallisch rein ist. Jeder Fingerabdruck, jedes Staubkorn, jeder Fleck verhindert an dieser Stelle die Oxydbildung.

<sup>2)</sup> Die Oxydschicht ist an sich farblos. Die Färbung wird durch die verschiedenen Wellenlängen des Lichtes verursacht, je nach der Stärke der Schicht (ähnlich den Farben dünner Blättchen, Seifenblasen).

Glaubt man, große Anlaßunterschiede bzw. sehr erhebliche Stufung in der Anlaßfarbe nicht durch geschickte Haltung in der Flamme zu erreichen, so kann man auch das Werkstück mit einer entsprechend großen, glühend gemachten Feuerzange fassen, auf ein nur teilweise glühendes, starkes Eisen legen oder, falls das Werkstück eine Bohrung besitzt, auf einen glühenden Eisenstab stecken<sup>3)</sup>. Nebenbei sei bemerkt, daß die teureren Werkplatzzangen, wie Rund-, Flach- oder gar Zwickzangen, keine Feuerzangen sind und auch nicht zu leichten Feuer-

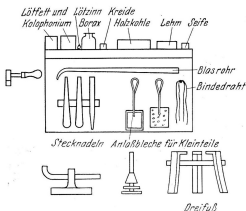


Abb. 6  
Einrichtung einer Härte- und Lötlöte in der Werkstatt

arbeiten wie Weichlöten und Anlassen benutzt werden sollen. Hierzu sind nur besondere oder alte Zangen zu verwenden, die gleich beim Brenner hängen müssen. Man findet leider immer wieder irgendwie angelassene oder gar schwarzgeglühte und damit weiche Arbeitszangen an Werkplätzen. Es ist auch auf jeden Fall zu empfehlen, eine besondere kleine Härte- und Lötlöte in der Werkstatt einzurichten, wo alles Erforderliche zusammensteht bzw. aufgehängt ist (vgl. Abb. 6).

Das Abkühlen kann sowohl in Wasser als auch in Öl erfolgen, ohne das Festigkeitsverhältnis zu beeinflussen. Das Aussehen gewinnt in Öl etwas, und namentlich bei vorhandenen Bohrungen besteht keine Rostgefahr. Im Ölgefäß ist das erwähnte Sieb unerlässlich, denn das Herausfischen

<sup>3)</sup> Vorsicht bei scheibenähnlichen Teilen! Schwache Kreisseigebler z. B. können sich wegen der inneren größeren Ausdehnung verwerfen oder sogar springen (vgl. Abb. 5a und b).

hingefallener kleiner Teile ist hier besonders unangenehm wegen der Undurchsichtigkeit des Öles. Fast stets muß dann das Öl umgegossen und dabei „vergossen“ werden.

Auf die Fehler in der Höhe der Anlaßtemperatur bzw. in der Anlaßfarbe einzugehen, würde hier viel zu weit führen. Angaben hierüber könnten sich immer nur auf eine beschränkte Anzahl Werkstücke beziehen und wären dann je nach Konstruktion und Stahlgüte auch

nicht bindend. Aber besonders für den Anfänger sei folgendes gesagt: Das Anlassen geht verhältnismäßig rasch. Ist noch nicht genügend Übung im schnellen Erfassen der Farbe vorhanden, dann lieber zu früh abkühlen und danach in Ruhe das Ergebnis betrachten. Wieder höher anlassen kann man noch beliebig oft; im anderen Falle muß erst neue Härtung erfolgen, was den Stahl niemals verbessert.

## VI. Der Werkstoff

Der Werkstoff bildet die Grundlage der Arbeit, und deshalb ist hier jede Sparmaßnahme unangebracht, besonders da bei den in der Uhrentechnik und Feinmechanik in Frage kommenden Werkstücken der Stahl nur einen ganz geringen Bruchteil der Fertigungskosten darstellt. Man soll daher nur besten Stahl von leistungsfähigen Firmen verwenden. Dann werden auch die in unserer früher veröffentlichten Tabelle angeführten Stahlfehler „rissig und teilweise entkohlt“ weniger zu befürchten sein.

