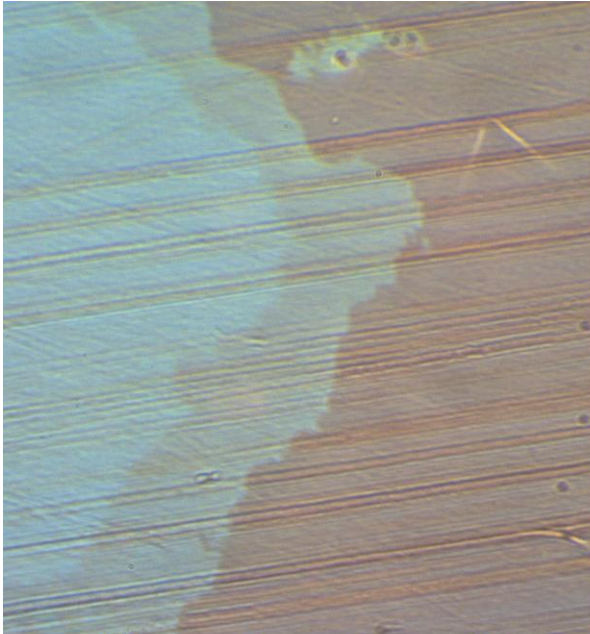
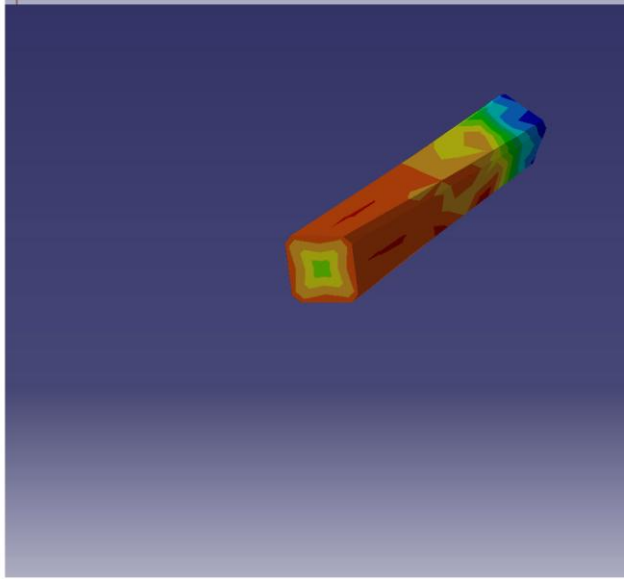
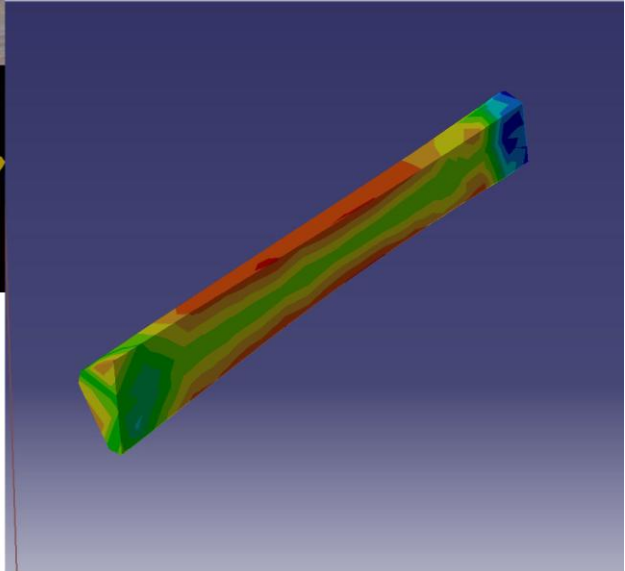
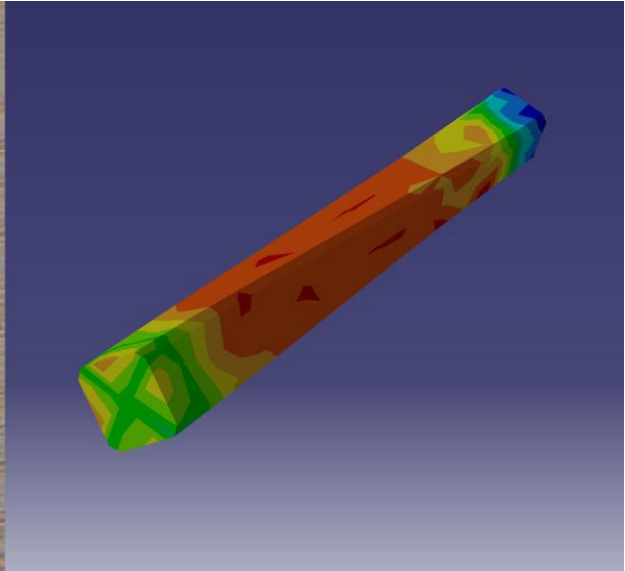
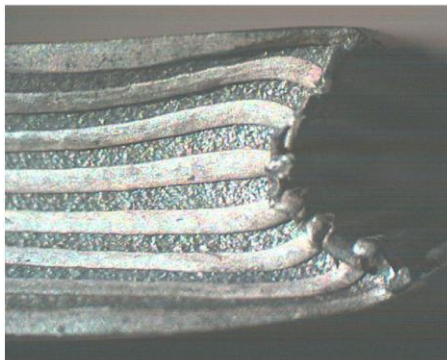


SCHICHTWERK

metallverbindungen



木目金



Allgemeine Verarbeitungshinweise

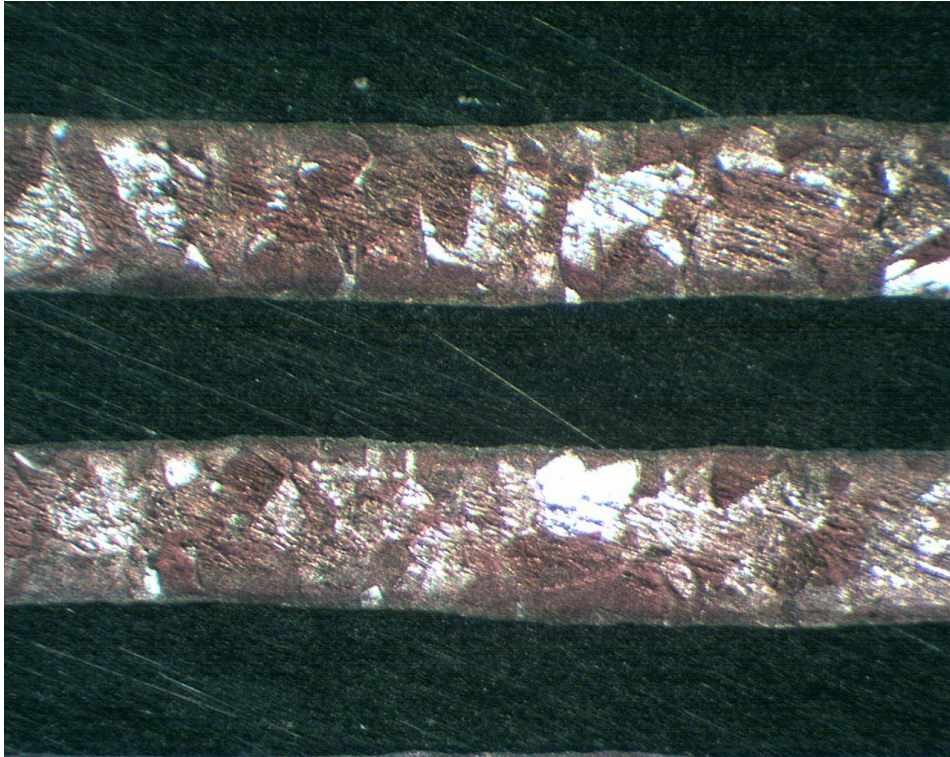
Alle ausgelieferten Materialkombinationen der Fa. Schichtwerk wurden sorgfältig zusammengestellt und anhand differenzierter Untersuchungen auf ihre Verarbeitungseigenschaften getestet. Damit während der Weiterverarbeitung möglichst wenige Probleme auftreten, gilt es spezifische Besonderheiten von Edelmetallverbundhalbzeugen zu beachten.

