

Processo de Chama de Alta Velocidade (High Velocity Oxy-Fuel Flame) - Estado da Arte, Novos Desenvolvimentos e Alternativas

Juliana Manica

Prof. Ramón S. Cortés Paredes

Curitiba, 14 de agosto de 2007.

* A característica especial desta técnica é que o material a ser depositado é menos aquecido, e impacta com velocidades mais elevadas nas superfícies a serem revestidas do que em outras técnicas por aspersion térmica.

- Os revestimentos apresentam geralmente uma densidade mais elevada e uma maior força de ligação.

- Além disso, uma quantidade menor do calor de entrada implica que as transformações e as reações termicamente ativadas podem ser mais bem controladas ou evitadas.

- Há aproximadamente dez sistemas diferentes de aspersion pelo processo HVOF (com \neq s gases utilizados como combustível).

- HVOF \rightarrow impulsionaram também desenvolvimentos para aumentar velocidades da partícula no processo de chama com arame e no processo de aspersion com arco.

- PROBLEMA: a oxidação do material aspergido permanece como o inconveniente principal de todas estas técnicas térmicas de aspersion e pode somente ser evitada pela aspersion de Plasma em Vácuo.

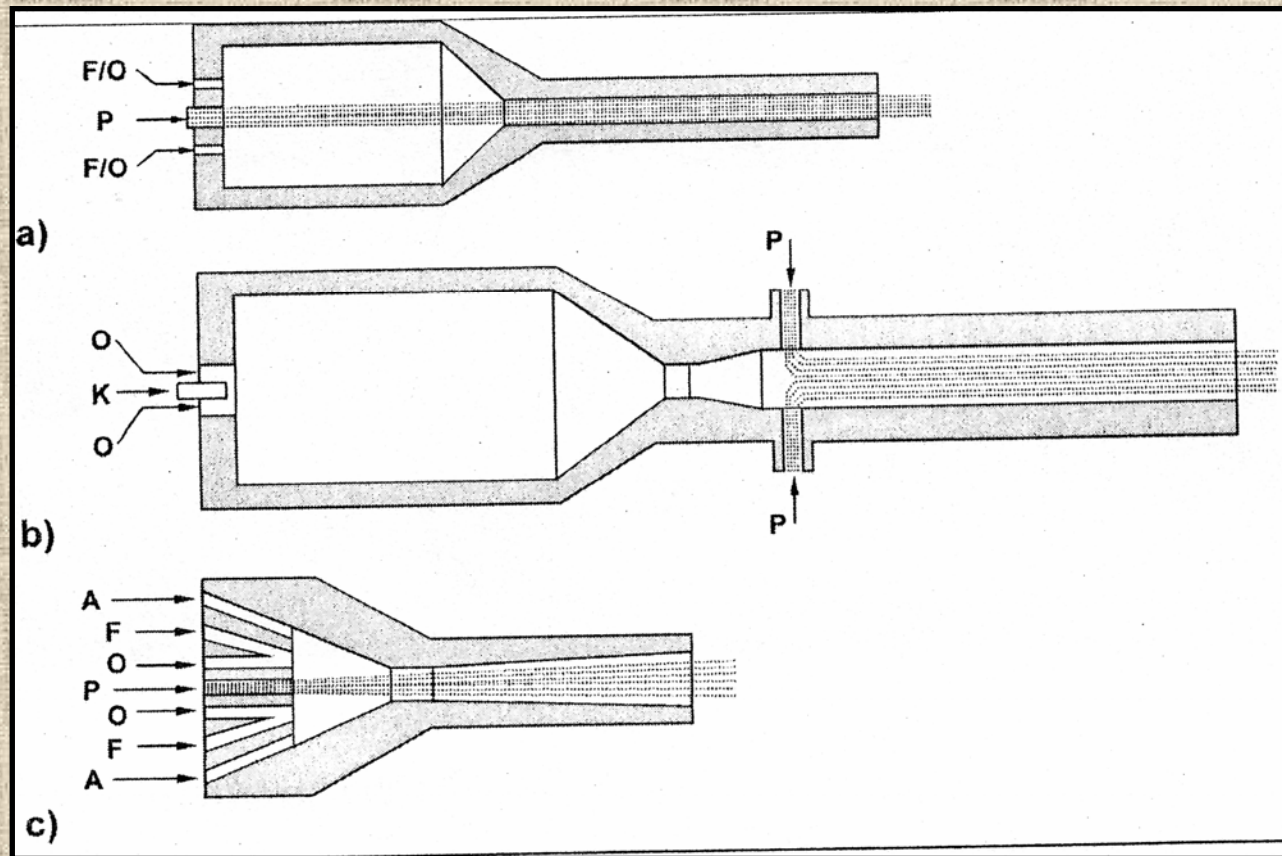
- Com aspersão fria, uma técnica adicional está agora disponível em que a oxidação pode ser impedida. Em uma corrente de gás inerte, que seja aquecido somente a uns 100°C , o material a ser aspergido é acelerado a velocidades elevadas em que a energia cinética no impacto com o substrato é suficiente para uma ligação bem sucedida.
- O presente trabalho descreve o estado da arte do processo de chama a alta velocidade, potenciais para desenvolvimentos em sistemas de aspersão e materiais aspergidos bem como a aspersão fria como uma alternativa.