Nicht selten tritt gerade die teilweise Entkohlung in Erscheinung, die leider auch bei Silberstahl beobachtet werden kann und gerade bei diesem nicht vermutet und daher auch nicht in Rechnung gesetzt wird. Die Entkohlung hat zur Folge, daß an diesen Stellen des Stahles keine Härtung eintritt. Sie wird verursacht durch das Ausglühen des Stahles im Werk, um gute Bearbeitbarkeit zu erlangen. Man wünscht ja auch den Stahl beim Kauf „gut geglüht“. Wärme wird vielfach auch schon für große Stahlpakete das Glühen unter Luftabschluß, das sogenannte „Blankglühen“, durchgeführt. Die Entkohlung ist daher nur auf die Oberfläche beschränkt, kann aber selbst bei den hier in Frage kommenden Stahlabmessungen immerhin Stärken von wenigen Hundertstel bis 0,3 mm erreichen. Der Konstrukteur hat also eine entsprechende Vorbearbeitung des Werkstoffes in Rechnung zu setzen, d. h. die entkohlte Schicht ist vom Werkstoff erst abzarbeiten. Um zu erkennen, ob dies erreicht ist, muß man Härteproben vornehmen.

Viel einfacher kommt man aber mit der „Funkenprobe“ zum Ziel. Beim Schleifen des Stahles an einer schnelllaufenden Schmirgelscheibe<sup>\*)</sup> entstehen Funken, deren Form und Farbe ganz von der Zusammensetzung des Stahles abhängig ist. Unser wenig legierter Werkzeugstahl gibt gelbe, feinerzweigte Sterne. Je höher der Kohlenstoffgehalt ist, um so voller wird die Sternfarbe, und um so verästelter wird der Stern selbst. Dagegen gibt weiches Eisen nur helle, aber sternlose, bzw. sternarme Funken. Ein Versuch der Funkenprobe führt sicher zur dauernden Anwendung; denn rascher und bequemer ist die erste Stahlüberprüfung wohl kaum möglich.

Hochlegierte Stähle (Schnelldrehstähle) geben sternlose Kugelfunken. Auch ist Silberstahl heute oft so stark legiert, daß er sternarme, dunkle Funken gibt, aber trotzdem ein

<sup>\*)</sup> Am besten wird eine Schleifscheibe mittlerer Körnung von etwa 100 mm Durchmesser auf dem wohl in den meisten Uhrmacherwerkstätten vorhandenen, leichten Polierbock befestigt. Auf beiden Seiten der Scheibe sind Pappscheiben beizulegen, um das Zerspringen der Schmirgelscheibe zu verhindern.

## VII. Einfluß der Konstruktion auf den Erfolg der Härtung

Die einfachste Methode der Abtrennung von Stahl ist das Einkerberben am Umfang mittels Dreikantfeile oder durch Meißelhebe und Abtrennen durch kurzen Schlag. Der Versuch gelingt bei gutem Stahl in allerdings „verbotener Weise“ sogar schon nach dem Einfeilen an nur einer Seite. Ist nun schon der geglühte Stahl an der Einkerberstelle so leicht zerbrechlich, so muß nach dem Härten eine solche Stelle doch ganz besonders gefährdet sein. Hierzu kommt noch die Gefahr der Ribbildung an der Kerbstelle durch Auftreten von Spannungen im Werkstoff beim Erwärmen

„Wasserhärter“ ist. Grauguß zeigt ebenfalls Sternbilder, doch immerhin von anderer Art als reiner Kohlenstoffstahl.

In unserem Falle des wenig legierten Stahles schleift man also das Stahlstück zunächst auf der Trennfläche an und dann am Umfang. Sind die Schleiffunken am Umfang sternärmer, so ist so lange abzarbeiten, bis die gleichen Funken wie im Querschnitt entstehen. Nach diesem Maß ist die Vorbearbeitung auszuführen.

