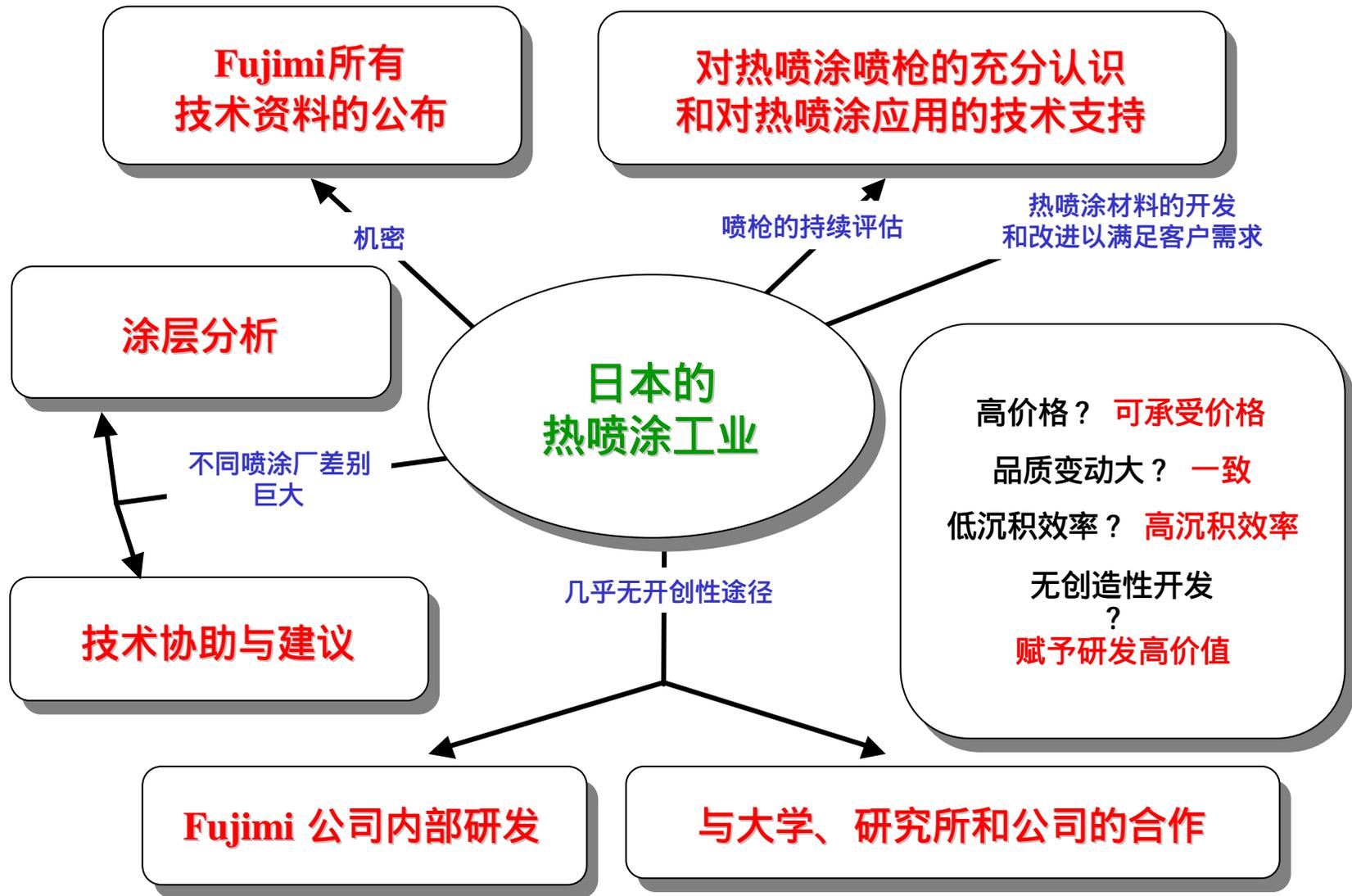


对HVOF和金属陶瓷材料 的近期研究

五日市刚 博士 著
谢国宏 博士 译

FUJIMI
FUJIMI INCORPORATED

FUJIMI在热喷涂领域的研究活动



Fujimi 开发的热喷涂新技术的 部分例子

喷涂细金属陶瓷粉末的新型HVOF系统的开发

高抗冲击性能金属陶瓷涂层的开发

HVOF喷涂固态润滑 MoS_2/Cu 涂层的开发

在熔融铝合金、锌合金中高耐腐蚀性能的MoB金属陶瓷材料的开发

等离子喷涂用纯 Y_2O_3 粉末的开发

有色涂层的开发

HVOF喷涂金属陶瓷涂层的基底材料与结合强度关系的阐明

