

IV. Der Gefügebau der Metalle und Legierungen und die Gefügebeobachtung.

1. Allgemeines.

226. Die ältesten Versuche, sich über den Gefügebau von Metallen und Legierungen Aufklärung zu verschaffen, beruhten auf der Beobachtung des Aussehens der Bruchflächen mit oder ohne Zuhilfenahme des Mikroskops. Man faßte die Gesamtheit der im Bruch beobachtbaren Erscheinungen mit dem Namen Bruchgefüge zusammen. Es stellte sich mit der Zeit heraus, daß das Bruchgefüge nicht ausschließlich abhängig ist von dem Gefügebau des Metalls oder der Legierung, sondern in erster Linie durch die Art bedingt wird, wie der Bruch zustande kommt. Unter Umständen kann das eigentliche Gefüge des Materials durch die Art der Herbeiführung des Bruches, z. B. öfteres Hin- und Herbiegen, völlig verändert werden, so daß ein Schluß aus dem Bruchgefüge auf das ursprünglich vorhandene Gefüge zu Irrtümern führen muß. Trotz gleichen Gefügebau kann das Bruchaussehen wesentliche Unterschiede zeigen, je nachdem ob der Bruch plötzlich herbeigeführt wird, oder ob er die Folge häufig wiederholter Beanspruchungen (Dauerbruch) ist. (I, 117—128; 210—211; 276; 333—340.) Der Ausdruck „Bruchgefüge“ ist aus allen diesen Gründen unglücklich gewählt und soll im folgenden durch die Bezeichnung „Bruchaussehen“ ersetzt werden. Man muß äußerst vorsichtig mit den Rückschlüssen sein, die man aus dem Bruchaussehen auf das Gefüge zieht, und es ist als ein wahres Glück zu betrachten, daß das große Fabelreich über den inneren Aufbau der Metalle und Legierungen, das auf Grund des Bruchaussehens entstanden war, durch die spätere Forschung, die das Gefüge unmittelbar zu beobachten lehrte, endgültig zerstört ist. Es haben sich aus dieser Zeit allerdings noch verschwommene Begriffe vereinzelt erhalten, wie es ja leider eine Tatsache ist, daß Ausdrücke um so schneller Verbreitung finden und um so schwieriger ausgerottet werden können, je verschwommener und nichtssagender sie sind.

Es soll natürlich nicht geleugnet werden, daß man auf Grund des Bruchaussehens wertvolle Aufschlüsse über die Eigenschaften eines Materials erlangen kann. Hierbei muß aber die Art der Herbeiführung des Bruchs volle Berücksichtigung finden. Die Abschätzung dieses Einflusses ist so schwierig und erheischt eine so weitgehende Erfahrung, daß sie nur wenigen Menschen und dazu nur auf einem recht engbegrenzten Gebiete gelingt. Die Beurteilung der Beschaffenheit und Zusammensetzung der Legierung auf Grund des Bruchaussehens spielt z. B. eine wichtige Rolle im Stahlwerksbetriebe. Man erleichtert sich hier aber die Beurteilung insofern, als man den Bruch stets unter gleichbleibenden Bedingungen erzeugt, so daß der Einfluß der verschiedenen Art der Brucherzeugung, der als Veränderliche die Beurteilung erschwert, ausgeschaltet wird. Man schmiedet die Eisenproben von einem Blöckchen mit unverändert gehaltenen

Abmessungen herunter auf einen Stab von stets gleichem Querschnitt, sucht das Schmieden innerhalb möglichst unveränderlicher Temperaturgrenzen durchzuführen und führt den Bruch meist nach dem Abschrecken des Materials von einer immer gleichbleibenden Temperatur in Wasser herbei. Hierbei wird die Sprödigkeit des Materials erhöht, so daß es möglichst mit einem Schlag plötzlich abbricht, und das Gefüge nicht erst durch Hin- und Herbiegen wesentlich verändert wird. Ein geübtes Auge kann nun aus dem Bruchaussehen ein gewisses Urteil über die Beschaffenheit des Materials erlangen. Die Zuverlässigkeit dieses Urteils hängt von der Gleichmäßigkeit ab, mit der die Vorbehandlung des Materials vor der Erzeugung des Bruchs durchgeführt wird. Die Beurteilung auf Grund des Bruchaussehens wird in der Regel noch unterstützt durch Beobachtung des Widerstandes gegenüber der Herbeiführung des Bruches. Das so gewonnene Urteil wird auch nur als vorläufige Unterlage benutzt und in jedem geordneten Betrieb durch nachträgliche chemische Analyse und durch Feststellung der mechanischen Eigenschaften überprüft und laufend kontrolliert.