Das Material wird herstellungsbedingt in einem grobkörnigen Gefüge ausgeliefert. Durch die anschließende Umformung und das Rekristallisations-Glühen wird das Gefüge schrittweise verfeinert, so dass mit steigendem Umformungsgrad das Material spürbar geschmeidiger und belastbarer wird.

Die folgenden Abbildungen der Kombination Ag1000/Cu99 geben einen Eindruck vom Auslieferungszustand und dem Zustand nach einer ca. 50%igen Umformung.



Gefügestruktur im Auslieferungszustand Ag1000/Cu99



Gefügestruktur nach ca. 50% Umformung und Zwischenglühen

Aufgrund der anfänglich eher ungünstigen Gefügestruktur zeigt sich, dass die Verbundmetalle gerade im Anfangsstadium besonders empfindlich reagieren und daher am Beginn des Schmiedeprozesses besondere Vorsicht geboten ist.

Es gilt das Material ausreichend umzuformen, jedoch nicht zu überlasten. Das Beherrschen dieser Gratwanderung ist ausschlaggebend dafür, wie oft Sie bis zur Fertigstellung des Schmuckstückes Reparaturen durch Löten vornehmen müssen. Lötstellen sind gleichzeitig auch immer Störzonen. Leider können sie bei dieser anspruchsvollen Technik nicht vermieden werden.

Die erzielbaren Umformungsgrade bei Verbundmetallen sind deutlich geringer als bei den bekannten Schmucklegierungen und liegen in der Regel bei ca. 15-20%.

Erst wenn Sie diesen kombinationsabhängigen Umformungsgrad erreicht haben macht ein Zwischenglühen Sinn, da zu häufige Hitzen aus Vorsicht das Material ebenfalls stark schädigen können.

Das folgende Diagramm stellt verschiedene Materialkombinationen und deren Verhalten während der schrittweisen Umformung im Vergleich dar.

Bei allen Werkstoffkombinationen wurde zunächst das „Pressen“ (Erläuterung erfolgt im weiteren Textverlauf) als Initialumformung verwendet

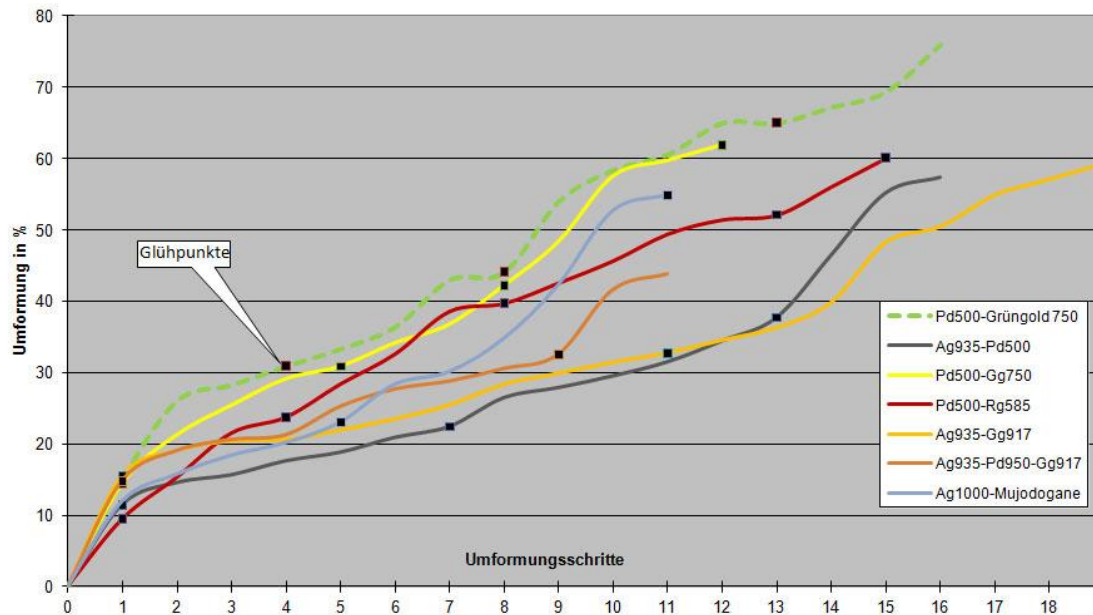
Die auf diese Weise gereckten Kombinationen wurden ausnahmslos nach dem ersten Umformungsschritt rekristallisationsgeglüht.

Die weitere Bearbeitung erfolgt durch Profilwalzen mit Walzgeschwindigkeiten von bis zu 10m/min.

An den Kurven im folgenden Diagramm lässt sich teilweise die Dehnungsabnahme im Gefüge kurz vor der Notwendigkeit eines Zwischenglühens als einen abflachenden Verlauf der Kurve erkennen.

Dagegen zeigt sich nach erfolgtem Glühen ein sprunghafter Anstieg der Umformbarkeit.

Vergleich verschiedener Kombinationen, durchschnittliche prozentuale Umformung je Arbeitsschritt



Damit die zunehmende Dehnungsabnahme während der Umformung besser erkannt wird, ist es sinnvoll über jeden Umformungsschritt ein Protokoll zu führen, welches als Anhang exemplarisch beigelegt wird.

Achten Sie darauf, dass der erzielte Reckgrad immer eine gemessene Größe ist.

Dieser kann in Form einer prozentualen Längen- oder Querschnittsänderung ermittelt werden.

Schmieden

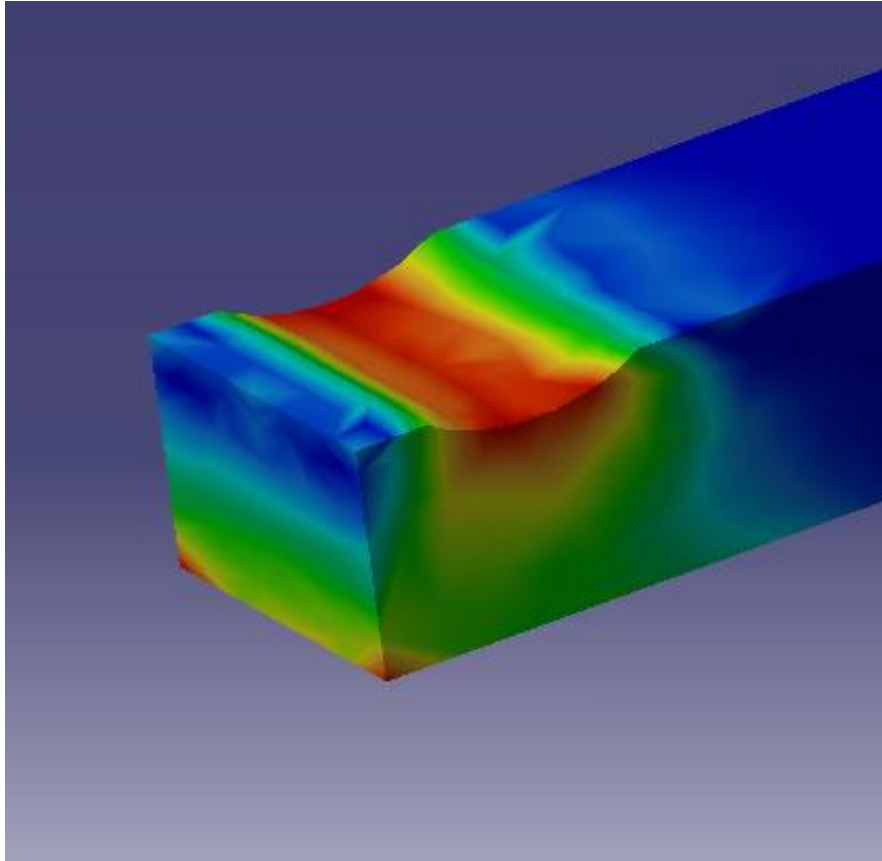
Ein sehr häufiges Phänomen beim Schmieden von diffusionsgeschweißten Metallen ist die Rissbildung im Bereich der Mittellagen.

