

Zahnschäden an Zahnradgetrieben

Bezeichnung, Merkmale, Ursachen

DIN
3979

Tooth damages on gears; designation, characteristics, causes

Dédommagements de dents des engrenages; désignations, caractéristiques, causes

Die englischen Benennungen sind nicht Bestandteil dieser Norm und haben nur informativen Charakter; für ihre Richtigkeit kann trotz aufgewendeter Sorgfalt keine Gewähr übernommen werden.

Inhalt

	Seite		Seite
1 Geltungsbereich	2	2.1.5.1.2 Fortschreitende Grübchen	8
2 Schadensarten	2	2.1.5.2 Poren (Feinstausbrüche)	10
2.1 Zahnflankenschäden	2	2.1.5.3 Abplatzer	10
2.1.1 Verschleiß	2	2.1.5.4 Abblätterungen	11
2.1.1.1 Normaler Verschleiß	2	2.1.6 Deformationen	11
2.1.1.2 Schleifverschleiß	2	2.1.6.1 Eindrückungen	11
2.1.1.3 Verschleiß durch Eingriffsstörungen	3	2.1.6.2 Riffelbildung	11
2.1.1.4 Kratzer	3	2.1.6.3 Walz- und Stoßverformung	12
2.1.1.5 Riefen	3	2.1.6.4 Warmfließen	12
2.1.1.6 Fressen	4	2.1.7 Risse an den Zähnen	13
2.1.2 Korrosionen	5	2.1.7.1 Härterisse (Zugspannungsrisse)	13
2.1.2.1 Chemische Korrosion, Rost	5	2.1.7.2 Materialrisse	14
2.1.2.2 Passungsrost, Reibkorrosion	5	2.1.7.3 Schleifrisse	14
2.1.2.3 Verzunderung	5	2.1.7.4 Dauerbrüchanrisse	15
2.1.2.4 Ausglühen, Heißlaufen	6	2.2 Zahnbruch	15
2.1.3 Erosionen, Kavitationen	6	2.2.1 Gewaltbruch	15
2.1.4 Stromdurchgang	7	2.2.2 Dauerbruch oder Ermüdungsbruch	17
2.1.5 Zahnflanken-Ermüdungserscheinungen	7	Schrifttum	19
2.1.5.1 Grübchen	7	Stichwortverzeichnis	20
2.1.5.1.1 Einlaufgrübchen	7	Erläuterungen	19

Fortsetzung Seite 2 bis 20
Erläuterungen Seite 19

Normenausschuß Antriebstechnik (NAN) im DIN Deutsches Institut für Normung e. V.

Nachdruck, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung des DIN Deutsches Institut für Normung e. V., Berlin, gestattet.

1 Geltungsbereich

Diese Norm enthält Begriffsbestimmungen über Schäden an Zähnen von Zahnradgetrieben, wie sie als Folge von Werkstoffmängeln, Mängeln in der Dimensionierung, Herstellung und Warmbehandlung der Verzahnung, Wahl ungeeigneter Schmierstoffe, unzulässigen Belastungen und mangelhafter Wartung sowie infolge eines unsachgemäßen Einbaues des Getriebes in dem betreffenden Antrieb auftreten können.

In dieser Norm werden nur Schadensbilder beschrieben, deren äußere Erscheinungsform und deren Ursachen mit ausreichender Sicherheit bekannt sind. Es werden in erster Linie Schäden an Verzahnungen von Getrieben aus unlegierten und legierten Stählen der verschiedenen Warmbehandlungszustände und Härtungsverfahren beschrieben. Für Schadensbilder an Zähnen aus anderen Werkstoffen können die betreffenden Abschnitte dieser Norm sinngemäß angewendet werden.

Im Rahmen dieser Norm wird der Begriff des Schadens an einer Verzahnung oder an einem einzelnen Zahn auf alle erkennbaren Veränderungen der Zahnoberfläche oder der Zahnform während der Laufzeit des Getriebes erweitert, ohne daß diese Veränderungen eine Beschränkung der Betriebsfähigkeit oder den Ausfall des Getriebes zur Folge haben müssen.

