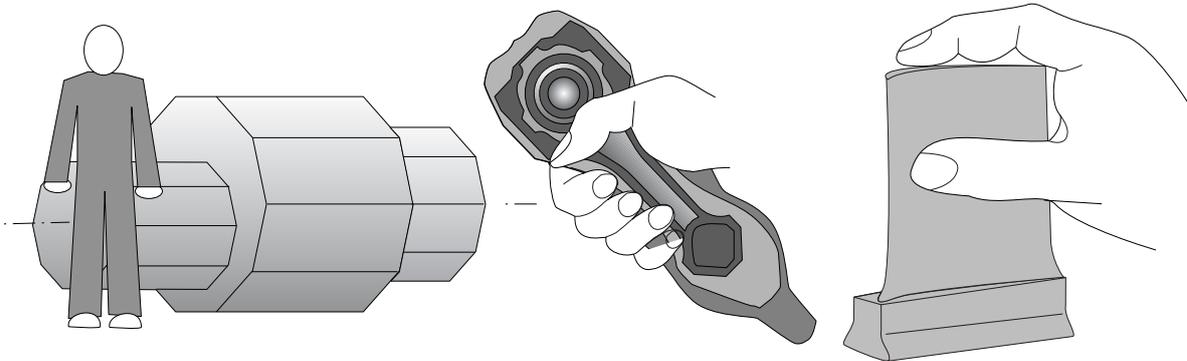


11.2.2 Schäden und Probleme an Schmiedeteilen

Freiformschmieden Gesenkschmieden Präzisionsschmieden



Schmieden wird in unterschiedlichen **Verfahren** durchgeführt: **Freiformschmieden** für sehr große Teile, Kleinserien und Einzelstücke. Konturnahes **Gesenkschmieden** für große Serien. **Präzisionsschmiedeteile** in Großserien erfordern nur noch minimalen Bearbeitungsaufwand. Als Sonderverfahren sei noch das **Kriechumformen** für hochwarmfeste Legierungen erwähnt. Natürlich gibt es eine Reihe verwandter Verfahren wie Walzen und Extrudieren die hier jedoch nur indirekt behandelt werden (Bild 11.2.2-2, siehe auch Bild 11.1-3).

Probleme und Schäden an Schmiedeteilen haben **bei Weitem nicht immer ihre Hauptursache im Schmiedeprozess obwohl häufig diesem zugeordnet**. Insbesondere die Beispiele in Kapitel 11.2.2.1 zeigen eine ganzheitliche Betrachtung.

Bereits die Erschmelzung bzw. der Gussblock, aus dem das Schmiedeteil durch Umformung entsteht, ist für viele Fehler verantwortlich. Dazu gehören Seigerungen, Gasblasen und Warmrisse. Diese Probleme werden in eigenen Kapiteln behandelt, die der Hauptursache zugeordnet sind (z.B. Gussteile in Kapitel 11.2.1).

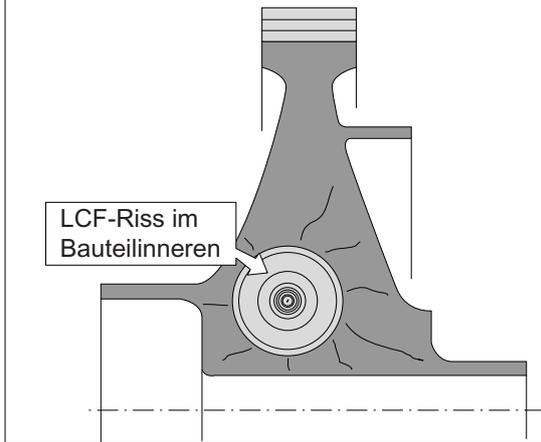
Auch während der Fertigung, beispielsweise der Zerspanung, chemischer Prozesse wie Ätzen, (Kapitel 12.2.1.7) und einer Wärmebehandlung (Kapitel 12.2.1.9) können Fehler ausgelöst werden. Sie sind sowohl hauptursächlich dem Schmiedeprozess aber auch Folgeprozessen zuordenbar. Zu diesen Schäden gehören Wasserstoffversprödung (Band 1 Kapitel 5.7) und Spannungsrisskorrosion (Band 1 Kapitel 5.6.3.1.1) sowie Verzug (Bild 12.2.1.1.2-2 „G“) als Folge von Schmieedeigenspannungen (Kapitel 12.2.2.4).