Wie schon früher gesagt, verwendet die heutige Technik eine Unmenge von verschiedenen Stahlsorten, genau nach den an das Werkstück zu stellenden Forderungen abgestimmt und dem erforderlichen Arbeitsgang angepaßt. Das gilt nicht etwa nur für die Großtechnik mit Stahlbestellungen „nach Tonnen“ wie für Kraftfahrzeug- und Hochbau, sondern auch, ja sogar besonders für die Feinmechanik, den Werkzeugbau und die Uhrenindustrie (Stahl für Schnitte und Stempel, für Bohrer, Reibahlen, Senker, Fräser und Meißel oder für Warmpräge- und Spritzfußformen usw.). So gibt es z. B. einen Spezialsilberstahl (Deutsche Edelstahlwerke A. G. Bochum) für die Wählerachsen in Telephonautomen.

Der Uhrmacher am Werkisch kann nun unmöglich so viele verschiedene Arten von Werkzeugstahl führen und besonders auch nicht die vielen zugehörigen Härtevorschriften entsprechend anwenden. Doch schon der unlegierte Werkzeugstahl wird in verschiedenen Arten je nach Kohlenstoffgehalt und Qualität geliefert, so daß man bei einem Stahlwerk etwa zwanzig Sorten von unlegiertem Werkzeugstahl erhalten kann. Der Uhrmacher verwendet nur die beste Qualität, den sogenannten „Edelstahl“, der meist ein Tiegel- oder Elektroguß-Stahl ist und als Art „zähhart“ oder „mittelhart“. Diese Sorten sind sowohl für Werkzeuge wie Bohrer, Schneideisen usw. als auch für die verschiedensten Werkstücke der Reparatur und Sonderfertigung brauchbar. Der Praktiker wird dann bei Verwendung immer der gleichen Stahlsorte sehr bald genau beurteilen können, wie hoch er das betreffende Werkstück nach gewissenhafter Härtung anzulassen hat, um die dem Verwendungszweck entsprechende Härte bzw. Nachgiebigkeit zu erreichen.

Natürlich können auch beim besten Stahl einmal Fehler vorliegen, die der Kontrolle im Werk entgangen sind, wie Gefügelungleichheiten, Schlackeneinschlüsse und besonders Rib- und Faltenbildungen, letztere durch Fehler und oft recht geringfügige Versehen oder Zufälligkeiten beim Auswalzen verursacht. Genaue Betrachtung schon beim Bearbeiten ist daher stets erforderlich, und vor der Fertigung besonders schwieriger Stücke ist immer Anfertigung einer kleinen Härteprobe des benötigten Werkstoffes ratsam, die dann auf Härteeigenschaft und Rissefreiheit genau zu untersuchen ist.

oder noch mehr beim Ablösen, wie früher eingehend geschildert worden ist. Es ist also Aufgabe des Konstrukteurs, solche scharfen Ecken zu vermeiden, ganz besonders aber gegenüberliegende oder gar den ganzen Umfang umschließende. Sie sind stets als Rundung bzw. Hohlkehle auszuführen. Abbildung 7 zeigt eine ganz kleine Auswahl nur dem „Kapitel Federn“ aus der Praxis entnommener Beispiele. (Auch bei ungehärteten Werkstücken, ferner solchen, die nicht aus Stahl sind, vermeidet der Konstrukteur unnötige Ecken an beanspruchten Stellen.)

Sieht man sich zu Bruch gegangenes Werkzeug genauer an, so wird man fast stets feststellen können, daß die Bruchstelle zumindest auf einer Seite an einem tieferen Feilriß oder ähnlichem entlang verläuft. Es ist also auch schon die Lage des Feil- bzw. Schleifstriches durchaus für die Haltbarkeit von großer Bedeutung. Die Seitenflächen

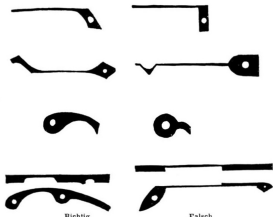


Abb. 7. Fehlerhafte und richtige Konstruktionen bezüglich Formung der Ecken

der Schraubenzieher sind daher zuletzt mit Langstrich zu versehen oder nachzuschleifen, Abstechstähle zumindest an einer Freifläche in Schafrichtung, Blattfedern in Längsrichtung zu schmirgeln usw. Sofern nicht rissfreie Politur als letzte Vollendung des gehärteten Teiles in Frage kommt, hat sich auch Strichvollendung (Feilen oder Schmirgeln) der gegenüberliegenden Flächen in sich kreuzender Richtung gut bewährt. (Eine Seite Langstrich, die andere Querstrich).

