

Tabelle XXXIV.

| Stoff | Brinellzahl | | Rücksprung in Teilung der will- kürlichen Skala nach Shore |
|-------------------------------|-------------|---------------------|---|
| | $\S P$ | bei Druck P kg | |
| Blei | 5,7 | 200 | 2—5 |
| Zinn | 14,5 | 500 | 8 |
| Lagerweißmetall (Babbitt) . . | 23,0 | 500 | 4—9 |
| Zink | 46,0 | 500 | 8 |
| Gold | 48,0 | 500 | 5 |
| Silber | 59,0 | 500 | 6,5 |
| Messing | 63,0 | 500 | 7—35 |
| Kupfer | 74,0 | 500 | 6 |
| Flußeisen mit etwa 0,15% C . | 100,0 | 3000 | 22 |
| Werkzeugstahl mit etwa 1% C | 260,0 | 3000 | 30—35 |
| Desgl. gehärtet | 627,0 | 3000 | 100 |

Aus den angegebenen Gründen wird im besonderen Teile dieses Bandes die mit dem Shoreschen Härteprüfer oder mit anderen Kugelfallvorrichtungen gemessene Rücksprunghöhe nur dann angegeben werden, wenn Angaben über die Härte nach anderen Verfahren fehlen.

c) Die Bearbeitbarkeit durch schneidende Werkzeuge.

1. Abhängigkeit der Bearbeitbarkeit von der Härte und der Geschmeidigkeit¹⁾.

353. Die Mehrzahl der Werkstücke aus metallischen Stoffen bedarf zur endgültigen Formgebung der Nachbearbeitung mittels schneidender Werkzeuge, wobei ein Teil des Stoffes in Form von Spänen vom Werkstück entfernt wird.

Je nachdem, ob die Beseitigung eines bestimmten Metallvolumens durch Zerspanen größeren oder geringeren Aufwand an Zeit, maschineller Arbeit und Werkzeugen erfordert, nennt man den Stoff schwer oder leicht bearbeitbar. Es fragt sich nun, in welcher Beziehung der Grad der Bearbeitbarkeit eines Stoffes zu seiner Ritz- oder Kugeldruckhärte steht. Hier gibt bereits die Erfahrung gewisse Anhaltspunkte. So ist z. B. das reine Aluminium schwerer bearbeitbar als Flußeisen, obwohl die Kugeldruckhärte des Aluminiums \S_{200} nach Brinell nur 38, die des kohlenstoffarmen Flußeisens \S_{3000} etwa 100 beträgt. Daraus ist zu schließen, daß außer der Härte, also dem Widerstand gegenüber dem Eindringen eines fremden Körpers, bei der Bearbeitbarkeit durch schneidende Werkzeuge noch andere Einflüsse mitwirken müssen.

Um hierüber Aufschluß zu erlangen, ist es wichtig, sich wenigstens in groben Umrissen ein Bild von dem Vorgang des Spanabhebens zu verschaffen, der in erster Linie durch die Arbeiten von Thieme (L_4 102, 103) aufgeklärt worden ist. Danach ist dieser Vorgang ein Druckversuch nach Art der Abb. 423. Die Druckkraft P greift außerhalb des Schwerpunkts der Fläche CEE_1C_1 an. S bedeutet das Werkzeug, das ersetzt gedacht ist durch ein Prisma aus Werkzeugstahl. Die Brustfläche ist Br , die Rückenfläche R . In Wirklichkeit würde ein Werkzeug das Aussehen von Abb. 424 haben. Der Einfachheit halber ist in Abb. 423 der Brustwinkel β (vgl. Abb. 424) gleich 90° und der Ansatzwinkel α (vgl. Abb. 424) gleich Null gesetzt. W sei das zu bearbeitende Werkstück, von dem ein Teil von der Breite b und der Tiefe t weggespannt werden soll. Das

¹⁾ Unter Geschmeidigkeit soll die Fähigkeit eines Stoffes, sich kaltrecken (293) zu lassen, verstanden werden. Der Grad der Geschmeidigkeit ist um so größer, je weiter das Kaltrecken ohne Zerstörung des Zusammenhanges getrieben werden kann.