In Bild 11.2.2-1, Bild 11.2.2-2 und Bild 11.2.2-3 wird eine Zusammenstellung wichtiger Probleme und Schäden versucht (siehe auch Bild 11.2.2.1-1). Leider findet man etwas Vergleichbares wie es für Gussteile in vielen Standardwerken gibt (Bild 11.2-2.1) für Schmiedeteile offenbar nicht. Dazu wurden neben eigenen Erfahrungen Angaben und Beispiele aus der Literatur (Lit. 11.2-2) schematisch dargestellt. So soll dem **Konstrukteur**, bei dem nicht unbedingt intensive werkstofftechnische Kenntnisse vorauszusetzen sind, die Möglichkeit eines Überblicks gegeben werden. Er soll in die Lage versetzt werden, präventiv oder rückwirkend bei Schäden gezielt Untersuchungen einzuleiten bzw. Maßnahmen zu ergreifen. Ein besonderes Handicap sind **Fachbegriffe**. Sie werden häufig in der Literatur unterschiedlich oder diffus gebraucht. Dazu gehören Spannungsrisse, Warm- und Kaltrisse sowie Schmiederisse. Diesem Dilemma kann man sich auch hier nicht entziehen. Im Zweifelsfall gelten die genutzten Begriffserklärungen.

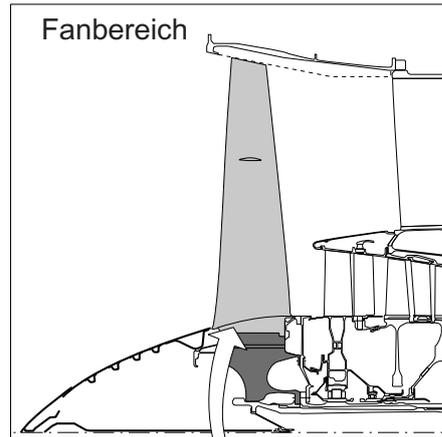
Probleme und Fehler an Bauteilen beim Schmiedeprozess.

A Schmiedeeigenspannungen

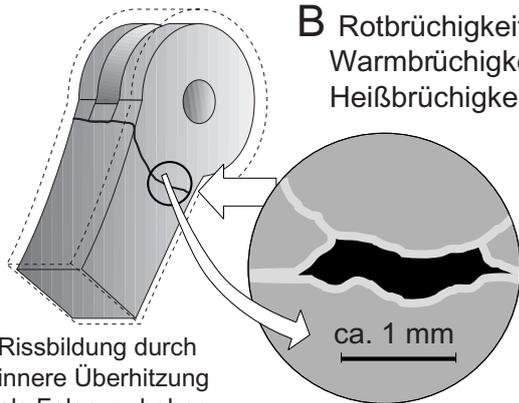
A1 Schwingriss in einem Turbinenrad, unterstützt durch hohe Eigenspannungen.



