

# Feinkornstabilisierte Platinwerkstoffe für den Hochtemperatur-Einsatz

Gölitzer, H.; Oechsle, M.; Singer, R.; Zeuner, S., OMG dmc<sup>2</sup> division, Hanau

## Abstract

Mehrere Tonnen FKS Platinwerkstoffe (**F**ein **K**orn **S**tabilisiert) der OMG dmc<sup>2</sup> division werden jährlich erfolgreich von der Glasindustrie als Schlüsselkomponenten eingesetzt. Hauptanwendungsbereiche dabei sind Glaswannen zur Herstellung hochreiner Glasqualitäten. Außergewöhnliche Eigenschaften wie Oxidations- und Korrosionsbeständigkeit bei hohen Temperaturen, sowie eine sehr gute Hochtemperaturfestigkeit zeichnen die dispersionsverfestigten FKS Platinwerkstoffe aus. Zudem kann der Konstruktionswerkstoff durch seine ausgezeichnete Langzeitbeständigkeit, selbst bei Temperaturen über 1.500°C, dynamisch belastet werden.

Im Beitrag werden Grundlagen der Werkstoffherstellung und der Bauteilfertigung aufgezeigt.

## FKS Platinwerkstoffe

Mit einem Schmelzpunkt von 1.770°C und einer sehr guten Oxidationsbeständigkeit eignet sich reines Platin ausgezeichnet für den Einsatz bei hohen Temperaturen nicht nur an Umgebungsatmosphäre. Bei den vorherrschenden Temperaturen schränkt jedoch die geringe mechanische Belastbarkeit des reinen Platin die Anwendung stark ein.

Eine gezielte Materialverfestigung, die zu höheren mechanischen Kennwerten führt, ist daher notwendig. Eine Möglichkeit der Verfestigung stellt die Legierungsbildung dar. Zum Beispiel bilden Legierungselemente wie Gold und Rhodium mit dem Platin Mischkristalle. Die Festigkeitserhöhung des Werkstoffs kann schmelzmetallurgisch erreicht werden.

Eine beträchtliche Steigerung der Festigkeit, selbst für reine Platinqualitäten, ist durch die Dispersionsverfestigung möglich. An Stelle der Legierungselemente oder zusätzlich zu diesen werden thermodynamisch stabile, harte nichtmetallische kleine Partikel in der Platinmatrix eingelagert. Diese feinverteilten Partikel behindern das Kornwachstum des Matrixwerkstoffs. Grundlegende Anforderung an diesen Dispersoidwerkstoff sind:

- Ein hoher Schmelzpunkt, dieser muss oberhalb des Schmelzpunktes der metallischen Matrix liegen
- Die Unlöslichkeit des Dispersoids in der Matrix

Bereits mit einem sehr geringen Volumenanteil der zweiten Phase im Werkstoff können physikalische und chemische

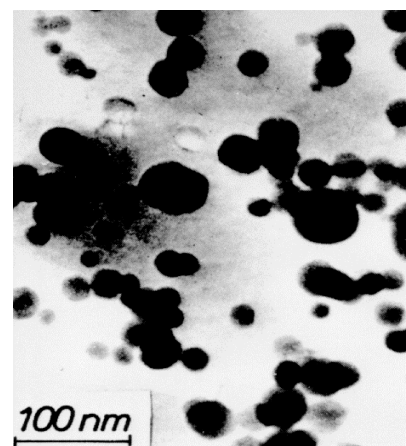


Abbildung 1: Verteilung der Zirkonoxidpartikel (0,16 Gew.-%) in FKS 16Pt

Eigenschaften, wie Anwendungstemperatur, Festigkeit und Reaktionsvermögen entscheidend beeinflusst werden. Festigkeitssteigernd kann zudem die hohe Versetzungsdichte in der metallischen Matrix wirken, wie sie typischerweise bei pulvermetallurgischen Herstellprozessen erreicht wird [1].

Als Dispersoid werden bei den FKS Platinwerkstoffen der OMG dmc<sup>2</sup> division Zirkonoxidpartikel eingebracht. Die stabilisierenden Oxidpartikel besitzen dabei einen Durchmesser von nur ca. 20-100 nm, bei einem Gehalt von ca. 1 Vol.-%. Dieser Volumenanteil entspricht in etwa 0,16 Gew.-% und wird als Zahlenwert 16 bei der Benennung der Werkstoffe berücksichtigt.