Werkzeug S bewegt sich unter dem Einfluß der Kraft P in der Richtung des Pfeiles gegen das Werkstück W . Hierbei wird die Spannung σ auf der Druckfläche CDC_1D_1 wachsen. Die Brust des Werkzeuges Br bewirkt unter sich die Höhenverminderung λ_1 des Werkstückes W . Das hierbei verdrängte Metall weicht nach den Seiten hin aus, wie in Abb. 423b. Schließlich wächst die Spannung bis zu einem Betrag σ' , bei dem Gleiten des Materials längs einer Ebene AB stattfindet, die mit der Richtung der Kraft P den Winkel $90 - \varphi$ bildet.

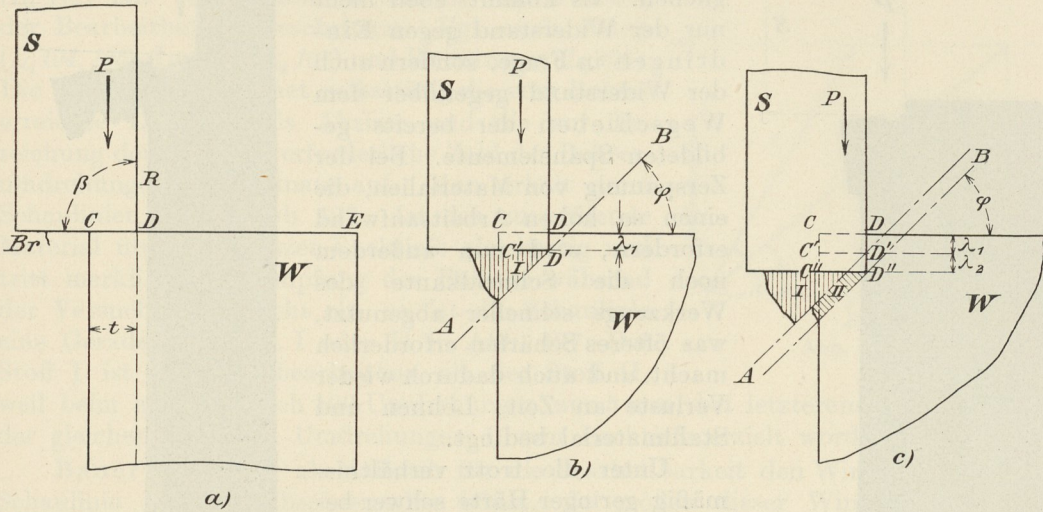


Abb. 423.

Besteht das Werkstück W aus einem Material, wie z. B. Gußeisen, das auch beim gewöhnlichen Druckversuch mit Kraftangriff im Schwerpunkt der Druckflächen bei einer bestimmten Spannung den Zusammenhang verliert, so findet auch in dem oben beschriebenen Falle nach der Erreichung der Spannung σ' Abtrennung des oberhalb AB gelegenen in Abb. 423b schraffierten Teiles I längs der Ebene AB statt. Der Teil I soll als erstes Spänelement bezeichnet werden. Es fällt entweder ganz ab, oder bleibt nur in losem Zusammenhange mit dem Werkstück W . Jedenfalls setzt es dem weiteren Vordringen des Stahles S keinen weiteren Widerstand entgegen. S. Abb. 425.