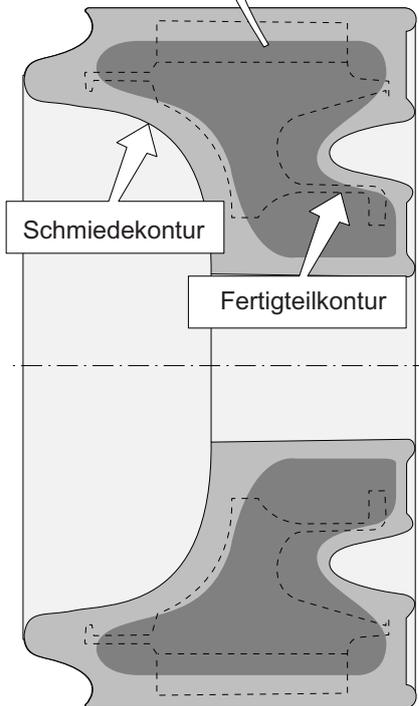
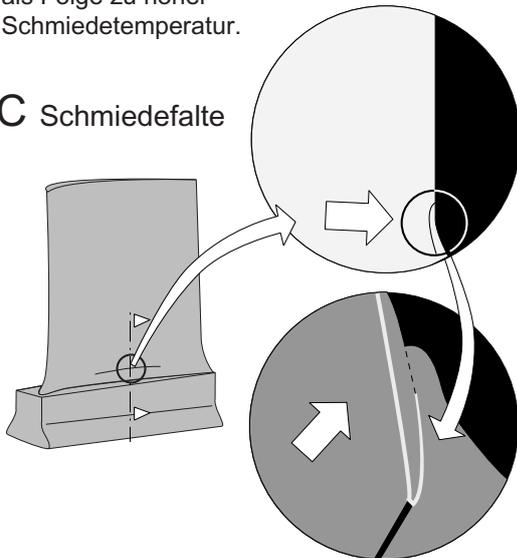
A2 Bruch einer Fanscheibe aus einer Titanlegierung



B Rotbrüchigkeit, Warmbrüchigkeit, Heißbrüchigkeit.



C Schmiedefalte



Zugeigenspannungsbereich im Rohteil

Bild 11.2.2-1

Bild 11.2.2-1 (Lit. 11.2- 2): Die Bildfolge Bild 11.2.2-1, Bild 11.2.2-2 und Bild 11.2.2-3 soll einen Überblick der dem Schmiedeprozess zurechenbaren Probleme und Schäden geben (siehe hierzu auch Bild 11.2.2.1-1).

„A“ **Schmiedeeigenstressen** sind in den **Außenzonen** meist vorteilhafte **Druckspannungen**. Im **Werkstückinneren** herrschen dagegen **Zugspannungen** die mit den Druckeigenstressen der Oberfläche im **Gleichgewicht** stehen. Erzeugen überlagerte Betriebsspannungen, z.B. durch Fliehkräfte oder /und Wärmedehnungen überlagernde Zugspannungen, kann es **im Inneren zu Ermüdungsrisen** kommen. Sie werden von der hohen Zugmittelspannung begünstigt („A1“, Band 1 Bild 5.4-11). Es können jedoch auch Zugeigenstressen im **Oberflächenbereich** des Schmiedeteils entstehen (z.B. bei einer Wärmebehandlung) die hier dann Schwingrisse auslösen („A2“, Bild 11.2.21-9).

Bei der **Zerspannung** können sich die Spannungen ändern und verlagern, es entsteht **Verzug** (Bild 12.2.1.1.2-2 „G“). Überlagern sich Zug-Betriebsspannungen, z.B. im Inneren rotierender Scheiben mit Zug-Schmiedeeigenstressen, **sinkt die ertragbare Mittelspannung**. Dann besteht erhöhte Gefahr einer **Schwingermüdung** (Bild 11.2.3.1-8, Bild 11.3-16 und Band 1 Bild 5.4.3.2-4).

Bei galvanischen Prozessen und Ätzen steigt das Risiko von **Spannungsrissskorrosion**.

Schmiedeeigenstressen entstehen durch

- plastische Verformungen bei **Wärmespannungen** und
- beim **Schmiedeprozess** (Bild 11.2.2-3 „K“) sowie
- verbleibende elastische Dehnungen infolge **Gefügeänderungen**.

Je höher die Warmfestigkeit, umso schwieriger ist es, Eigenstressen mit einer Glühung abzubauen (Band 4, Bild 18.4-15.1). Die Glühtemperatur ist dabei von unzulässigen Gefügeänderungen wie Kornwachstum oder Lösungsvorgängen begrenzt (Bild 11.2.2.1-1).