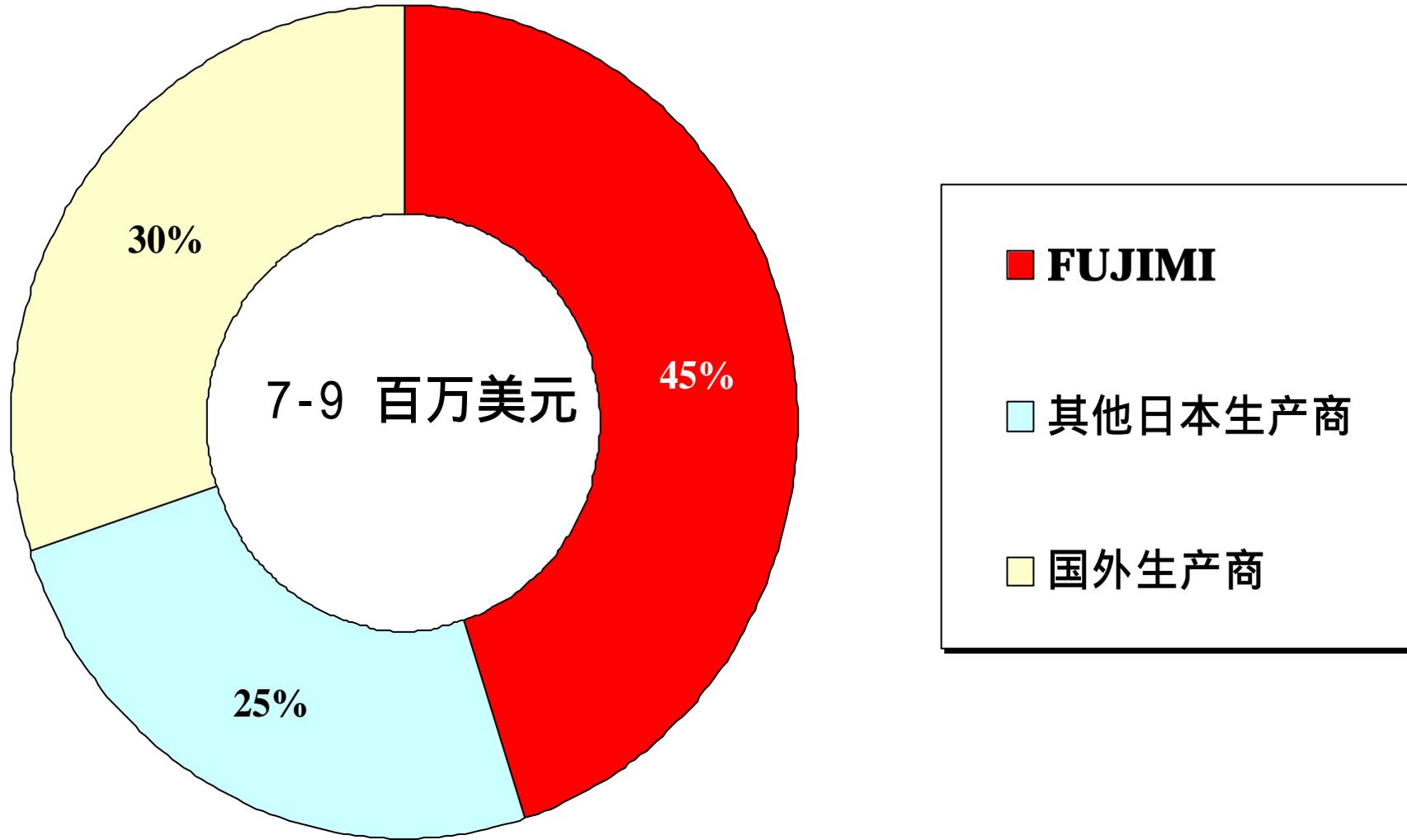
金属陶瓷涂层新型淹没系统的开发

垃圾发电厂中耐热蚀和耐磨的金属陶瓷喷涂材料的开发.

HVOF (? -gun)喷涂陶瓷涂层的形成

采用优化的WC粒子大小对WC金属陶瓷涂层耐磨性的显著改善

< 日本的金属陶瓷粉末市场 >



< 金属陶瓷粉末在日本的典型消耗 >

粉末制造工艺	粉末强度	大熔滴问题	沉积效率	工业消耗 / 年
熔化与破碎	非常高	非常少	低	3%
烧结与破碎	中 - 高	少	低 - 中	9%
团聚与烧结	低 - 高	少 - 经常	低 - 高	81%
涂覆 (电镀)	-	少 - 经常	低	5%
混合	-	少 - 经常	低	2%