Anders liegt der Fall, wenn W aus einem geschmeidigen Stoff besteht, der auch bei dem gewöhnlichen Druckversuch trotz Aufwandes großer Arbeit nicht zum Bruch gebracht werden kann (I, 56, 125 bis 128). Dann findet nach Erreichen einer Grenzspannung σ' keine Abtrennung nach AB statt, sondern das Spänelement muß beim Vorrücken des Werkzeugs S unter Verbrauch von Formänderungsarbeit längs der Ebene AB herausgeschoben werden, etwa wie in Abb. 423 c, während gleichzeitig die Bildung eines neuen Spänelementes II in ähnlicher Weise wie beim Element I einsetzt. Als Beispiel diene Abb. 426, die einem mit Lagerweißmetall

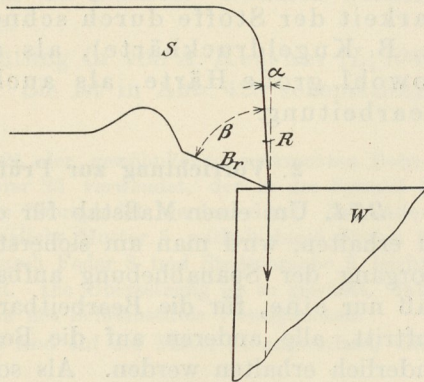


Abb. 424.

ausgeführten Versuch entspricht. Daraus erklärt sich der Mehraufwand der Arbeit bei der Bearbeitung von geschmeidigen Materialien gegenüber dem Aufwand an Arbeit bei der Zerspanung nicht geschmeidiger Stoffe. Dieser Mehraufwand wird unter Umständen, wie z. B. bei Aluminium, auch durch die geringere Härte, also den geringeren Widerstand gegen Eindringen des Stahles nicht ausgeglichen. Es kommt eben nicht nur der Widerstand gegen Eindringen in Frage, sondern auch der Widerstand gegenüber dem Wegschieben der bereits gebildeten Spänelemente. Bei der Zerspanung von Materialien, die einen so hohen Arbeitsaufwand erfordern, wird nun außerdem noch die Schneidkante des Werkzeugs schneller abgenutzt, was öfteres Schärfen erforderlich macht und auch dadurch wieder Verluste an Zeit, Löhnen und Stahlmaterial bedingt.

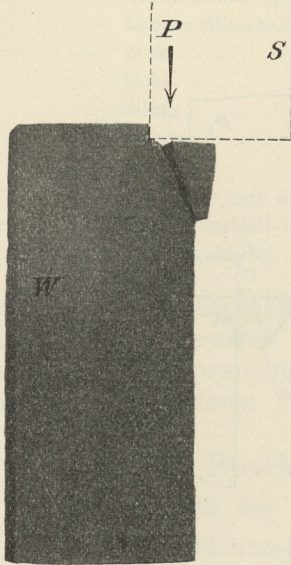


Abb. 425. Gußeisen.

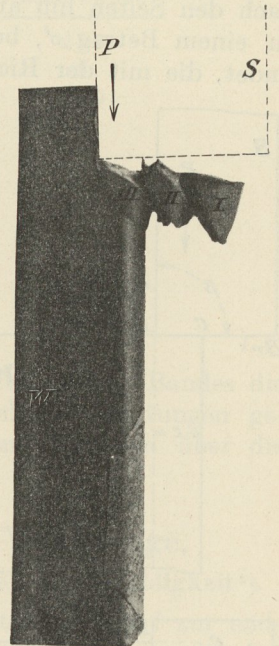


Abb. 426. Lagerweißmetall.

Unter die trotz verhältnismäßig geringer Härte schwer bearbeitbaren Stoffe gehört auch der hochprozentige Nickelstahl (25 bis 30% Nickel) und besonders

auch das Messing, wenn es im wesentlichen nur aus Kupfer und Zink ohne größere Mengen von Fremdstoffen besteht. Im Interesse der Verbesserung der Bearbeitbarkeit durch schneidende Werkzeuge setzt man dem sehr geschmeidigen Messing Stoffe zu, die die Geschmeidigkeit herunterdrücken, wie z. B. Blei. Namentlich geschieht dies bei Stangenmessing, das auf Drehbänken, insbesondere Revolverdrehbänken und Automaten, bearbeitet werden soll.