## FKS Platin ein Konstruktionswerkstoff

Eine Zusammenstellung relevanter Konstruktionskennwerte von warmfesten Platinwerkstoffen zeigt Tabelle 1 bei Raumtemperatur und bei 1.400°C. Zur Berechnung der Lebensdauer von Bauteilen ist unter anderem die Zeitstandfestigkeit von FKS Platinwerkstoffen erforderlich. Diese Werte zeigen die temperaturabhängige Lebensdauer als Funktion der Zeit [2].

| Werkstoff    | Zugfestigkeit <sup>1)</sup><br>R <sub>m</sub><br>[MPa] | Zeitstandfestigkeit<br>R <sub>m</sub> 1.400°C, 100h<br>[MPa] | Dehngrenze <sup>1)</sup><br>R <sub>p0,2</sub><br>[MPa] | Vickershärte <sup>1)</sup><br>HV 5<br>[-] | Kriechgeschw. <sup>2)</sup><br>e<br>[s <sup>-1</sup> ] | 2. Phase <sup>3)</sup><br>[Vol.-%] |
|--------------|--|--|--|---|--|------------------------------------|
| Pt 99,9      | 140  | 1,5  | 90   | 50  | 4 · 10 <sup>-3</sup>                                   | -                                  |
| PtRh10       | 300  | 4,5  | 180  | 100                                       | 2 · 10 <sup>-5</sup>                                   | -                                  |
| FKS 16 Pt    | 280  | 11   | 125  | 120                                       | 6 · 10 <sup>-8</sup>                                   | 0,9                                |
| FKS 16PtRh10 | 440  | 20   | 310  | 130                                       | 2 · 10 <sup>-9</sup>                                   | 0,9                                |

<sup>1)</sup>: Weichgeglüht 30 min / 1.000°C    <sup>2)</sup>: Belastung 10 MPa bei 1.400°C, stationäres Kriechen    <sup>3)</sup>: Nominell

Tabelle 1: RT-Festigkeitskenndaten warmfester Platinlegierungen im Vergleich zu reinem Platin

In Abbildung 2 sind diese Daten für verschiedene warmfeste Platinwerkstoffe bei 1.400°C, im Vergleich zu reinem Platin dargestellt.

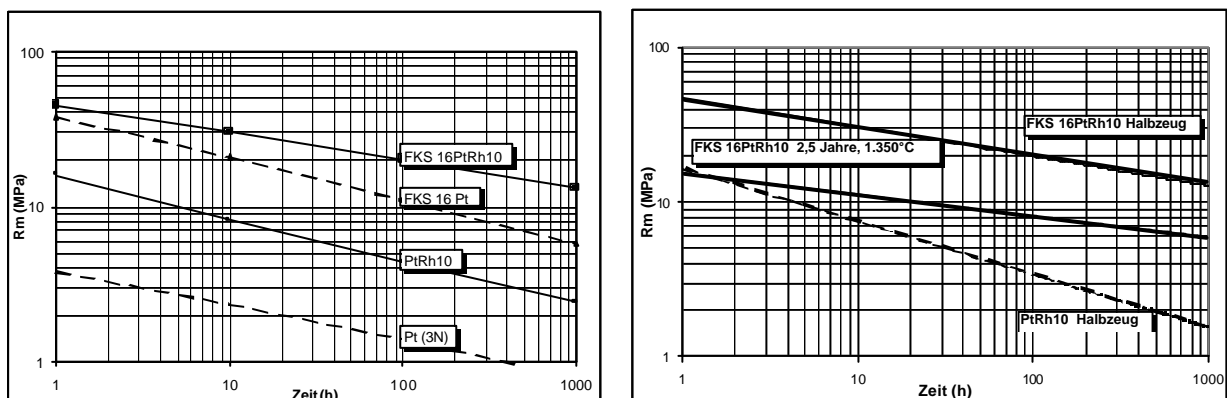


Abbildung 2: Zeitstandfestigkeit von Platinwerkstoffen bei 1.400°C: a) Halzeugqualität weichgeglüht; b) Vergleich Halzeugqualität weichgeglüht / Qualität nach Langzeitbelastung

Bei einer Last von 10 MPa und 1.400°C kann z.B. ein Bauteil nicht aus reinem Pt hergestellt werden. Fertigt man das Bauteil aus der Qualität FKS 16Pt, dann kann eine Einsatzdauer von 150 Stunden erzielt werden. Verglichen mit der Einsatzdauer einer mischkristallverfestigten Platin / Rhodium 10 Legierung bedeutet dies, dass der dispersionsverfestigte „reine“ Platinwerkstoff eine um den Faktor 30 höhere Standzeit besitzt.