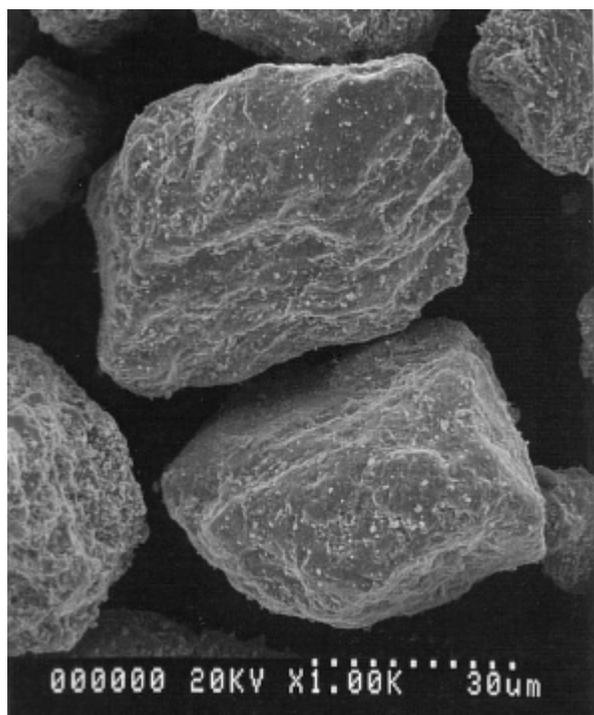


图 1

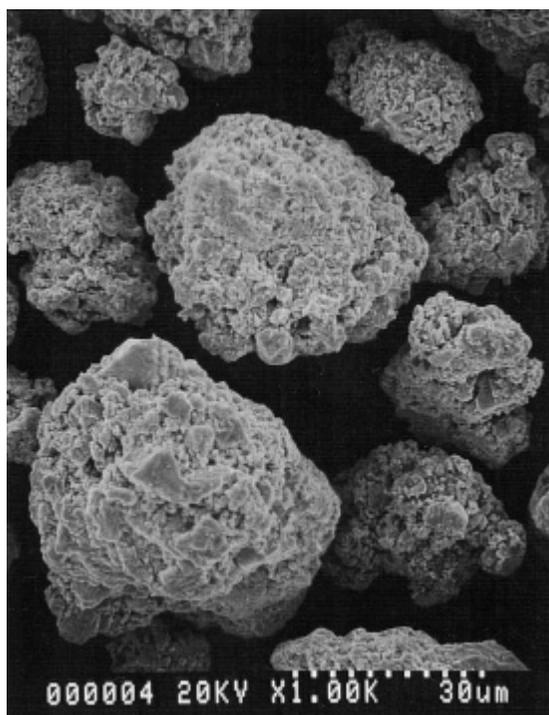


图 2

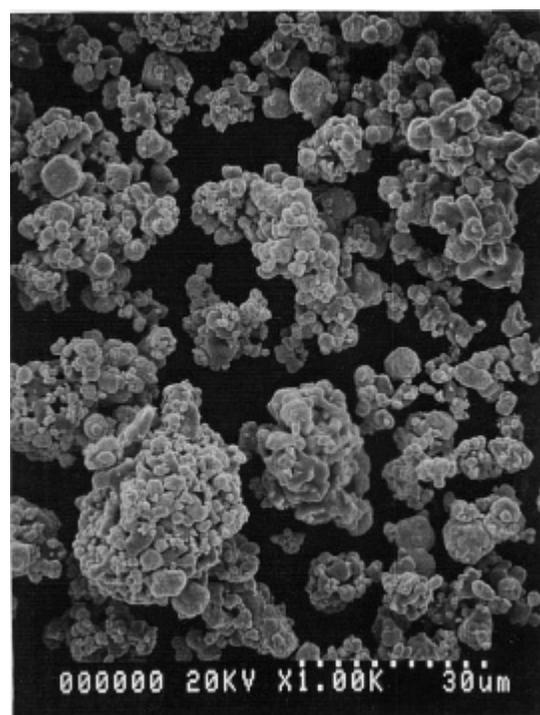


图 3

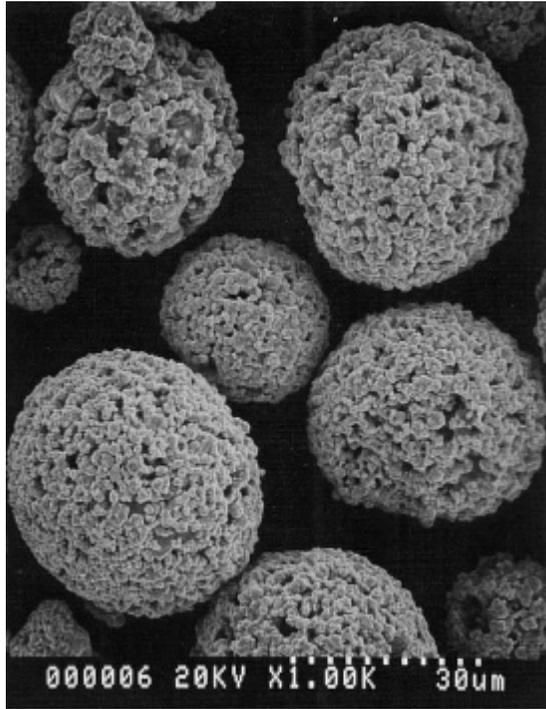


图 4

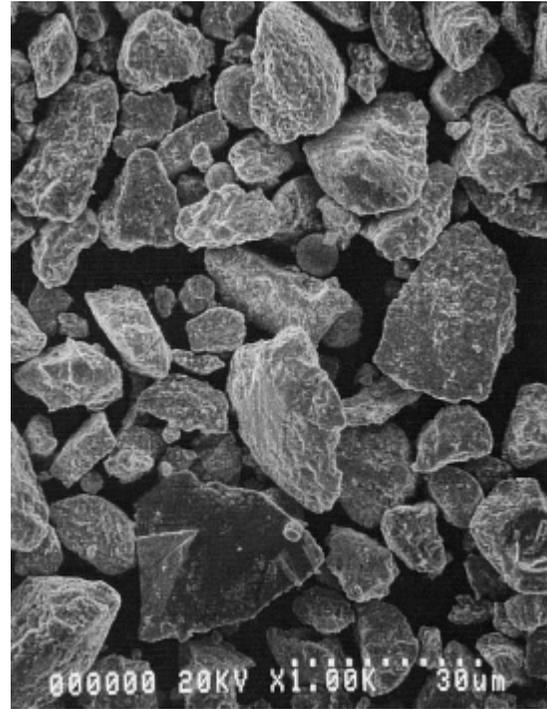