Wir kommen nach obigen Betrachtungen zu dem Gesetz, daß die Bearbeitbarkeit der Stoffe durch schneidende Werkzeuge sowohl von der Härte (z. B. Kugeldruckhärte), als auch von der Geschmeidigkeit abhängt. Sowohl große Härte, als auch große Geschmeidigkeit erschweren die Bearbeitung.

2. Vorrichtung zur Prüfung des Grades der Bearbeitbarkeit.

354. Um einen Maßstab für die Bearbeitbarkeit der zu bearbeitenden Stoffe zu erhalten, wird man am sichersten das Versuchsverfahren unmittelbar auf dem Vorgang der Spanabhebung aufbauen. Hierbei muß so vorgegangen werden, daß nur eine, für die Bearbeitbarkeit kennzeichnende Größe x als Veränderliche auftritt, alle anderen auf die Bearbeitung einwirkenden Umstände aber unveränderlich erhalten werden. Als solche Umstände kommen in Betracht: Material des Werkzeugs und seine Vorbehandlung (Härten, Anlassen); Form und Abmessungen des Werkzeugs, insbesondere die Ausbildung der Schneidkanten; Erhaltung der Schneidkanten in möglichst unverändertem Zustande während der Versuchsdauer; Schnittgeschwindigkeit, Spantiefe, Größe des Vorschubs.

Als veränderliche Größe x kann z. B. gewählt werden der in der Zeiteinheit zurückgelegte Weg des Werkzeugs bei unveränderter Größe des Andrucks P des

Werkzeugs, der Spantiefe t und der Spanbreite b . Man kann den Versuch auf der Hobelmaschine oder der Drehbank ausführen. Man kann auch den Bohrversuch heranziehen, indem man einen Bohrer von bestimmtem Durchmesser unter unveränderlichem Andruck P mit unveränderlicher Umdrehungsgeschwindigkeit auf den zu prüfenden Stoff einwirken läßt, und die in einer bestimmten Zeit oder nach einer bestimmten Anzahl von Umdrehungen erreichte Lochtiefe als veränderliche Größe x und somit als Maßstab für die Bearbeitbarkeit wählt. Diesen Weg hat Chas. A. Bauer ($L_4 110$) mit seiner Bohrvorrichtung zur Prüfung der Bearbeitbarkeit besprochen. Vgl. auch Keep ($L_4 104, 105$), Leyde ($L_4 107$) und Reiningger ($L_4 106$). Die Vorrichtung zeichnet selbsttätig die vom Bohrer erreichte Lochtiefe als Abszisse und die zur Erreichung der Lochtiefe erforderliche Zahl der Bohrerumdrehungen als Ordinate auf. Man erhält dann Schaulinien wie in Abb. 427. Ist das zu prüfende Material über der ganzen Lochtiefe gleichartig und tritt merkliche Abstumpfung des Bohrers während der Versuchsdauer nicht ein, so ist die Schaulinie eine Gerade, wie z. B. I oder II in Abb. 427. Der Stoff I ist schwerer bearbeitbar, als der Stoff II, weil beim ersteren nach 100 Umdrehungen nur 5 mm, bei letzterem dagegen nach der gleichen Zahl von Umdrehungen 10 mm Lochtiefe erzielt worden sind.

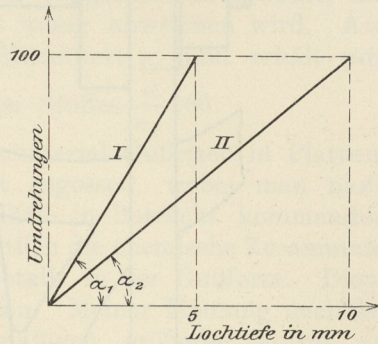


Abb. 427.