Ein direkter Vergleich der Zeitstandfestigkeit von gealtertem FKS 16PtRh10 (2,5 Jahre/1.350°C) und schmelzmetallurgisch gefertigtem PtRh10 im Auslieferungszustand zeigt Abbildung 2 b). Vergleicht man die drei Graphen zueinander, dann kann man erkennen, dass sich die Festigkeitskennwerte des dispersionsverfestigten Werkstoffs nach einer Alterung reduzieren. Die Werte des gealterten Werkstoffs liegen jedoch höher, als die Werte von schmelzmetallurgisch hergestelltem Halbzeug derselben Zusammensetzung.



Abbildung 3: Gefügestruktur von FKS 16PtRh10 und PtRh10:  
a) FKS 16PtRh10 Halbzeugqualität weichgeglüht; b) FKS 16PtRh10 38 Monate bei 1.300°C gealtert, c) PtRh10 weichgeglüht

Betrachtet man die Gefügestrukturen der verschiedenen Qualitäten, dann wird der Unterschied offensichtlich. Im Gegensatz zum schmelzmetallurgisch hergestellten PtRh10 besitzt der FKS Platinwerkstoff nach dem Weichglühen noch seine feinfasrige, laminierte Struktur (vgl. Abbildung 3 a und c). Diese feinfasrige Struktur ist auch nach einem Langzeiteinsatz vorhanden (Abbildung 3 b) und stellt ein entscheidendes Qualitätsmerkmal der FKS Platinwerkstoffe dar.

Neben der Zeitstandfestigkeit und der Gefügestruktur kann der Alterungseffekt der Werkstoffe auch im Spannungs-Dehnungs-Diagramm abgelesen werden.

Mit zunehmender Auslagerungszeit reduzieren sich die Spannungswerte. Die Dehnung von FKS Platinwerkstoffen hingegen reduziert sich im Gegensatz zu schmelzmetallurgisch hergestellten Platinlegierungen nicht.

Die eingeprägte feinfasrige Vorzugsrichtung (Textur) und somit die höhere Festigkeit bleiben erhalten. Der Effekt des dritten Temperaturbereichs bei der Wärmebehandlung metallischer Werkstoffe, das Kornwachstum, setzt nur bedingt ein. Somit nähern sich die Eigenschaften der dispersionsverfestigten FKS Platinwerkstoffe den

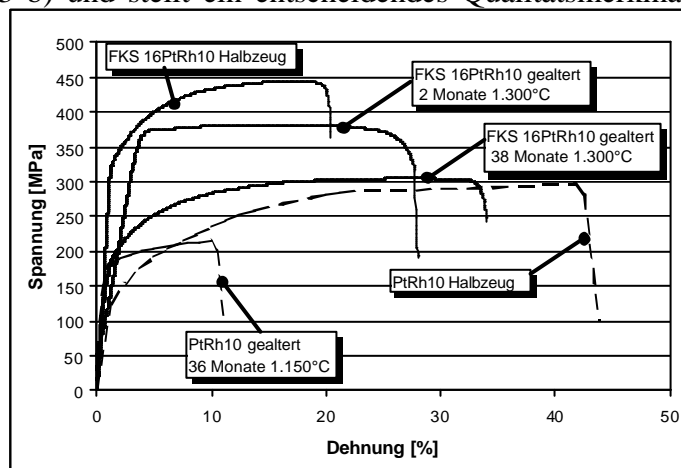


Abbildung 4: Spannungs-Dehnungs-Diagramm (RT) verschiedener Platinqualitäten

Grundeigenschaften der mischkristallverfestigten Qualität. Dieser Zusammenhang ist graphisch in Abbildung 4 dargestellt [3].

## Schlüsselkomponenten für die Glasindustrie

FKS Platinwerkstoffe haben aufgrund ihrer ausgezeichneten Korrosionsbeständigkeit und herausragenden Hochtemperatureigenschaften ihren festen Platz als Konstruktionswerkstoff für Schlüsselkomponenten in der modernen Glasindustrie gefunden.

Grundgeometrie sämtlicher Halbzeuge für die Herstellung von Bauteilen sind Dünnbleche und Rohrgeometrien in den unterschiedlichen FKS Platinqualitäten. Die intelligente Anwendung gängiger Umform-, Trenn- und Fügeverfahren aus dem Bereich der Metallverarbeitung sowie der Einsatz spezieller von der OMG dmc<sup>2</sup> division entwickelter Fertigungstechnologien ist Voraussetzung für die Herstellung dieser hochbeanspruchten Bauteile (Abbildung 5).

Unter anderem ist dabei die Beherrschung der richtigen Verbindungstechnik ein Schlüssel für den fehlerfreien Einsatz der Bauteile in der industriellen Anwendung.

