

## Bedeutung und Optimierung von Trafo-Anzapfungen und Formenaufbau für das FAST/SPS Sintern

Gerhard Weber, Geschäftsführer Dr. Fritsch

### Zusammenfassung

Beim FAST/SPS-Sinterverfahren werden Sintergut und Sinterform durch Joule'sche Erwärmung direkt erhitzt. Die erzeugte Wärme ist dabei von der Leistung im Stromkreis abhängig. Mit Hilfe der Trafo-Anzapfungen kann die Sekundärspannung angepasst werden, während der Formenaufbau direkten Einfluss auf den Widerstand im Stromkreis nimmt. Sind beide Faktoren optimiert, so können Prozess-Zeit und Energie beim Sinterprozess eingespart werden.

Die Sinterpressen der Firma Dr. Fritsch sind in der Regel mit mehreren Anzapfungen am Heiz-Transformator ausgestattet. In der Praxis werden diese Anzapfungen zu wenig genutzt.

Das FAST/SPS-Sinterverfahren funktioniert ganz anders als das Ofensintern. Wir können unsere Form nicht einfach in den Ofen schieben und indirekt erwärmen. Vielmehr ist der Formenaufbau ein integraler Bestandteil, da sich ja unsere Form direkt erwärmt. Es ist daher kein Zufall, dass man solche Maschinen auch Widerstands-Heißpressen nennt.

Die Anzapfungen dienen dazu, die Sekundärspannung der Maschine an die Sinterform anzupassen. Der Widerstand einer Sinterform bestimmt nämlich, wieviel Leistung diese Sinterform bei einer vorgegebenen Spannung aufnehmen kann.

Die Leistung wird zusätzlich über einen Leistungssteller geregelt. Dieser sorgt etwa dafür, dass die Maximalleistung der Maschine nicht überschritten wird, indem Strom und Spannung mittels Phasenanschnitt reduziert werden.

Dazu ein paar grundsätzliche Ausführungen:

Der Widerstand einer Sinterform selbst ist abhängig von verschiedenen Faktoren:

- Der spezifische Widerstand des Formenmaterials (sehr oft Graphit; unterschiedliche Graphitsorten haben unterschiedliche spezifische Widerstände). Wenn der spezifische Widerstand höher ist, dann ist der Gesamt-Widerstand der Form höher. Eine Metallform hat üblicherweise wesentlich weniger Widerstand als eine Graphitform.



ABBILDUNG 1 - Trafo-Anzapfungen an einer DSP 520.

- Die Fläche der Form – Wenn die Fläche größer wird, dann wird der Widerstand kleiner, „es passt mehr Strom durch die Form“.
- Wenn die Höhe der Form größer wird, dann wird der Widerstand größer. Wenn sich die Höhe verdoppelt, dann ist das so, als ob man 2 Formen aufeinander stellt - man hat dann eben den doppelten Widerstand.

- Der Sinterdruck hat einen gewissen Einfluss: Wenn man den Druck erhöht, dann sinkt oft der Widerstand der Form bzw. der Übergangswiderstand von Elektroden zur Form.
- Der spezifische Widerstand von Graphit ändert sich je nach Temperatur. Bei steigender Temperatur nimmt der spezifische Widerstand immer mehr ab bis zu ca. 900°C; ab dann nimmt der spezifische Widerstand wieder zu.

Einen ersten Anhaltspunkt bietet uns das Ohm'sche Gesetz:

$$U = R * I$$

Wobei: U = Spannung; R = Widerstand; I = Strom

Weiterhin gilt:

$$P = U * I$$

Mit P = Leistung

### Fall 1 – Form ist optimal ausgelegt.

Wenn wir unsere Form optimal ausgelegt haben und mit der Maschine unter Voll-Last arbeiten wollen, dann gibt die Maschine (z.B. eine DSP615) die volle Leistung an die Form ab, bzw. die Form nimmt die angebotene Leistung voll auf.

P sind dann 173kW, U = 4V und I = 43kA. (Vereinfacht, Verluste etc. vernachlässigt).

