

Werkstoffe, Uhrenprüfungen und Prüfgeräte

Schriftenreihe
der Gesellschaft für Zeitmeßkunde
und Uhrentechnik

Achter Band

Herausgegeben vom
Vorsitzenden Fr. A. Kames, Berlin
und
Schriftführer Prof. Dr.-Ing. H. Bock,
Hamburg

Berlin 1937

VERLAG DER DEUTSCHEN UHRMACHER-ZEITUNG
Deutsche Verlagswerke Strauß, Vetter & Co

Legierungen für Unruh und Spiralfeder — Invar, Elinvar, Nivarox

Wir kommen nun zu einigen Teilen der Uhr, die besondere Anforderungen an die physikalischen Eigenschaften der verwendeten Legierungen stellen. Es sind dies die Unruh und die Unruhfeder, in der Uhrmacherei im allgemeinen einfach „Spiralfeder“ genannt. Für diese Teile ist bekanntlich vor allem eine möglichst weitgehende Unempfindlichkeit gegen Temperatureinflüsse anzustreben. Bei der Unruh selbst ist es bei Temperaturschwankungen in erster Linie die thermische Ausdehnung, die zu einer Änderung des Trägheitsmomentes und damit zu Gangabweichungen führt, bei der Spiralfeder außerdem die Veränderung des Elastizitätsmoduls mit der Temperatur. Die Veränderungen des Trägheitsmomentes der Unruh hat man durch die verschiedensten Konstruktionen, bei denen insbesondere die Bimetall-Wirkung ausgenutzt wurde, auszugleichen versucht. Es erübrigt sich, auf diese oft sehr sinnreichen Konstruktionen einzugehen.

Von der stahltechnischen Seite ergibt sich die Möglichkeit, helfend einzugreifen durch die Verwendung von Legierungen, deren thermischer Ausdehnungskoeffizient im Bereich der Raumtemperatur unverändert bleibt, d. h. die sich bei leichtem Erwärmen oder Abkühlen weder merklich ausdehnen noch zusammenziehen. Abb. 8

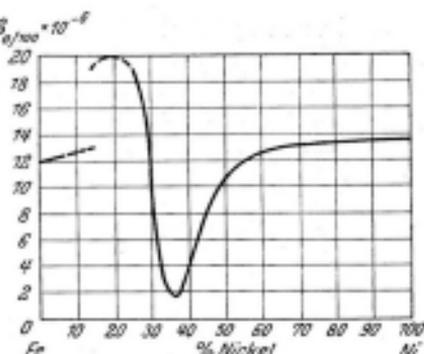


Abb. 8. Ausdehnungskoeffizienten der Eisen-Nickelreihe

zeigt die Veränderung des thermischen Ausdehnungskoeffizienten mit steigendem Nickelgehalt. Bei 36 % Nickel fällt der Ausdehnungskoeffizient auf einen scharf ausgeprägten Mindestwert ab. Den Verlauf der Ausdehnung dieser mit „Indilatan“ oder „Invar“ bezeichneten Legierungen zeigt die Abbildung 9. Die Ausdehnung ist in der Nähe der Raumtemperatur sehr gering; erst bei höheren Temperaturen, die für Uhren nicht in Frage kommen, wird sie stärker.

Eine weitere Verbesserung des Ausdehnungskoeffizienten erhalten diese Legierungen durch ein Abschrecken von 800 bis 1000°. Durch eine Kaltverformung wird der Ausdehnungskoeffizient noch weiter herabgesetzt und kann sogar negativ werden.