„B“ **Rotbrüchigkeit** hat die Bezeichnung, weil die Rissbildung bei Rotglut auftritt. Das ist der Fall, wenn niedrig **schmelzende Korngrenzenbeläge wie Sulfide** (z.B. Mn-Sulfid) vorhanden sind (**Warmrissigkeit**). Dieser Effekt ist besonders bei **Automatenstählen** zu erwarten. Hier wirken **Sulfide als Spanbrecher**. An hochlegierten Stählen und Ni-Legierungen kann bei deutlich höheren Temperaturen ein solches Verhalten ebenfalls auftreten (**Heißrissigkeit**). Offenbar besteht ein Zusammenhang mit gegenüber dem Korninneren wenige °C niedriger schmelzenden Korngrenzenverschiebungen (Bild 12.2.1.3.1-10 und Band 1 Bild 4.4-15).

Das Beispiel (Lit. 11.2-2) zeigt einen Teil einer Befestigungsschelle aus niedrig legiertem Stahl. Der Bruch geht von einem interkristallinen Riss aus. Er zeigt Anzeichen **aufgeschmolzener** (eng. incipient melting, 'burning') **entkohlter Korngrenzen** sowie typischer überhitzungsbedingter Porosität. Eine solche Überhitzung kann beim Schmieden mit hohen Temperaturen auftreten. Dabei wird die eingebrachte **Verformungsenergie zum Teil in Wärme umgesetzt und die Temperatur steigt örtlich gefährlich an**.

„C“ **Schmiedefalten** sind besonders bei **Gesenkschmiedeteilen** ein Problem. Sie entstehen durch Überschiebungen an geeignet orientierten Flächen in Richtung der Schließbewegung des Gesenks. Beim Freiformschmieden bilden sich Falten, die nicht mehr in nachfolgenden Schmiedeschritten diffusionsverschweißt werden (Detail oben). **Schlecht verschweißte oder durch Oxidation geschädigte Falten** sind besonders heimtückisch (Detail unten). Sie sind mit zerstörungsfreier Rissprüfung (z.B. Eindringprüfung) **nicht erkennbar**, haben jedoch eine **gefährlich niedrige Querkzugfestigkeit**.