Bauer verwendet als Maßstab für die Bearbeitbarkeit den Winkel α , den die Schaulinie mit der Abszissenachse bildet. Je größer dieser Winkel ist, desto schwerer bearbeitbar ist der geprüfte Stoff. α kann innerhalb der Grenzen 0 und 90° liegen. Im letzteren Falle ist das Material mit dem verwendeten Bohrer nicht bearbeitbar.

Die Bauersche Vorrichtung sowie die in Deutschland bisher nach demselben Grundsatz gebauten Einrichtungen sind meist selbständige Maschinen, deren Preis verhältnismäßig hoch ist. Ich bin der Meinung, daß die Einführung des Bohrversuchs zur Prüfung auf Bearbeitbarkeit in vielen Werkstätten gefördert würde, wenn die Versuche auf einer Vorrichtung durchgeführt werden können, die an jeder gewöhnlichen senkrechten Bohrmaschine angebracht wird, ohne diese dadurch für ihre gewöhnliche Arbeit unbrauchbar zu machen. Dadurch werden die Beschaffungskosten der Vorrichtung geringer.

Eine dieser Bedingung entsprechende Vorrichtung ist von A. Kessner ($L_4 108$) auf meine Veranlassung hin entworfen worden. Sie ist in Abb. 428 schematisch dargestellt.

Das zu prüfende Material 22 ruht auf dem Tisch 24 der gewöhnlichen senkrechten Bohrmaschine. Zur Prüfung wird beispielsweise ein Spiralbohrer 25 verwendet, der in der Spindel 1 der Bohrmaschine befestigt wird. Die Umdrehungen der Bohrspindel werden durch Zahnräder 2 und 3 auf die Gewindespindel 4 übertragen, deren bewegliche Mutter 5 seitlich durch Säulen 6 geführt wird. Die Mutter trägt den Schreibstift 7, der durch Feder 8 und Stellschraube 9 leicht gegen die Trommel 10 des Selbstzeichners angedrückt wird. Die Übersetzung ist so gewählt, daß zwei Umdrehungen der Bohrspindel 1 einem Weg von 1 mm des Schreibstiftes 7 entsprechen.

Gewindespindel 4, Führungssäulen 6 und Trommel 10 sind auf der Platte 11 angeordnet, die mit dem Gestell der Bohrmaschine verschraubt wird.

Auf dem freien Zapfen 12, der beim gewöhnlichen Werkstattbetrieb zur Handschaltung dient, wird der Belastungshebel 13 befestigt, der aus zwei Kreisbögen 14 und 15 besteht. Das an dem Kreisbogen 14 angehängte Gewicht sucht Drehung des Zapfens 12 samt dem auf ihm befestigten Zahnrad 16 zu bewirken. Das letztere greift in die an der Bohrspindel 1 befestigte Zahnstange 17 und bewirkt somit Andruck des Bohrers 25 gegen das Werkstück 22 mit einer bestimmten von der Größe des Gewichts 18 abhängigen Kraft P . Die Abwärtsbewegung der Bohrspindel wird mittels Kreisbogens 15, eines dünnen Drahtes 19, der Führungsrollen 20 und 21 auf die Trommel 10 des

Selbstzeichners übertragen, die dabei Drehung um ihre senkrechte Achse erfährt. Die Anordnung ist so getroffen, daß 1 mm Lochtiefe einer Abszisse von 5 mm im Schaubild entspricht.

Die näheren Einzelheiten und die Art der Versuchsausführung sind in der Quelle (*L₁ 108*) beschrieben.