Der behandelte Werkstoff besitzt bei Raumtemperatur keinen vollständig stabilen Gefügebau. Insbesondere bei höherem Kohlenstoff-Gehalt zeigen sich nach den Untersuchungen von Guillaume²⁾ im Laufe der Zeit bleibende Längenänderungen, die als Alterung bezeichnet werden. Diese bleibenden Längenänderungen sind unangenehmer als eine geringe thermische Ausdehnung, da sie nicht durch Kompensation aufgehoben werden können. Für die Herstellung von Präzisionsuhren wird daher der Werkstoff einem mehr oder weniger verwickelten künstlichen Alterungsverfahren unterworfen, das in langdauernden Erwärmungen auf etwa 100° mit verzögerter Abkühlung, Wechsel-Erwärmungen, Erschütterungen usw. besteht und das das Ziel verfolgt, die unter Normalbedingungen in langen Zeiten eintretenden Änderungen vorwegzunehmen. Nach Guillaume²⁾ sind diese Alterungserscheinungen auf die Ausscheidung von Karbiden zurückzuführen. Sie können verringert werden, wenn man den Kohlenstoffgehalt so gering wie möglich hält, oder auch dadurch, daß man den Kohlenstoff durch Zusatz karbidbildender Elemente, z. B. Titan, von vornherein in Form von stabilen Karbiden abbundet, die sich in der metallischen Grundmasse nicht auflösen.

Die Spiralfeder wird bei den gebräuchlichen Uhren aus gehärtetem und angelassenem Kohlenstoffstahl, bei billigeren Werken wohl auch aus kaltgewalztem Stahl, der lediglich blau angelassen

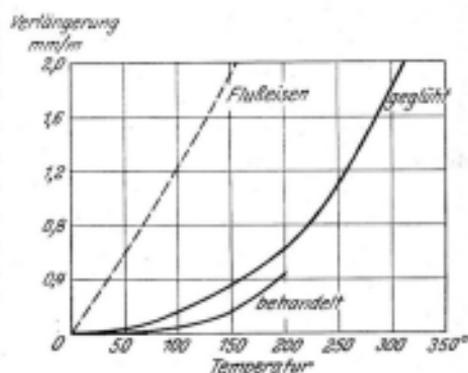


Abb. 9. Ausdehnungskurve von Stahl mit 36 % Ni (Invar)

²⁾ Ch. Ed. Guillaume, Rev. Mét. 25 (1928) S. 35.

wird, hergestellt. Für ihre Verarbeitung gilt das schon für die Zugfeder Gesagte.

Ein erheblicher Nachteil des Kohlenstoffstahls liegt zunächst in seiner Magnetisierbarkeit; kommt eine derartige Feder in ein starkes magnetisches Feld, so kann es vorkommen, daß die einzelnen Lagen einander anziehen und unter Umständen sogar aneinanderkleben. Dies führt selbstverständlich zu schweren Gangstörungen und zum Stehenbleiben der Uhr. Da der Federstahl im gehärteten Zustand außerdem seinen Magnetismus nicht leicht verliert, bleibt dieser Zustand auch erhalten, wenn das äußere magnetische Kraftfeld zu wirken aufgehört hat.

Ein weiterer Nachteil des gewöhnlichen Federstahls ist die bereits erwähnte Temperaturabhängigkeit der elastischen Eigenschaften. Bei einer Unruh aus Messing mit einer Stahl-Spiralfeder bedingt eine Temperaturzunahme um 1°C bereits eine Verzögerung um etwa 11 Sekunden in 24 Stunden. Von dieser Verzögerung gehen nur etwa 1,5 Sekunden zu Lasten der Vergrößerung des Trägheitsmomentes der Unruh. Die restlichen 9,5 Sekunden = 86,5 % sind durch die Veränderung der „Federkonstante“, d. h. auf die Änderung der Länge und des Querschnittes der Unruhfeder und die Veränderung ihres Elastizitätsmoduls zurückzuführen.

Man hat sich daher bemüht, einen Federwerkstoff zu finden, dessen Elastizitätsmodul bei Temperaturveränderung gleich bleibt. — Man fand die Lösung wieder auf dem Gebiete der Eisen-Nickel-Legierungen.