Rohteil- und Halbzeugprobleme: Probleme und Schäden: Schmiedeteile

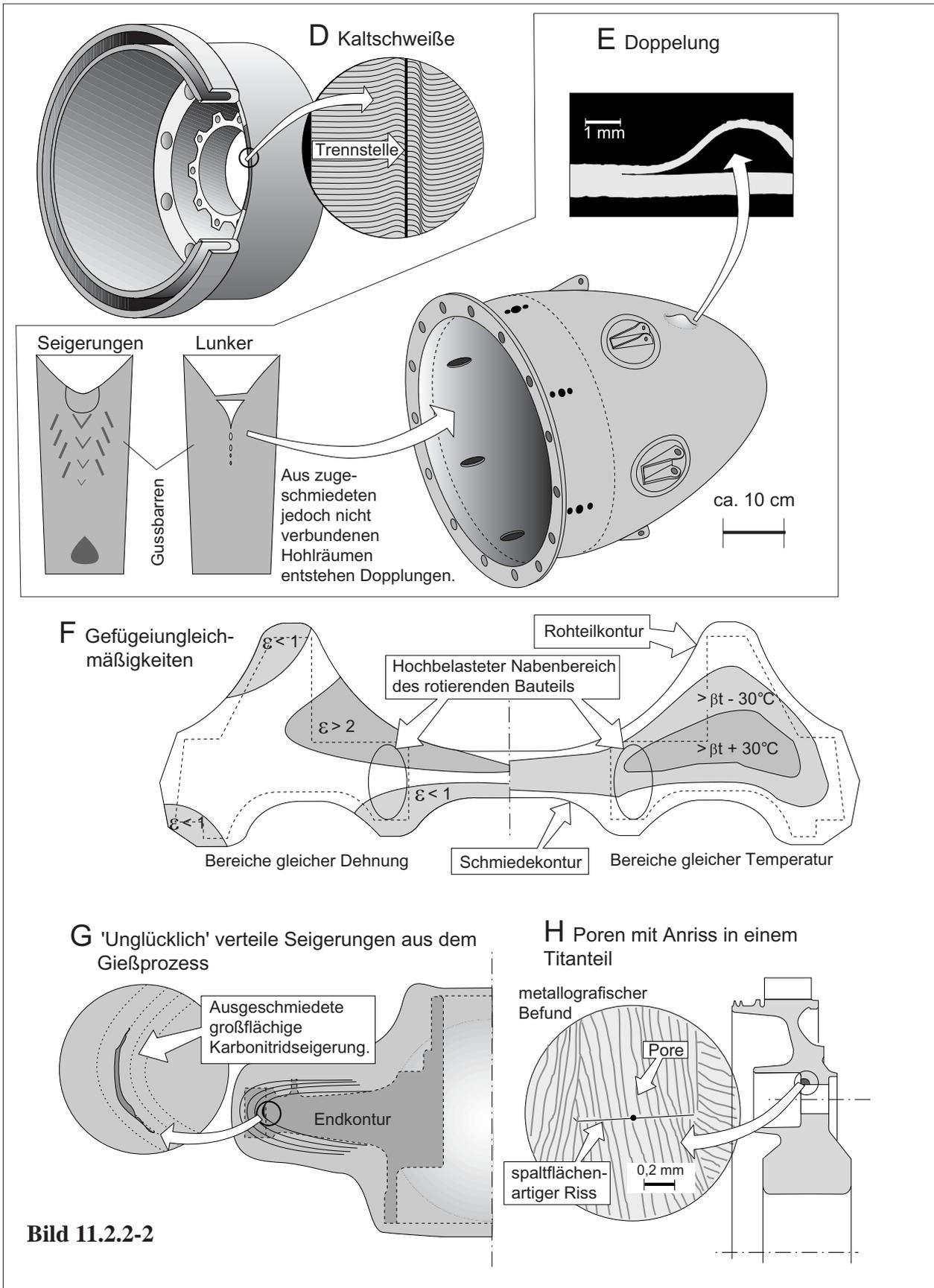


Bild 11.2.2-2 (Lit. 11.2- 2): Diese Bildfolge Bild 11.2.2-1, Bild 11.2.2-2 und Bild 11.2.2-3 soll einen Überblick der dem Schmiedeprozess zurechenbaren Probleme und Schäden geben (siehe hierzu auch Bild 11.2.2.1-1).

„D“ **Kaltschweißen**: Es handelt sich um **Trennungen beim Verformungsprozess** (Schmieden, Kneten), die wegen Oxidation oder zu niedriger Temperatur **nicht mehr diffusionsverschweißen** können (Bild 11.2.3.1-1). Es sei erwähnt, dass man auch bei **Gussteilen** Kaltschweißen kennt. Hier reichte die Temperatur der aufeinandertreffenden Schmelzströme für eine Verbindung nicht mehr aus (Bild 11.2-3, Bild 11.2-5, Bild 11.2-10 und Bild 11.2-14). Im dargestellten Fall einer Flugzeugfelge aus einer **Al-Legierung** trat die Kaltschweiße in Umfangsrichtung am **schroffen Übergang** zum Zentrieransatz auf (Lit. 11.2-2). Das Detail zeigt schematisch den Befund eines metallografischen Querschiffs. Man kennt die **oxidierte gestauchte Unterbrechung der 'Faserrichtung'** (Detail). Die Oxidation zeigt sich in einer **dunklen Färbung der Kaltschweiße auf der Betriebsbruchfläche**.

„E“ **Dopplungen** ähneln Kaltschweißen. Es handelt sich gewöhnlich um **ehemalige Gasblasen, Schrumpflunker** oder **Seigerungen**, die durch den Schmiedeprozess oder beim Walzen nicht mit einer Werkstoffverschweißung geschlossen werden. Gewöhnlich liegt die eigentliche Ursache im **Gussblock** (engl. ingot). Wird dessen fehlerhafter **Kopf nicht genügend weit abgeschnitten**, geraten Poren und Trennungen aber auch **Seigerungen** (siehe auch „G“, Bild 11.2.2.-2 und Bild 11.2.2-3) in das Schmiede- bzw. Walzteil. Im dargestellten Fall wurde die Dopplung im Blechkonus des Bauteils bei einer Wärmebehandlung zu einer **Blase** aufgeworfen (Bild 11.2.2.1-14).

