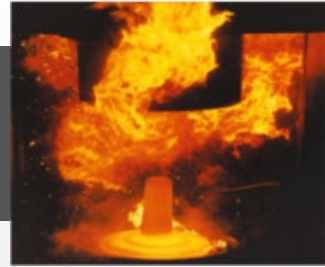


7.3.1.7.2.2.1 Die Anfänge (Schaufelschmiede)

Oberingenieur Dipl.- Ing. (FH) Erich Pfitzner



Schaufelschmiede Halle 5

Am Ende der 50er Jahre bestand für die VEB Industrierwerke Ludwigsfelde die Aufgabe, Gesenkschmiedeteile für die Fertigung des Strahltriebwerkes TL 014 und anderer Flugzeugkomponenten, herzustellen.

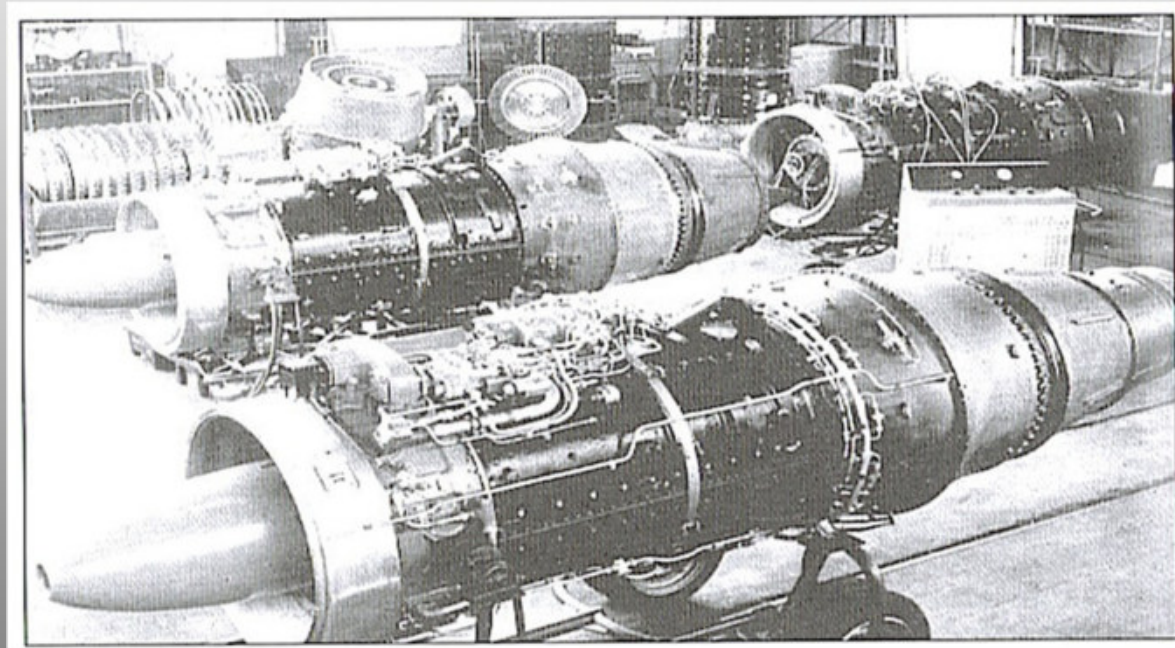
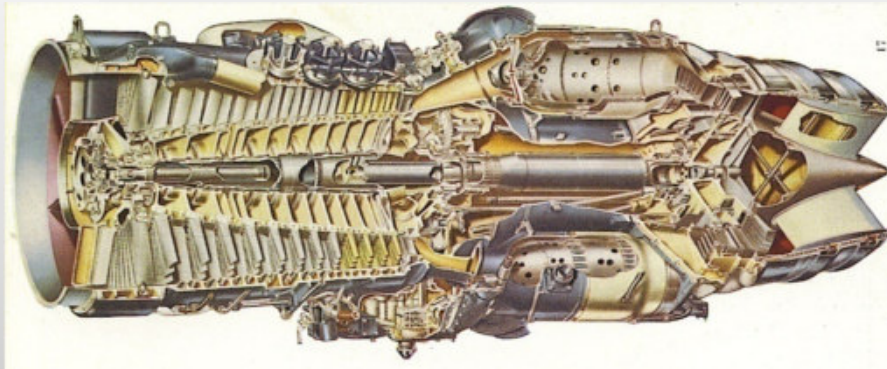


Bild 1 Die Strahltriebwerke TL 014

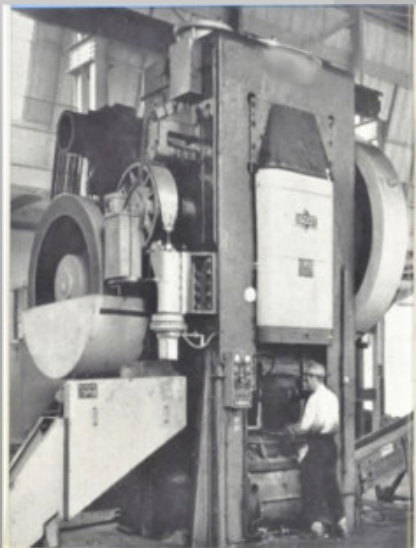
Turbinenschaufeln für große Verdichter des VEB Bergmann-Borsig und für die in Entwicklung befindlichen kleinen Gasturbinen des VEB Turbinenbau Bannowitz wurden bis dahin im Ausland gefertigt.

7.3.1.7.2.2.1 Die Anfänge (Schaufelschmiede)

Oberingenieur Dipl.- Ing. (FH) Erich Pfitzner



Bilder 2 und 3. Anordnung der Turbinenschaufeln



**Bild 4. Kurbelschmiedepresse
SMERAL 1500 Tonnen**

Im Jahre 1959 stand in der zukünftigen Turbinenschaufelschmiede, Halle 5, folgende Ausrüstung zur Verfügung:

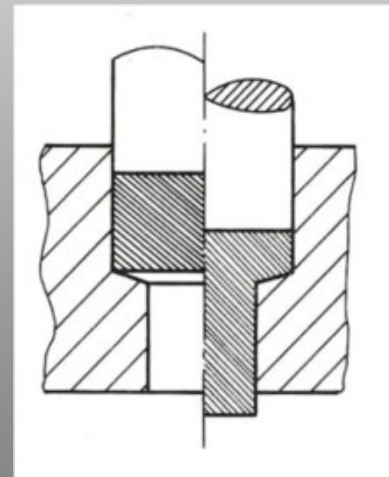
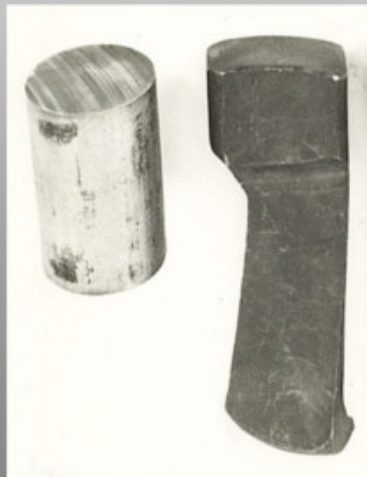
- 1 Trennschleifmaschine für Durchmesser bis 40 mm**
- 1 Eumuco- Reckwalze RW I für Ausgangsabmessungen (Durchmesser) bis 60 mm**
- 1 Schloemann- Wasser- Hydraulische Presse 750 t Presskraft (Vorkriegsmodell, sehr unzuverlässig!)**
- 1 SMERAL- Kurbelschmiedepresse 1.500 t Presskraft**
- 1 Kurbelexzenterpresse 63 t**
- 1 Einkammer- Elektroofen zur Erwärmung.**