Processo de Chama de Alta Velocidade (HVOF)

No processo HVOF, um jato de chama é formado pela combustão sob altas pressões. Chama com velocidades de gás maiores que 2000 m/s.

1º e 2º geração: combustão toma lugar em pressões entre 3 e 5 bars.

3º geração: combustão toma lugar em pressões entre 6 e 10 bars → Maiores velocidades.



*Figure 1: Principle of the different HVOF systems a) axial powder injection and straight nozzle tube (1st and 2nd generation)
 b), c) radial or axial powder injection and converging / diverging nozzle (3rd generation)*

F - fuel gas, O - oxygen, K - kerosene, A - compressed air, P-powder

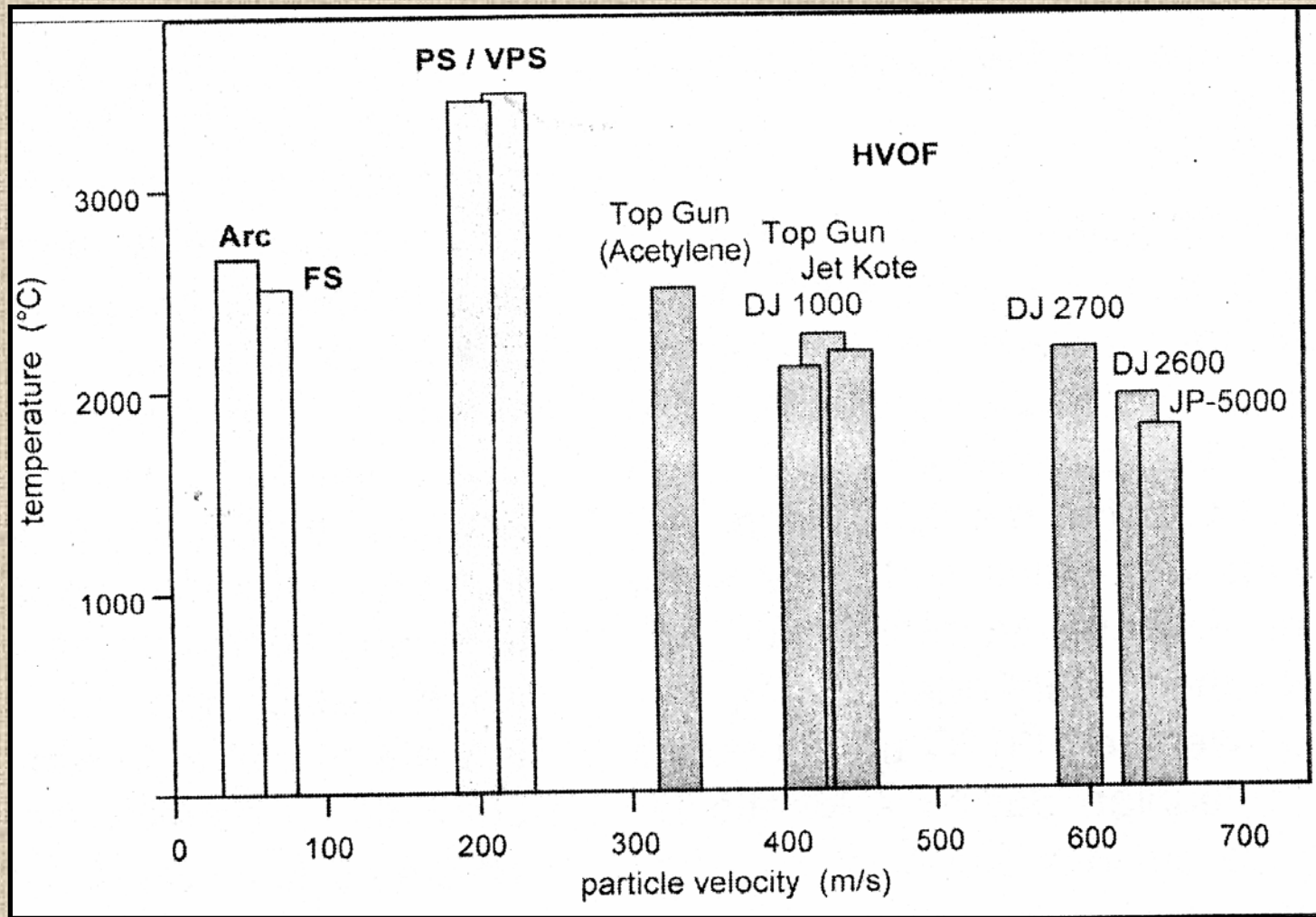


Figure 2: Particle temperatures and velocities obtained by different spraying methods (*v*-investigations on WC-Co 83-17, -45 + 10 μm)

Combustível e Parâmetros de Processo

A microestrutura e as propriedades dos revestimentos aspergidos são influenciados pela quantidade de energia cinética e térmica transferida para as partículas durante o processo de aspersão.