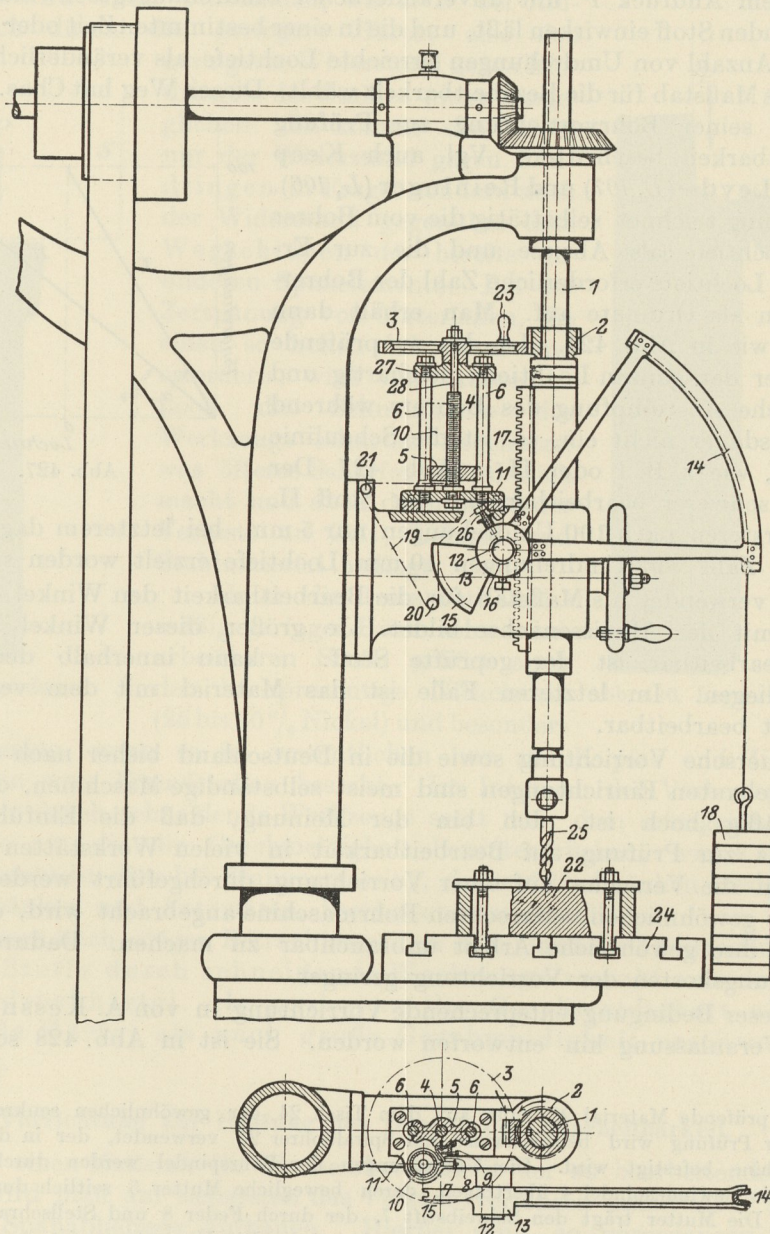


Abb. 428. Vorrichtung zur Prüfung der Bearbeitbarkeit. Bauart Kessner.

Die Bohrvorrichtung kann nur einen Vergleichswert, keinen absoluten Zahlenwert für die Bearbeitbarkeit des Materials liefern, denn die erhaltenen Winkel α (Abb. 427) werden für ein und dasselbe Material abweichen je nach der Art des zur Herstellung der Bohrer verwendeten Stahls und seiner Vorbehandlung, je nach der Größe der für den Schnitt wesentlichen Winkel und Abmessungen des Bohrers und nach dem Andruck P und der Umdrehungszahl, sowie nach dem fortschreitenden Stumpfwerden desselben.