7.3.1.7.2.2.1 Die Anfänge (Schaufelschmiede)

Oberingenieur Dipl.- Ing. (FH) Erich Pfitzner



Die vorhandene Schmiedeausrüstung war ungeeignet dafür, hochwarmfeste Werkstoffe serienmäßig im Gesenk zu schmieden. Die ersten Schmiedeversuche wurden von Maschinenbauingenieuren der Entwicklungsabteilung TVE durchgeführt. Später standen dann ausreichend speziell ausgebildete Ingenieure für Schmiede- und Presstechnik der Ingenieurschule für Walzwerks- und Hüttentechnik Riesa zur Verfügung. Bald wurde erkannt, dass eine ausreichende Maß- und Formgenauigkeit der Turbinenschaufeln nur mit mehreren Zwischenformen zu erreichen sind. Zur Zwischenformung (Massenverteilung und Querschnittsvorbildung) wurden deshalb das Kopfstauchen, das Vorwärtsfließpressen und das Reckwalzen angewendet.



Bilder 5 und 8. Beispiele für das Reckwalzen und für das Vorwärtsfließpressen von Turbinenschaufeln

7.3.1.7.2.2.1 Die Anfänge (Schaufelschmiede)

Oberingenieur Dipl.- Ing. (FH) Erich Pfitzner



Zur Lösung verschiedener Probleme bei der Turbinenschaufelfertigung, insbesondere beim Reckwalzen der Zwischenformen, und zur Erhöhung der Gesenkstandmengen ist im Frühjahr 1961, in einer Nachtschicht, extra ein Schmied aus der Schaufelschmiede von Thyssen Remscheid über Bln.-Tempelhof eingeschleust worden. Er sollte einer auserlesenen Handvoll Schaufelfachleuten aus Ludwigsfelde die entscheidenden Hinweise für eine effektvolle Arbeitsweise bei der Turbinenschaufelfertigung vermitteln. Aber die Ergebnisse waren wohl eher bescheiden, denn sie wurden niemals öffentlich gemacht.

Für die Endformung auf der Kurbelschmiedepresse stand nur ein Gesenkhalter mit nur einer Umformstufe zur Verfügung. Für jede weitere Umformung waren neue, teure Schmiedegesenke und langwierige Werkzeugumbauten erforderlich.

Annähernde Endformen der Turbinenschaufeln sind nur durch Gesenkschmieden mit mehreren Zwischenformen zu erreichen. Deshalb wurde mit hohen Bearbeitungszugaben von ca. drei Millimetern geschmiedet und das überschüssige Material mit hohem Zerspanungsaufwand wieder abgefräst.

7.3.1.7.2.2.1 Die Anfänge (Schaufelschmiede)

Oberingenieur Dipl.- Ing, (FH) Erich Pfitzner



Aus Bild 9 ist der Unterschied im Fertigungsniveau der Schaufelschmiede Halle 5 (linke Ansicht) mit 1.700 g Materialeinsatz (Werkstoffausnutzungsgrad = 16%) und dem der Thyssen-Schaufelschmiede Remscheid (rechte Ansicht) mit ca. 550 g Materialeinsatz (Werkstoffausnutzungsgrad = 50%) zu erkennen. Dabei sind die sehr unterschiedlichen mechanischen Eigenschaften der Turbinenschaufeln im Lastbetrieb nicht mit betrachtet worden.

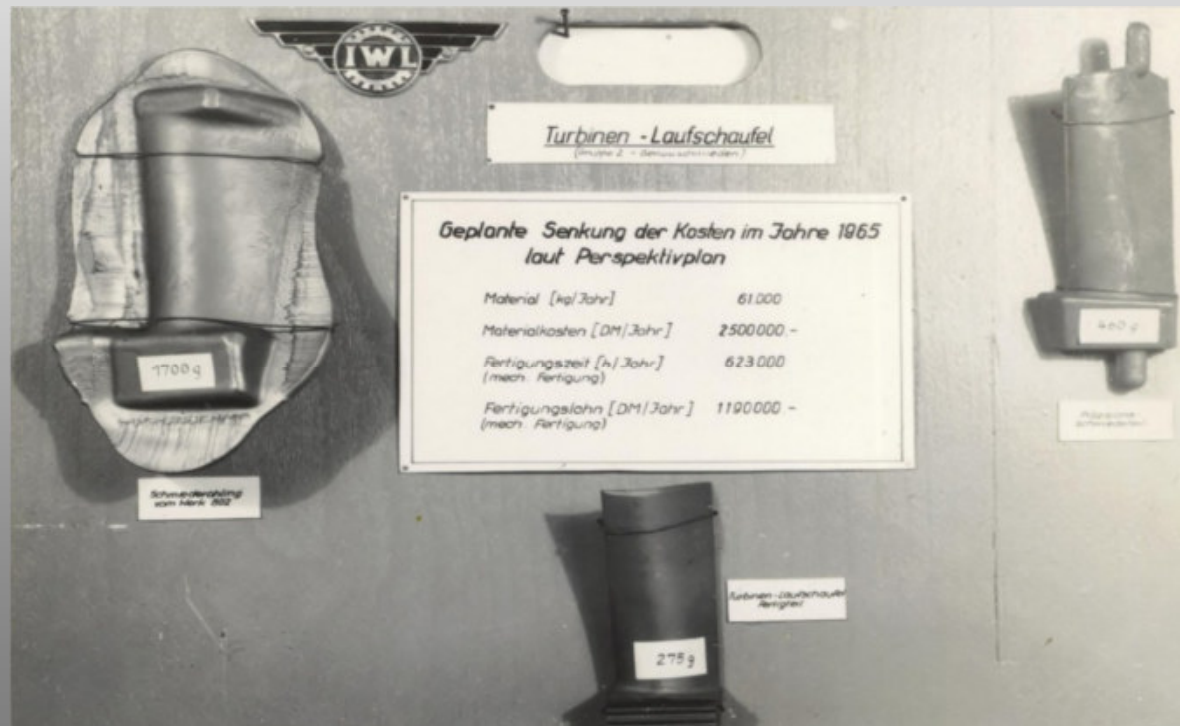


Bild 9. Gegenüberstellung des Werkstoffverbrauchs beim Gesenkschmieden von Turbinenschaufeln ca. 1961

7.3.1.7.2.2.1 Die Anfänge (Schaufelschmiede)

Oberingenieur Dipl.- Ing, (FH) Erich Pfitzner



Rohlingserwärmung

Die Elektro-Erwärmung im Einkammerofen mit oxydierender Ofenatmosphäre war völlig ungeeignet für eine kontinuierliche Fertigung in der Gesenkschmiede. Jedes Öffnen der Ofentür zur Beschickung oder Entnahme von Schmiederohlingen führte zur partiellen Abkühlung des Wärmgutes und zur Sauerstoffzufuhr, wodurch es zur Verstärkung der Zunderschicht an den Schmiedeteilen kommt.