2 Schadensarten

2.1 Zahnflankenschäden

2.1.1 Verschleiß (Wear)

Verschleiß ist ein allgemeiner Begriff, der die Abtragung von Werkstoff umfaßt, die beim Gleiten zweier Körper aufeinander eintritt. Hierzu gehört auch die Abtragung von Werkstoff infolge der Einwirkung von Verunreinigungen im Schmierstoff.

2.1.1.1 Normaler Verschleiß (Normal wear)

Hinweis: Hierzu gehört z. B. der Einlaufverschleiß.

Merkmale. Die durch die Herstellung vorhandene Oberflächenstruktur der Zahnflanken wie Fräs-, Schleif- und Schabemarken verschwinden allmählich, die Zahnflanken erhalten im Laufe der Betriebszeit eine glatte, oft glänzende Oberfläche. Normaler Verschleiß beeinflusst nicht die Lebensdauer und die ordnungsgemäße Funktion des Getriebes.

Ursachen. Da die Gleit- und Wälzgeschwindigkeiten der Zahnflanken je nach dem Grad der Oberflächenrauigkeit und der Viskosität des Schmieröles im allgemeinen nicht ausreichen, um einen zusammenhängenden Schmierölfilm zwischen den Zahnflanken aufbauen zu können, führt die Gleit- und Wälzbewegung zu einem Abscheren oder zu einer plastischen Verformung der Rauigkeitsspitzen, so daß die Oberflächen eingeebnet werden und die Rauheit verringert wird.

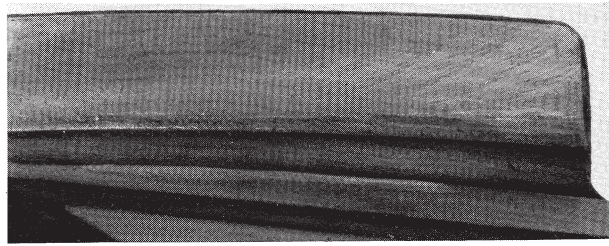


Bild 1.
Einsatzgehärtetes Stirnrad mit geschabter Verzahnung. Infolge des normalen Verschleißes sieht die Zahnflanke wie vernickelt aus, die Schabekonturen sind nur noch schwach zu erkennen.

2.1.1.2 Schleifverschleiß (Abrasive wear)

Merkmale. Die Zahnflanken zeigen eine gleichmäßige matte Oberfläche. Je nach der Laufzeit ist die ursprüngliche Fräs-, Schabe- oder Schleifstruktur weitgehend beseitigt. Im fortgeschrittenen Zustand ist eine Änderung der Zahnform und eine Vergrößerung des Zahnspiel feststellbar.

Ursachen. Feste Verunreinigungen im Schmieröl, wie Schleifstaub, Formsand, Rost, Zunder oder dergleichen wirken läppend auf die Zahnflanken. Diese Art des Verschleißes kann auch funktionsbedingt sein.

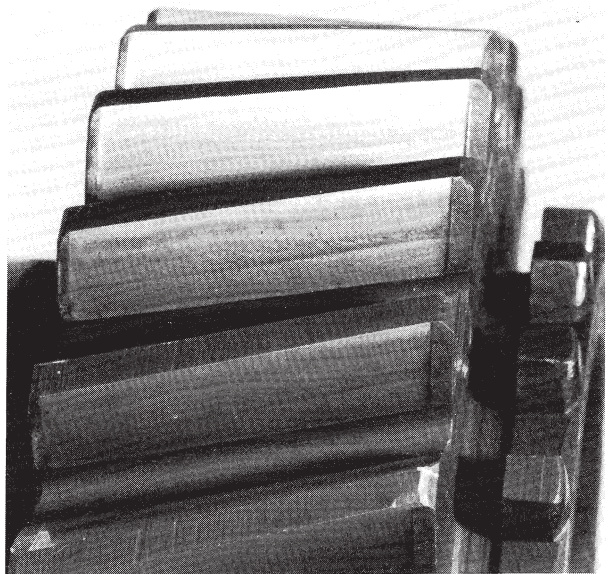


Bild 2.
Schleifverschleiß an einem einsatzgehärteten Zahnrad (Maßstab ca. 1 : 1)