Je nach Materialkombination kann dieses Verhalten bereits nach wenigen Arbeitsgängen beobachtet werden, ohne dass eine nennenswerte Umformung stattgefunden hat.

Was also passiert im Inneren des Materials während der Schmiedebearbeitung?

Beim klassischen Schmieden geht die Krafteinwirkung senkrecht zur Hammerführung in das Material hinein.

Die Deformierungszone breitet sich in den tieferen Schichten des Blockes annähernd fächerförmig aus, erreicht jedoch in Abhängigkeit des verwendeten Hammers bzw. der Schlagkraft und Geschwindigkeit beim Ausführen des Schlages mehr oder weniger die Kernzone des Blockes.



Einwirkzone eines Hammerschlages

Die höchste Verdichtung des verdrängten Materials befindet sich, wie auf dem Bild zu erkennen ist, an der roten Zone nahe der Oberfläche.

Hinzu kommt, dass die lokal begrenzte Umformung mit sehr hoher Geschwindigkeit eingebracht wird.

Der Energieeintrag verteilt sich "schlagartig" in der Auftreffzone und deformiert diese entsprechend schnell bzw. lokal sehr ungerichtet.

Während der Umformung beginnen sich die Zonen mit der größten Deformierung zu verfestigen und zu verdichten, so dass die unteren Zonen mit zunehmender Tiefe weniger Einwirkung erfahren.

Nach der Krafteinwirkung ist die Oberfläche des Blockes sehr stark kaltverfestigt, während im Kern kaum eine Umformung stattgefunden hat.

Diese Umstände führen stets zu ungleichen Spannungszuständen innerhalb des Profilquerschnittes.

Da das Material analog zur Krafteinwirkung in unterschiedlichen Tiefenabständen nun auch verschiedene Umformungszustände hat, wird beim anschließenden Glühen, besonders in der Kernzone eine unzureichende Rekristallisation stattfinden.

Dieser Vorgang wiederholt sich mit jedem Arbeitsgang und entwickelt nach und nach einen sehr heterogenen Gefügestand, welcher je nach Kombination mehr oder weniger zwangsläufig zu Problemen führen wird.

Die Erfahrung hat gezeigt, dass besonders beim Schmieden deutlich häufiger gegläht werden muss als z.B. beim „Pressen“ des Materials.

Dieser Umformungsvorgang wird später noch näher erläutert.

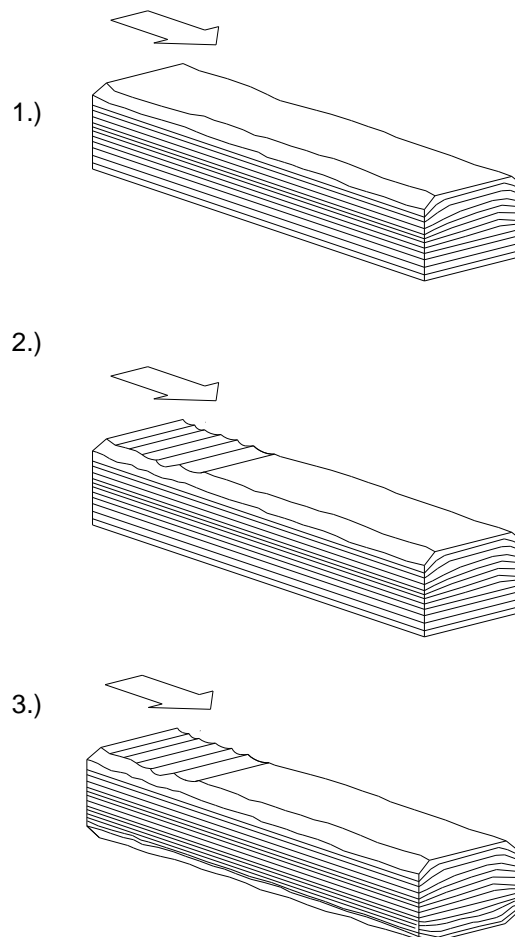
Doch zunächst im Folgenden noch ein paar Anhaltspunkte für das Schmieden der Halbzeuge. Diese gelten jedoch nur für die überwiegend kupferhaltigen Halbzeuge.

Für alle Gold und oder Palladium- Kombinationen ist das "Pressen" unerlässlich!

Sofern Ihnen keine geeignete Einrichtung zum Pressen der Module zur Verfügung steht, können Sie gemäß folgender Anleitung vorgehen.

Es wird nochmals ausdrücklich darauf hingewiesen, dass es sich hierbei lediglich um eine Art Notlösung handelt!

Beginnen Sie mit dem Schmieden an einer Seite des Blockes und schmieden Sie zunächst mit der Hammerbahn die **Kanten** (Abb.1) längsseitig ein. Danach benötigt das Material einen Glühvorgang. Anschließend schmieden Sie die Deckflächen der Länge nach mit einer runden Finne (Abb.2) durch. Arbeiten Sie niemals an beiden Enden parallel zur Mitte hin! Auch danach benötigt das Material einen Glühvorgang.



Schmieden Sie dann die entgegengesetzte Seite des Blockes, indem Sie mit den Schlägen wieder an dem Ende beginnen, an dem Sie die erste Seite begonnen haben.

Bevor Sie nun die beiden anderen Seiten bearbeiten (Schichtseiten), sollte abermals ein Glühen des Materials erfolgen.

Generell gilt, mit möglichst wenigen Schritten die maximal möglich Umformung zu erreichen. Dieses ist jedoch beim Schmieden von Hand und dem notwendigen Seitenwechsel nur bedingt umsetzbar.

SCHICHTWERK

m e t a l l v e r b i n d u n g e n

Der Impuls oder die Krafteinwirkung eines Hammerschlages berechnet sich aus der Masse des Hammers und seiner Beschleunigung.

Benutzen Sie demnach einen ausreichend schweren Hammer (ca. 500g) mit einer abgerundeten Finne z.B. R 5mm und achten Sie darauf, kräftige Hammerschläge nebeneinander zu platzieren. Eine Stelle, welche bereits geschmiedet wurde, hat eine Oberflächenverdichtung erfahren. Ein nochmaliges Treffen der selben Stelle kann zu Überlastungen führen.

Treiben Sie das Material in eine Richtung, die nach Möglichkeit beibehalten werden soll.

Eine Markierung des Materials, welche auch nach dem Glühen oder Löten erhalten bleibt (Kerbe, Körnung etc.), ist hilfreich.