Ex.: a razão oxigênio/combustível pode levar a uma diminuição na temp. da chama, mas devido ao aumento do volume total do gás, pode levar ao aumento da velocidade.

Fuel	Maximum Flame Temperature (°C)	Heat of Combustion (MJ/m ³)	Oxygen / Fuel Ratio for		
			Maximum Flame Temperature	Neutral Flame	HVOF Applications
Propane	2828	93,2	4,5	5,0	3,0-8,0
Propylene	2896	87,6	3,7	4,5	3,5-7,0
Hydrogen	2856	10,8	0,42	0,5	0,3-0,6
Ethylene	2924	59,5	2,4	3,0	2,0-5,0
Acetylene	3160	56,4	1,5	2,5	1,3-4,0
Kerosene	ca. 2900	37,3 MJ/l	2,9 ¹⁾	3,4 ¹⁾	2,8-4,8 ¹⁾

¹⁾ standardized mass ratio oxygen / kerosene

Table 1 Properties of fuels used in HVOF-flame spraying

O calor requerido para a fusão do pó depende não somente do ponto de fusão deste, mas também de fatores como:

- Da taxa de alimentação
- Tamanho médio e distribuição de tamanho do pó a ser aspergido.

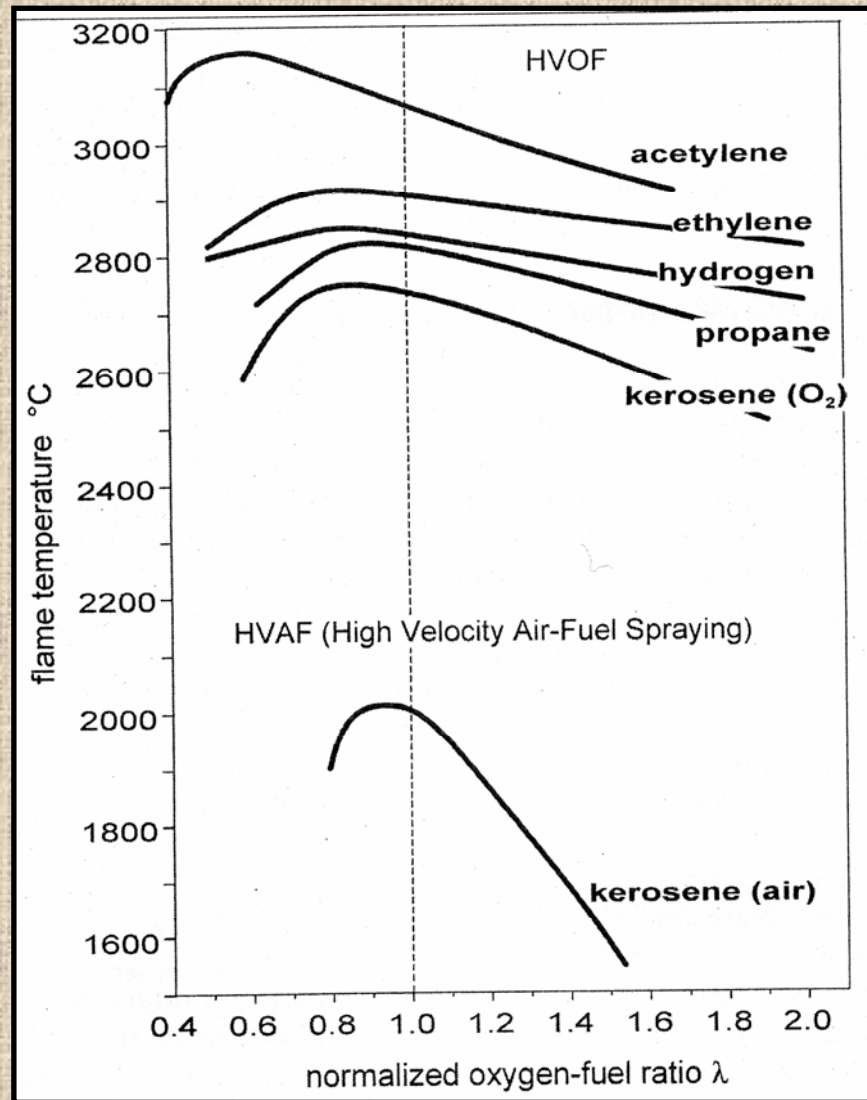


Figure 3: Influência da temperatura da chama em função da razão oxigênio/combustível.