2.1.1.3 Verschleiß durch Eingriffsstörungen (Interference wear)

Merkmale. In Zahnhöhenrichtung verlaufende Schabemarken am Zahnkopf bzw. am Zahnfuß. Nach längerer Laufzeit tritt eine Abrundung der Kopfkante und eine Aushöhlung des Zahnfußes ein. Das Laufgeräusch der Verzahnung kann verstärkt sein.

Ursachen. Bei Mängeln in der Geometrie der Verzahnung oder einer Unterschreitung des vorgeschriebenen Achsabstandes treten Eingriffsstörungen auf, die am Zahnkopf und Zahnfuß zu hohen Pressungen führen.

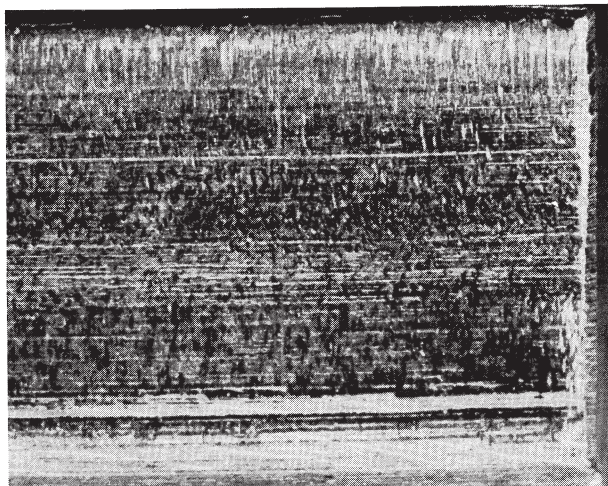


Bild 3.
Abgerundete Kopfkante eines vergüteten Stirnrades infolge Eingriffs mit der Ausrundung am Zahnfuß des Gegenrades

2.1.1.4 Kratzer (Scratching)

Merkmale. Einzelne strichartige Vertiefungen verlaufen in Gleitrichtung in unregelmäßigen Abständen und Längen auf den Zahnflanken.

Ursachen. Im Schmierstoff enthaltene Staub- oder Abriebteilchen, Rost, Zunder, Formsand und dergleichen gelangen in den Zahneingriff und verursachen hier infolge der Gleitbewegung der Zahnflanken Kratzer in Gleitrichtung. In gleicher Weise können Rauigkeitsspitzen der Gegenflanken wirken.

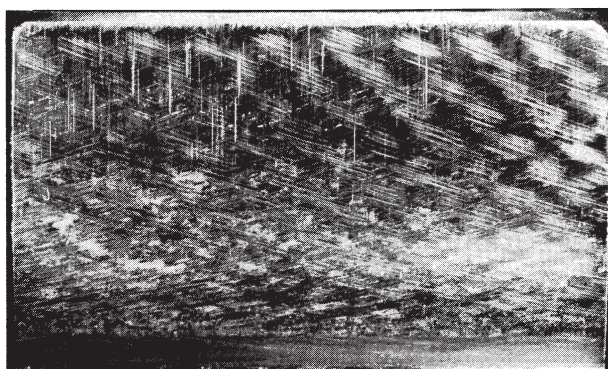


Bild 4.
Leicht geglättete Zahnflanke eines einsatzgehärteten Zahnrades mit leichten Kratzern