„F“ **Gefügeungleichmäßigkeiten** (siehe auch Bild 11.2.2.1-1): Häufig nutzt man Gefügeungleichmäßigkeiten vorteilhaft, um in Werk-

stücken die Festigkeitseigenschaften den örtlichen Erfordernissen optimal anzupassen.

Gelingt dies, entgegen den Auslegungsvorgaben des Konstrukteurs nicht oder weichen die Gefüge fehlerhaft ab, kann man von Schmiedefehlern sprechen. Gefügemerkmale die zur Abweichung neigen sind

- **Kornorientierung**,
- **Korngrößen**, -anordnung und -verteilung,
- **'Faserverlauf'**, d.h. Ausrichtung von Gefügebestandteilen wie Karbide oder nichtmetallische Verbindungen (z.B. Sulfide, Nitride).
- ungenügende **Durchschmiedung** (Bild 11.2.2.-3 „K“).

Solche Probleme können auch auftreten, wenn sich Werkstücke mit dickeren oder sehr unterschiedlichen Querschnitten **nicht ausreichend gleichmäßig Durchwärmen und Abkühlen** lassen.

„G“ **Seigerungen** aus dem Gießprozess (siehe auch „E“). Diese können beim Schmieden entsprechend der Faserrichtung sehr ungünstig angeordnet werden (Bild 11.2.2.1-1 und Bild 11.2.2.1-22). Das gilt sowohl für eine **querwirkende Betriebsbeanspruchung** als auch für die **Auffindbarkeit mit einer zerstörungsfreien Prüfung** (Eindringprüfung, Ultraschall, Röntgen, Kapitel 13.3). Ist die Durchschmiedung örtlich ungenügend, können Seigerungen durch den Verformungsprozess **nicht günstig orientiert und/oder 'zerkleinert'** werden (Bild 11.2.3-2).

„H“ **Poren und innere Sprödrisse**: Dieses Phänomen wird auch als **Fischaugen** (Bild 12.2.1.3.1-22, engl. flakes) bezeichnet (siehe auch Bild 11.2.2-3 „L“). Solche Erscheinungen beobachtet man bei **Stählen** aber auch **Titanlegierungen**. In den meisten Fällen dürfte die **zentrale Pore durch Wasserstoff** entstehen. Bei Titanlegierungen nimmt man an, dass dieser während der **Schmelze** und beim **Erstarren** des Gussblocks in gelöster Form aufgenommen wurde. Unter **Zugeigenspannungen** (Abkühlung aus dem Guss- und/oder dem

Schmiedeprozess) scheidet sich der Wasserstoff an kleinen materialtypischen Kerbstellen im Gefüge aus und bildet Poren (Bild 11.2.2.1-4.1 und Bild 11.2.2.1-10).

Bild 11.2.2-3 (Lit. 11.2-2): Diese Bildfolge Bild 11.2.2-1, Bild 11.2.2-2 und Bild 11.2.2-3 soll einen Überblick der dem Schmiedeprozess zurechenbaren Probleme und Schäden geben (siehe hierzu auch Bild 11.2.2.1-1).

„**K**“ **Verformungsverhalten** beim Schmieden: Die **Reibung der Werkstückauflagefläche am Verformungswerkzeug** beeinflusst das Verformungsergebnis deutlich. Es bilden sich sog. **Druckkegel** in deren Innerem die Verformung sehr gering ist. An der Kegeloberfläche wirken hohe **Scherspannungen**. Die linke Skizze zeigt verschiedene **Verformungsgrade** eines zylindrischen Körpers mit zugehörigen Druckkegeln. Bei spröden Werkstoffen kommt es zu **45° orientierten Rissen**. Duktile Werkstoffe weisen bei ausreichend hohen Verformungen **radial verlaufende Risse** auf. Die nebenstehenden **Spannungs-Dehnungs-Diagramme** sind für einen Druckversuch typisch.