Dies wird in der Praxis nur für kurze Zeit machbar sein, da ja die Form wärmer wird und – wie wir oben gelernt haben - damit ihren Widerstand ändert

### Fall 2 – Widerstand der Form ist zu hoch.

Wenn man nun 2 Formen aufeinander stellt, dann bekommt jede Form sozusagen nur noch 2V ab. Wir haben den Widerstand verdoppelt. Der Leistungssteller macht voll auf, aber der fließende Strom ist nun deutlich weniger. Auf dem Display sehen wir, dass die volle Spannung anliegt, aber die Leistung ist wesentlich weniger als 100%. Klar, da  $P = U * I$  und I (unser Strom) ist gering. Ein typisches Zeichen für so eine Fehlanpassung ist, wenn die Form wenig Leistung aufnimmt, aber bei steigender Temperatur immer mehr Strom fließt. Ebenso wird typischerweise bei der Umschaltung auf den Hauptdruck (mehr Presskraft) die aufgenommene Leistung zunehmen.

Abhilfe schafft nun ein „Hochklemmen“ der Anzapfung. Wir gehen von 4V auf z.B. 5V. Bei gleichem Strom haben

wir nun eine höhere Spannung und mit  $U * I$  damit eine höhere Leistung.

Typische Anwendung ist beim Sintern von Ringen (kleine aktive Sinterfläche) oder beim Doppelrahmen-Sintern, beim Sintern von Nichtleitern oder bei der exzessiven Verwendung von nichtleitendem Trennmittel (Bornitrid).

### Fall 3 – Widerstand der Form zu klein

Beim entgegengesetzten Fall (zu kleiner Widerstand der Form) haben wir folgende Situation:

Die Form nimmt nicht alle Leistung auf, (Anzeige im Display bei P = z.B. 60%) und die Maschine geht in die Begrenzung. Die Maschine arbeitet sozusagen im Kurzschluss, der Leistungssteller begrenzt den Strom damit die Maschine nicht überlastet wird. Wie merken wir so einen Fall?

- Die Form heizt anfangs gut auf, aber bei steigender Temperatur geht der Maschine schnell die Luft aus.
- Auf dem Leistungssteller-Display (im Inneren der Maschine) wird ein Punkt angezeigt.
- Die Primärspannung im Display der Maschine sinkt, obwohl der volle Strom ansteht
- Wenn wir mehr Druck auf die Form geben, dann sinkt die Aufheizgeschwindigkeit weiter.

Wann passiert so etwas?

- Billiger Graphit (oft aus Asien). Vereinfacht dargestellt: Der spezifische Widerstand von Graphit wird über die Porosität eingestellt. Eine hohe Bruchfestigkeit trotz Porosität zu erreichen ist nicht einfach. Um die ausreichende Bruchfestigkeit zu garantieren wird bei billigem Graphit oft die Porosität reduziert und damit steigt die Leitfähigkeit (der spezifische Widerstand sinkt).
- Zu große aktive Fläche – Wir verlangen von der Maschine zu viel.

Was können wir nun tun?

- Wir schauen, ob der Trafo auf die niedrigste Stufe geklemmt ist – wir wollen mit möglichst geringer Sekundärspannung arbeiten.
- Wir erhöhen den Widerstand der Form, indem wir ...
  - ... die Form verkleinern (weniger Segmente = weniger Fläche)