Um alle diese veränderlichen Größen auszuschalten, ist man so vorgegangen, daß man die Bearbeitbarkeit des zu prüfenden Stoffes zu der eines Vergleichsstoffes in Vergleich setzt. Man bohrt zunächst den Vergleichsstoff und erhält den Winkel α_n' . Dann bohrt man mit demselben Bohrer unter sonst gleichbleibenden Verhältnissen ohne zwischengeschaltetes Schleifen das zu prüfende Material, das den Winkel α ergibt. Um nun den Einfluß etwaigen Stumpfwerdens des Bohrers auszuschalten, wird hinterher nochmals der Vergleichsstoff gebohrt, der nun den Winkel α_n'' liefern möge, der von α_n' nur wenig abweichen wird. Aus den beiden Werten α_n' und α_n'' bildet man den Mittelwert α_n und erhält nun die vergleichsweise Bearbeitbarkeit des zu prüfenden Stoffes $\frac{\alpha}{\alpha_n} 100$.

Leyde und Reiningger wenden als Vergleichsmaterial Gußeisen in Plattenform an. Die Platten werden in größerem Vorrat gegossen, wobei man nach Möglichkeit alle die für die Bearbeitbarkeit und Härte in Betracht kommenden Einflüsse unveränderlich zu halten sucht, also namentlich die chemische Zusammensetzung und die Abkühlungsgeschwindigkeit des Metalls in der Gußform. Diese Bedingungen sind durchaus nicht leicht zu erfüllen. Meiner Meinung nach ist gerade die Schwierigkeit, einen in sich gleichmäßigen größeren Vorrat an Vergleichsgußeisen herzustellen, die Ursache gewesen, daß in manchen Gießereien die Verwendung des Bohrversuchs wieder aufgegeben worden ist. Wenn der Vorrat des Vergleichsgußeisens in sich nicht sehr gleichmäßig ist, so ist natürlich auch das Ergebnis des Bohrversuchs in gleichem Maße schwankend. Mir selbst ist es noch nicht gelungen, einen größeren Vorrat an Vergleichsgußeisen zu beziehen, welcher der Bedingung der Gleichmäßigkeit im wünschenswerten Maße entsprochen hätte. Ich halte das Gußeisen auch für den Stoff, bei dem diese Bedingung sich am schwersten erfüllen läßt.

Ich habe Versuche veranlaßt, die darüber Aufschluß geben sollen, ob nicht geschmiedete oder gewalzte Stangen von Kupferlegierungen von genau bestimmter chemischer Zusammensetzung und genau festgelegter Vorbehandlung sich besser als Vergleichsstoff eignen. Die Versuche sind noch nicht zu Ende geführt.

Da die Schaulinie nicht immer geradlinig läuft, wie die Linien I und II in Abb. 427, sondern wegen Ungleichmäßigkeiten im zu prüfenden Metall innerhalb der Lochtiefe, oder wegen Stumpfwerdens des Bohrers von der Geraden mehr oder weniger abweichen, so ist es schwierig, den Winkel α zu messen. Es empfiehlt sich daher, die nach einer bestimmten Anzahl von Umdrehungen (z. B. 100) erreichte Lochtiefe in mm als Maßstab für die Bearbeitbarkeit zu benutzen. Dieser Maßstab für die Bearbeitbarkeit soll im folgenden mit t_{100} bezeichnet werden.

Es empfiehlt sich weiter, neben Bohrversuchen mit kurzer Dauer auch solche mit längerer Dauer auszuführen, dadurch daß man mehrere Löcher hintereinander bohrt, ohne dazwischen den Bohrer zu schärfen. Man erkennt aus solchen Versuchen, ob ein Material bei längerer Einwirkung mehr auf Stumpfwerden des Bohrers wirkt, als ein anderes.