Otimização dos parâmetros do processo

System	Fuel (m ³ /h)	Oxygen (m ³ /h)	Compressed air (m ³ /h)	Oxygen- Fuel Ratio	Spray- Distance (mm)
Jet Kote	Hydrogen	25,9	18,1	-	0,7
	Propane	3,0	21,0	-	7,0
	Ethylene	4,8	20,2	-	4,2
Top Gun	Hydrogen	25,9	13,0	-	0,5
	Propane	3,0	15,0	-	5,0
	Ethylene	4,8	14,4	-	3,0
DJ 2600	Hydrogen	38,2	12,8	20,6	0,45 ¹⁾
DJ 2700	Propane	4,1	15,2	22,0	4,8 ¹⁾
	Ethylene	6,8	15,0	21,8	2,9 ¹⁾
JP-5000	Kerosene 21 l/h (5,5 gph)	53,5 (1900 scfh)	-	4,2 ²⁾	350-380

¹⁾ calculation includes oxygen fraction of compressed air

²⁾ standardized mass ratio oxygen / kerosene

Table 2 Standard parameters for various HVOF systems

Propriedades de revestimentos HVOF

Cermets: misturas cerâmicas com ligas metálicas.

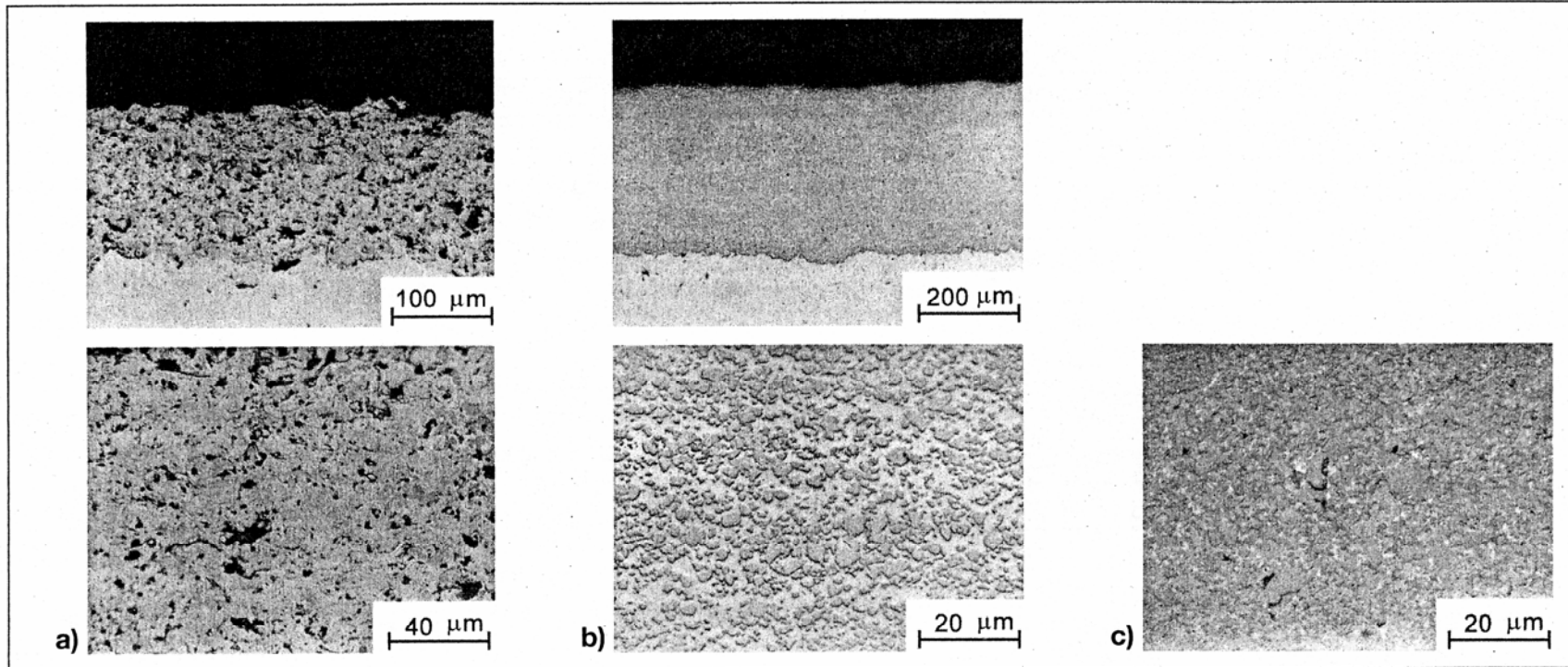


Bild 4: Vergleich von WC-Co Gefügen
(a) Plasmaspritzschicht, (b) HVOF-Schicht und
(c) Hartmetall

Figure 4: Comparison of WC-Co microstructures
(a) Plasma sprayed coating (b) HVOF-coating and
(c) Sintered hardmetal

Propriedades de revestimentos HVOF

Cermets:

material	process	carbon loss [%]	oxygen content [%]	hardness HV0,3	wear [mg/1200DS]	wear [m/1200DS]
WC-Co 83-17	DJ 2700 *)	40	0,1	1400	3,5	0,7
WC-Co 83-17	JP 5000	37	0,1	1490	3,6	0,7
WC-Co-Cr 86-10-4	DJ 2700 *)	10	0,3	1260	3,4	0,7
WC-Co-Cr 86-10-4	JP 5000	7	0,7	1210	4,1	0,8
Cr ₃ C ₂ -NiCr 75-25	DJ 2700 *)	19	2,5	1130	27,0	10,3
Cr ₃ C ₂ -NiCr 75-25	JP 5000	13	1,5	1260	28,0	10,7
TiC-Ni 60-40	DJ 2700 *)	34	6,5	710	9,7	4,3
WC-Co 88-12	APS	-	-	760	7,1	1,3
WC-Co 89-11	sintered	-	-	1630	3,0	0,6

