

## **Inhaltsverzeichnis :**

|                                                                                                               |           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1. Einleitung und Problemstellung.....</b>                                                                 | <b>1</b>  |
| <b>2. Theoretische Beschreibung von thermischer Leitfähigkeit und thermischem Ausdehnungskoeffizient.....</b> | <b>4</b>  |
| 2.1 Thermische Leitfähigkeit.....                                                                             | 4         |
| 2.2 Thermische Ausdehnung.....                                                                                | 5         |
| <b>3. Experimentelles.....</b>                                                                                | <b>7</b>  |
| 3.1 Pulversynthese und -charakterisierung.....                                                                | 7         |
| 3.2 Pulververdichtung .....                                                                                   | 8         |
| 3.3 Pulverkonditionierung und Suspensionsentwicklung.....                                                     | 8         |
| 3.4 Mikrostruktur und Phasenanalyse .....                                                                     | 10        |
| 3.5 Messung physikalischer Eigenschaften .....                                                                | 11        |
| 3.5.1 Thermischer Ausdehnungskoeffizient .....                                                                | 11        |
| 3.5.2 Temperaturleitfähigkeit und thermische Leitfähigkeit.....                                               | 11        |
| 3.5.3 Dichte und spezifische Wärmekapazität .....                                                             | 11        |
| 3.5.4 Optische Eigenschaften.....                                                                             | 11        |
| 3.5.5 Mechanische Eigenschaften .....                                                                         | 12        |
| 3.6 Plasmaspritzen.....                                                                                       | 12        |
| 3.6.1 Allgemeines .....                                                                                       | 12        |
| 3.6.2 Herstellung vakuum-plasmagespritzter Haftvermittlerschichten .....                                      | 12        |
| 3.6.3 Herstellung von YSZ und neuen Wärmedämmschichten über atmosphärisches Plasmaspritzen (APS).....         | 15        |
| 3.7 Charakterisierung plasmagespritzter WDS-Systeme .....                                                     | 17        |
| 3.7.1 Porosität und spezifische Oberfläche.....                                                               | 17        |
| 3.7.2 Phasenstabilität .....                                                                                  | 18        |
| 3.7.3 Sinterverhalten .....                                                                                   | 18        |
| 3.7.4 Chemische Stabilität und Korrosionsverhalten .....                                                      | 18        |
| 3.7.5 Erosionsverhalten .....                                                                                 | 18        |
| 3.7.6 Thermozyklisierung .....                                                                                | 19        |
| <b>4. Konventionelle Wärmedämmschichtsysteme .....</b>                                                        | <b>22</b> |
| 4.1 Substratwerkstoffe .....                                                                                  | 22        |
| 4.1.1 Überblick .....                                                                                         | 22        |
| 4.1.2 Die verwendeten Substratwerkstoffe .....                                                                | 24        |

|            |                                                                                 |           |
|------------|---------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>4.2</b> | <b>Haftvermittlerschichten .....</b>                                            | <b>25</b> |
| 4.2.1      | Überblick .....                                                                 | 25        |
| 4.2.2      | Charakterisierung der verwendeten VPS – NiCoCrAlY-Schichten .....               | 26        |
| <b>4.3</b> | <b>Wärmedämmschichten aus Yttriumoxid-teilstabilisiertem Zirkonoxid.....</b>    | <b>27</b> |
| 4.3.1      | Überblick .....                                                                 | 27        |
| 4.3.2      | Eigenschaften.....                                                              | 28        |
| 4.3.3      | Einsatzgrenzen .....                                                            | 30        |
| 4.3.4      | Charakterisierung von APS-YSZ-Vergleichs-Schichten.....                         | 32        |
| <b>4.4</b> | <b>Versagen von WDS-Systemen .....</b>                                          | <b>35</b> |
| <b>5.</b>  | <b>Neue Wärmedämmschichtsysteme .....</b>                                       | <b>39</b> |
| <b>5.1</b> | <b>Anforderungsprofil .....</b>                                                 | <b>39</b> |
| <b>5.2</b> | <b>Auswahl geeigneter Werkstoffklassen.....</b>                                 | <b>42</b> |
| 5.2.1      | Überblick .....                                                                 | 42        |
| 5.2.2      | Perowskite.....                                                                 | 44        |
| 5.2.3      | Pyrochlore.....                                                                 | 45        |
| <b>5.3</b> | <b>Neue Wärmedämmschichtkonzepte .....</b>                                      | <b>47</b> |
| <b>6.</b>  | <b>Herstellung und Charakterisierung neuer Wärmedämmschichtmaterialien.....</b> | <b>49</b> |
| <b>6.1</b> | <b>Pulversynthese und-charakterisierung .....</b>                               | <b>49</b> |
| <b>6.2</b> | <b>Herstellung dichter Körper und Sinterverhalten .....</b>                     | <b>52</b> |
| <b>6.3</b> | <b>Charakterisierung .....</b>                                                  | <b>53</b> |
| 6.3.1      | Thermischer Ausdehnungskoeffizient (TAK) .....                                  | 53        |
| 6.3.2      | Temperaturleitfähigkeit .....                                                   | 55        |
| 6.3.3      | Spezifische Wärmekapazität .....                                                | 55        |
| 6.3.4      | Thermische Leitfähigkeit.....                                                   | 56        |
| 6.3.5      | Phasenstabilität .....                                                          | 58        |
| 6.3.6      | Optische Eigenschaften.....                                                     | 60        |
| 6.3.7      | Weitere Eigenschaften .....                                                     | 64        |
| <b>6.4</b> | <b>Diskussion der Eigenschaften.....</b>                                        | <b>65</b> |
| 6.4.1      | Diskussion der Wärmeleitfähigkeit.....                                          | 65        |
| 6.4.2      | Diskussion der thermischen Ausdehnung .....                                     | 69        |
| 6.4.3      | Bewertung der Eigenschaften und Auswahl geeigneter Kandidaten.....              | 70        |
| <b>7.</b>  | <b>Herstellung plasmagespritzter Schichten .....</b>                            | <b>72</b> |
| <b>7.1</b> | <b>Pulversynthese .....</b>                                                     | <b>72</b> |
| <b>7.2</b> | <b>Pulverkonditionierung .....</b>                                              | <b>72</b> |

|       |                                                                                                           |     |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 7.3   | Schichtentwicklung über das Plasmaspritzen.....                                                           | 77  |
| 7.4   | Mehrlagenstrukturen und Gradierung.....                                                                   | 87  |
| 8.    | Charakterisierung von plasmagespritzten, neuen Wärmedämmschichten im Vergleich zu<br>YSZ – Schichten..... | 91  |
| 8.1   | Mikrostruktur .....                                                                                       | 91  |
| 8.2   | Chemische Stabilität.....                                                                                 | 91  |
| 8.3   | Erosionsverhalten.....                                                                                    | 94  |
| 8.4   | Sinterverhalten von plasmagespritzten Schichten .....                                                     | 95  |
| 8.5   | Zyklrierbarkeit.....                                                                                      | 99  |
| 8.5.1 | Phasenstabilität .....                                                                                    | 99  |
| 8.5.2 | Zyklenzahlen .....                                                                                        | 108 |
| 8.6   | Bewertung der Ergebnisse .....                                                                            | 122 |
| 9.    | Zusammenfassung und Ausblick .....                                                                        | 124 |