Bei der Fertigung von Federn ist außerdem zu beachten, daß die Walzrichtung des Werkstoffes in der Federichtung liegt. Große Unterschiede zwischen stärkster und schwächster Stelle am Werkstück sind zu vermeiden und für möglichst allmählichen Übergang in Sorge zu tragen.

## VIII. Härten in Großbetrieben

In den früheren Abschnitten ist das für die Härtepraxis im Kleinbetrieb Wesentlichste in kurzer Form zusammengefaßt unter besonderer Berücksichtigung kleiner Werkstücke. Für größere Harteteile gilt natürlich genau das gleiche, oft allerdings in erhöhtem Maße, da innere Spannungen bei solchen sehr viel leichter entstehen und größer auftreten als bei kleinen Teilen. Hier sind für die sachgemäße Erwärmung freilich besondere Einrichtungen erforderlich, wie sie später eingehend beschrieben werden.

Wir wollen uns nämlich jetzt einmal der Härtung im Großbetrieb zuwenden, wieder aber unter besonderer Berücksichtigung der Massenhärtung kleinster Teile. Eine Einzelhärtung sehr kleiner Teile wird natürlich viel zu teuer, und so erwärmt man eben gleich eine große Menge, die man, wie in einem früheren Abschnitt beschrieben, in eine Büchse sauber eingepackt hat. Nach dem Erwärmen wird dann der ganze Inhalt in das Ablöschmittel entleert. Die Büchse wird auch als an einem Ende abgebohrtes Rohr ausgebildet und im Ofenklippbar eingerichtet. Klippbar das Rohr nach dem Erwärmen, so taucht das Rohrende in

Bohrungen in der Nähe des Umfanges und besonders Sacklöcher sind immer eine Gefahr, die man beim Härten durch Ausfüllen mit Lehm zu bannen versucht, sofern die Bohrung selbst nicht auch hart sein muß.

Ein „Ei des Kolombus“ ist auch das Einfügen eines künstlichen Härterisses vor dem Härten an einer für das Werkstück ungefährlichen Stelle in Form eines Sägeschnittes, wie dies Abbildung 8 zeigt.

Auch die Stelle, wo Zahlen oder Buchstaben einzuschlagen sind, ist schon bei der Konstruktion gut gewählt anzugeben; denn auch hier wird vielleicht ein Härteriß den Weg durch diese Einker- bzw. Spannungsstellen wählen, besonders wenn ein Fehler beim Härten vorliegt wie in dem, in Abbildung 9 gezeigten Fall (zu hoch erwärmt, zu kaltes Ablöschmittel). Der Härteriß hat sich von seiner normalen Lage in der Nähe der Kante mit großer Gewalt nach den Buchstabeneinkerungen gezogen. Der Härteriß kann sich

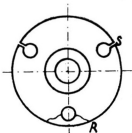


Abb. 8. Der Sägeschnitt S verhindert den Härteriß R

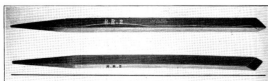


Abb. 9. Oben: Einfluß von eingeschlagenen Zeichen auf die Härtebildung. Unten: Verzogen durch zu hohe Erwärmung und zu kaltes Wasser.

aber auch von der Einkerstelle, also hier von der Zahl aus bilden. Wenn sie selbst vielleicht auch nicht die einzige Ursache ist, so übernimmt sie doch die Auslösung der unerwünschten Wirkung. Einätzen nach dem Härten ist durchaus nicht so schwierig und sollte mehr geübt werden.

das vorn befindliche Ablöschbad, und die Teile gleiten, ohne durch kalte Luft zu fallen, in das Wasser. Hiermit ist natürlich wieder der Nachteil verbunden, daß die Teilmassen in verschiedener Lage in das Bad gelangen und sich verschieden verziehen, besonders wenn der Stahl hierzu veranlagt ist. Bei kleinen Trieben und Achsen geht man daher evtl. auch so vor, daß man eine entsprechend starke Eisenplatte (etwa Gußeisen) mit einer Menge dicht gesetzter Bohrungen versieht, die Triebe einzeln dort einsetzt, die ganze Platte mit Inhalt glüht und danach mit ihr über das Ablöschbad geht. Zieht man die vorher untergelegte Blechdecke vor, so fallen dann die Teile senkrecht ein.