Zunder ist eine Oxidschicht (Eisenoxid, die sich bei der Erwärmung von Stahl auf der Schmiedeteiloberfläche bildet und eine Randentkohlung zur Folge hat.

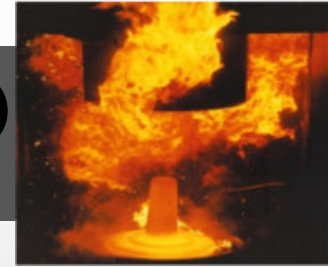
Randentkohlungen führen zu Versprödungen der Werkstückoberflächen und zur Verringerung der Mikrohärtigkeit, also der mechanischen Eigenschaften der hochbeanspruchten Turbinenschaufeln.

Bei geschmiedeten Turbinenschaufeln wurden Randentkohlungen von 0,8 bis 1 mm gemessen..

Heute werden Turbinenschaufeln vor ihrem Gebrauchseinsatz zur Verbesserung der Oberflächenqualität häufig noch druckstrahlgeläppt

7.3.1.7.2.2.1 Die Anfänge (Schaufelschmiede)

Oberingenieur Dipl.- Ing, (FH) Erich Pfitzner



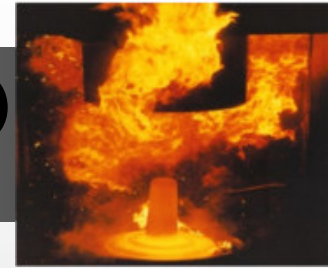
Bilder 10 und 11 Entkohlungstiefen von Turbinenschaufeln (Prüfbericht von 1962)

Maßnahmen zur Vermeidung der Randentkohlung

- Gesenkschmieden mit ausreichenden Bearbeitungszugaben zur Vermeidung der schädlichen Randentkohlung.
- Auftragen von Schutzlack vor der Erwärmung zum Schutz der Schmiederohlinge vor der oxydierenden Ofenatmosphäre.

7.3.1.7.2.2.1 Die Anfänge (Schaufelschmiede)

Oberingenieur Dipl.- Ing, (FH) Erich Pfitzner



Die Zwischenformung

Zwischenformen sind alle Umformstufen zwischen der ersten (dem Ausgangsrohling) und der letzten Umformstufe (Endform).

Als Zwischenformung werden das Kopf-Stauchen, das Reckwalzen und das Vorwärtsfließpressen (siehe Bilder 5 bis 8), aber auch die verschiedenen Umformungsstufen im Gesenk bezeichnet. Mehrere Gesenkformen sind dann erforderlich, wenn die Presskräfte beim Fertigschmieden nicht ausreichen oder wenn die Werkstoffmassenverteilung durch die Zwischenformungen unzureichend sind. Die Anzahl der Gesenkgravuren hängt, neben der Massenverteilung, auch vom Schaufelprofil (dem Grad der Verdrehung und von der Dicke der Schaufelaustrittskante) ab. Wegen unzureichender Erwärmungsmöglichkeiten und ungeeigneter Zwischenformverfahren wurden die größeren Turbinenschaufeln für die Hammerfertigung in der Edelstahlschmiede des VEB Leunawerke "Walter Ulbricht" in Bitterfeld vorgeschmiedet

Die Endformung (Fertigschmieden)

Turbinenschaufeln bis ca. 250 mm Länge wurden auf der Kurbelschmiedepresse 1.500 t in der Halle 5, solche bis ca. 400 mm Länge in Halle 7 auf der Kurbelschmiedepresse 2.500 t und Längen bis ca. 800 mm auf dem Gegenschlaghammer 10.000 mkg, ebenfalls in der Halle 7, gesenkgeschmiedet.

Die Umformkräfte für die Fertigschmiedung sind heute mit 90 bis 100 kg/mm² bekannt. Zum damaligen Zeitpunkt waren Presskraftmessungen in Industriebetrieben nicht möglich.

7.3.1.7.2.2.1 Die Anfänge (Schaufelschmiede)

Oberingenieur Dipl.- Ing, (FH) Erich Pfitzner



Das Abgraten

Einfache (wenig verdrehte) Schaufelprofile wurden meist warm abgegratet. Bei sehr verdrehten Profilen (etwa >30%) wurde der überschüssige Grat abgefräst oder mit Trennschleifmaschinen abgetrennt.

Das Richten

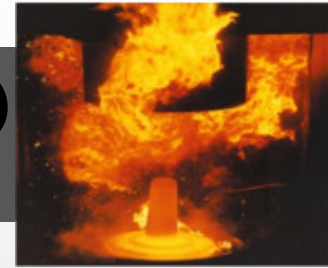
Bei allen kleineren Turbinenschaufeln bis ca. 500 mm Länge reichten die vorhandenen Bearbeitungszugaben aus, um die ungewollte Verdrehung der Schaufelblätter bei der Abkühlung durch die mechanische Bearbeitung abzuarbeiten.

Größere Turbinenschaufeln wurden nach dem Schmieden und Abgraten in einem speziellen Richtgesenk bei ca. 800°C auf einer Hydraulischen 1.500- Tonnen Freiformschmiedepresse in der Gesenkschmiede des VEB „Heinrich Rau“, Wildau, warm gerichtet und einzeln definiert abgekühlt, um Verzug bei der Abkühlung zu vermeiden.

Das Warmrichten erfolgte im Nachtschichtbetrieb unter der Verantwortlichkeit des IWL. Dafür ist das erforderliche Schmiedepersonal von täglich 5 Kollegen mit der S-Bahn angereist.

7.3.1.7.2.2.1 Die Anfänge (Schaufelschmiede)

Oberingenieur Dipl.- Ing. (FH) Erich Pfitzner



Überwiegende Fertigungsprobleme in der Schaufelschmiede Ludwigfelde

Kennzeichnungspflicht

Besondere Anforderungen an die Schmiede war die absolute chargentreue Kennzeichnungspflicht vom Ausgangsmaterial, über die Zwischenformen bis zu den Endformen und auch für den anfallenden Material- oder Arbeitsausschuss. Nur wiederholte Stückzahlkontrollen konnten Wrkstoffverwechslungen vermeiden. Diese strengen Qualitätssicherungsmaßnahmen waren den Schmieden zunächst nur sehr schwer zu vermitteln. Hilfreich dabei war, dass der überwiegende Anteil des Schmiedepersonals gelernte Handwerksschmiede mit guter Arbeitsdisziplin waren.