Nachdem das Material diese Initialumformung ohne Schaden überstanden hat und zum Abschluss nochmals gegläht wurde, kann es nun vorsichtig in der Drahtwalze auf den angestrebten Querschnitt, z.B. als Vorbereitung zur Torsion, reduziert werden.

Als letzter Hinweis zum Schmieden sollte nicht unerwähnt bleiben, dass sich zumindest die Kombinationen ohne Silberlegierungen durchaus auch glühend schmieden lassen.

Einige Anwender schilderten, dass dieses bei so genannter „Schwarzglut“ (ca. 400-500°C) annehmbar funktionieren soll.

Pressen

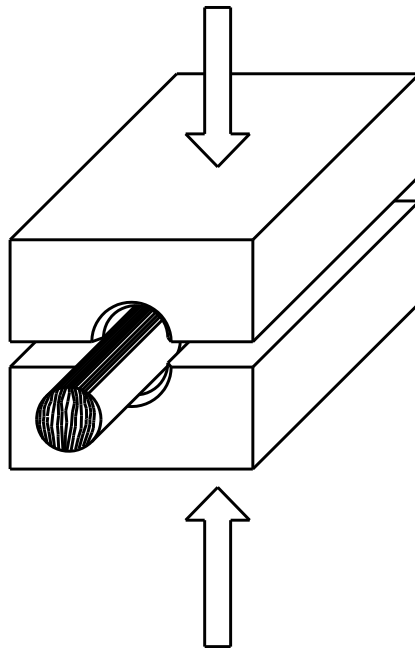
Eine amerikanische Studie bzw. zahlreiche Selbstversuche deuten darauf hin, dass gerade im Anfangsstadium durch Pressen des Materials besonders gute und materialschonende Umformungsergebnisse erzielt werden können.

Im Gegensatz zum Schmieden findet durch das Pressen eine sehr gerichtete, langsamere Umformung statt.

Hierbei wird das Material unter Zuhilfenahme eines robusten Schraubstockes oder einer Hydraulikpresse in zwei Riefenanken der Länge nach rund gepreßt.

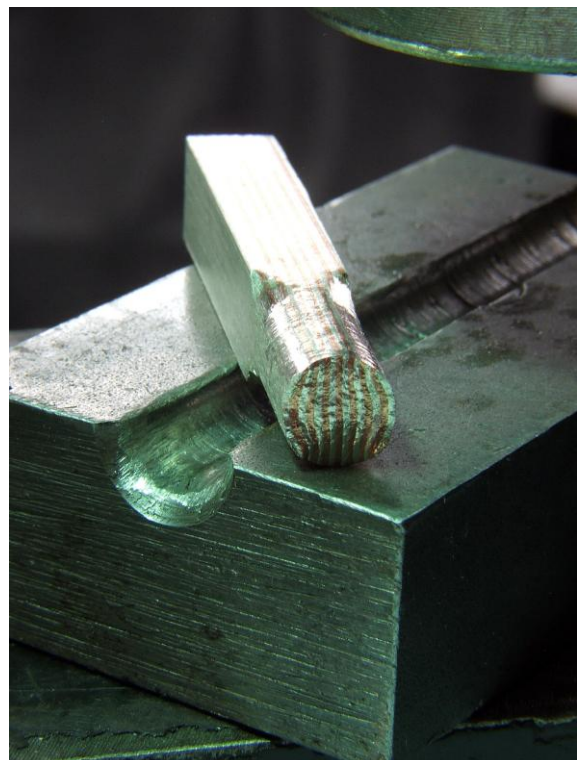
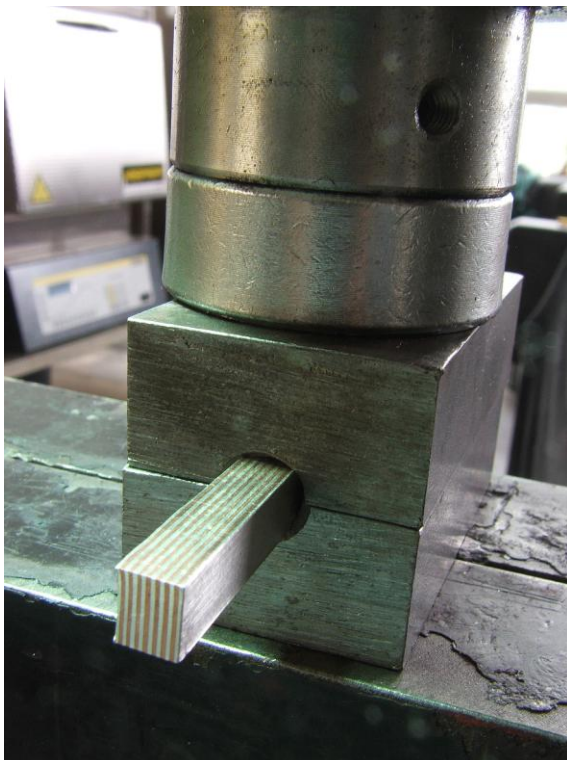
Das Stück wird ca. zu 1/3 der Länge in die Anke eingelegt und gepreßt. Dann legt man es zu ca. 2/3 der Länge nach ein und wiederholt den Vorgang schrittweise über die gesamte Länge des Modules.

Diese Technik ist auf folgender Abbildung schematisch dargestellt.



Schrittweise Rund-Pressen eines Modules

Die Grafik stellt den prinzipiellen Ablauf dar. Auf den folgenden Bildern ist ein Modul während der Pressung und der Zustand nach der Pressung zu erkennen.



SCHICHTWERK

m e t a l l v e r b i n d u n g e n

Damit das Modul während der partiellen Bearbeitung keine Einkerbung im Übergangsbereich von Vierkant- auf Rundprofil erleidet, ist der "Einlauf" der Anken mit einem Übergangsradius zu versehen.

Diese Art des Pressens stellt weitestgehend sicher, dass auch die Kernzonen die für das Glühen notwendige Umformung erfahren.

Es ist zusätzlich eine sehr schnelle Umformungstechnik, welche innerhalb weniger Minuten eine gezielte, schonende und weniger anstrengende Bearbeitung selbst kritischer Kombinationen ermöglicht.

Mit dieser Technik wird die Gefahr eines Risses im Bereich der Mittellagen durch unzureichende Umformung, wie beim Schmieden mit dem Hammer, deutlich reduziert.

Beachten Sie, dass die Belastung sogar parallel zum Lagenverlauf ohne Rissbildung erfolgt!

Entsprechende Werkzeuge für diese Technik können Sie für verschiedene Durchmesser direkt über uns beziehen.

Alle Halbzeuge bieten wir ebenfalls in bereits vorgepressten oder gewalzten Zuständen an.

Sprechen Sie uns im Zweifelsfalle gerne direkt an.

Riss oder kein Riss?

Spätestens nach dem Glühen muß das Material mit einer Lupe genauestens auf Risse untersucht werden!

Sofern während der Umformung Risse erkennbar sind, sollte das Löten, um unnötiges Erhitzen zu vermeiden, in einem Zug mit dem Zwischenglühen erfolgen!

Wie wichtig es ist, wirklich genau zu schauen ob sich Risse gebildet haben soll die folgende Abbildung verdeutlichen.