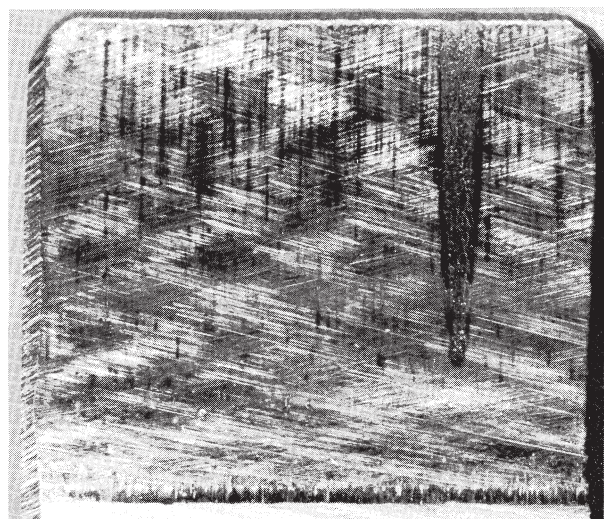


Bild 5.
Stärkere Kratzer an der Zahnkopfflanke eines einsatzgehärteten Stirnrades. Außerdem zeigt die Flanke einen schmalen Freßstreifen.
(Vergrößerung ca. 8fach)

2.1.1.5 Riefen (Scoring)

Merkmale. Strichartige Vertiefungen in Gleitrichtung, die im Gegensatz zu Kratzern bis zum Zahnkopf bzw. bis zum Beginn oder Ende des Eingriffes am Zahnfuß durchlaufen. Der Riefengrund ist im Gegensatz zu Fressern glatt. Fortschreitende Riefenbildung führt zu starkem Materialabtrag (Riefenverschleiß) und tritt vorwiegend im Bereich großer Gleitgeschwindigkeit am Zahnkopf und Zahnfuß auf.

Ursachen. Riefen sind ein Zeichen dafür, daß die betroffenen Zahnflanken örtlich hohen Belastungen ausgesetzt waren. Kleine Fremdkörper und Rauigkeitsspitzen der Gegenflanken werden in die Zahnflanken gedrückt und erzeugen infolge der Gleitbewegung rillenartige Vertiefungen, die ihrerseits beim Eingriff wieder Riefen auf den Gegenflanken hervorrufen.

Riefenbildung kann eine Vorstufe des Fressens (siehe Abschnitt 2.1.1.6) sein.

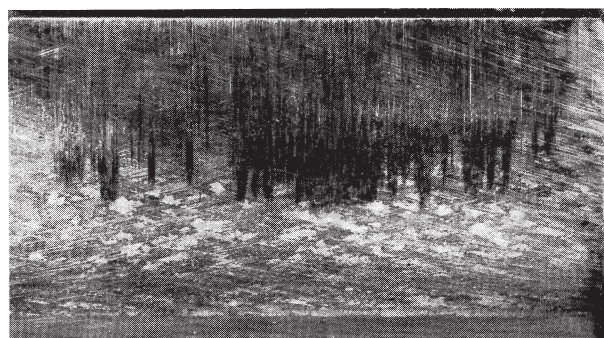


Bild 6.
Fortgeschrittene Riefenbildung

2.1.1.6 Fressen (*Scuffing, amerik. scoring*)

Merkmale. In Zahnhöhenrichtung verlaufende streifige Aufrauung unterschiedlicher Tiefe und Breite einzelner Flankenbereiche oder der ganzen Zahnbreite mit stärkster Ausprägung am Zahnkopf und Zahnfuß. Im fortgeschrittenen Zustand können einzelne Flankenbereiche beim sogenannten Warmfressen Anzeichen einer Überhitzung des Werkstoffes der Zähne aufweisen (Anlaßfarben).

Leichtere Freßstellen am Zahnkopf oder am Zahnfuß sowie an den Zahnenden, die gelegentlich schon während des Einlaufens des Getriebes auftreten, können sich wieder zurückbilden. Getriebe mit ausgedehnten Freßzonen an der Verzahnung weisen im allgemeinen ein erhöhtes Laufgeräusch auf.