Schmiedeerwärmung

Die Voraussetzungen für eine hohe Fertigungsqualität beim Gesenkschmieden von Turbinenschaufeln ist eine kontinuierliche Erwärmung und Nachwärmung der Schmiederohlinge mit eingeeengten Temperaturtoleranzen von $\max \pm 5^\circ\text{C}$, sowie eine gleichmäßig hohe Gesenkttemperatur von mindestens 300°C . Diese Arbeitsbedingungen waren aus Mangel an der Ausrüstung und an Erfahrungen nicht gewährleistet.

7.3.1.7.2.2.1 Die Anfänge (Schaufelschmiede)

Oberingenieur Dipl.- Ing. (FH) Erich Pfitzner



Gesenkschmierung

Die herausragende Bedeutung einer richtigen Gesenkschmierung für einen kontinuierlichen Fertigungsablauf, für die Einflüsse auf die erforderlichen Umformkräfte, auf den Werkzeugverschleiss und auf die Oberflächenqualität der Gesenkschmiedeteile wurde von Beginn an der Turbinenschaufelfertigung, falsch eingeschätzt.

Als Gesenkschmiermittel wurden grobe Holzsägespäne oder Gemische aus Graphitpulver mit Schweröl eingesetzt.

Die Anwendung von genau definierten Graphit- Wassergemischen waren zu damaligem Zeitpunkt noch nicht bekannt. Die schlechte Oberflächenqualität der Turbinenschaufelrohlinge waren dafür ausschlaggebend, den vorhandenen Graphit-Wasser-Schmierstoff Wagra RH 20 weiter zu entwickeln. Der heute noch angewendete Gesenkschmierstoff Wagra RH „20L“ (Kennzeichen „L“ gilt extra für die genaue Graphitdosierung Ludwigsfelde) wurde unter aktiver Mitwirkung der IFA Gesenkschmiede Ludwigsfelde erst im Jahre 1965 in Zusammenarbeit mit dem VEB Graphitprodukte Dohna entwickelt.

Werkzeugprobleme

Sehr große Probleme bereiteten die Vielzahl von Gesenkbrüchen, häufig schon nach wenigen geschmiedeten Stückzahlen. Hauptursache dafür war die viel zu hohe Gesenkhärte mit bis zu 50 HRC. Aber auch die mangelhafte Gesenkvorwärmung mit warmen Stahlklötzern und ohne Temperaturkontrolle waren ursächlich an der großen Anzahl von Gesenkbrüchen beteiligt. Als weitere Ursache stellten sich die viel zu kleinen Gravurradien der Schmiedegesenke heraus. Bei Verwendung mehrerer Gesenkgravuren könnten die Kerbspannungen vermindert werden, wenn die Gravurradien zum Vorformen erst größer und bei der Fertigform kleiner gestaltet werden.

In den nachfolgenden Bildern werden die unterschiedlichen Befestigungsarten und Gesenkführungen für Hammer- und Pressengesenke dargestellt.