*) with Ethylene as fuel

Table 3 Properties of cermet coatings

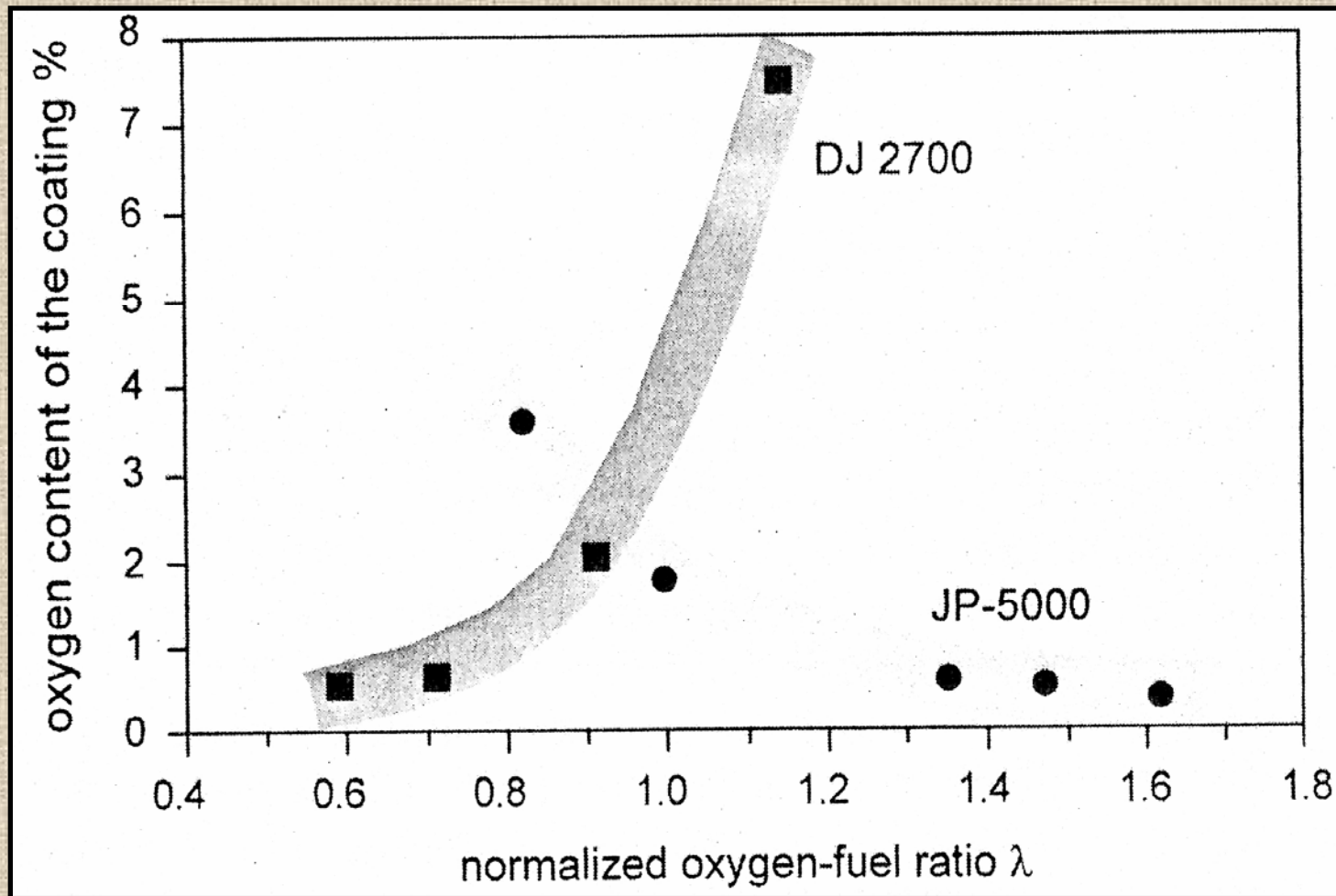


Figure 5: Influência da oxidação em função da razão oxigênio/ combustível de revestimentos de aço (316L) para os sistemas de HVOF DJ 2700/ Ethen and Jp 5000.