Nun etwas über die oben erwähnten besonderen Einrichtungen zur Erwärmung von beliebigem Härtegut. In primitivster Form erfolgt die Erwärmung mittels offener Feuerstelle, also auf Feldschmieden usw. bzw. schlechthin im Schmiedefeuer. Sofern nicht in Büchsen oder Kästen gut eingepackt erwärmt wird, darf nur Holzkohle verwendet werden, und das Kunststück der sachgemäßen Erwärmung in bezug auf Raschheit, Sauerstoffabhaltung und besonders Gleichmäßigkeit ge-

lingt freilich nur dem hierin sehr geübten Härter. Daß auch bei der Büchsen-Härtung grobe Erwärmungsfehler vorkommen können, zeigt Abbildung 10, die eine Reihe in der Büchse miteinander verschmolzener Fräser wiedergibt. Diese Art von Erwärmung wird stets von der Stahllieferfirma als Ursache des etwa eingetretenen Härteauschusses mit einer gewissen Berechtigung bezeichnet werden. Freilich wird auch heute noch hier und dort die Sachlage einmal zu dieser Arbeitsweise im Einzelfalle bezw. im Kleinbetriebe zwingen. Doch sei hier nicht versäumt, darauf hinzuweisen, daß heute

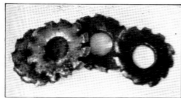


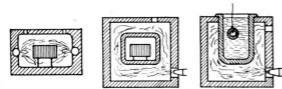
Abb. 10. Bei Büchsenhärtung miteinander verschmolzene Fräser

bleibt die Wahl einer solchen Firma der wegen doch sehr empfehlenswert.

Die sachgemäße Erwärmung kann nur in besonderen Öfen erfolgen, von denen es zurzeit die verschiedensten Arten gibt, die wieder mehr oder weniger Aufmerksamkeit in ihrer Bedienung erfordern. Sie unterscheiden sich zunächst nach der Art des Heizstoffes, denn man benutzt heute hierfür Kohle (Koks, Briketts usw.), flüssige Brennstoffe (Ölfeuerung), Gase (Leuchtgas, Generatorgas usw.) und elektrischen Strom. Zum anderen unterscheiden wir die Öfen nach der Art der Werkstück-erwärmung in solche mit direkter Erwärmung sowie Muffelöfen und Salz- und Bleibädern. Abbildung 11 zeigt rein schematisch das Wesen dieser drei Ofenarten.

In den Abbildungen 12 bis 16 sind eine Reihe moderner Öfen der verschiedenen Typen wiedergegeben.

Sehr empfehlenswert sind natürlich öl- oder gasgefeuerte Muffelöfen und am besten die elektrischen Öfen. In diesen ist das Härtgut zunächst gegen den Einfluß fremder Stoffe gut geschützt, und vor allen Dingen ist die Einhaltung der richtigen Härtewärme bei sachgemäßer Bedienung sicher gewährleistet; denn die Ofenwärme läßt sich



Herd- oder Plattenofen Muffelofen Schmelzbadofen  
Abb. 11. Schematische Darstellung der verschiedenen Ofenarten

entsprechend leicht abstimmen und kann mittels meist eingebauter Wärmemesser (Thermoelemente) an übersichtlichen, evtl. schreibenden Anzeigeinstrumenten dauernd überwacht werden. Auch elektrisch gesteuerte Regler der Heizung sind möglich. Der Mangel, daß Luft besonders beim Öffnen der Muffel eindringt, kann durch Einströmen von Leuchtgas oder ähnlichem vermieden werden.