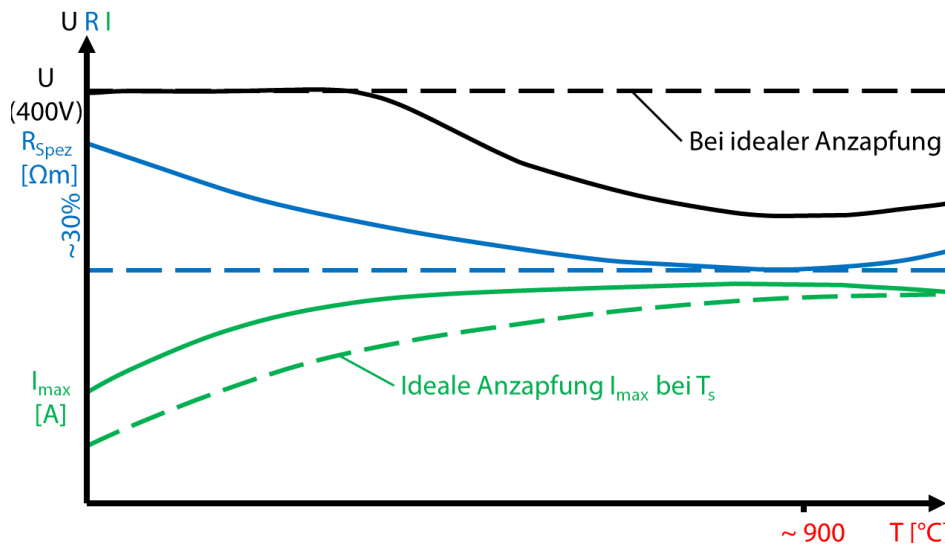


ABBILDUNG 2 - Zusammenhang zwischen  $U$ ,  $R$  und  $I$  in Abhängigkeit von der Temperatur. Der Verlauf bei idealer Anzapfung ist gestrichelt dargestellt.

- ... die Höhe der Form vergrößern (z.B. 2 Formen aufeinander)
- ... das Formenmaterial verändern (mehr spezifischer Widerstand)
- ...den gesamten Formen-Widerstand erhöhen, indem wir CFC-Platten mit hohem Widerstand über und unter die Form legen.

passiert oft, wenn eine für einen Ofen ausgelegte Schleifscheiben-Metallform in einer Sinterpresse verwendet werden soll.

- Wir prüfen, ob unsere Graphit-Elektroden durch häufiges Überschleifen zu dünn geworden sind. Bei dünnen Elektroden ist die Temperatur-Wärmeleitung zu groß und wir verlieren zu viel Energie ins Kühlwasser, ebenso sinkt der Widerstand im Gesamtsystem.

Weiterhin gibt es ein paar indirekte Maßnahmen, die zwar nicht den Widerstand ändern, aber der Maschine mehr Spielraum geben:

- Bessere Isolation der Form. Damit reduzieren wir die Wärme-Abstrahlung und es bleibt mehr Leistung übrig, um die Form aufzuheizen. Das erreichen wir mit mehr Isoliermaterial im Spannrahmen oder Umwickeln der Form mit Graphit-Filz.
- Möglichst wenig Aufstandsfläche der passiven Formteile auf den Elektroden. Bei Schleifscheibenformen oder Sägeperlen-Formen legen wir dazu ein Stück Isolierpapier zwischen Elektroden und Außenring bzw. Elektroden und Seitenplatten.
- Wir optimieren unser Formendesign, um das Verhältnis von aktiver Sinterfläche zur Gesamtmasse der Form zu verbessern. Gerade bei Bohrer-Ringen oder Schleifscheibenformen mit dünner Belagsstärke ist die Form oft recht massig, obwohl sehr wenig aktive (von Strom durchflossene) Sinterfläche verwendet wird. Damit muss eine sehr hohe passive Masse aufgeheizt werden. So etwas

Die Situation ist schematisch in **ABBILDUNG 2** dargestellt. Grün gestrichelt ist der Stromverlauf bei einer idealen Anpassung. Grün durchgezogen ist ein Fall, bei der die Maschine in die Begrenzung geht. Hier sieht man (schwarze Linie), wie die Spannung durch den Leistungsteller mittels Phasen-Anschnitt reduziert wird, um den Strom zu begrenzen. Im Prinzip müssen wir die Formenanpassung durch Tests ermitteln. Ein erfahrener Maschinenbediener weiß ungefähr, mit welchem Formen-Design die Maschine optimal arbeitet. Aber auch da können immer mal wieder Überraschungen auftreten, wenn z.B. ein neuer Graphitlieferant gewählt wird. Insbesondere bei sehr großen Formen (z.B. bei Bremsbelägen) haben Unterschiede zwischen einzelnen Graphit-Chargen eine spürbare Auswirkung.

**Dr. Fritsch Sondermaschinen GmbH**  
 Dieselstraße 8  
 70736 Fellbach / Germany  
 Telefon: +49-711-51832-0  
 Telefax: +49-711-51832-10  
 Internet: [www.dr-fritsch.de](http://www.dr-fritsch.de)  
 E-Mail: [info@dr-fritsch.de](mailto:info@dr-fritsch.de)