Auf der anderen Seite ist es aber teilweise zu einer Art Sport geworden, aus Brucherscheinungen auf die Qualität des Materials zu schließen, ohne daß der Einfluß der Art der Brucherzeugung in Rücksicht gezogen wird. Meist bringen es in diesem Sport solche Leute sehr weit, die keiner Kontrolle bezüglich der Richtigkeit ihrer Schlußfolgerungen unterliegen. Bricht z. B. eine schwere Welle plötzlich entzwei und der Bruch erscheint grobkristallinisch, so pflegen solche „Kenner“ zu schließen, daß das Material spröde und untauglich sei. Bringt man dann die gebrochenen Zerreißstäbe herbei, die bei Gelegenheit der Abnahme der Welle zerrissen wurden, und die feinkörnigen Bruch zeigen, so ist der betreffende „Fachmann“ nicht in Verlegenheit zu bringen. Er behauptet, das Material wäre früher zur Zeit der Abnahme von der richtigen Beschaffenheit gewesen, habe sich aber im Betrieb verändert und sei grobkristallinisch geworden. Dies läßt sich dann in der Regel dadurch widerlegen, daß man Zerreißstäbe aus der gebrochenen Welle herstellt, die dann auf dem Bruch wieder das feinkörnige Aussehen aufweisen. Man hat eben nicht berücksichtigt, daß der Zerreißstab erst nach reichlicher Formänderung (Dehnung und Einschnürung) bricht und die den Zerreißversuch kennzeichnenden Merkmale aufweist, während der Bruch der Welle durch irgendeine Überanspruchung plötzlich, ohne wesentliche vorausgegangene bleibende Formänderung erfolgt sein kann. Die Brucherscheinungen müssen dann in beiden Fällen verschieden sein.

227. Welche Schlüsse aus dem Bruchaussehen gezogen werden dürfen, und in welcher Weise man hierbei verfahren muß, um zu richtiger Schlußfolgerung zu gelangen, läßt sich nicht in einfache Regeln zusammenfassen (Vgl. hierüber auch I, 117 bis 128, 210, 333 bis 340). Jedenfalls ist es unerlässlich, die aus dem Bruchaussehen gezogenen Schlüsse durch Beobachtung des wirklichen Gefüges, wie es nach den später zu beschreibenden Verfahren sichtbar gemacht werden kann, nachzuprüfen. Ich will nur einige Beispiele anführen, die erkennen lassen, zu welchen Trugschlüssen man bei der Beurteilung aus dem Bruchaussehen gelangen kann, wenn man diese Nachprüfung unterläßt.

Tafelabb. 9, Taf. II, zeigt in natürlicher Größe die Bruchfläche eines Zerreißstabes aus einem Flußeisenkesselblech. Die wesentlich verschiedene Färbung und Körnung in der Mitte und am Rande könnte die Vermutung aufkommen lassen, daß in der Bruchfläche eine große Fehlstelle zutage getreten sei. (E. Heyn, *L*₃ 3.) Das eigentliche Gefüge ist aber, wie der Schliff senkrecht zur Bruchfläche in Tafelabb. 10, Taf. II, erkennen läßt, gleichartig. Die Verschiedenartigkeit im Bruchaussehen ist dadurch bedingt, daß der Bruch über *ab* zackig, auf den Streifen *ac* und *bd* verhältnismäßig glatt ist, wie es Abb. 162 schematisch andeutet.

In Tafelabb. 11, Taf. II, sind in natürlicher Größe Brüche von Zerreißstäben aus Stahl abgebildet. Sie zeigen dunkle Stellen, die auf Ungleichmäßigkeiten im Material hindeuten scheinen. Trotzdem ist das Gefüge gleichartig. Die Eigentümlichkeiten der Bruchflächen sind auf Trichterbildung beim Bruch zurückzuführen (I, 117 bis 128).