7.3.1.7.2.2.1 Die Anfänge (Schaufelschmiede)

Oberingenieur Dipl.- Ing. (FH) Erich Pfitzner

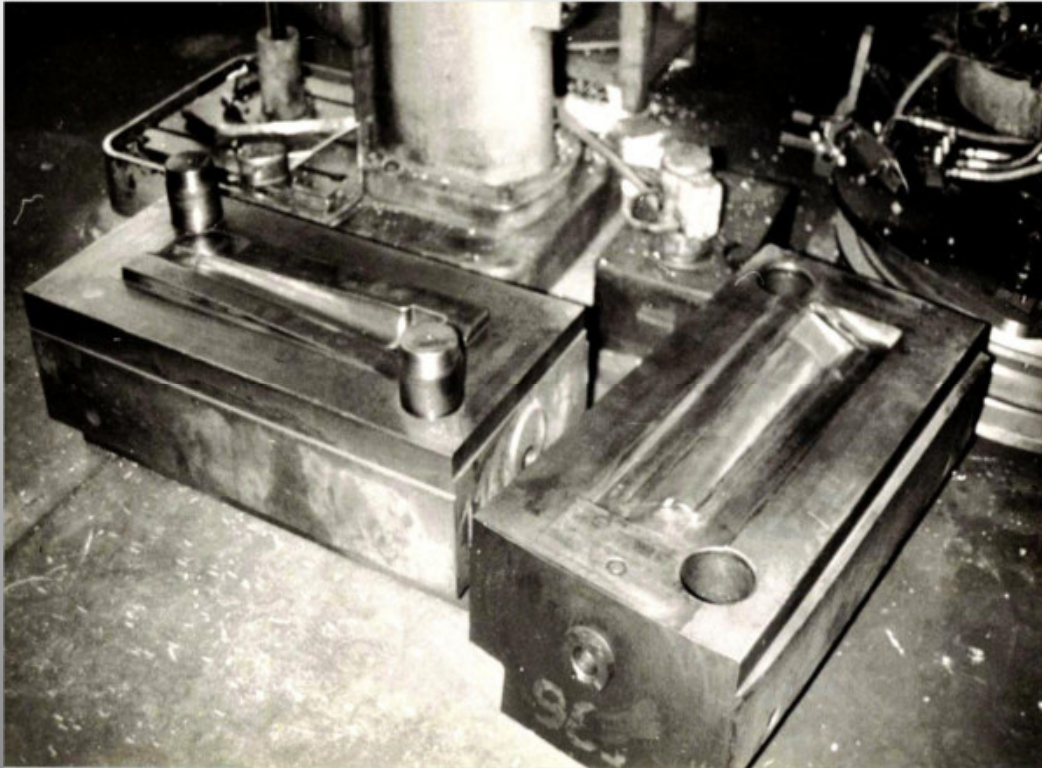


Bild 12. Hammergesenk mit Säulenführung und Keilbefestigung

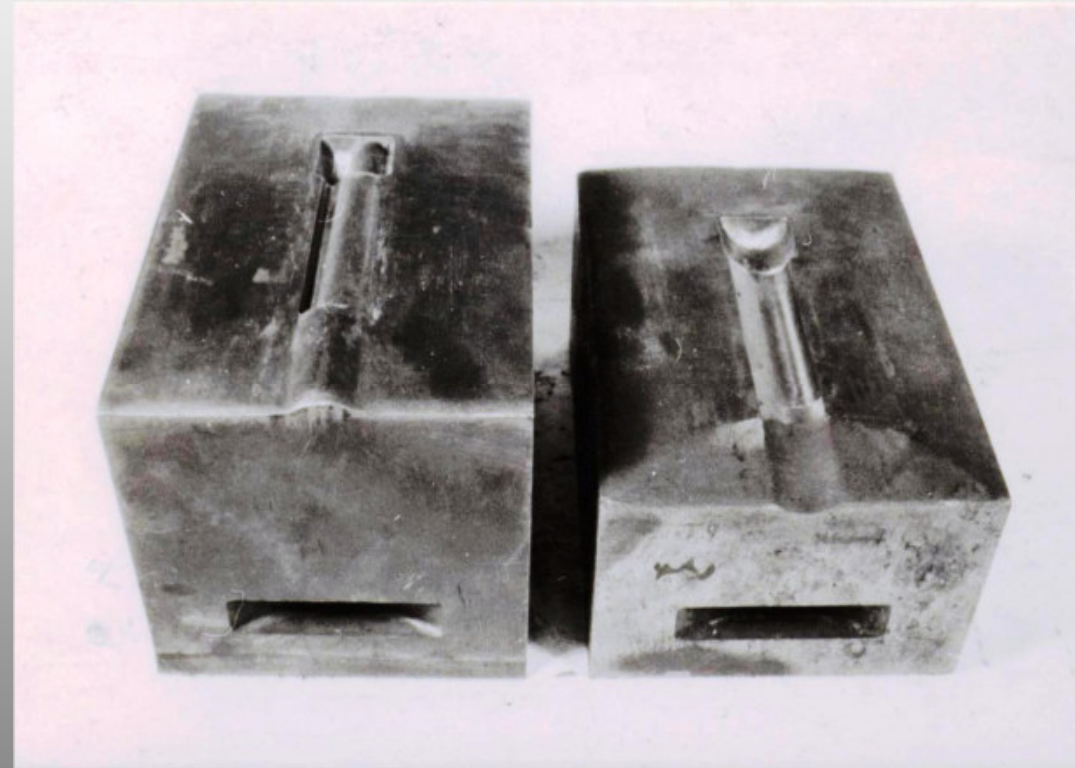


Bild 13. Pressengesenk mit Führungen im Gesenkhalter und Schraubenbefestigung

7.3.1.7.2.2.1 Die Anfänge (Schaufelschmiede)

Oberingenieur Dipl.- Ing. (FH) Erich Pfitzner



Beispielgebend für die vorgenannten Werkzeugprobleme soll der Prüfbericht eines Schmiedegesenkes von der 2500 t- Presse (Halle 7) aus dem Jahre 1962 sein. Das Pressengesenk, Bild 14, ist bereits nach 30 geschmiedeten Turbinenschaufeln in der Mitte durchgebrochen. Bruchursache war ein Gewaltbruch von der tiefsten Gravurstelle ausgehend.