Ursachen. Durch die gemeinsame Wirkung von Pressung und hoher Gleitgeschwindigkeit und der daraus folgenden Temperaturerhöhung (beim sogenannten Warmfressen) oder auch bei örtlich hohen Flankenpressungen in Verbindung mit extrem niedrigen Gleitgeschwindigkeiten bis etwa 4 m/s Umfangsgeschwindigkeit (beim sogenannten Kaltfressen) reißt der Schmierölfilm zwischen den Zahnflanken ab oder wird – bei „kaltem Fressen“ – durchbrochen, so daß unmittelbar metallische Flächen aufeinander reiben. Dies kann zu örtlichen Verschweißungen der Zahnflanken führen. Infolge der Relativbewegung werden diese Schweißstellen sofort wieder auseinandergerissen, wodurch die streifigen Aufrauungen an den Zahnflanken entstehen. Eine zu große Oberflächenrauigkeit der Zahnflanken, ein zu kleines Zahnflankenspiel, aber auch Riefen und andere Flankenschäden oder ein ungeeignetes Schmiermittel können bei entsprechenden Pressungen und Gleitgeschwindigkeiten ein Fressen einleiten.

Ein meist örtlich begrenztes Fressen kann auch durch ungenügende Zahnkopf- und Zahnendenrücknahme sowie durch unzulässige Flankenform- und Flankenlinienabweichungen herbeigeführt werden.

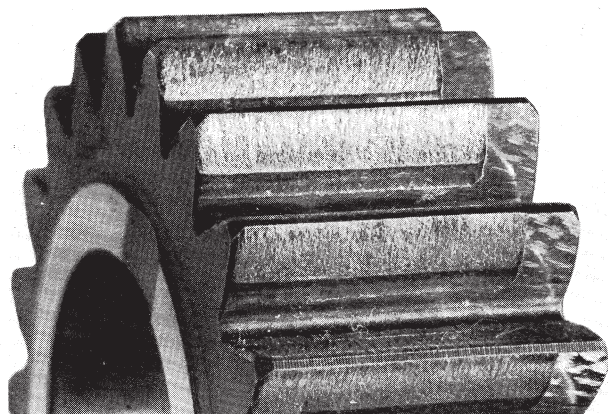


Bild 7.
Fortgeschrittene Fresser über die ganze Zahnbreite bei einem einsatzgehärteten Geradstirnrad
(Vergrößerung ca. 1,6fach)

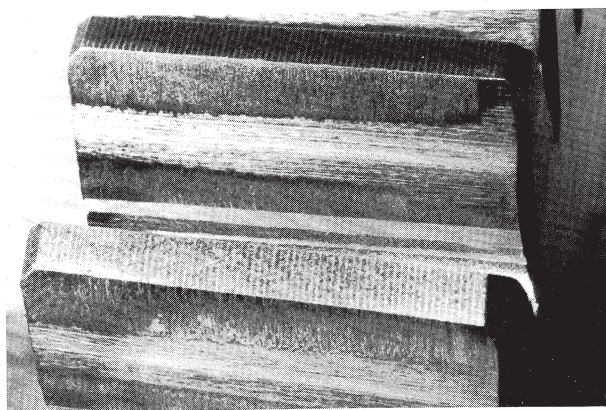


Bild 8.
Fresser am Kopf und Fuß eines einsatzgehärteten Schrägstirnrades. Die besondere Ausbildung des Schadens mit Fressern auch im Fußbereich wurde durch Eingriffsstörungen bedingt.
(Vergrößerung ca. 3fach)



Bild 9.
Starkes Fressen an einem spiralverzahnten einsatzgehärteten Kegelrad
(Vergrößerung ca. 1,6fach)