Eine Legierung mit 36 % Nickel und einem Zusatz von 12 % Chrom, die ebenfalls von Guillaume¹⁾ entwickelt wurde und in der Uhrentechnik allgemein als „Elinvar“ bekannt ist,

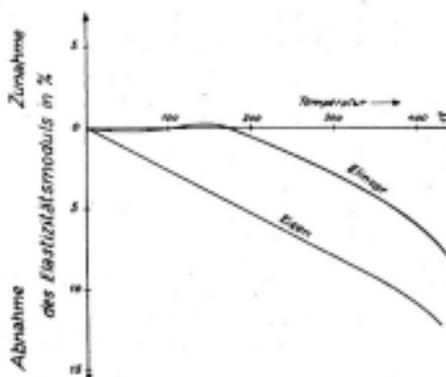


Abb. 18. Änderung des Elastizitätsmoduls mit der Temperatur

¹⁾ Ch. Ed. Guillaume, *Recherches Métrologiques sur les Aciers en Nickel*, Paris 1927.

zeichnet sich dadurch aus, daß in dem in Betracht kommenden Temperaturgebiet die Änderung des Elastizitätsmaßes praktisch gleich Null ist (vgl. Abb. 10).

Auch in diesem Falle erstreckt sich das anormale Verhalten des Werkstoffes nur auf die niedrigeren Temperaturen, die hier allerdings allein in Betracht kommen. Die Elinvar-Legierungen erhalten noch Zusätze von Mangan und Wolfram zur Erhöhung der Streckgrenze. Da diese Legierungen nicht durch Abschrecken gehärtet werden können, erfolgt die Härtung durch Kaltwalzen.

Eine eindeutige Erklärung des bevorzugten Verhaltens der Legierungen mit etwa 30 bis 40 % Nickel ist noch nicht gefunden worden. Vielleicht ist sie in der Art der Bindung der Nickel- und Eisenatome zu suchen, die so beschaffen ist, daß die kinetische Bewegungsenergie der kleinsten Teilchen durch geringe Erwärmung und Abkühlung wenig verändert wird.

Einen weiteren Schritt in der Entwicklung des Materials für Unruhfedern bedeutet ein Elinvar-Material, dessen Härte durch Ausscheidungshärtung noch erhöht werden kann. Das ist das von der Firma Heraeus entwickelte „Nivarox“⁵⁾, das etwa folgende Zusammensetzung besitzt: Nickel 30 %, Beryllium 1,0 %, Wolfram oder Molybdän 6 bis 8 %, Rest Eisen. Diese Legierung ist ziemlich unmagnetisch und kann infolge ihres Beryllium-Gehaltes durch Ausscheidungshärtung gehärtet werden⁶⁾. Auf diesem Wege können im übrigen auch Invar-Legierungen ausscheidungshärtend gemacht werden.

Stahl für Achsen, Triebe, Zapfen

Die sonst in Uhren vorhandenen Stahlteile wie Achsen, Zapfen, Triebe und dgl. werden aus blankgezogenen Drähten oder Stangen herausgearbeitet, die entweder aus härtbarem Kohlenstoffstahl mit Kohlenstoffgehalten zwischen 0,4 und 1 %, gegebenenfalls mit geringen Zusätzen von Mangan, bestehen und unmittelbar gehärtet werden können, oder aus weichem Flußeisen, das durch Erhitzen in Kohlenstoff abgebenden Mitteln, neuerdings vorwiegend in Cyanid-Härtebädern, oberflächlich aufgekohlt und dann gehärtet wird.

⁵⁾ R. Straumann, Festschrift der Heraeus-Vacuumschmelze (Hanau 1933), S. 408.

⁶⁾ Siehe hierzu: Vortrag von W. Rohn auf der gleichen Tagung, veröffentlicht in dem vorliegenden Bd. VIII S. 176 ff.