Metals e Ligas Metálicas

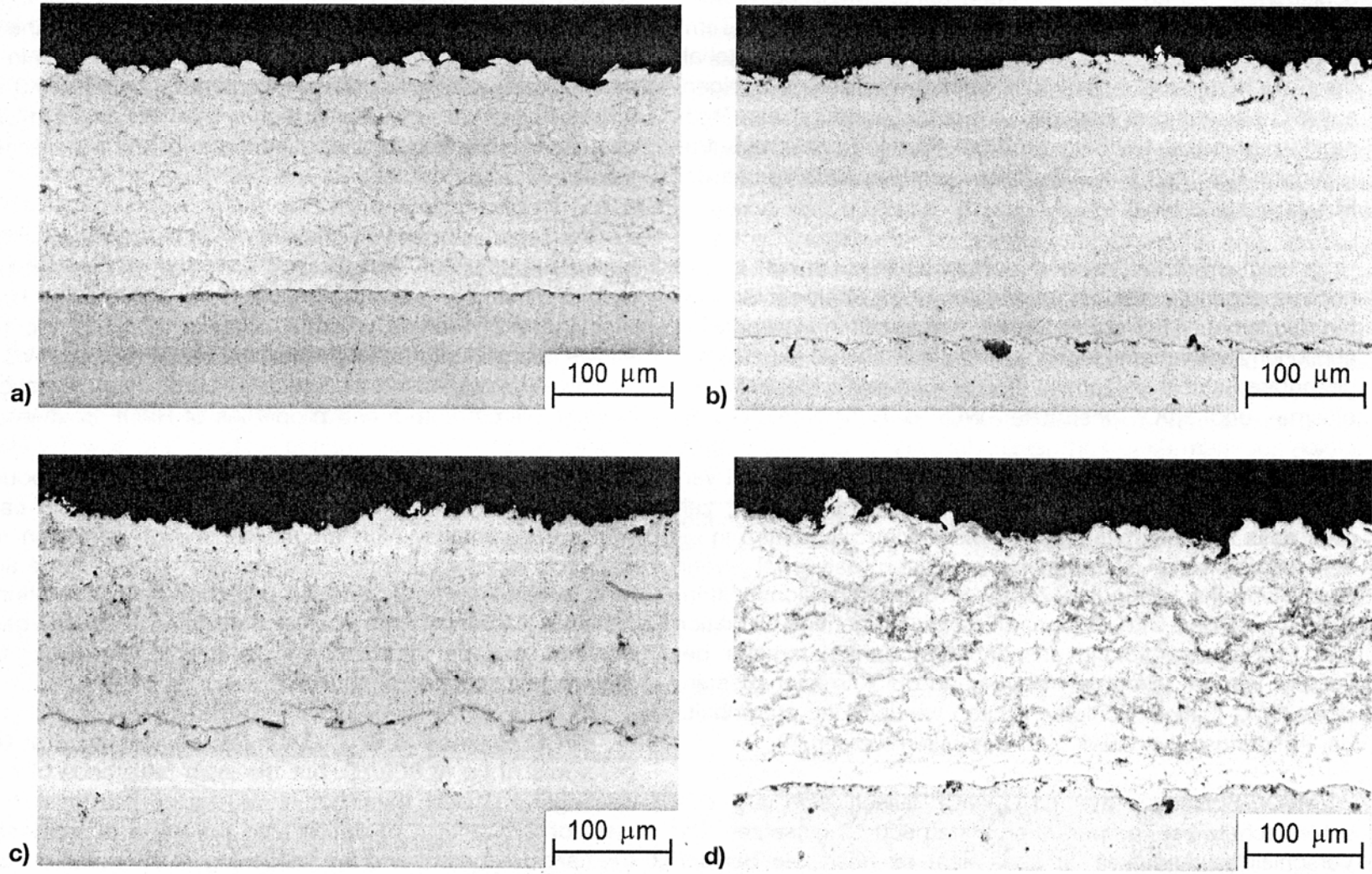


Bild 6: Gefüge von oxidarm gespritzten HVOF-Schichten
(a) Stahl 316L, (b) NiCrBSi, (c) NiWCrSi und (d) Cu

Figure 6: Microstructures of HVOF-coatings with comparatively small oxygen contents
(a) Steel 316L, (b) NiCrBSi, (c) NiWCrSi and (d) Cu