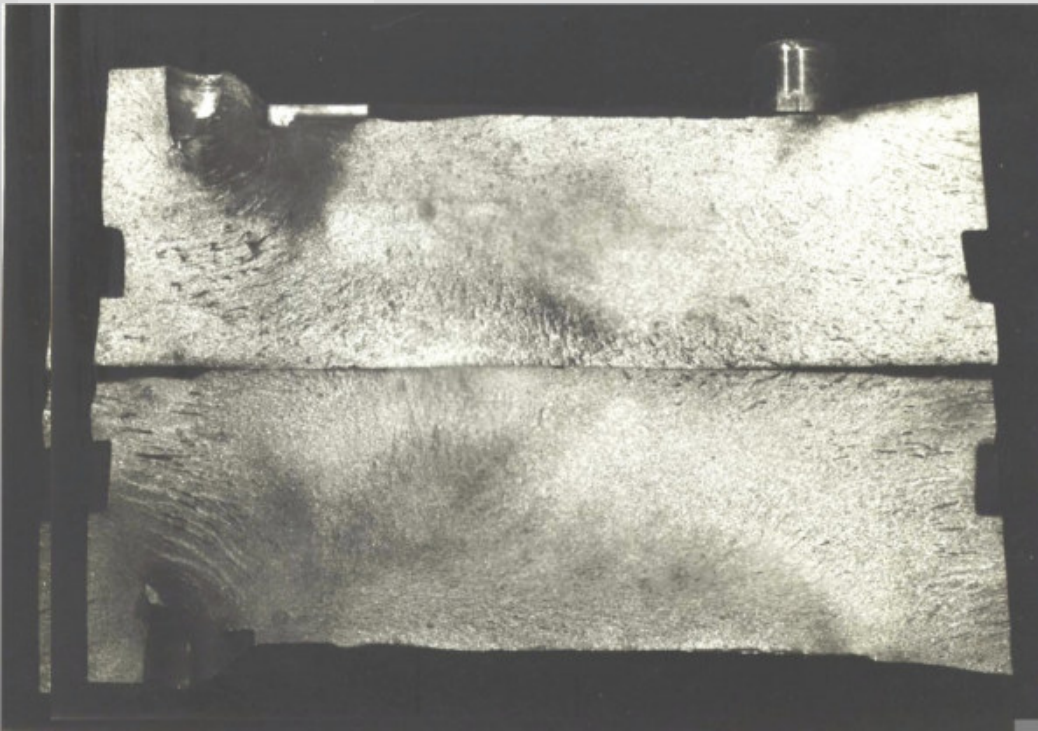


Bild 14. Gewaltbruch an einem Pressengesenk für Turbinenschaufeln

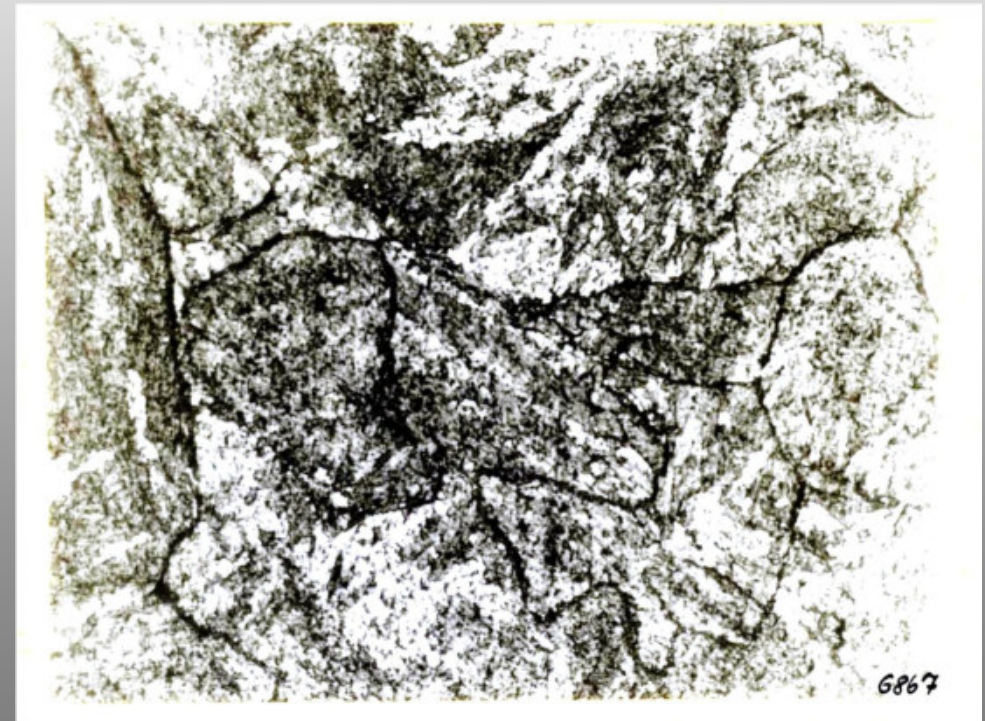


Bild 15. Grobnadliges Gefüge durch Überzeiten beim Härten

7.3.1.7.2.2.1 Die Anfänge (Schaufelschmiede)

Oberingenieur Dipl.- Ing. (FH) Erich Pfitzner



Nach dem Schmieden von ca. 30 Schaufeln ging ein EKM-Schaufelgesenk aus SZP 50 zu Bruch, das nach der sog. „Gröditzter Technologie“ wärmebehandelt worden ist. Es handelte sich hierbei um einen Gewaltbruch, den die zu kleinen Radien an den Kanten der Schaufel-fußgravur gefördert haben. Bruchfläche und Makroschliff zeigten ein extrem grobes Korn. Bei der Härteprüfung wurden besonders auf der Gravurseite des Gesenkes Schwankungen der Härtewerte festgestellt, die auf die unsachgemäße Vorwärmung des Gesenkes vor dem Schmieden zurückgeführt werden können. Die Arbeitsfestigkeit des Gesenkes lag mit rd. 170 kp/mm² zu hoch. Der Hauptgrund für den Bruch des Gesenkes ist in dem vorliegenden anlaßspröden Zustand des Stahles zu suchen. Die Anlaßsprödigkeit des Stahles wurde durch die zu langsame Abkühlung des Gesenkes nach dem Anlassen hervorgerufen, wobei die grobnadlige Mikrogefügeausbildung begünstigend gewirkt hat.

Bild 16. Zusammenfassung des Prüfberichts für den Gesenkbruch Bild 14

7.3.1.7.2.2.1 Die Anfänge (Schaufelschmiede)

Oberingenieur Dipl.- Ing. (FH) Erich Pfitzner



Bild 17. Beispiele einiger Turbinenschaufeltypen und ihrer Umformstufen aus Ludwigsfelde

(Die Zapfen an den Schaufelenden dienen als sichere Einlegehilfen in die Schmieдеgravur. Sie werden am Ende der Bearbeitung wieder abgetrennt.)

7.3.1.7.2.2.1 Die Anfänge (Schaufelschmiede)

Oberingenieur Dipl.- Ing. (FH) Erich Pfitzner



Bild 18. Turbinenschaufeln auf dem Gegenschlaghammer geschmiedet bis 800 mm Länge

7.3.1.7.2.2.1 Die Anfänge (Schaufelschmiede)

Oberingenieur Dipl.- Ing. (FH) Erich Pfitzner



Das Ende der Turbinenschaufelfertigung in Ludwigsfelde

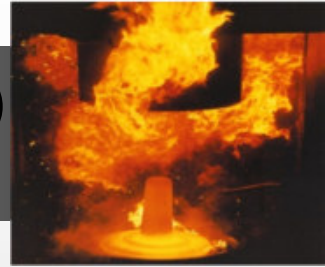
Die Turbinenschaufeln zur Erprobung der Strahltriebwerke TL 014 wurden während des gesamten Zeitraumes bei der Fa. GKN in England gefertigt. Lediglich die größeren Turbinenschaufeln (>200 mm) wurden in die verschiedenen kleinen Verdichtern in der DDR eingebaut. Dabei erfolgte die anspruchsvolle Wärmebehandlung bei den verschiedenen Verbrauchern.

Noch in der Schaufelerprobungsphase wurden die Mängel der Probeschmiedungen in der Halle 5 erkannt und für die Halle 7 eine neue Schmiede mit entsprechender Ausrüstung für Flugzeugkomponenten projektiert und mit Schmiedemaschinen vom VEB Schwermaschinenbau „Heinrich Rau“ Wildau ausgerüstet. Nur für die Endformung war eine 2.500 Tonnen- Unterflur-Reibspindelpresse von der Firma SMERAL, CSSR, vorgesehen. Noch vor den Anlieferungsterminen musste die Schaufelfertigung in Ludwigsfelde eingestellt werden, weil aut. Ministerratsbeschluss die LKW- Fertigung W 50 Vorrang hatte.

Deshalb wurden alle Investitionen, die vorhandenen Aufträge ,das bis dahin gewonnene technische Know-how und die bestellte Reibspindelpresse an die VEB Präzisionsschmiede Berlin übergeben.

7.3.1.7.2.2.1 Die Anfänge (Schaufelschmiede)

Oberingenieur Dipl.- Ing. (FH) Erich Pfitzner



Das Präzisionsschmieden von Turbinenschaufeln heute

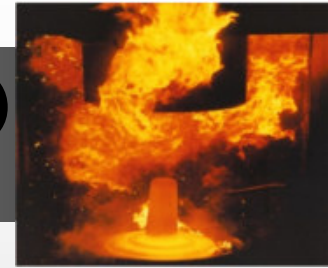
Seit vielen Jahren werden die Turbinenschaufeln im Blattbereich grundsätzlich einbaufertig, d.h. präzisionsgeschmiedet.

Dazu sind im gesamten Fertigungsablauf engtoleriertere, gleichmäßig ablaufende Verfahrensparameter ein zu halten. Deshalb ist es dringend notwendig, Voraussetzungen zu schaffen, dass alle Schmiedeparameter, wie Temperaturverläufe, Reibungseinflüsse, Presskräfte, Geschwindigkeitsparameter u.a. genau und kontrolliert einzuhalten.

Dadurch wird der Fertigungsaufwand erheblich vergrößert, die Fertigungskosten steigen. Als Ergebnis sind die Genauigkeitsklassen IT 6 bis IT 8 (bei den üblichen Schaufelblattstärken sind das 10 bis 25 µm und Oberflächengenauigkeiten von ≤ 15 µm mit folgender Technologie zu erreichen :