Tafelabb. 12, Taf. II, zeigt den Bruch eines Radreifens aus Nickelstahl. Die Streifung könnte wohl selbst einen erfahrenen Materialkenner zu dem Schluß ver-

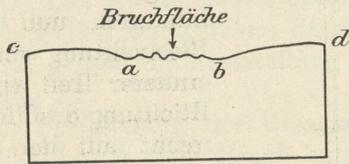


Abb. 162.

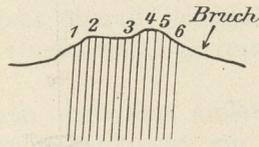


Abb. 163.

leiten, daß in den einzelnen Bändern Gefügeverschiedenheiten oder Verschiedenheiten in der chemischen Zusammensetzung bestehen. Beides ist aber nicht der Fall. Die Erscheinung beruht ausschließlich auf Eigentümlichkeiten des Bruchverlaufs. Das Material ist senkrecht zur Bruchfläche parallel der Richtung *aa* stenglig aufgebaut, wie es der geätzte Schliff in Tafelabb. 13, Taf. II, und die Handzeichnung Abb. 163 erkennen läßt. In letzterer ist die Richtung der Stengel durch Schraffur angedeutet. Je nachdem der Bruch die Stengel schräg durchsetzt (1—2, 3—4, 5—6 in Abb. 163), erscheint er von anderer Beschaffenheit, als wenn er sie senkrecht schneidet (2—3, 4—5 in Abb. 163).

228. In welcher Weise kann man nun das Gefüge der Metalle und Legierungen sichtbar machen? Der bei der Gesteinsuntersuchung gebräuchliche Weg, Dünnschliffe herzustellen und diese dann im durchfallenden Licht zu untersuchen, kann hier nicht begangen werden. Metallschliffe von der Dicke, wie sie bei Gesteinsdünnschliffen verwendet wird, sind wegen der geringen Lichtdurchlässigkeit der Metalle völlig undurchsichtig. Aber bereits die Herstellung solcher Dünnschliffe würde nur bei sehr wenigen Metallen durchführbar sein, und dann auch nicht, ohne daß das Material dabei solchen Beanspruchungen unterworfen wird, die eine Änderung des Gefüges zur Folge haben. Man war somit genötigt, vom durchfallenden Licht abzusehen und die metallischen Stoffe im auffallenden Licht zu beobachten. Zu diesem Zwecke versieht man die zu untersuchende Probe mit einer ebenen Fläche, schleift und poliert diese soweit, daß sie wie ein Spiegel die auf sie auftreffenden Lichtstrahlen zurückwerfen kann. Dieser Weg wurde zuerst besprochen von Sorby (*L₃ 1*) und unabhängig davon von A. Martens, dem Leiter des Kgl. Materialprüfungsamtes, Gr.-Lichterfelde (*L₃ 2*). Beide haben als Begründer der Gefügeuntersuchung der Metalle zu gelten. Die Arbeiten des Engländers Sorby blieben selbst in seinem eigenen Vaterlande zunächst gänzlich unbekannt, bis die Arbeiten von Martens erschienen, aus denen die technische Verwertbarkeit des Verfahrens ersichtlich war.

Die Gefügeuntersuchung an der Hand der Schliffe beginnt zunächst mit dem unbewaffneten Auge und wird alsdann bei allmählich wachsender Vergrößerung unter dem Mikroskop fortgesetzt. Um für die mikroskopische Beobachtung die nötige Beleuchtung zu erzielen, wird die geschliffene Fläche (der Schliff) selbst als Spiegel benutzt. Man kann im wesentlichen auf drei verschiedene Arten beleuchten, wie in den Abb. 164 A—C. Hierin ist *S* in jedem Falle die polierte Fläche der Metallprobe (Schlifffläche), *oo* ist die optische Achse, *ok* das Okular und *f* das Objektiv des Mikroskops. Bei der Anordnung *A* ist der Schliff schräg zur optischen