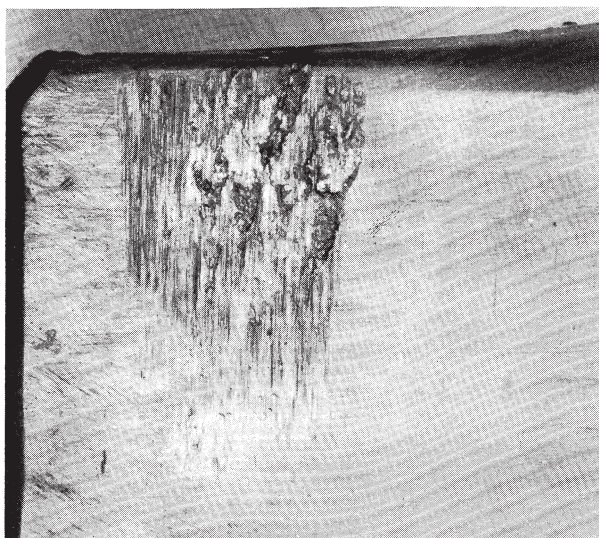


Bild 10.
Kaltfreßstelle an einem Zahnrad, Modul 32

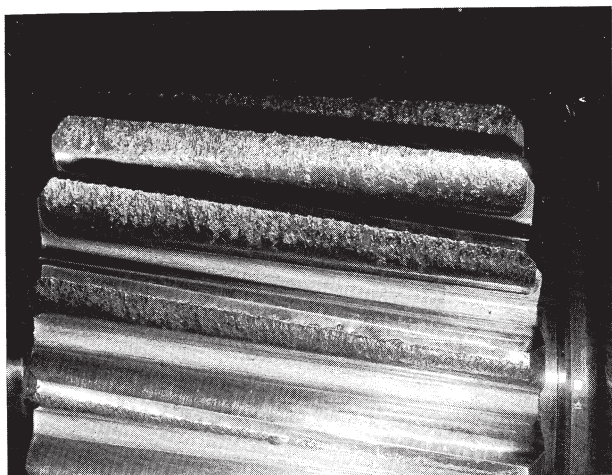


Bild 11.
Kaltfressen an einem einsatzgehärteten Zahnrad,
Modul 14

2.1.2 Korrosionen (*Corrosive wear*)

2.1.2.1 Chemische Korrosion, Rost (*Chemical corrosion*)

Merkmale. Braunrote Flecken auf den Zahnflanken oder auch über die Zahnflanken verteilte leichte pittingartige Unebenheiten.

Ursachen. Im Schmierstoff enthaltene Verunreinigungen durch Wasser und Säuren oder ungünstig zusammengesetzte chemische Zusätze in Verbindung mit einem unzulässig hohen Wasseranteil können chemische oder elektrochemische Reaktionen mit dem Zahnwerkstoff verursachen. Durch den Reibungsvorgang und die Spülwirkung des Schmierstoffs können die Rostspuren auf der aktiven Zahnflanke wieder abgetragen werden, so daß nur pittingartige Unebenheiten auf das Vorhandensein von Korrosionen hindeuten.