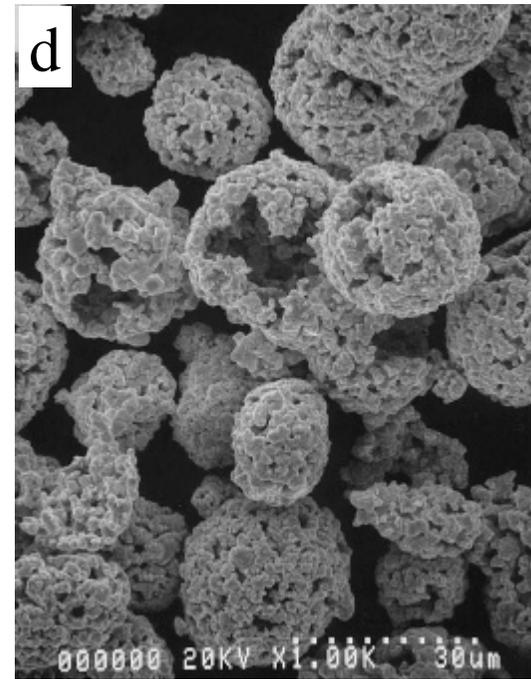
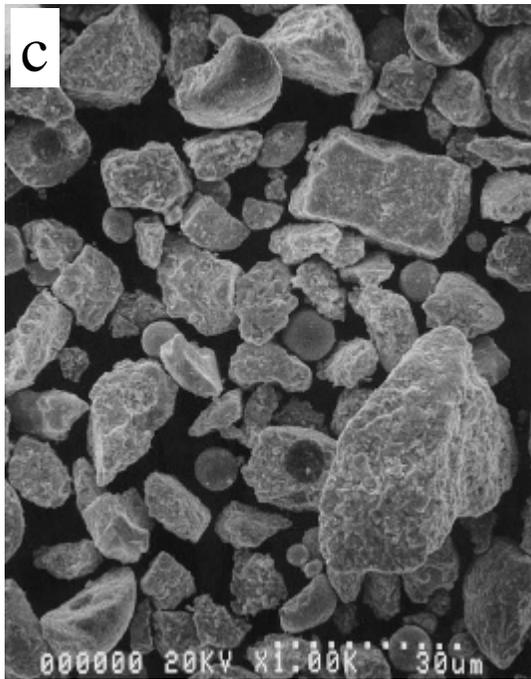
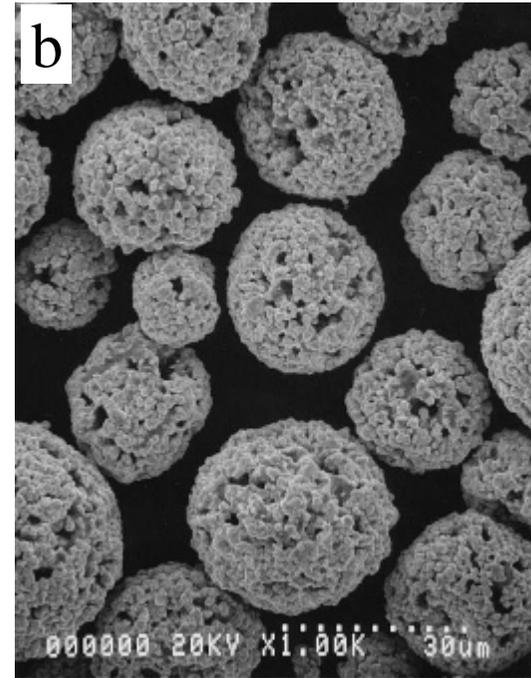
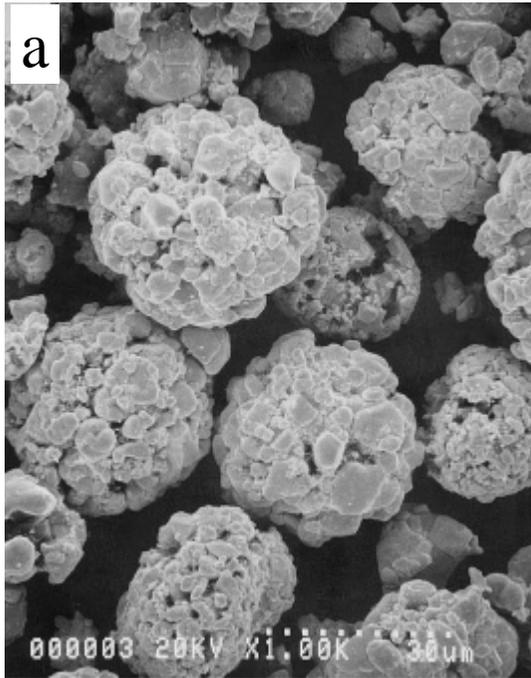
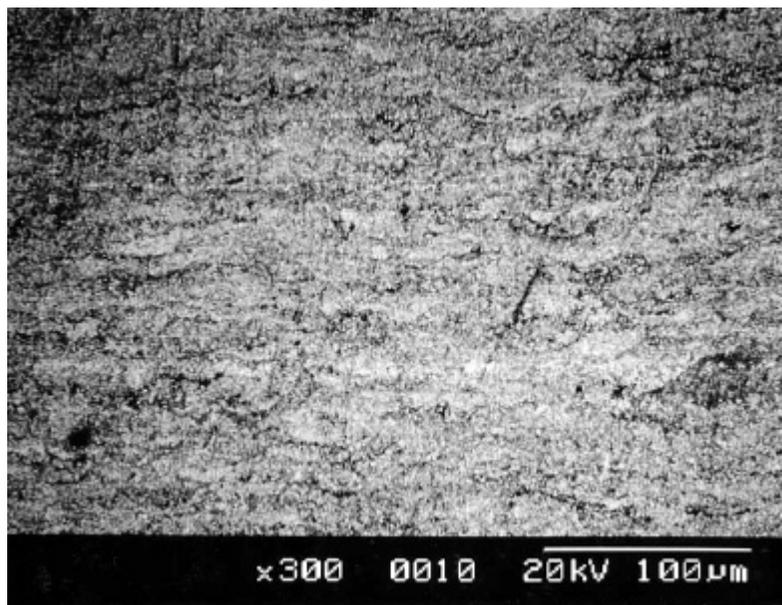
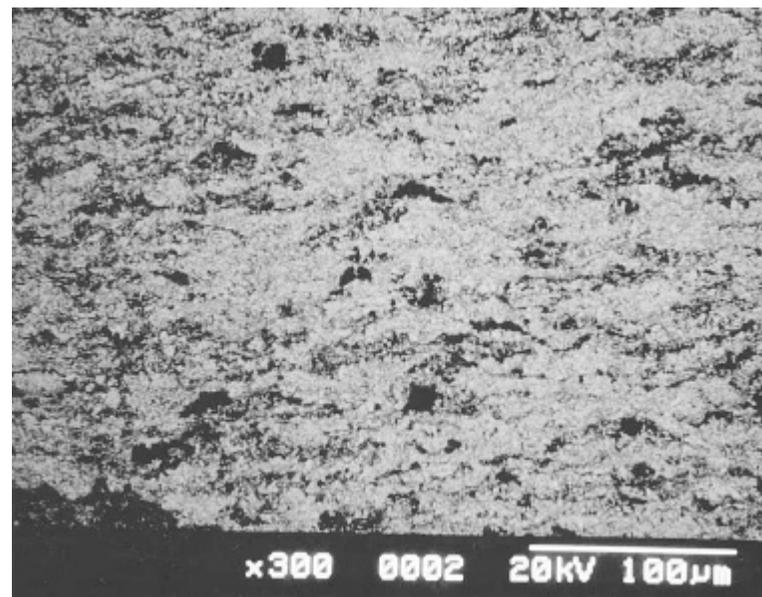


