

---

**Inhaltsverzeichnis**

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Stand der Technik</b>	<b>3</b>
2.1	Physikalische Gasphasenabscheidung	3
2.1.1	Magnetron Sputtering	3
2.1.2	Direct current Magnetron Sputtering	8
2.1.3	High Power Pulsed Magnetron Sputtering	8
2.1.4	Hybridprozess	8
2.1.5	Fazit zur physikalischen Gasphasenabscheidung	9
2.2	PVD-Hartstoffschichten	9
2.2.1	Schichtarchitektur	9
2.2.2	Binäre Nitride der Übergangsmetalle	11
2.2.3	Ternäre Aluminiumnitride der Übergangsmetalle	12
2.2.4	Quaternäre Aluminiumoxinitride der Übergangsmetalle	13
2.2.5	Siliziumhaltige Oxinitride	16
2.2.6	Fazit zu PVD-Hartstoffschichten	17
2.3	Oxidation	17
2.3.1	Phasengrenze	18
2.3.2	Zeitgesetze der Oxidation	18
2.3.3	Metalloxide als schützende Deckschichten	20
2.3.4	Oxidation von PVD-Hartstoffschichten	21
2.3.5	Fazit zur Oxidation	23
2.4	Zerspanung	23
2.4.1	Schneidteil	23
2.4.2	Spanbildung	24
2.4.3	Schadensmechanismen	24
2.4.4	Standvermögen	26
2.4.5	Hartmetall	26
2.4.6	Schnellarbeitsstahl	27
2.4.7	Hartfräsen	27
2.4.8	PVD-Hartstoffschichten für das Hartfräsen	29
2.4.9	Fazit zur Zerspanung	30
2.5	Fazit zum Stand der Technik	30
<b>3</b>	<b>Zielsetzung und Lösungsansatz</b>	<b>31</b>

<b>4</b>	<b>Schichtherstellung und Untersuchungsmethoden</b>	<b>32</b>
4.1	Beschichtungsanlage	32
4.2	Plasmazusammensetzung	33
4.3	Schichteigenschaften	33
4.4	Verbundeigenschaften	37
4.5	Oxidationsverhalten	38
4.6	Spanbildungs- und Reibungsverhalten beim Hobeln	39
4.7	Einsatzverhalten in der Fräsbearbeitung	40
<b>5</b>	<b>Sauerstoffinkorporation in Aluminiumoxinitride der Übergangsmetalle</b>	<b>42</b>
5.1	Prozessparameter zur Herstellung der TMAION-Schichten mit variierendem Sauerstoffgehalt	43
5.2	Arbeitspunktbestimmung der nitridischen TMAION-Ausgangsprozesse	44
5.3	Reaktivgaszusammensetzung der oxinitridischen TMAION-Prozesse	45
5.4	Einfluss des Sauerstoffflusses auf die Kathodenströme und -spannungen der TMAION-Prozesse	47
5.5	Einfluss des Sauerstoffflusses auf die Plasmazusammensetzung der TMAION-Prozesse und auf die chemische Zusammensetzung der TMAION-Schichten	48
5.6	Einfluss des Sauerstoffflusses auf die Morphologie und Depositionsrate der TMAION-Schichten	51
5.7	Einfluss des Sauerstoffgehaltes auf die Phasenzusammensetzung der TMAION-Schichten	52
5.8	Einfluss des Sauerstoffgehaltes auf die Reaktionsschichtbildung der TMAION-Schichten	57
5.9	Einfluss der chemischen Zusammensetzung der Reaktionsschicht auf das Oxidationsverhalten der CrAlON-Schichten	59
5.10	Einfluss der chemischen Zusammensetzung der Reaktionsschicht auf das Oxidationsverhalten der TiAlON-Schichten	62
5.11	Einfluss der chemischen Zusammensetzung der Reaktionsschicht auf das Oxidationsverhalten der VAION-Schichten	66
5.12	Fazit zum Einfluss des Sauerstoffflusses auf die TMAION-Prozesse und -schichten	69

<b>6</b>	<b>Sauerstoffinkorporation in siliziumhaltige Oxinitride</b>	<b>71</b>
6.1	Prozessparameter zur Herstellung der TiAlCrSiON-Schichten mit variierendem Sauerstoffgehalt	72
6.2	Einfluss des Sauerstoffflusses auf das TiAlCrSiON-Prozessverhalten	73
6.3	Einfluss des Sauerstoffflusses auf die Morphologie, die Topographie, die Depositionsrates und die chemische Zusammensetzung der TiAlCrSiON-Schichten	75
6.4	Einfluss des Sauerstoffgehaltes auf die Phasenzusammensetzung der TiAlCrSiON-Schichten	79
6.5	Einfluss des Sauerstoffgehaltes auf das elastisch-plastischen Verformungsverhalten und auf das Bruchverhalten der TiAlCrSiON-Schichten auf Hartmetall	83
6.6	Einfluss des Sauerstoffgehaltes auf die Reaktionsschichtbildung und das Oxidationsverhalten der TiAlCrSiON-Schichten	87
6.7	Einfluss des Sauerstoffgehaltes auf das Einsatzverhalten der TiAlCrSiON-Schichten bei der Fräsbearbeitung	93
6.8	Fazit zum Einfluss des Sauerstoffgehaltes auf die TiAlCrSiON-Prozesse und -schichten	98
<b>7</b>	<b>Auslegung eines mehrlagigen Schichtsystems</b>	<b>99</b>
7.1	Prozessparameter zur Herstellung der TiAlCrSiN-Schichten mit variierender Biasspannung und des mehrlagigen Schichtsystems mit oxinitridischer Decklage	99
7.2	Einfluss der Biasspannung und der Applikation der oxinitridischen Decklage auf die Morphologie und Topographie der TiAlCrSiN-Schichten sowie des mehrlagigen Schichtsystems	101
7.3	Einfluss der Biasspannung auf die chemische Zusammensetzung der TiAlCrSiN-Schichten	102
7.4	Einfluss des Sauerstoffflusses auf die chemische Zusammensetzung der Decklage des mehrlagigen Schichtsystems	103
7.5	Einfluss der Biasspannung und der Applikation der oxinitridischen Decklage auf die elastisch-plastischen Eigenschaften der TiAlCrSiN-Schichten und des mehrlagigen Schichtsystems	104
7.6	Einfluss der Biasspannung auf die Eigenspannungen der TiAlCrSiN-Schichten	105

7.7	Einfluss der Biasspannung und der Applikation der Decklage auf die Verbundhaftung auf das Bruchverhalten der TiAlCrSiN-Schichten und des mehrlagigen Schichtsystems auf Hartmetall	106
7.8	Einfluss der Applikation der oxinitridischen Decklage auf das Reibungs- und Spanbildungsverhalten des mehrlagigen Schichtsystems	109
7.9	Einfluss der Biasspannung und der Applikation der Decklage der TiAlCrSiN-Schichten und des mehrlagigen Schichtsystems Einsatzverhalten bei der Fräsbearbeitung	112
7.10	Fazit zum Einfluss der Biasspannung auf die TiAlCrSiN-Schichten und der Applikation einer oxinitridischen Decklage auf das mehrlagige Schichtsystem	117
<b>8</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>118</b>
<b>9</b>	<b>Ausblick</b>	<b>120</b>
<b>10</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>121</b>
<b>11</b>	<b>Anhang</b>	<b>132</b>