Die üblichen, niedriglegierten Platinwerkstoffe lassen sich gut mit konventionellen Schmelzschweißverfahren verbinden, da sie nicht oxidieren. Für FKS Platinwerkstoffe ist bei diesen Verfahren allerdings zu berücksichtigen, dass im schmelzflüssigen Zustand die Dispersoide koagulieren und ausgeschwemmt werden können. Direkt damit verbunden ist eine unvermeidliche Festigkeitsminderung. Aufgrund dieses Effekts sind bei diesen Werkstoffen Verbindungstechniken im festen Zustand wie z.B. das Diffusions-, Press- oder Hammerschweißen dem Schmelzschweißen vorzuziehen. Die Gefügestruktur von zwei durch Hammerschweißen verbundener Feinbleche der Qualität FKS 16Pt zeigt Abbildung 6.

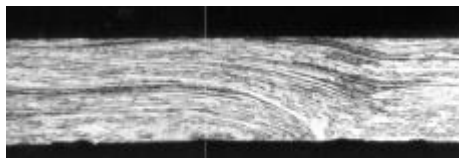


Abbildung 6: Gefügestruktur einer Hammerschweißung FKS 16Pt



Abbildung 5: Direkt elektrisch beheizte FKS 16PtRh10 Feederzelle

Da Bauteile stets aus einzelnen Blech- und Rohrgeometrien zusammengesetzt sind, lässt sich die Verbindungstechnik nicht umgehen. Es ist daher umso wichtiger Bereiche hoher Belastung bereits im Entwicklungsstadium zu erkennen, damit Fügebereiche und Schweißnähte in konstruktiv weniger belastete Zonen gelegt werden können [3].

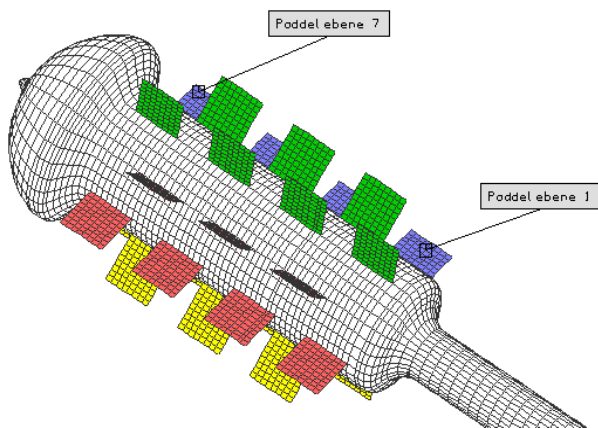


Abbildung 7: Vernetzte Oberfläche einer patentierten Keulenplungerstruktur mit Paddel für die mathematische Berechnung

Ein Werkzeug zur Bestimmung hochbelasteter Bereiche an Bauteilen sind moderne, strukturmechanische Berechnungsmethoden. Abbildung 7 zeigt die vernetzte Oberflächenstruktur eines von der OMG dmc<sup>2</sup> division patentierten Keulenplungers mit mehreren Paddelebenen.

Ausgehend von dieser vernetzten Struktur lassen sich, in Abhängigkeit von den vorliegenden Randbedingungen lineare und nichtlineare Berechnungen durchführen.

Schon in der Konzeptionsphase können bei der OMG dmc<sup>2</sup> division diese modernen Entwicklungswerkzeuge gemeinsam mit den Kunden

genutzt werden, um kritische Zonen bereits frühzeitig zu erkennen, damit die Schlüsselkomponenten auch den qualitativen Erwartungen der Kunden entsprechen und die gewünschten Funktionszeiten erzielt werden können.

## Zusammenfassung

Mehrere Tonnen aus dispersionsverfestigten FKS Platinwerkstoffen werden jährlich von der OMG dmc<sup>2</sup> division zu Schlüsselkomponenten für die Glasindustrie verarbeitet.

Langlebigkeit bei hoher Formsteifigkeit und ausgezeichneter Funktionalität im harten betrieblichen Einsatz bestätigen die kompetente Verbindung von Werkstoff- und Engineering-Know-How im Hause der OMG dmc<sup>2</sup> division.

Der erfolgreiche und störungsfreie Betrieb der entwickelten Systeme bei den Betreibern von Glaswannen bestätigt dabei die geleistete Arbeit.

- [1] W. Romanowski, S. Engels, *Hochdisperse Metalle*, Verlage Chemie Weinheim, **1982**
- [2] *Edelmetalltaschenbuch*, Hüthig-Verlag Heidelberg, **1995**
- [3] E. Drost, H. Gölitzer, M. Poniatowski, S. Zeuner, *Metall*, 7/8, **1996**, 492 – 498
- [4] M. Oechsle, H. Gölitzer, R. Singer, *Glas-Ingenieur*, 2, **2000**, 41-43