Zur Erleichterung der Bearbeitung finden vielfach Automatenstähle Verwendung, die einen erhöhten Schwefel- und Phosphorgehalt besitzen. Das Gefüge eines solchen

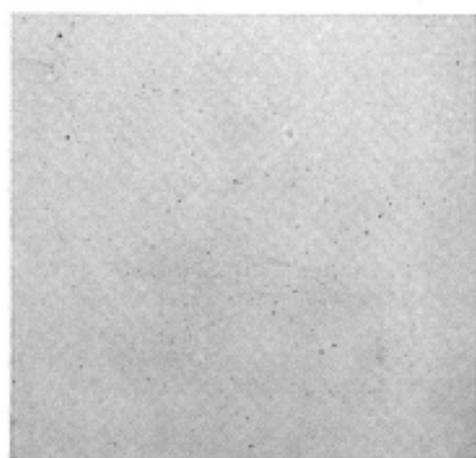
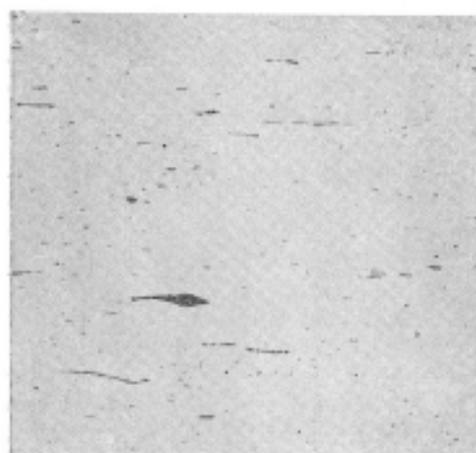


Abb. 11. Einschlüsse im Automatenstahl (oben) im Vergleich zum Schliffbild von Weicheisen

Stahles zeigt Abb. 11. — Die zeilenförmig eingelagerten Sulfideinschlüsse bewirken, daß bei der Bearbeitung der Span kurz wegbricht, und daß die bearbeiteten Teile eine saubere glatte Oberfläche bekommen.

Dem Schwefelgehalt des Automatenstahls ist in einer Arbeit von H. Stamm über die „Haltbarkeit der Öle für Uhren und Feingerät“⁷⁾ ein wesentlicher Einfluß auf die Haltbarkeit des Uhrenöles zugeschrieben worden. Es wurde uns vor einigen Wochen die Bitte übermittelt, im Rahmen dieses Vortrages auch auf diese Frage einzugehen. Da Unterlagen hierüber bei uns nicht vorlagen, sind einige vergleichende Versuche mit normalem Flußeisen und ver-

⁷⁾ H. Stamm, Schriftenreihe der Gesellschaft für Zeitmeßkunde und Uhrentechnik, Bd. 5 (1933), S. 4 bis 37.

schiedenen Automatenstählen bezüglich ihres Einflusses auf die Haltbarkeit der Öle durchgeführt worden. Es wurde dazu insbesondere das von H. Stamm⁷⁾ entwickelte Kurzprüfverfahren verwendet.

Die für die Schmierung der Uhrenlager verwendeten Öle sollen von den Schmierstellen nicht abwandern und eine möglichst hohe Alterungsbeständigkeit besitzen. Mineralöle wandern stark ab, tierische Öle werden in ihrer an sich geringen Alterungsbeständigkeit durch Metallstaub, Verunreinigungen, Wärme, Licht und andere Einflüsse noch weiter ungünstig beeinflusst. Die bisher üblichen Uhrenöle, die Verschnitte der beiden Ölsorten darstellen, geben daher ganz allgemein noch keine befriedigende Lösung des Schmierproblems.