图5

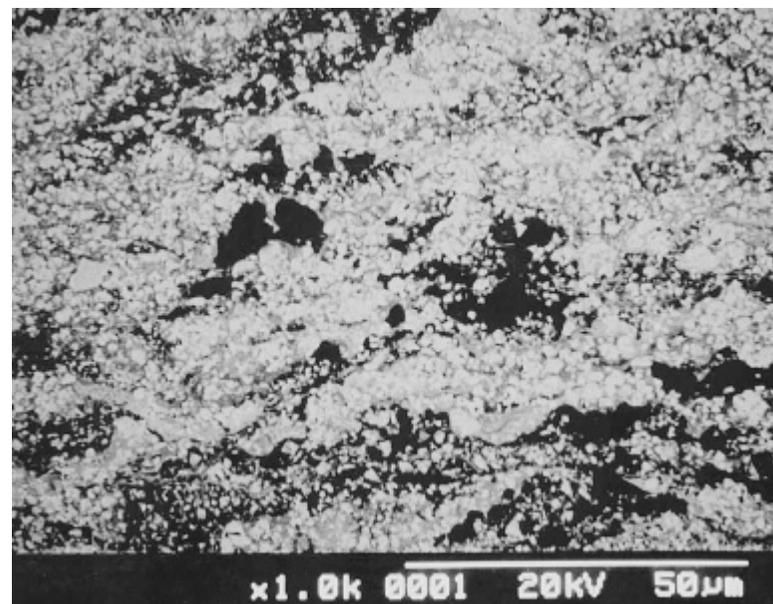
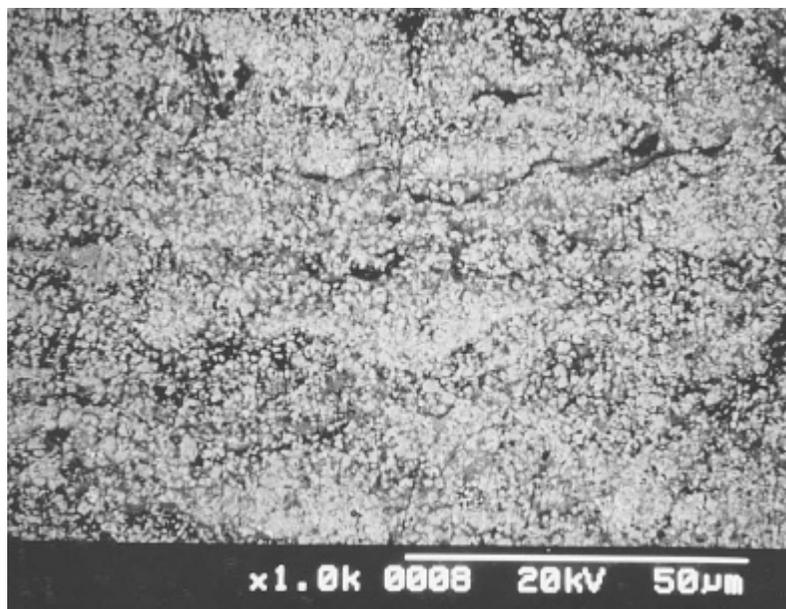