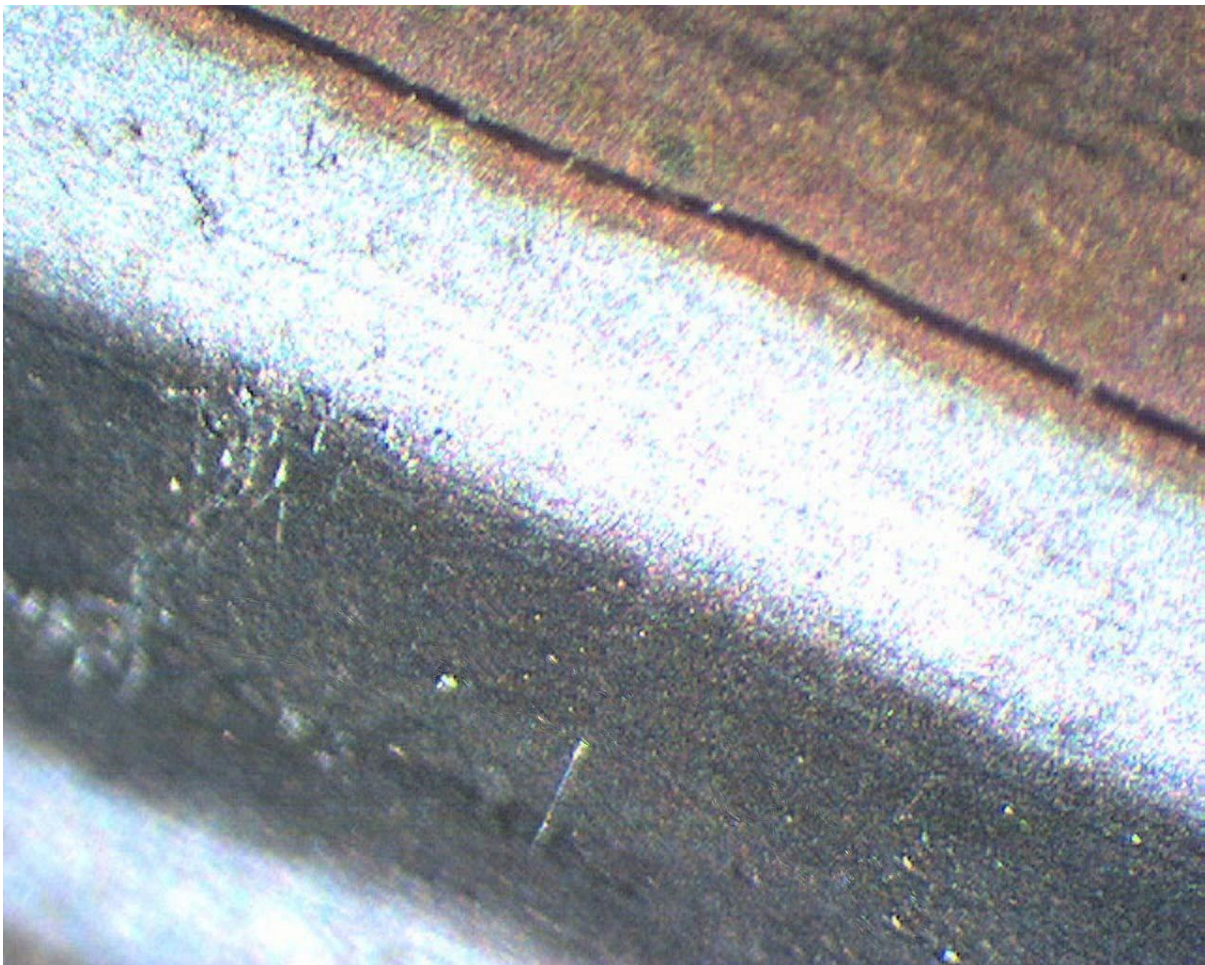
Hierbei handelt es sich um die Aufnahme eines Ringes aus Pd500/Rg585/Ag935.



Großaufnahme vermeintlicher Risse in einem Ring aus Pd500/Rg585/Ag935

Mit dem bloßen Auge oder einer schwachen Vergrößerung sahen die dunklen Stellen tatsächlich wie Risse aus. Bei genauerer Betrachtung durch ein Mikroskop stellten sich die vermeintlichen Risse als schwarze Oxydationen der Silberlagen heraus.

Die folgenden Abbildungen zeigen Bruchstellen innerhalb des Modules, welche nicht auf eine Schwäche der Schweißzonen sondern auf Überbelastung bzw. Behandlungsfehler des Materials hinweist.



Bruchzone innerhalb der Au917 Lage

Es ist deutlich erkennbar, dass die Bruchzone parallel zur Schweißzone, jedoch innerhalb einer Lage verläuft.



Bruchzone einer überlasteten Kombination Pd500/Gg750.
Bruchverlauf innerhalb der Au750 Lage nahe den Mittellagen

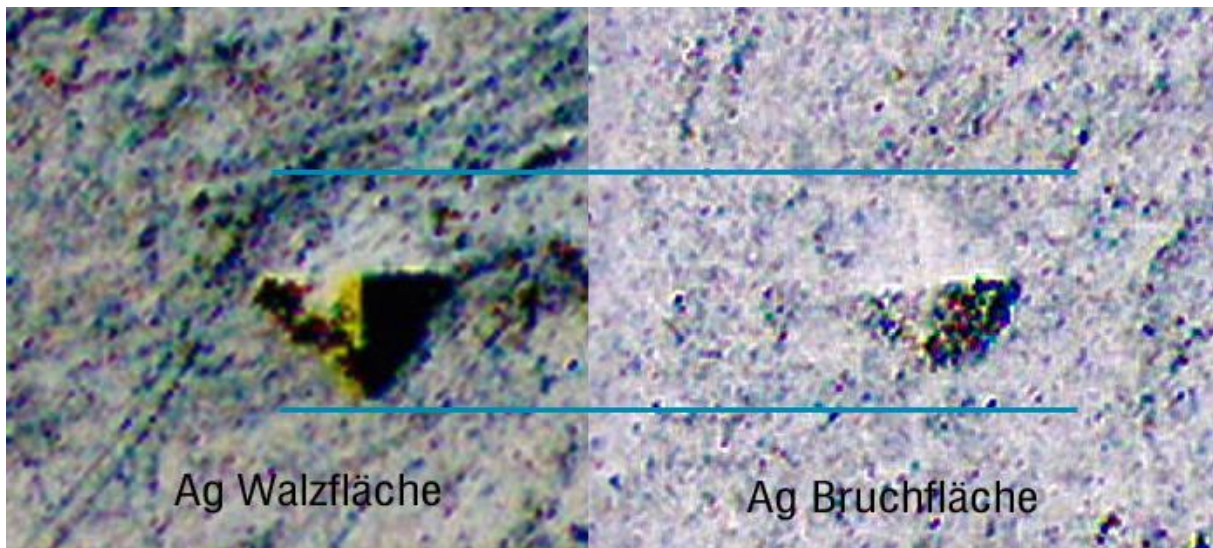
Die unterschiedlichen Aushärtungen, z.B. einer Außenlage im Gegensatz zu einer Bruchzone im Kern eines Modules, lassen sich auch anhand von Härteprüfungen verdeutlichen.

Auf der folgenden Abbildung wurden Microhärteprüfungen sowohl auf einer Außenlage als auch der Bruchfläche einer Kernlage zur Bestimmung der Materialhärte durchgeführt.

Die unterschiedlichen Aushärtungen der Zonen sind anhand der verschiedenen Eindringtiefen des Prüfkörpers sehr gut zu erkennen.

In dem abgebildeten Fall weist das Modul, bedingt durch fehlerhafte Handhabung im Bereich der gebrochenen Kernlage (Material Ag935), eine deutlich höhere Aushärtung im Gegensatz zur Außenlage auf.

Der Prüfkörper der UCI Messsonde dringt in die weichere Außenlage deutlich tiefer ein als in die härtere Bruchfläche der Kernlage.