Revestimentos de óxidos cerâmicos

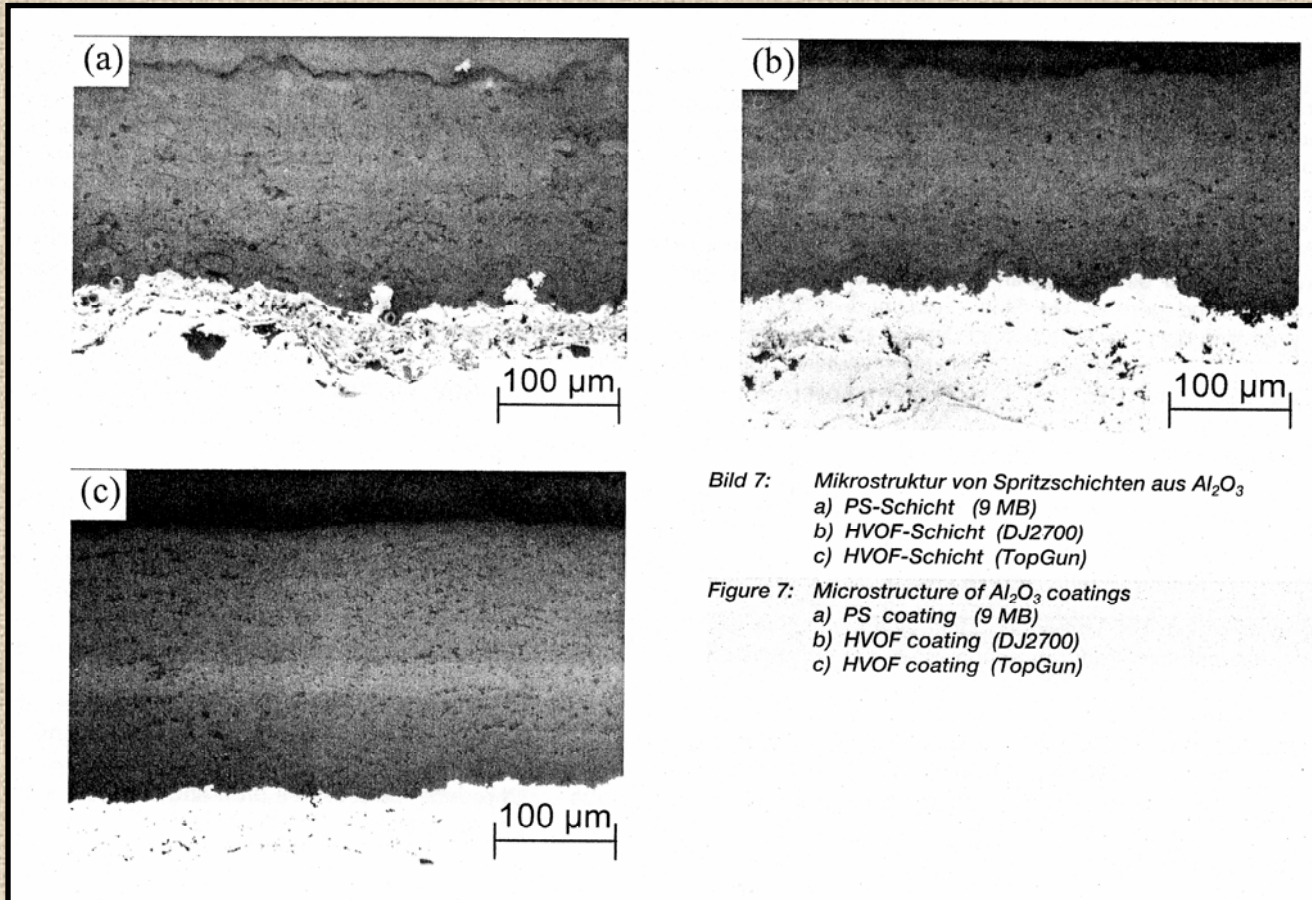


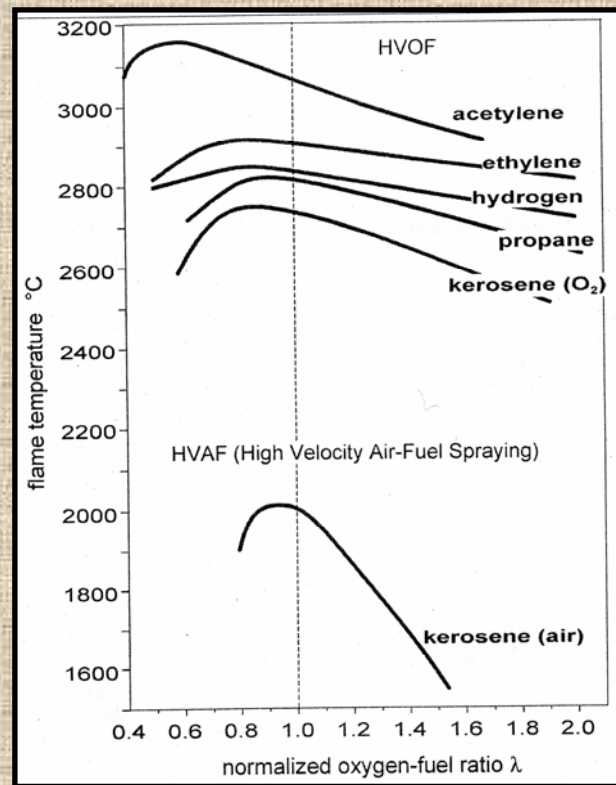
Bild 7: Mikrostruktur von Spritzschichten aus Al_2O_3
a) PS-Schicht (9 MB)
b) HVOF-Schicht (DJ2700)
c) HVOF-Schicht (TopGun)

Figure 7: Microstructure of Al_2O_3 coatings
a) PS coating (9 MB)
b) HVOF coating (DJ2700)
c) HVOF coating (TopGun)

- No caso de materiais cerâmicos o processo a plasma oferece vantagens econômicas em relação ao processo de HVOF (no PS: maiores taxas de deposição e eficiência de deposição).
- Entretanto, os revestimentos com HVOF apresentam maiores densidades e maior coesão das partículas.