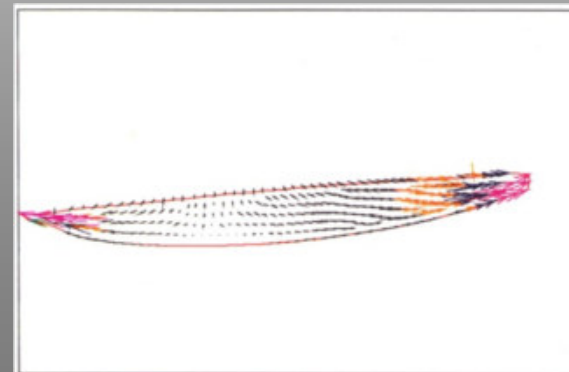
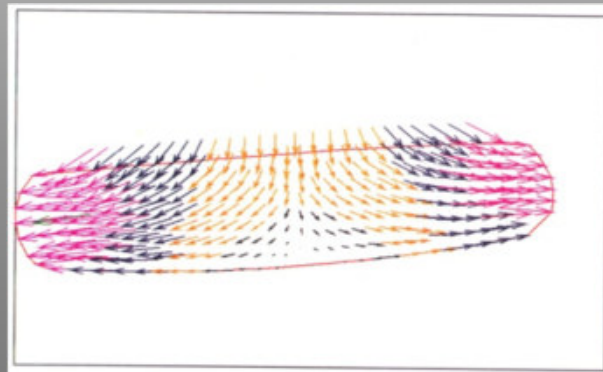
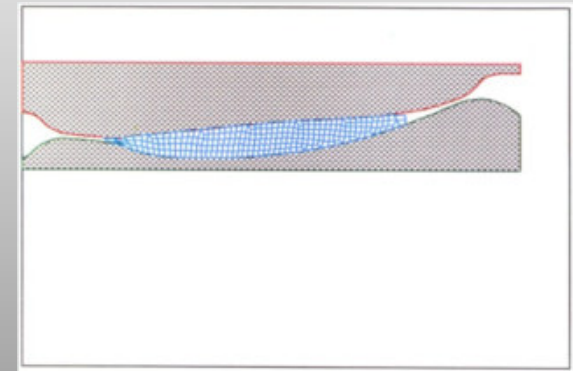
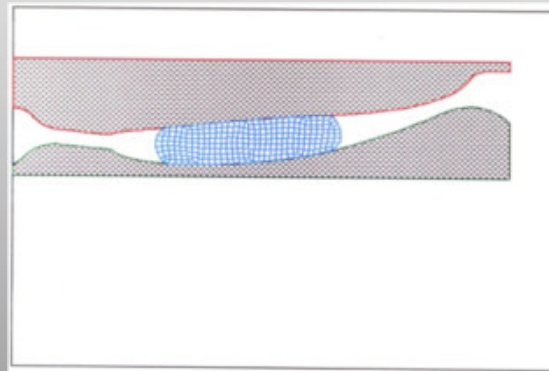
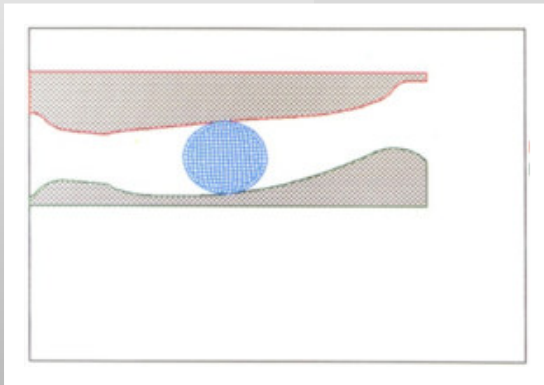
7.3.1.7.2.2.1 Die Anfänge (Schaufelschmiede)

Oberingenieur Dipl.- Ing. (FH) Erich Pfitzner



1. Arbeitsvorbereitung

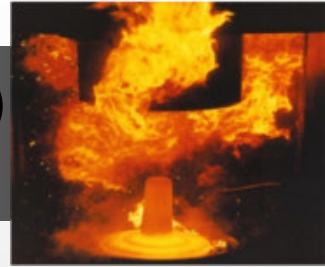
Zur volumengenauen Zwischenformung sind mit Hilfe der Finite- Elemente- Methode FEM exakte Querschnitts-, Temperatur-, Reibungs- und Geschwindigkeitsparameter zu ermitteln und festzulegen, siehe Beispiele Bilder 19 bis 23:



Bilder 19 bis 23. Beispiele der FEM- Anwendung für Turbinenschaufeln

7.3.1.7.2.2.1 Die Anfänge (Schaufelschmiede)

Oberingenieur Dipl.- Ing. (FH) Erich Pfitzner



2. Ausgangsmaterial

Zur Vermeidung von Oberflächenfehlern wird als Ausgangsmaterial ausschließlich maßgenaues, geschältes oder geschliffenes Rundmaterial verwendet.

3. Zuschneiden

Zum Präzisionsschmieden ist volumengenaues Zuschneiden mit Massetoleranzen von $\pm 1\%$ erforderlich. Die Zuschnittsflächen dürfen maximal 1° Schräge aufweisen. Die Zuschnittsenden werden zur Vermeidung von Oberflächenfehlern mechanisch angefast.

Als Zuschnittsverfahren haben sich das mechanische Abstechen, das Trennschleifen oder bei größeren Abmessungen das Präzisionsschneiden bewährt.

4. Erwärmung der Zuschnitte

Die Ersterwärmung zum Präzisionsschmieden erfolgt mit zunderarmen Schnellerwärmungsverfahren, wie der elektro-induktiven oder elektro-konduktiven Erwärmung unter Einleitung von zunderhemmenden Schutzgasen oder durch zuvor aufgetragene zunderhemmende Schutzlacke.

Als Voraussetzung für eine hohe Fertigungsqualität darf die Temperaturtoleranz zum Präzisionsschmieden $\pm 5^\circ\text{C}$ nicht überschreiten. Fehlerwärmte Zuschnitte werden aus dem Fertigungsprozess automatisch ausgesondert.

7.3.1.7.2.2.1 Die Anfänge (Schaufelschmiede)

Oberingenieur Dipl.- Ing. (FH) Erich Pfitzner



5. Oberflächenbehandlung

Zur Vermeidung von Oberflächenfehlern bei den weiteren Arbeitsgängen ist die Entzunderung der zwischengeformten Schmiederohlingsoberfläche durch Sandstrahlen oder Beizen, je nach Verzunderungsgrad, erforderlich. Bei der Behandlung durch Sandstrahlen müssen Schlagstellen an den Schaufeloberflächen unbedingt vermieden werden. Durch das Aufbringen von Schutzlack wird die Verzunderung bei der nachfolgenden Erwärmung stark eingeschränkt.

6. Zwischenformung / Werkstoffmassenverteilung

Kleine Turbinenschaufeln bis ca. 250 mm Länge

Die Querschnittsreduzierung (-verteilung) für das Schaufelblatt und der Stauchvorgang für den Schaufelfuß erfolgen auf einer Spezialmaschine in nur einer Schmiedewärme, die nur für diesen Anwendungszweck von der Firma Lasco gebaut wurde.

Größere Turbinenschaufeln über 250 mm Länge

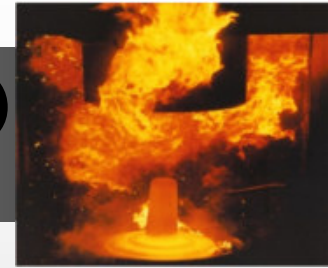
Recken(Querschnittsverteilung) des Schaufelblattes auf einer computergesteuerten GMX-Feinschmiedemaschine und Anstauchen des Schaufelfußes in gleicher Schmiedewärme mit einer zugeordneten Schmiedestauchmaschine.

Bei der Zwischenformung zur Werkstoffmassenverteilung sind die Querschnittsunterschiede im Schaufelblattbereich teilweise sehr groß und führen deshalb zu sehr unterschiedlichen Umformzeiten und damit zu Temperaturdifferenzen.

Deshalb sind zur Herstellung gleicher Ausgangsbedingungen für die Endformung Zwischenerwärmungen notwendig.