Achse gestellt. Das einfallende zerstreute Tageslicht e wird von der Schlieffläche zurückgeworfen und gelangt in der Richtung a in das Objektiv f . Bei der Anordnung B steht die Schlieffläche S senkrecht zur optischen Achse. Die von einer künstlichen Lichtquelle herkommenden Strahlen e treffen auf ein dünnes unter 45° zur optischen Achse geneigtes Planparallelglas pl . Ein Teil des Lichtes geht in der Richtung e' durch das Plättchen hindurch und ist für die Beleuchtung verloren. Ein anderer Teil wird in der Richtung des Pfeiles 1 senkrecht auf den Schliff geworfen. Von diesem wird das Licht in der Richtung des Pfeiles 2 zurückgeworfen und gelangt nochmals auf das Planparallelglas pl . Hierbei geht ein Teil des

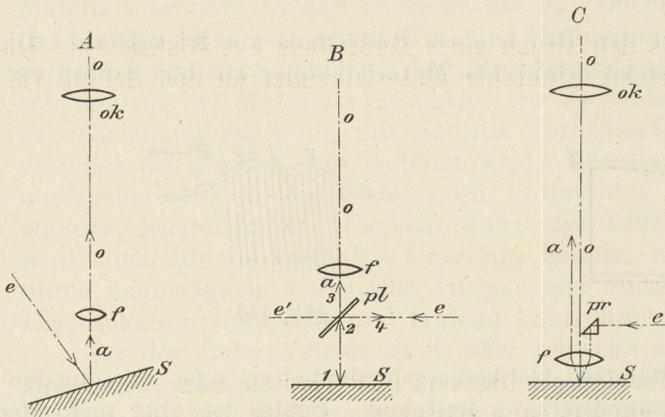


Abb. 164.

Lichts in der Richtung 3 durch das Glas pl hindurch in das Objektiv f . Ein anderer Teil wird von pl in der Richtung des Pfeiles 4 von pl zurückgeworfen und geht für die Beleuchtung verloren. Die Beleuchtungsverluste bei der Anordnung B sind somit beträchtlich. Das Plättchen pl kann auch hinter der Linse f , zwischen Okular ok und Objektiv f , angebracht werden.

Bei der Anordnung C steht die Schlieffläche S wiederum senkrecht zur optischen Achse. Der von einer künstlichen Lichtquelle einfallende Strahl e gelangt zunächst auf ein über dem Objektiv f befindliches totalreflektierendes Prisma pr , das das Objektiv zur Hälfte verdeckt. Von diesem Prisma gelangt der Strahl in der gezeichneten Weise auf das Objektiv und wird von diesem auf die Schlieffläche S gelenkt. Der Schliff wirft das Licht zurück, so daß es durch das Objektiv in der Richtung a in das Mikroskop eintritt. Das Objektiv hat hier also einen doppelten Zweck zu erfüllen: einmal dient es zur Konzentration des von der Lichtquelle kommenden Lichtbüschels und sodann zur Erzeugung des mikroskopischen Bildes. Hierbei entsteht nicht etwa nur eine Bildhälfte auf der Seite des Objektivs, die vom Prisma pr nicht überdeckt ist, sondern es entsteht ein voller Bildkreis.

2. Die Herstellung und Vorbereitung der Schlicfe.

a) Probeentnahme und -vorbereitung.

229. In den folgenden Abschnitten will ich nur die Verfahren beschreiben, wie sie im Kgl. Materialprüfungsamt Gr.-Lichterfelde entwickelt worden sind, und wie sie vom Amt aus durch Ausbildung von Personen für Hochschulen und für praktische Laboratorien nach außen übermittelt wurden. Man kann auch auf andere Weise zum Ziele kommen. Die Hauptsache ist der Erfolg, nicht der Weg, auf dem er erzielt wird.

Wie bei der chemischen Analyse ist es auch bei der Gefügeuntersuchung von besonderer Wichtigkeit, daß die Probeentnahme sachgemäß erfolgt. Sie muß sich nach der Art des zu untersuchenden Gegenstandes richten. Kleine Gußblöcke schneidet man längs durch und erhält so einen Schliff, der das Gefüge des oberen Teiles des Blockes (Kopf) und des unteren Teiles (Fuß) enthält. Bei sehr großen Blöcken macht man Querschnitte, und zwar einen am oberen Block-