Kontaktflächen-Abdruck der Sondenspitze, Microdur 1, Fa. Krautkrämer, Material Ag935
150 fache Vergrößerung

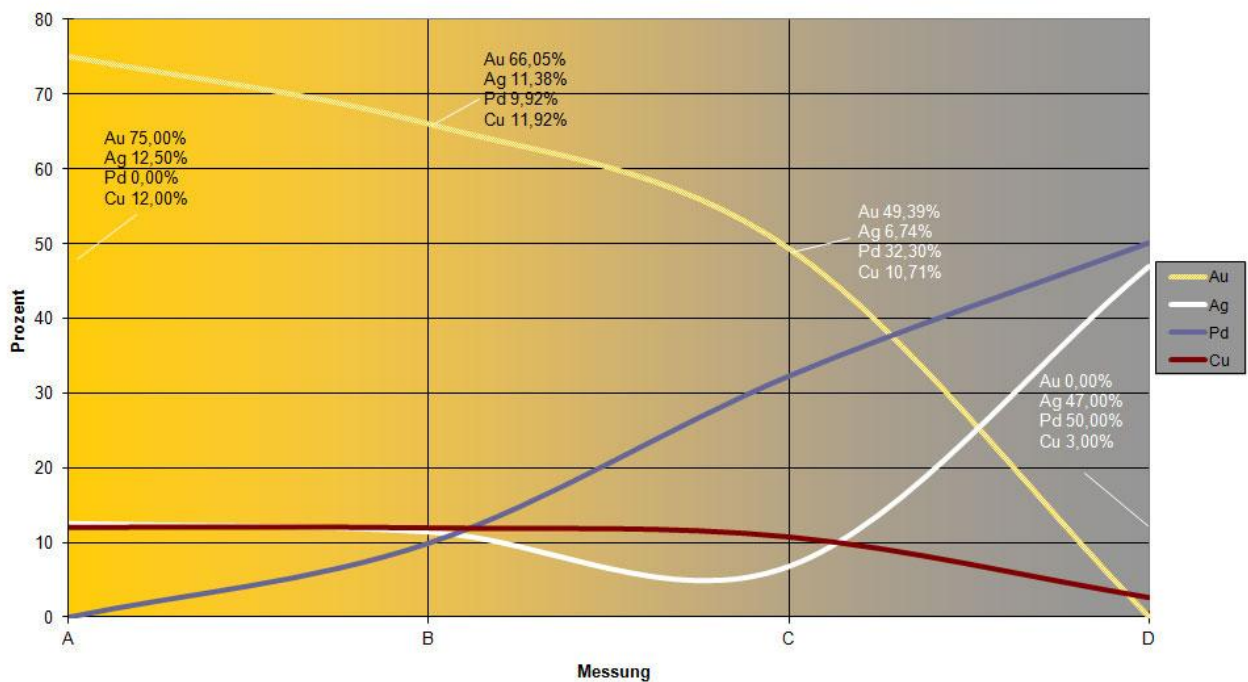
Ein weiterer Aspekt ist der, dass sich in der Nähe der Schweißzonen neue Legierungen gebildet haben, welche vollkommen andere Eigenschaften als die Ausgangslegierungen haben können.

Das nächste Diagramm gibt einen Eindruck der stofflichen Konzentrationen im Bereich bis ca. 0,1mm Abstand zur Schweißzone der Kombination Pd500/Gg750.

Daraus lässt sich ableiten, dass in verschiedenen Abständen zur Schweißzone praktisch jede Legierungskonzentration der Ausgangslegierungen zustande kommen kann.

Dieser Umstand verdeutlicht die Schwierigkeit, eine klare Angabe zu Umformungsgraden und Glühtemperaturen zu machen.

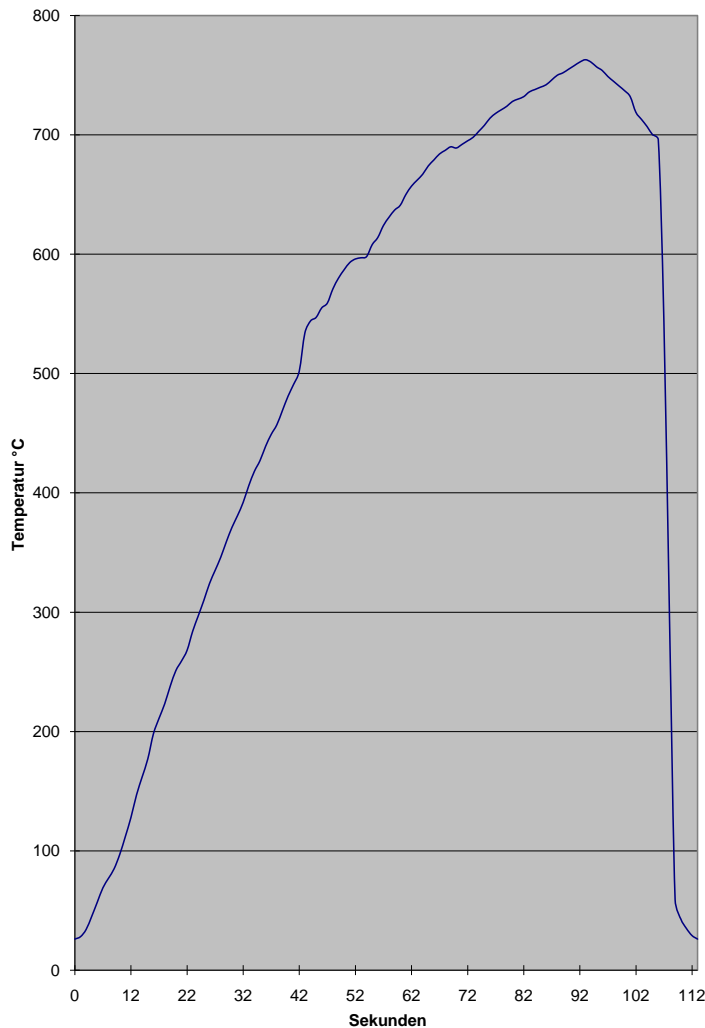
Interpolierte Legierungsverteilung in der Diffusionszone von Gelbgold 750 zu Pd500



Zwischenglühen

Ist der maximale Umformungsgrad erreicht, folgt das Zwischenglühen. Hierbei ist darauf zu achten, dass das Material rasch erwärmt wird. Benutzen Sie einen starken Brenner und kein Mundrohr! Einen exemplarischen Verlauf einer Wärmebehandlung der Kombination Ag935/Pd500 sehen Sie auf dem folgenden Diagramm.

Glühkurve Ag935-Pd500



Das Erhitzen bis zur maximalen Temperatur, in diesem Fall ca. 760°C, sollte in kürzester Zeit erfolgen.

Nach dem Erreichen der Maximaltemperatur ist ein kurzes Abfallen bis ca. 700°C ohne Wärmezufuhr zu erkennen. Besonders bei Kombinationen mit Palladium und Gold sollte eine Haltezeit bei ca. 700°C für wenigstens 1 – 2 Minuten eingehalten werden.

Taucht man das glühende Material zu schnell in das Abschreckgut, kann es aufgrund der verschiedenen Ausdehnungskoeffizienten der Lagen zu Spannungsrissen kommen.

Deshalb sollte das Material etwas an der Luft abkühlen (dunkelrot) bis es dann abgeschreckt wird. Die gesamte Wärmebehandlung dauert etwas weniger als 2-3 min.

Als Abschreckmedium empfiehlt sich eine Lösung aus ca. 40% H₂O / 50% Spiritus und ca. 10% H₂SO₄.