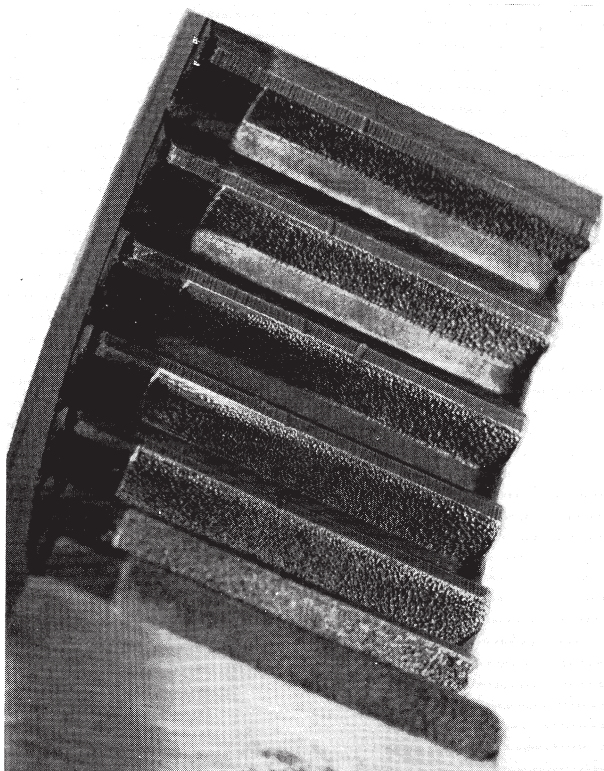


Bild 12.
Korrosionsverschleiß an einem innenverzahnten Schaltrad
durch säurehaltigen Schmierstoff
(Vergrößerung ca. 1,8fach)

2.1.2.2 Passungsrost, Reibkorrosion (*Fretting corrosion*)

Merkmale. Braunrote, unregelmäßig dicke, oft lackartige Beläge oder gleichförmiger, schwer entfernbarer, pulverförmiger Abrieb auf den Zahnflanken, im fortgeschrittenen Zustand auch verbunden mit einer Kerbe, die längs einer Berührungslinie über die Zahnflanke verläuft.

Ursachen. Passungsrost (Reibkorrosion) entsteht an den Zahnflanken von Getrieben, die längere Zeit stillstehen und dabei Erschütterungen oder Vibrationen ausgesetzt sind.

Die Bildungsprodukte der trockenen oder der in Verbindung mit dem Schmieröl und seinen Zusätzen entstehenden Reibkorrosionen sind Eisenoxyde verschiedener Strukturen bzw. Oxydationsprodukte von Mineralölen mit Zerfallsprodukten ihrer chemischen Zusätze.



Bild 13.
Passungsrost an den Zahnflanken einer Zahnkupplung
(Verkleinerung ca. 0,5fach)

2.1.2.3 Verzunderung (*Scaling*)

Merkmale. Fleckenartige Erhöhungen auf den Zahnflanken. Beim Laufen unter Belastung findet die Kraftübertragung zunächst an diesen Erhöhungen statt, so daß diese schnell einen metallischen Glanz erhalten.

Ursachen. Oxydationsvorgänge an der Flankenoberfläche während der Warmbehandlung der Verzahnung.

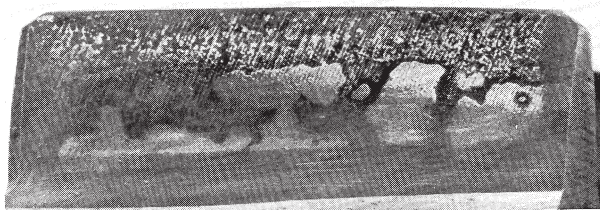


Bild 14.
Geschabte Zahnflanken eines einsatzgehärteten Stirnrades
mit Zunder
(Vergrößerung ca. 2fach)

2.1.2.4 Ausglühen, Heißlaufen (*Overheating*)

Merkmale. Die Zahnflanken verfärben ¹⁾ sich (Anlaßfarben), und bei gehärteten oder vergüteten Zahnwerkstoffen kann sich bei Überschreitung der Anlaßtemperatur die Oberflächenhärte der Zahnflanken verringern. Als Folge der verringerten Oberflächenhärte können bei einem weiteren Betrieb rillenartige Vertiefungen insbesondere am Zahnkopf und am Zahnfuß in Richtung der Gleitbewegung auftreten.

Ursachen. Durch eine zu starke Erwärmung infolge übermäßig starker Reibung an den Zahnflanken oder auch in den Lagern, durch Überlastung, zu hohe Geschwindigkeit, zu kleines Flankenspiel oder falsche Schmierung verfärben sich die Zahnflanken und kann die Oberflächenhärte vermindert werden. Das Ausglühen kann in Verbindung mit starkem Fressen auftreten oder aber auch eine Vorstufe für eine plastische Verformung der Verzahnung durch Warmfließen (siehe Abschnitt 2.1.6.4) sein.