7.3.1.7.2.2.1 Die Anfänge (Schaufelschmiede)

Oberingenieur Dipl.- Ing. (FH) Erich Pfitzner



7. Zwischenerwärmung

Wegen der großen Querschnittsunterschiede von Schaufelfuß und Schaufelblatt ist die Anwendung der Elektrowiderstandserwärmung ungeeignet. Deshalb wird überwiegend mit Gasöfen im Durchlaufverfahren oder mit Kammeröfen mit Schutzgasbetrieb gearbeitet.

8. Gesenkschmieden

Das Gesenkschmieden von Turbinenschaufeln erfolgt, zur Erreichung der vorgegebenen Qualitätsparameter, ausschließlich auf presskraft- und geschwindigkeitsgesteuerten Spindelschlagpressen. Die Umformparameter werden zuvor in aufwendigen Versuchsreihen ermittelt. Abweichende Zeit- oder Temperaturregime führen zu Maß- und Formabweichungen der Turbinenschaufeln.

Es wird ausschließlich mit aufgeheizten, temperaturgesteuerten Schmiedegesenken und Gesenkhaltern im Bereich von 300 bis 400°C und mit Temperaturdifferenzen von max. 15°C gearbeitet.

Entscheidende Einflussfaktoren sind:

- Einhaltung der vorgegebenen Schmiedetemperatur und –toleranz von max. $\pm 10^\circ\text{C}$.
- Einhaltung des vorgegebenen Zeitablaufes.
- Einhaltung der vorgegebenen Werkzeugtemperatur mit max. Temperaturtoleranzen von $\pm 15^\circ\text{C}$.
- Einhaltung der vorgegebenen Gesenkschmierstoffzusammensetzung und des Schmierregimes (Ausblas- und Benetzungszeitraum), Schmierstoffverteilung u.a. Parameter.
- Definierte Abkühlung der Turbinenschaufeln zur Vermeidung von Maß- und von Formabweichungen.
- Stark verdrallte Schaufelblätter müssen bereits in diesem Umformstadium mit weiteren Formwerkzeugen auf die Endgestalt gebracht werden.

7.3.1.7.2.2.1 Die Anfänge (Schaufelschmiede)

Oberingenieur Dipl.- Ing. (FH) Erich Pfitzner



9. Oberflächenbehandlung

Zur Vermeidung von Oberflächenfehlern bei den weiteren Arbeitsgängen ist die Entzunderung der zwischengeformten Schmiederohlingsoberfläche durch Sandstrahlen oder Beizen erforderlich. Bei der Behandlung durch Sandstrahlen müssen Schlagstellen an den Schaufeloberflächen unbedingt vermieden werden.

10. Qualitätssicherung

Die Qualitätssicherung der Turbinenschaufeln beim Gesenkschmieden erfolgt mit Messmaschinen, die den jeweiligen Schaufelprofilen und –größen angepasst sind. Die Einhaltung der vorgegebenen Maßhaltigkeit der Turbinenschaufeln beim Gesenkschmieden wird durch eine zuvor festgelegte maximale Gesenkstandmenge erreicht.

11. Abgraten

Bei Einhaltung des o..g. Fertigungsablaufes kann von einem sehr einheitlichen Füllzustand (Gratbild) der Schmiedegravur ausgegangen werden. Eventuelle Formabweichungen werden durch Schleifarbeiten entfernt.

7.3.1.7.2.2.1 Die Anfänge (Schaufelschmiede)

Oberingenieur Dipl.- Ing. (FH) Erich Pfitzner



12. Endfertigung nach Qualitätsanforderungen des Schaufelbestellers

- Wärmebehandlung nach Vorgaben
- Oberflächenreinigung durch Strahlen oder Beizen
- Prüfen der Maßhaltigkeit und Geometrie der Schaufeln mit optischen Meßmitteln oder mit Koordinatenmessmaschine
- Kontrolle der mechanischen Werkstoffeigenschaften durch Gefügenachweise u.a.
- Oberflächenkontrolle durch Sichtprüfung, magnetische Rissprüfung oder Farbeindringprüfung
- Mechanische Bearbeitung bei Bedarf
- Kennzeichnung der Turbinenschaufeln gemäß Vorschriften
- Konservieren, Verpacken ,Kennzeichnen und Versand gemäß vorliegenden Vereinbarungen.

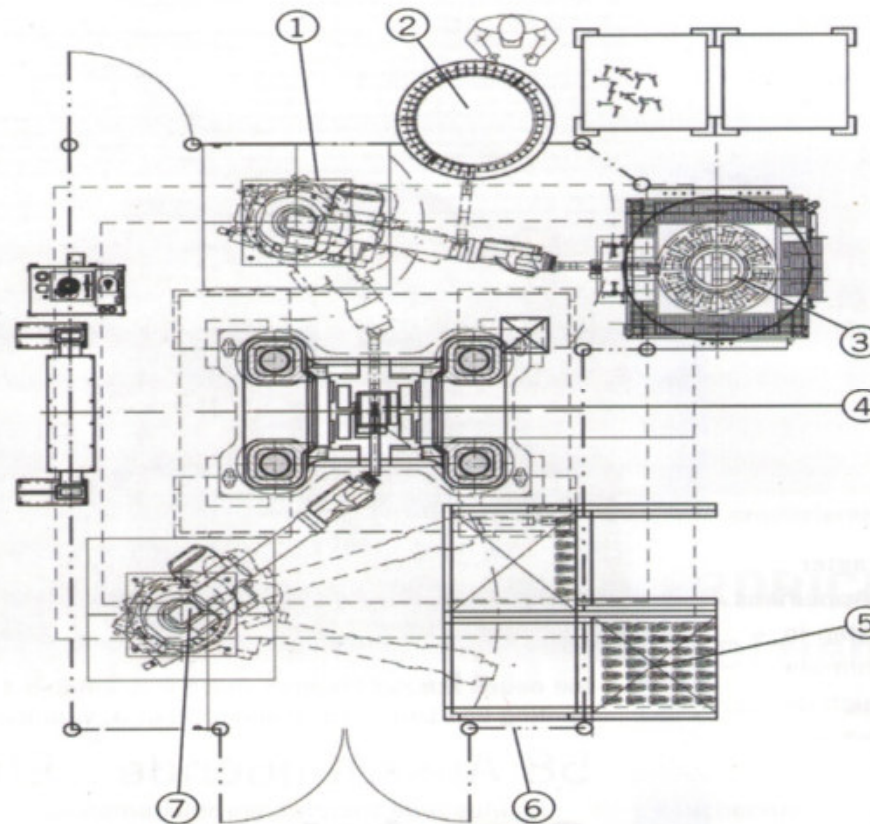
7.3.1.7.2.2.1 Die Anfänge (Schaufelschmiede)

Oberingenieur Dipl.- Ing. (FH) Erich Pfitzner



Hydraulische Waagrechtsschmiedema-
schine HWS von LASCO

Know-how



Beispiel eines typischen Layouts
automatischen Spindelpressenlinie

- 1 = Beladeroboter
- 2 = Drehtisch
- 3 = Drehherdofen
- 4 = LASCO Spindelpresse SPR 63
- 5 = Fertigteilpalette
- 6 = Schutzraum
- 7 = Entnahme-/Gesenkpflegeroboter