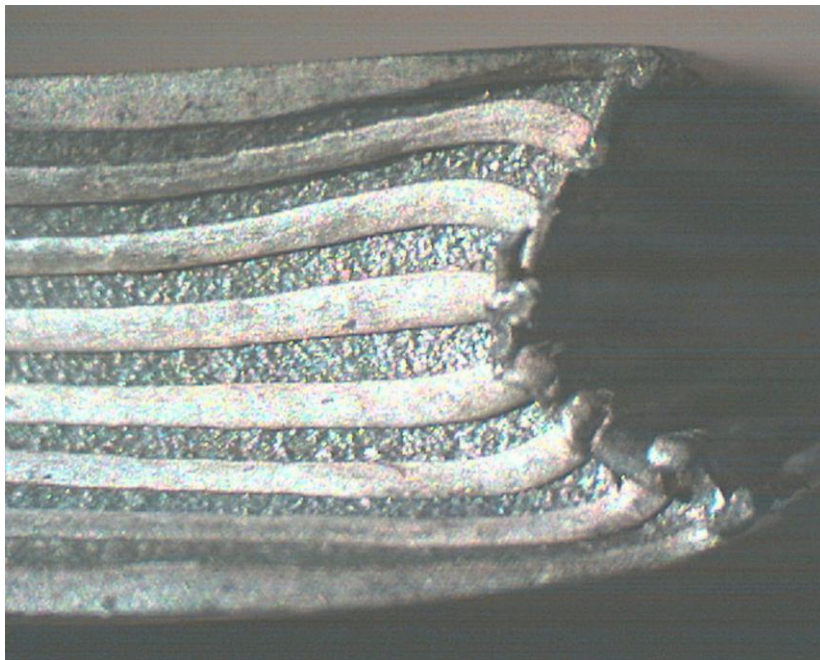
Diese Lösung führt zu oxydfreien Oberflächen und ist nicht so schroff wie reines Wasser oder eine Lösung aus 90% H₂O / 10% H₂SO₄.

Walzen

Nach den ersten Schmiede- oder Pressumformungen kann mit dem Walzprozess begonnen werden. Besonders das Walzen bedeutet außerordentlichen Stress für die Lagen und deren Schweißzonen.

Auf der folgenden Abbildung ist der Einlaufbereich eines bereits gewalzten Schichtmaterials zu sehen.

Deutlich sind die unterschiedlichen Verformungszonen zu erkennen. Der teilweise, gegenläufige Materialfluss erzeugt erhebliche Scherspannungen zwischen den einzelnen Schichten. Während die äußeren Lagen einen starken Verzug in Walzrichtung erkennen lassen, wird die Kernzone zu einem gewissen Grad gestaucht.



Walzverformung

Die meisten Probleme treten an der Einlaufseite im Bereich um die Mittellagen des Walzprofiles auf. Es kann vereinzelt auch auslaufseitig zu Scherbrüchen kommen. Sollten während des Walzvorgangs knisternde Geräusche hörbar sein, sind diese ein untrügliches Zeichen für eine fortgeschrittene Rissbildung.

Achten Sie darauf, die Zustellung nicht höher als 0,1mm zu wählen.

Auch hierbei sollte das Material immer in die gleiche Richtung gewalzt werden. Vermeiden Sie auf jeden Fall den Richtungswechsel ohne Zwischenglühen!

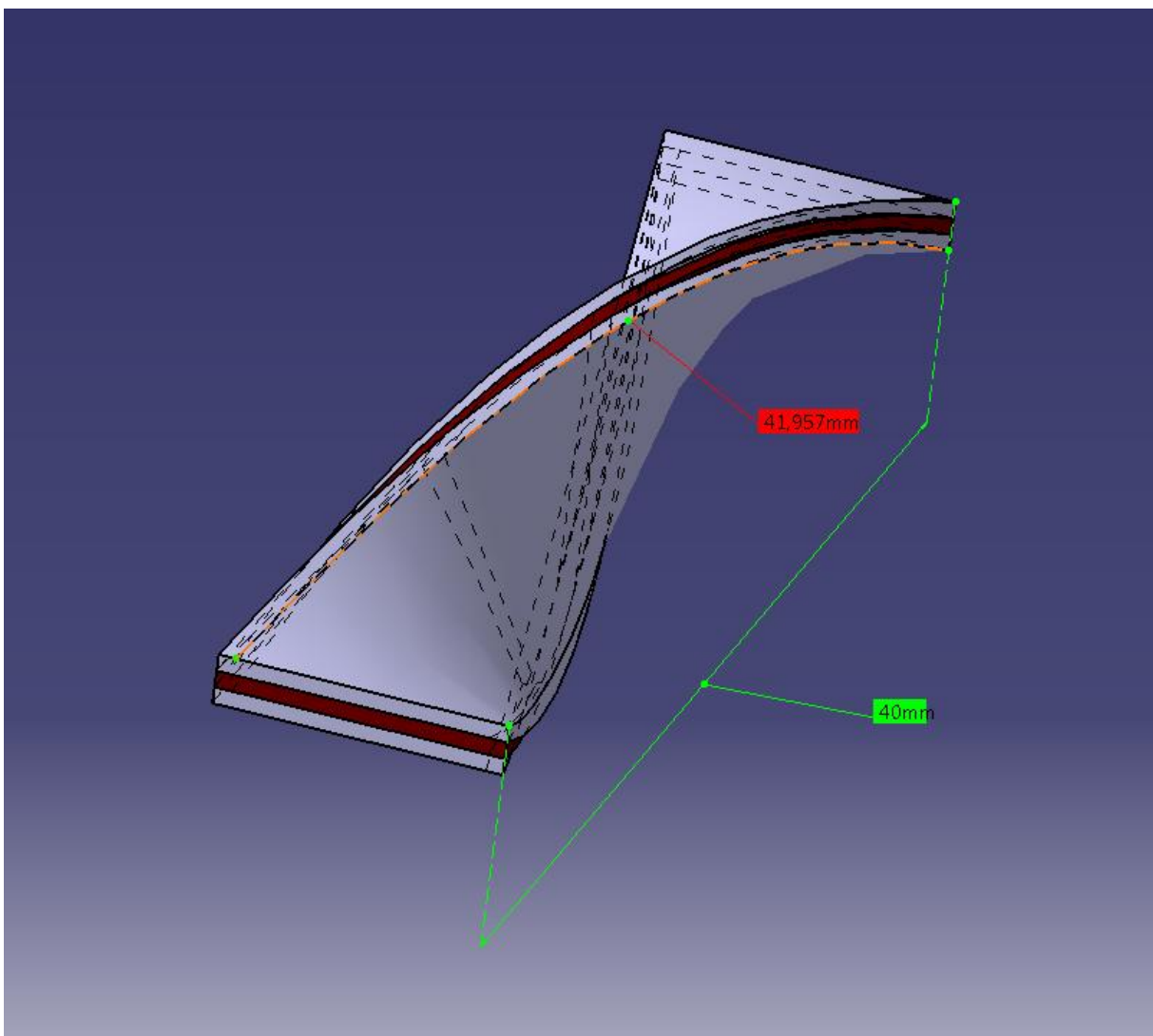
Eine Walzgeschwindigkeit von ca. 10m/min sollte nicht überschritten werden.

Auch hierbei gilt, dass nach einer gemessenen Umformung von ca. 15-20% das Zwischenglühen erfolgen soll.