Es scheint jedoch, soweit Laboratoriums-Prüfmethoden, insbesondere auch die von H. Stamm⁷⁾ angeführte Schnellmethode, eine Bewertung erlauben, daß durch die Verwendung des neuen synthetischen Öles, das die Firma Cuypers & Stalling unter der Bezeichnung „Type 1929“ herausgebracht hat, beachtenswerte Fortschritte auf diesem Gebiete erzielt wurden. Dieses Öl zeigte bei unseren Versuchen bei Verwendung von Körner-Lagerschrauben aus normalem Stahl wie auch aus Automatenstahl gleich gute Eigenschaften bezüglich der Haftfestigkeit und Alterungsbeständigkeit. Ein ungünstiger Einfluß des Gefügebauaufbaues von Automatenstahl auf dieses Schmiermittel konnte jedenfalls nicht ermittelt werden. Die wenigen Versuche, die in der kurzen zur Verfügung stehenden Zeit durchgeführt werden konnten, lassen ein abschließendes Urteil über diese Frage noch nicht zu. Wenn sich ein schädlicher Einfluß des Schwefels im Automatenstahl tatsächlich herausstellen sollte, bliebe von der Werkstoffseite her zu versuchen, ob sich nicht Automatenstähle, die nicht auf der Basis von Schwefel, sondern anderen Zusätzen wie z. B. Selen aufgebaut sind, in dieser Beziehung günstiger verhalten.

Untersuchung über Stahl für Gongstäbe

Der Werkstoff der Stahlstäbe für Gongschlagwerke ist vor einiger Zeit Gegenstand eingehender Untersuchung im Kaiser-Wilhelm-Institut für Eisenforschung gewesen⁸⁾. Die

⁷⁾ A. Pomp und B. Zapp, Mitt. K. W. Inst. Eisenforsch. 15. (1933), S. 21/35.

für diese Gongs verwendeten Stahlstäbe werden aus blankpoliertem, gezogenem Stahldraht hergestellt, der aus unlegiertem Kohlenstoffstahl mit etwa 1% Kohlenstoff besteht.

Die Untersuchung von Stäben, die trotz gleicher Zusammensetzung und Festigkeit und gleicher Form und Einspannung sehr verschiedene Klangfarben und Klangdauer auf-

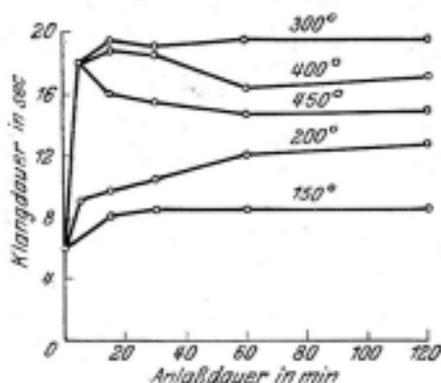


Abb. 12. Einfluß des Anlassens auf die Klangdauer von Gongstäben (nach A. P o m p und B. Z a p p)

wiesen, ergab einen recht bemerkenswerten Einfluß des Gefüges und des inneren Spannungszustandes. Bezüglich der Gefügeausbildung erwies sich ein möglichst feines Gefüge, insbesondere eine feine und gleichmäßige Verteilung der Karbide, als günstig für die Klangeigenschaften. Die für die Klangwirkung wichtige Klangdauer läßt sich, wie Abb. 12 zeigt, durch Anlassen der kaltgezogenen Stäbe sehr beträchtlich steigern. Während ein nicht angelassener Stab nur einen kurz abklingenden dumpfen Ton ergibt, nimmt mit steigender Anlaßtemperatur und -zeit die Klangdauer dadurch zu, daß die im Werkstoff vom Ziehvorgang her verbliebenen inneren Spannungen durch das Anlassen ausgelöst und gemildert werden. Erst wenn die Anlaßtemperatur zu einer Erweichung des Werkstoffes führt, d. h. oberhalb 400° Anlaßtemperatur, tritt bei längerem Anlassen wieder eine Verschlechterung ein. Die günstigste Art der Behandlung liegt in Übereinstimmung mit der praktischen Erfahrung bei 300 bis 350° Anlaßtemperatur. Das Ergebnis der umfangreichen Untersuchungen, auf die hier im einzelnen nicht eingegangen werden kann, zeigt, wie durch planmäßige Untersuchungen für einen bestimmten Verwendungszweck das Beste aus einem gegebenen Werkstoff herausgeholt werden kann.