Heute verfügt man über **Computerprogramme** (Bild 11.3-13, Lit. 11.2-33 und Lit. 11.2-34) die

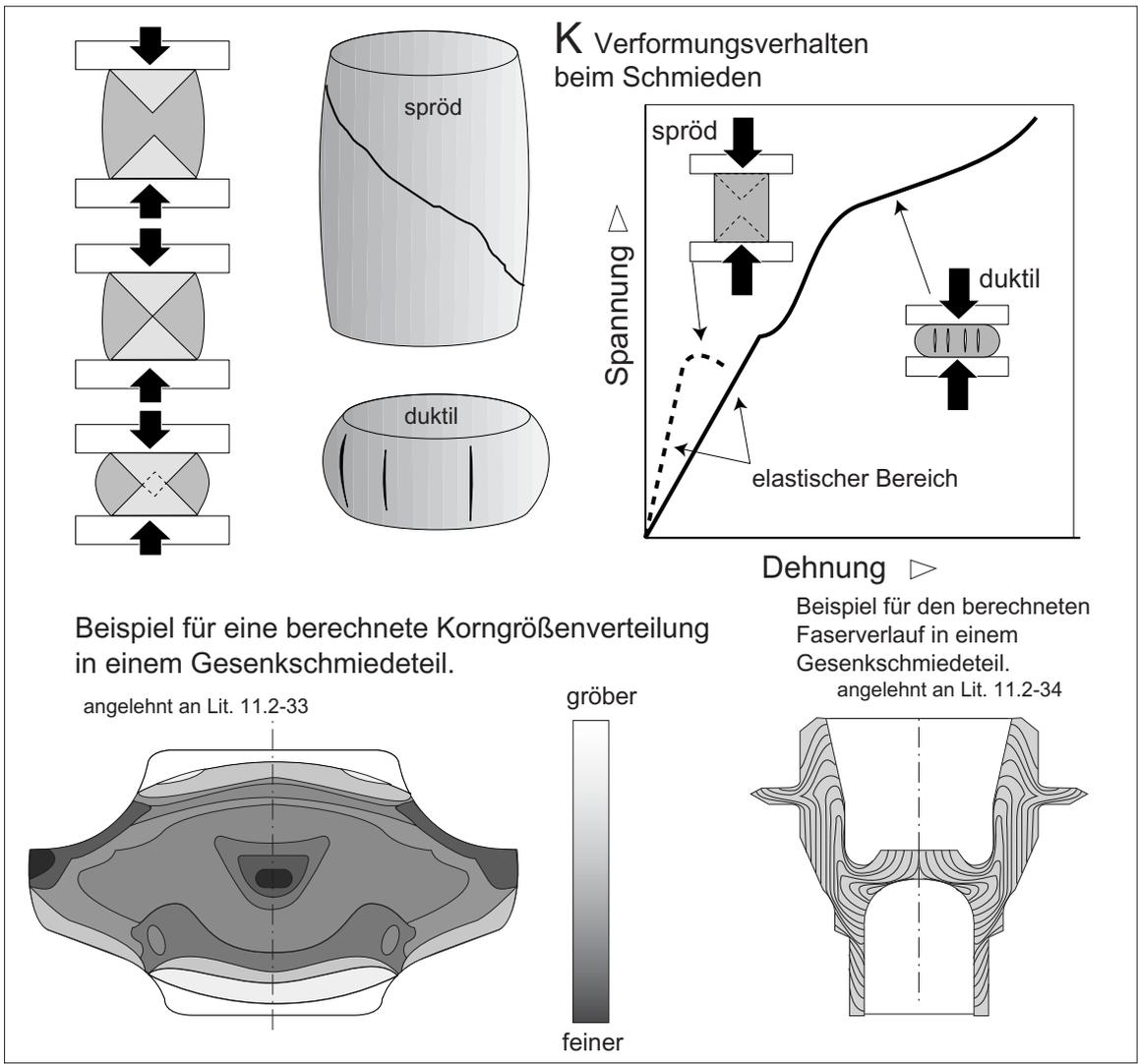
eine **Vorausberechnung/Simulation der Verformungen** und des **Faserverlaufs** im Werkstück ermöglichen (untere Skizzen).