Torsion

Die Torsionszeichnung ist wohl eines der schönsten Muster in der Mokume Gane Technik. Leider ist damit auch eine sehr komplexe Belastung des Materials erforderlich, denn die Torsionsverformung belastet überwiegend die Randzonen des Materiales während im Kern (neutrale Phase) des Materials kaum eine Umformung statt findet.

In der folgenden Darstellung ist die Dehnung der äußeren Zonen schematisch dargestellt.



Im Gegensatz zur Ursprungslänge (grün) hat die Außenkante des Materials nach einer 180° Torsion eine deutliche Dehnung erfahren (rot).

Eine kurze Berechnung soll diesen Umstand beispielhaft anhand eines Rundstabes verdeutlichen:

Ausgangstabdurchmesser : 8mm
Stablänge: 100mm
angenommene Torsion: 360°

Da eine Torsion von 360° eine volle Umdrehung des Stabes auf dem Umfang bedeutet, wird zunächst der Stabumfang berechnet:

$$U = D * \pi$$

$$U = 8mm * \pi$$

$$U = 25,13mm$$

Aus dieser Berechnung lässt sich der prozentuale Reckgrad der Metalle auf dem Umfangsbereich des Torsionsstabs errechnen:

$$\text{Reckgrad}\% = \frac{U}{L} \cdot 100$$

$$\text{Reckrad}\% = \frac{25,13mm}{100mm} \cdot 100$$

$$\text{Reckgrad}\% = 25,13\%$$

Mit diesem Ergebnis und der Kenntnis, dass die Umformungsgrade der meisten Kombinationen bei max. 15-20% liegen, wird ersichtlich, dass eine volle 360° Torsion bei einem Durchmesser von 8mm eine mögliche Überlastung der Umfangszonen darstellt, während im Kern des Materials kaum eine Umformung statt findet.

Aus diesem Zusammenhang wird erkennbar, dass es ratsam ist den Torsionsquerschnitt möglichst gering zu halten. In der Praxis hat sich ein Ausgangsdurchmesser von ca. 5-6mm für eine Torsion als vorteilhaft erwiesen.

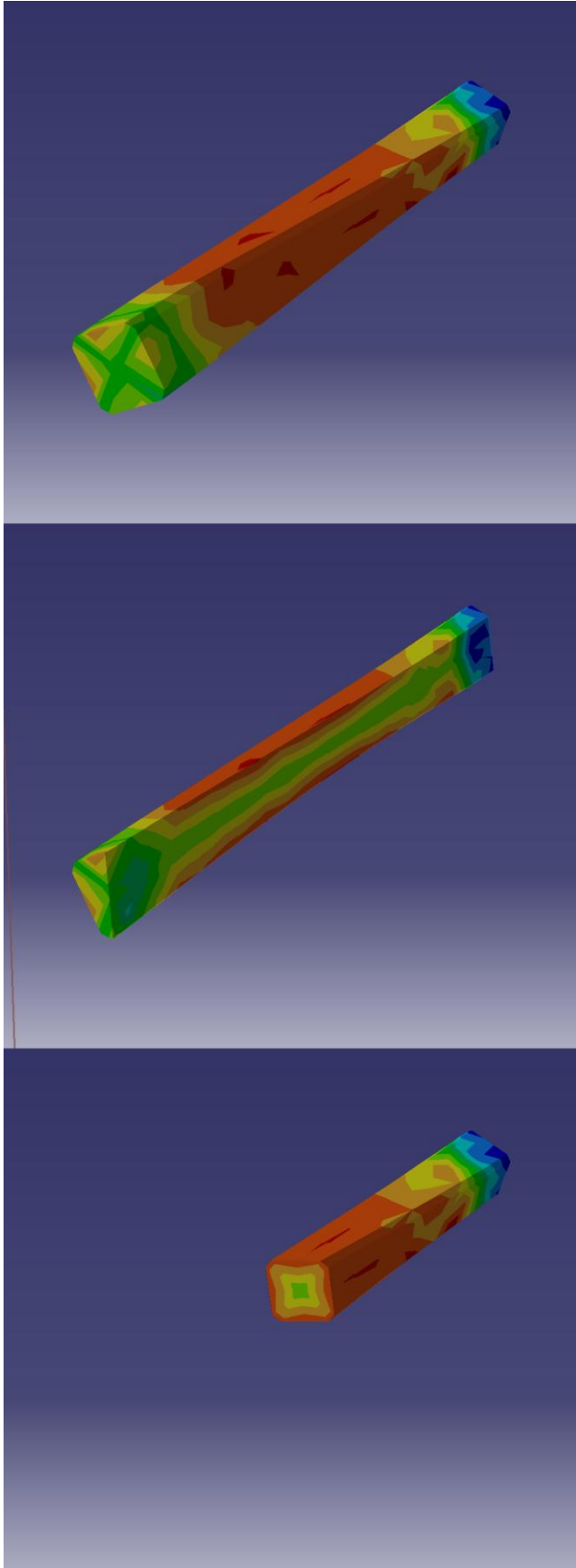
Es liegt auf der Hand, dass der möglichen Anzahl an Torsionen Grenzen gesetzt sind, da durch die Häufigkeit der Torsionsabläufe ein zunehmendes Ungleichgewicht im Gefüge entsteht.

Obwohl in der neutralen Phase kaum Umformung stattfindet, wird diese jedes Mal mit gegläht!

Die folgende Abbildung zeigt den Belastungszustand in einem Walzprofil von ca. 6,5mm X 6,5mm X 70mm bei einer Torsion von ca. 45°

SCHICHTWERK

metallverbindungen



Schematische Darstellung der FEM Analyse eines Tordierten Walzprofiles.

FEM = Finite Elemente

Maße: 6,5 x 6,5 x 75mm

Halbschnitt durch das tordierte Walzprofil.

Beachten Sie die grün dargestellte, längliche Zone entlang der neutralen Fase.

Dieser Bereich wird bei der Torsion nur sehr gering belastet und von daher nur unzureichend umgeformt.

Dagegen findet in den äußeren Zonen, erkennbar an der bräunlich / roten Färbung, eine sehr starke Umformung statt. Dieses führt zunehmend zu den für die Umformung ungünstigen Gefügeständen im Kernquerschnitt!

Querschnitt Darstellung des gleichen Walzprofiles.

Auch hier veranschaulicht die grünlich dargestellte Zone den Bereich der geringsten Belastung / Umformung innerhalb der neutralen Fase.

SCHICHTWERK

m e t a l l v e r b i n d u n g e n

Achten Sie während der Torsionsvorgänge auf hörbare Geräusche (Knistern) welche bereits eine Rissbildung ankündigen können.

Ein weiteres Indiz für Risse zwischen den Lagen ist oftmals nach dem Abschrecken und dem erneuten Torsionsbeginn zu beobachten.

Die beim vorherigen Torsionsprozess entstandenen Mikrorisse können sich während des Abschreckens, bedingt durch die Kapillarwirkung, mit Wasser füllen.

Beginnen Sie nun mit einem weiteren Torsionsgang, kommt es oftmals zur Bildung von Wassertropfen entlang der Torsionszone, ähnlich wie beim Auswringen eines Handtuches.

Wir wünschen Ihnen viel Erfolg bei der Herstellung Ihrer Schmuckstücke in der höchst anspruchsvollen Mokume Gane Technik!

„Ich weiß, dass ich nichts weiß.....“

Sokrates, 489 v. Chr. bis 399 v. Chr.

SCHICHTWERK

m e t a l l v e r b i n d u n g e n

Schichtwerk Metallverbindungen
Oliver Oettel
Belgische Allee 53d, Camp-Spich
53842 Troisdorf

☎ 02241/3019532

📠 02241/3019531