Potenciais para novos desenvolvimentos em técnicas - HVOF

- * HVAF (High Velocity Air Fuel)
- * HVIF (High Velocity Impact Forging)



HVAF (High Velocity Air Fuel)

- Menores temperaturas da chama
- A oxidação do material a ser depositado pode ser reduzida
- Os revestimentos obtidos tem uma menor dureza e uma menor resistência ao desgastes, mas tem uma maior resistência a fratura

HVIF (High Velocity Impact Forging)

- Altas velocidades do pó → altas velocidades com que as partículas aderem ao substrato, obtidas aumentando a pressão na câmara de combustão:
 - HVOF → 7 a 10 bars
 - HVIF → 10 a 40 bars

Usando partículas maiores:

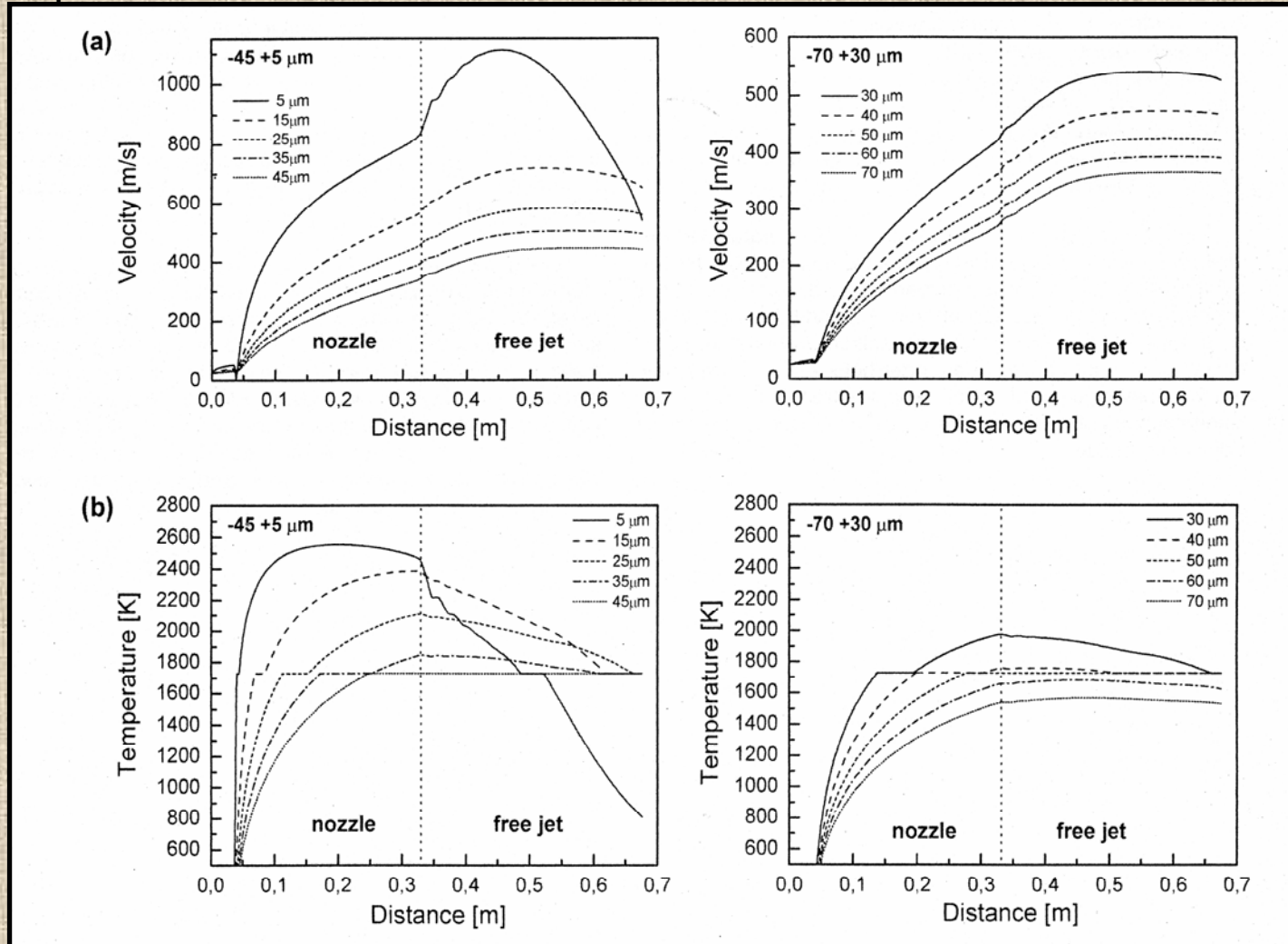


Figure 8: Calculated temperatures and velocities of WC-Ni 83-17 particles for a fictitious spray system:

a) Velocities for particle sizes of -45+5 μm and -70+30 μm

b) Temperatures for particle sizes of -45+5 μm and -70+30 μm

Aspersão com HVOF e “Aspersão a frio” (Cold Spraying)

- Ambas: altas velocidades;
- Maiores diferenças: aquecimento das partículas e temperaturas no impacto.

- HVOF → força de ligação: 50 a 100 MPa
- Aspersão a frio → 20 a 60 MPa

- Vantagem da aspersão a frio: a oxidação do material a ser depositado pode ser evitada.