„**L**“ **Kaltrisse** entstehen vorzugsweise bei **Umgebungs-/Raumtemperatur**. Gewöhnlich besteht der Verdacht einer **Wasserstoffversprödung** in Kombination mit ausreichend hohen **Zugspannungen** und **Fehlstellen**. Das typische, konzentrische Bruchbild des sog. **Fischauges** (Flockenriss, engl. flake) eines geöffneten Risses findet man auch bei anderen Fertigungsverfahren (Schweißen, Bild 12.2.1.3.1-22; Einsatzhärten, Band 1 Bild 5.7.2-2).

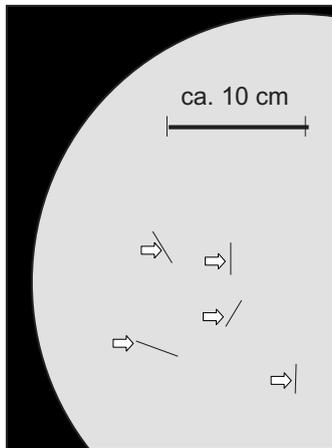
„**L1**“ zeigt eine Welle aus Vergütungsstahl mit ca. 40 cm Durchmesser (Lit. 11.2-2). Im Inneren lässt ein Querschliff mehrere **Risse in unterschiedlicher Orientierung** erkennen. Sie weisen darauf hin, dass, wie nach einer Schmiedung und/oder Wärmebehandlung zu erwarten, **innen Zugeigenspannungen und außen Druckeigenspannungen** vorhanden sind (Bild 11.2.2-1 „**A1**“). Zusätzlich befindet sich im Rissbereich jeweils ein **Sulfidpartikel** (Seigerung? Siehe Bild 11.2-2 „**D**“).

„**L2**“, der Querschliff lässt einen nahezu **konzentrischen Riss** in der Wand eines Hydraulikzylinders erkennen (Lit. 11.2-2). Der Riss folgt ausgeprägten **Sulfidzeilen**. Hier dürfte primär die Schwächung durch diese Fehlstellen den Riss unter hohen Radial-Zug-Eigenspannungen ausgelöst und den Verlauf bestimmt haben.

Rohteil- und Halbzeugprobleme: Probleme und Schäden: Schmiedeteile



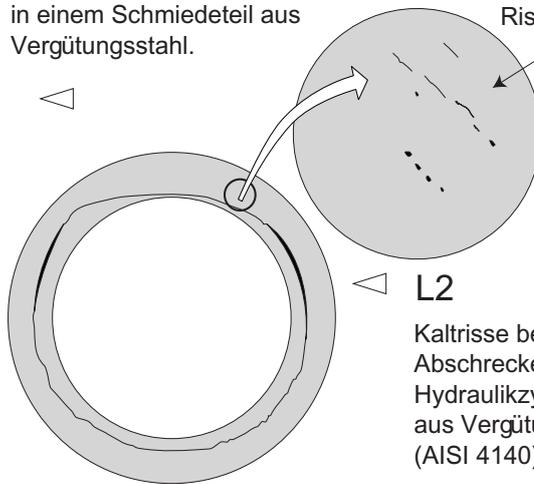
L Kaltrisse



L1

Wasserstoff-Flockenrisse in einem Schmiedeteil aus Vergütungsstahl.

Sulfidzeilen als Rissauslöser



L2

Kaltrisse beim Abschrecken eines Hydraulikzylinders aus Vergütungsstahl. (AISI 4140).

Bild 11.2.2-3

Rohteil- und Halbzeugprobleme: Probleme und Schäden: Schmiedeteile