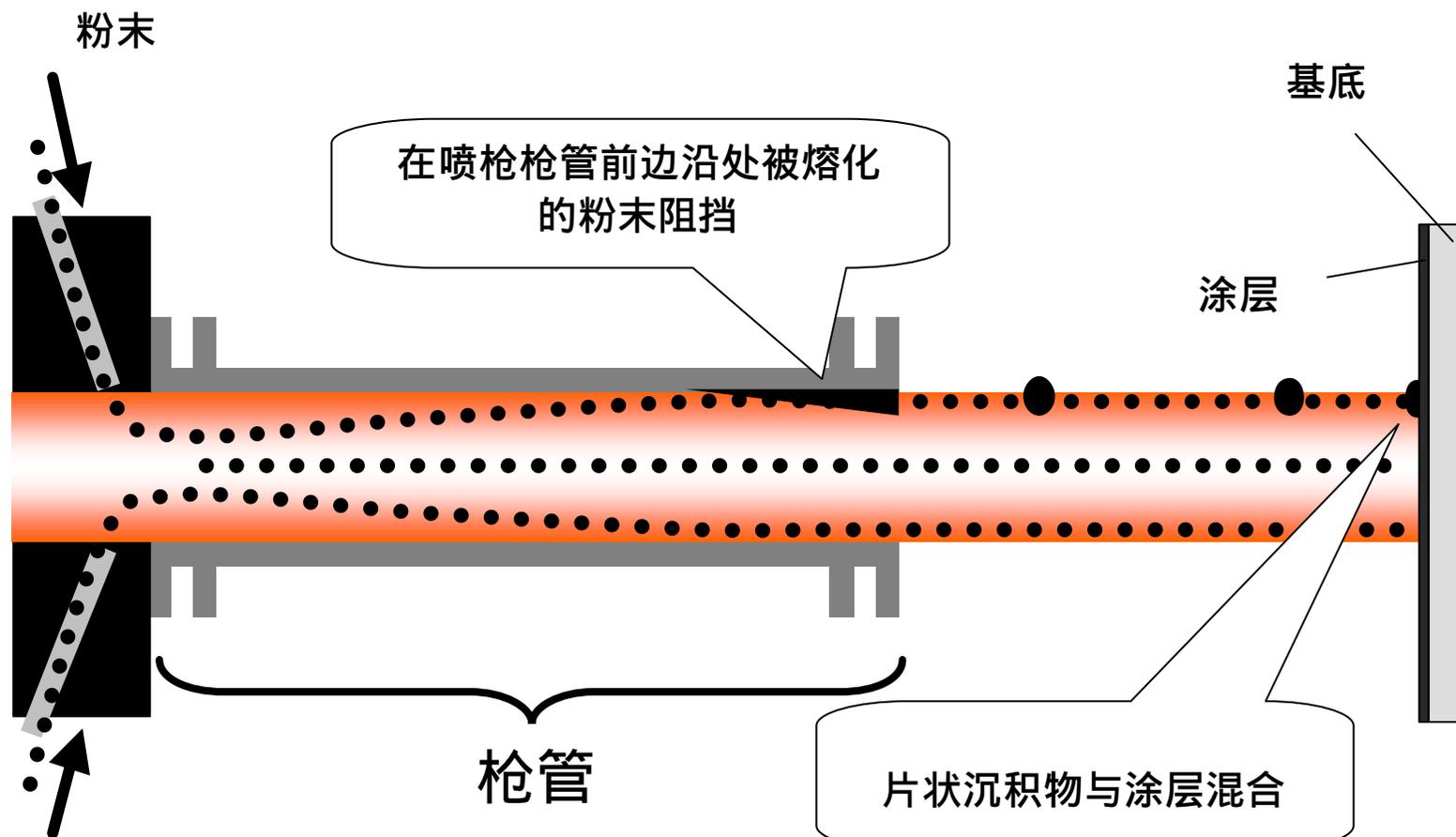
粉末 b



粉末 d



< 有枪管的HVOF喷涂过程中典型大熔滴现象示意图 >



< 金属陶瓷粉末在日本的典型消耗 >

粉末制造工艺	粉末强度	大熔滴问题	沉积效率	工业消耗 / 年
熔化与破碎	非常高	非常少	低	3%
烧结与破碎	中 - 高	少	低 - 中	9%
团聚与烧结	低 - 高	少 - 经常	低 - 高	81%
涂覆 (电镀)	-	少 - 经常	低	5%
混合	-	少 - 经常	低	2%