3. Beispiel für die Anwendungsfähigkeit des Bohrversuchs.

355. Als Beispiel dafür, daß die mittels der Bohrvorrichtung ermittelte Bearbeitbarkeit nicht mit der Kugeldruckhärte parallel zu gehen braucht, sei nachfolgende Versuchsreihe über den Einfluß des steigenden Bleizusatzes zu Messing mitgeteilt. Die Kugeldruckhärte $P_{0.05}$ wurde nach dem Verfahren von Martens-Heyn (351), die Bearbeitbarkeit mit Hilfe der Bohrvorrichtung Bauart Kessner (354) bestimmt. Verwendet wurde ein Bohrer aus Novostahl von 10,5 mm Durchmesser, der 197 Umdrehungen in der Minute machte und mit $P = 71$ kg gegen das Material

gedrückt wurde. Er wurde vor dem Beginn des Bohrens eines jeden Lochs auf einer Spiralbohrerschleifmaschine auf gleiche Winkel geschliffen. Die Legierungen enthielten Kupfer und Zink stets im Verhältnis 2:1, und im übrigen den als Abszisse in Abb. 429 angegebenen Gehalt an Blei. Sie waren in eiserne Formen zu Stäben von 25×25 mm Querschnitt bei etwa 140 mm Länge gegossen. Bei den bleireicheren Legierungen war bereits mit bloßem Auge Entmischung bemerkbar. In der Legierung waren kleine weißliche, tropfenförmige Einschlüsse einer bleireicheren Legierung unregelmäßig eingesprengt. Die Legierungen waren auch nicht alle frei von kleinen Poren. Beides machte sich bei der Feststellung der Kugeldruckhärte bemerkbar, die bei Eindrücken an verschiedenen Stellen derselben Probe oft erhebliche Abweichungen gab. Die in der Abb. 429 angegebenen Versuchswerte sind das Mittel aus mehreren Einzelwerten. Bei der Bearbeitbarkeit erstreckt sich der Versuch über ein größeres Volumen des Metalls. Deswegen treten hier die Einflüsse der Unregelmäßigkeiten der Legierungen infolge von Poren und Seigerung weniger deutlich zutage. Auch hier sind die Mittelwerte aus mehreren Versuchen angegeben.

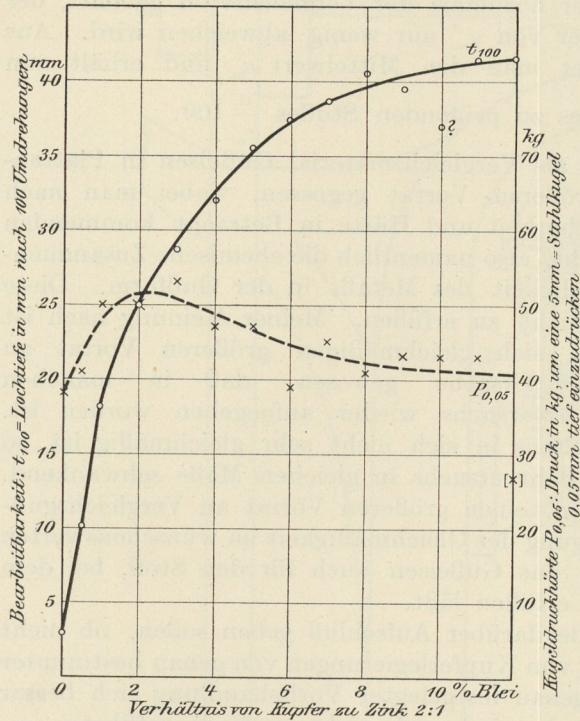


Abb. 429. Bearbeitbarkeit und Kugeldruckhärte von gegossenem bleihaltigen Messing.

außerordentlich rasch gesteigert wird. Bereits $\frac{1}{2}\%$ Blei steigert die Bearbeitungsfähigkeit auf den dreifachen Betrag gegenüber der bleifreien Legierung. Man ersieht hieraus die wesentliche Rolle, die die Verminderung der Geschwindigkeit des Messings durch Blei für die Bearbeitbarkeit spielt.

Die Kugeldruckhärte $P_{0,05}$ wird durch geringen Bleizusatz zunächst gesteigert und strebt dann wieder abwärts einem Grenzwert zu. Trotz der Steigerung der Kugeldruckhärte bis 2% Blei werden die Legierungen leichter bearbeitbar.