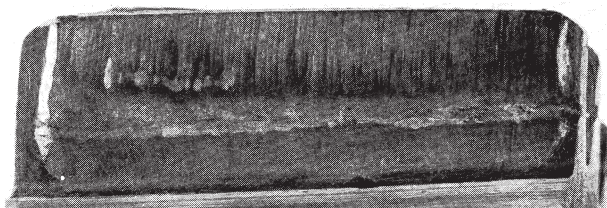


Bild 15.
Ausgeglühte Verzahnung eines Schrägstirnrades. Die Zähne zeigen eine blaue Anlaßfarbe (Vergrößerung ca. 2fach)



Bild 16.
Durch mangelhafte Schmierung in Verbindung mit starkem Fressen ausgeglühtes Geradstirnrad

¹⁾ Eine Verfärbung der Zahnflanken kann auch ein Anzeichen eines unsachgemäßen Schleifvorganges sein.

2.1.3 Erosionen, Kavitationen (*Erosion, cavitation*)

Merkmale. Die Zahnflanken zeigen an allen Zähnen gleichmäßig verteilte, örtlich begrenzte Auswaschungen oder die ganze Oberfläche der Zahnflanken ist wie sandgestrahlt.

Ursachen. Das aus den Öldüsen im Bereich des Zahneingriffes austretende Öl hat eine zu große Geschwindigkeit und führt zu örtlich begrenzten Erosionen an den Zähnen im Bereich des auftreffenden Ölstrahles. Kavitationen treten bei schnellaufenden Getrieben auf, wenn die Voraussetzung für ihre Entstehung an den Flanken von Zahnradern, wie Schwingungsbelastung der im Eingriff befindlichen Zahnflanke, im Schmieröl enthaltenes Wasser, gelöste Gase, Zusätze u. a. gegeben sind.

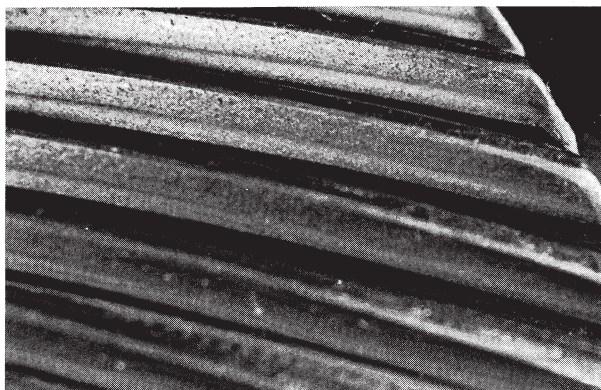


Bild 17.
Kavitationserosionen an belasteten Ritzelzahnflanken

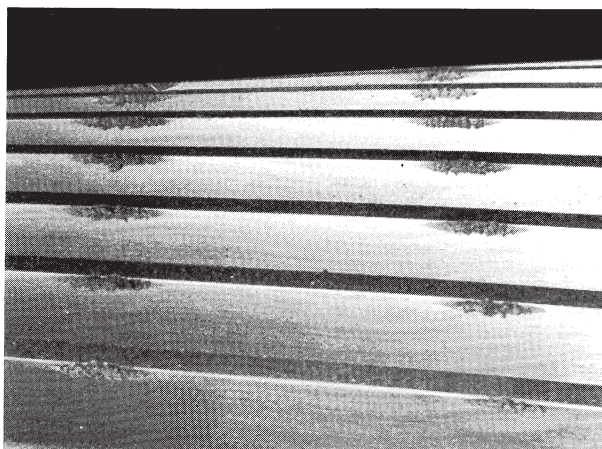


Bild 18.
Erosionen durch Auftreffen des Schmierölstrahles auf die Zahnflanken wegen zu hohen Öldruckes bei hoher Umfangsgeschwindigkeit des Zahnrades, Modul 7