< 喷涂材料 >

$\text{Cr}_3\text{C}_2/25\text{NiCr}$

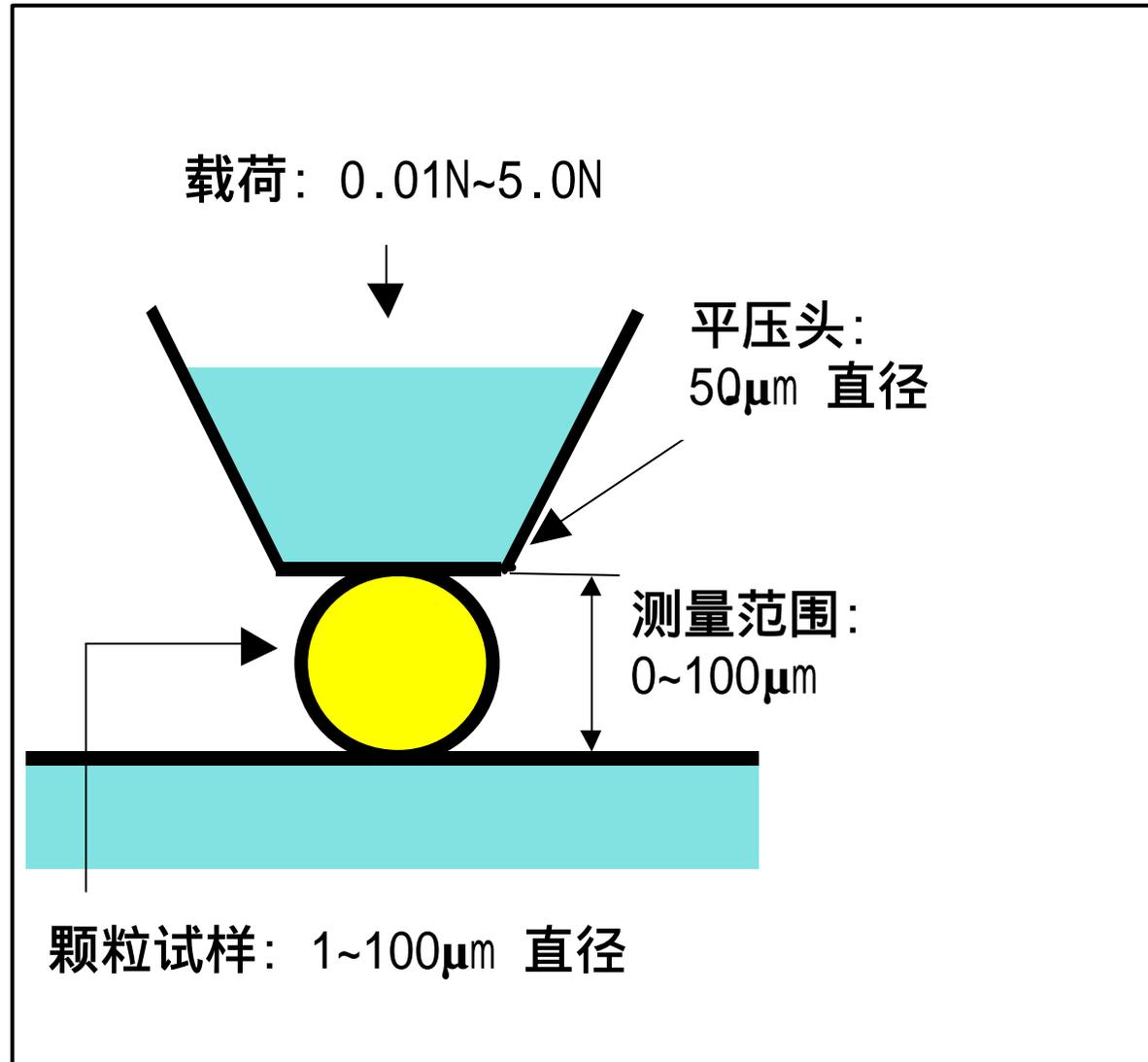
• 团聚与烧结

• 15-45 μm

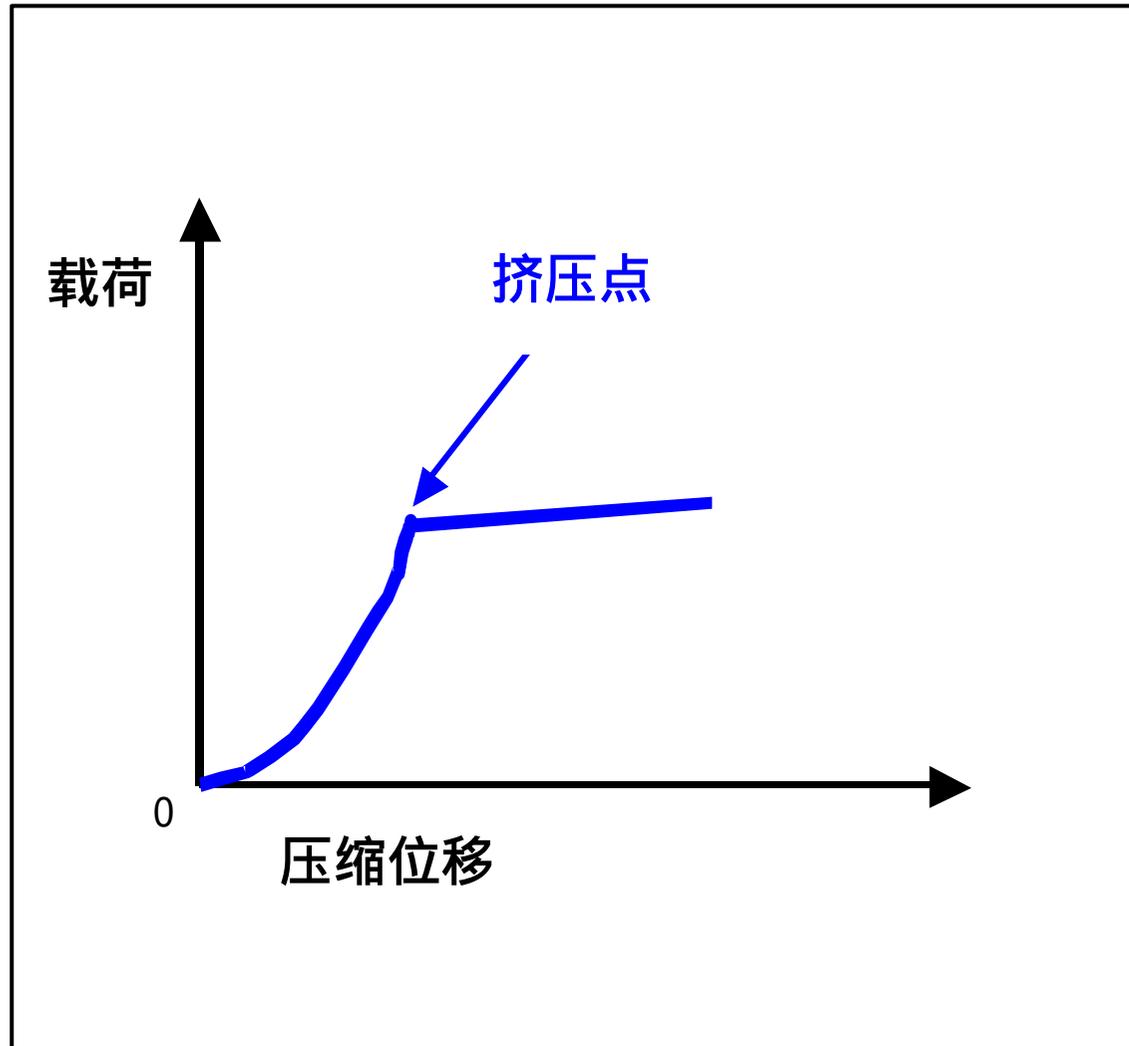
< HVOF 喷涂条件 >