Weniger geeignet für die Massenhärtung kleinster Uhrenteile sind die oben genannten, schon lange üblichen Bleibäder und auch die modernen Salzbadöfen. Sie haben aber doch auch für uns soviel Bemerkenswertes, daß sie beschrieben werden müssen. Das Blei wird in einem Stahlbehälter bis zur Rotglut erhitzt und das Härtgut in diese

eingetaucht. Die hierzu benutzten Öfen müssen mit einem guten Abzug über dem Bleibad versehen sein, weil das Blei bei Hellrotglut verdampft und die schädlichen Dämpfe gut abgeführt werden müssen. Das Blei gibt die Wärme sehr

schnell ab, so daß die Hartteile äußerst rasch erwärmt werden und nie verbrennen können, da sie ja nur die Wärme des Bleies annehmen können. Es ist z. B. möglich, ein Stück 10 mm starken Quadratstahl mit einer Weichlötlung bis auf etwa 10 mm Entfernung an die Lötstelle heran zu härten. Der gleiche große Vorteil gilt für Werkstücke, die nur an den Enden zu härten sind. Im Blei- oder Salzbad ist diese Endenerwärmung rasch und genau möglich.

Aber dieses Erwärmen in Blei ist durchaus nicht nur im Großbetriebe möglich. Es ist mit entsprechender Vorsicht auch im Kleinbetriebe und auch für kleinste Teile wie z. B. Bohrer und Schneidbohrer sehr gut und ohne Kosten anzuwenden: Ein Stück Rundisen mit einer entsprechenden Einbohrung, sicher im Feuer aufgestellt, genügt als Badbehälter. Als kleinster Vorschlag ist zu nennen etwa 40 mm Eisen mit einer 25 bis 30 mm-Bohrung. Altblei (Wasserröhre) ist überall erhältlich. Auf der Oberfläche bildet sich beim Schmelzen Bleiglätte, die abzuheben ist, aber nicht in das Feuer fallen soll. Aufgestreutes Holzkohlenpulver hält die Oxydbildung zurück. Wichtig ist auch, daß man mit keinem Wasser oder nassen Teilen in das Blei kommen darf, wegen der Gefahr des Verspritzens des Bleies. Dann geht aber das Härten äußerst rasch, und man hat die volle Sicherheit der richtigen und gleichmäßigen Wärme. Sehr ungleich starke Teile kann man zum Ausgleich öfters einmal kurz herausnehmen. Ein Nachteil dieser Erwärmung ist nur, daß manchmal etwas Blei am Härtgut hängenbleibt und Blei schwerer als Stahl ist. Die Teile müssen also eingetaucht werden, weil sie sonst oben aufschwimmen. Das ist andererseits auch ein Vorteil, denn das beim Salzbad mögliche Hineinfallen und unangenehme Heraus-



Abb. 12. Ofen mit Öffnung für Temperaturen bis etwa 1250°. Durch die in der Abbildung vorstehenden Einsätze ist der Ofen als Herd-, Muffel- und Schmelzofen zu verwenden. Damit ist er für alle vorkommenden Schmied-, Härte- und Anlaßarbeiten gut geeignet.

Es ist mit entsprechender Vorsicht auch im Kleinbetriebe und auch für kleinste Teile wie z. B. Bohrer und Schneidbohrer sehr gut und ohne Kosten anzuwenden: Ein Stück Rundisen mit einer entsprechenden Einbohrung, sicher im Feuer aufgestellt, genügt als Bad-

behälter. Als kleinster Vorschlag ist zu nennen etwa 40 mm Eisen mit einer 25 bis 30 mm-Bohrung. Altblei (Wasserröhre) ist überall erhältlich. Auf der Oberfläche bildet sich beim Schmelzen Bleiglätte, die abzuheben ist, aber nicht in das Feuer fallen soll. Aufgestreutes Holzkohlenpulver hält die Oxydbildung zurück. Wichtig ist auch, daß man mit keinem Wasser oder nassen Teilen in das Blei kommen darf, wegen der Gefahr des Verspritzens des Bleies. Dann geht aber das Härten äußerst rasch, und man hat die volle Sicherheit der richtigen und gleichmäßigen Wärme. Sehr ungleich starke Teile kann man zum Ausgleich öfters einmal kurz herausnehmen. Ein Nachteil dieser Erwärmung ist nur, daß manchmal etwas Blei am Härtgut hängenbleibt und Blei schwerer als Stahl ist. Die Teile müssen also eingetaucht werden, weil sie sonst oben aufschwimmen. Das ist andererseits auch ein Vorteil, denn das beim Salzbad mögliche Hineinfallen und unangenehme Heraus-



Abb. 13. Muffelofen mit Gasbrennern, ähnlich dem nach Teich, mit dem großen Vorteil, daß kein Gehäus benötigt wird und doch Temperaturen bis 1250° bei geringem Gasverbrauch möglich sind. Er ist also nur an die Gasleitung anzuschließen und äußerst einfach zu bedienen. Diese Ofenart wird auch als Hochtemperaturofen bis 2000° und in sehr kleiner Ausführung für 600 bis 1500° gebaut.

fischen kann nicht vorkommen. Das Anhaften von Blei wird vermieden, wenn man die Teile vor der Erwärmung im Bleibad in starke Salzlösung taucht und vollständig trocken läßt. (Siehe oben „Verspritzen“.) Für Anlaß-

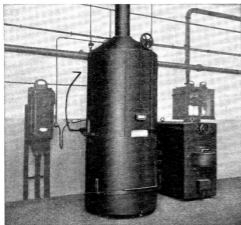


Abb. 14. Elektrodensalzbad für Temperaturen von 1350° zum Härten von Schnellstahl

bäder verwendet man Bleilegierungen mit niedrigem Schmelzpunkt.

Vom Salzbad gilt im wesentlichen das gleiche; nur wird statt Blei flüssiges Salz benutzt, dessen Art man nach

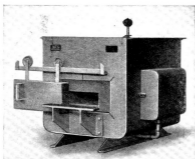


Abb. 15. Hochtemperatur-Kleinofen mit Siliziumstäben

der gewünschten Temperatur wählt, um schädliche Dämpfe zu vermeiden. So schmilzt z. B. Bariumnitrit bei 220° (Anlaßbäder), Calciumchlorid bei 780°, Natriumnitrit bei 850°, Bariumchlorid bei 960° C.

Im Salzbad schwimmen die Teile nicht, und sie erwärmen sich nicht ganz so rasch wie im Bleibad; aber beim Her-

ausnehmen bleibt eine dünne Salzhaut auf dem Härtegut haften, die sich erst im Ablöschbad ablöst und es so vor jeder Oxydation und Entkohlung schützt. Die Teile behalten also ihr vorheriges Aussehen; die geringste Entstellung der Oberfläche wird vermieden. Diese Salzäder sind meist elektrisch beheizt, was wiederum große Sauberkeit des Betriebes sichert. Hauptsächlich wird dazu die Widerstandsheizung angewendet, wobei das flüssige Salz selbst den Heizwiderstand bildet.

Mit dieser Abhandlung ist zunächst das, was über das rein praktische Härten von einfachem oder niedrig legiertem Kohlenstoffstahl zu sagen ist, erörtert. Die Gebiete der Vergütung und Oberflächenhärtung, zu



Abb. 16. Elektrischer Tiegelofen für Temperaturen bis 1100°. Kleines, an jede Steckdose anzuschließendes Gerät. Die Anheizzeit auf 900° beträgt 1/2 Stunde. Das Bild zeigt im Vordergrund die herausgenommene Heizspirale. Infolge Kleinheit und Wohlfeilheit ist der Ofen auch für die Uhrmacherwerkstatt geeignet

denen auch das Nitrieren gehört, sind unberücksichtigt geblieben. Auf das einzugehen, was sich im Stahl bei der Härtung, beim Anlassen, Glühen usw. abspielt, war nicht Aufgabe dieser Arbeit. Es sei daher nur gesagt, daß diese Vorgänge heute gut geklärt sind. Die Metallographie gestattet hier eine einwandfreie Beobachtung der ausschlaggebenden Umwandlungen im Gefüge des Stahles in jeder Arbeitsstufe und ist heute die unerläßliche Hilfe des Werkstoff-Fachmannes.

Die Klischees der Abb. 12 bis 16 wurden uns freundlicherweise von folgenden Firmen zur Verfügung gestellt: Abb. 12: Blank & Flemmig, Berlin-Karlshorst; Abb. 13: Deutsche Gold- und Silberscheideanstalt, Frankfurt a. M.; Abb. 14 und 15: Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft (AEG), Berlin NW 40; Abb. 16: Ströhlein & Co., Düsseldorf.