喷枪	JP-5000 (Praxair/TAFA)
氧气流量	870 l/min at 1.45 MPa
煤油流量	0.38 l/min at 1.17 MPa
喷涂距离	355 mm
枪管长度	203 mm (8 inches)

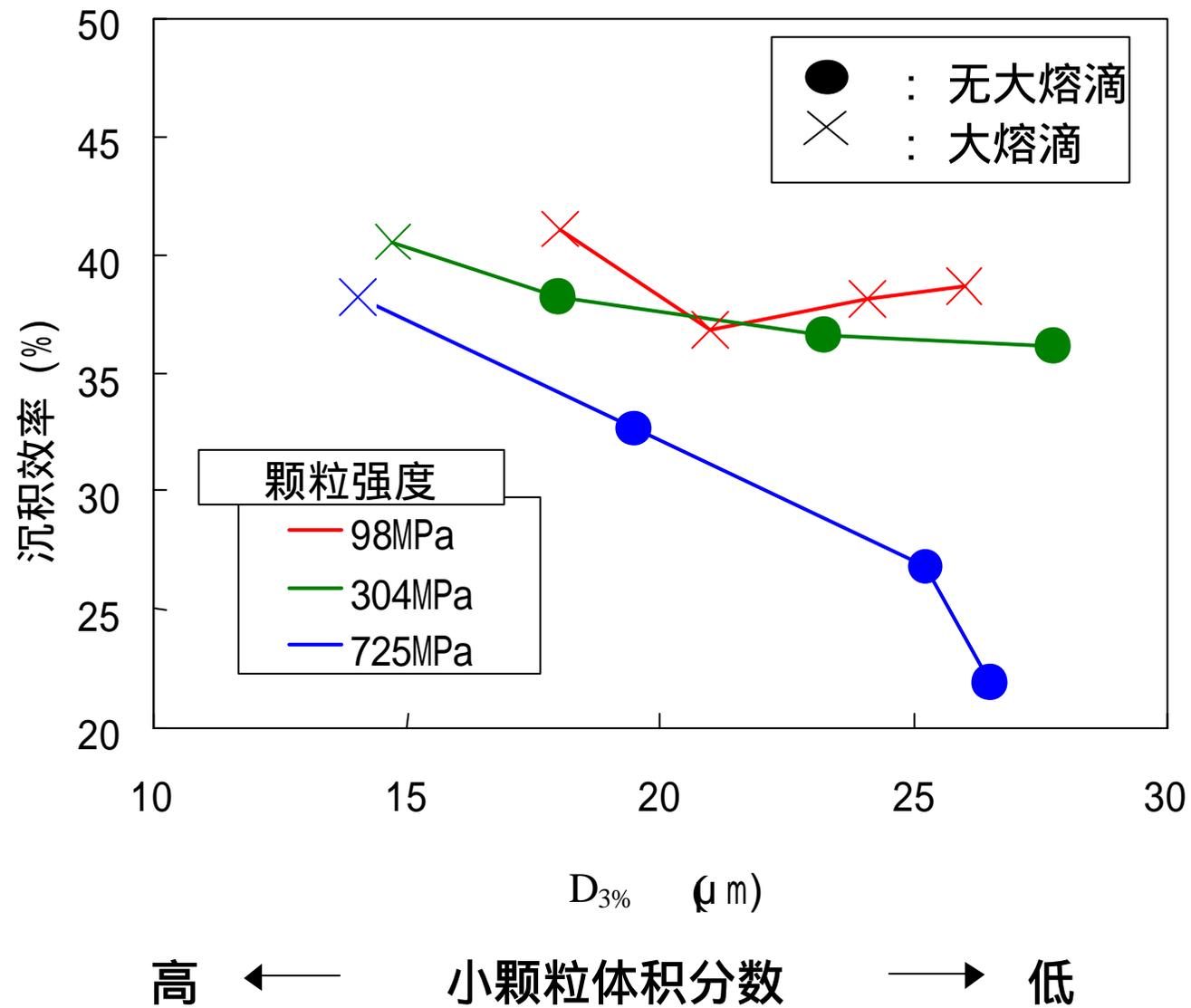
< 粉末颗粒强度测试方法示意图 >

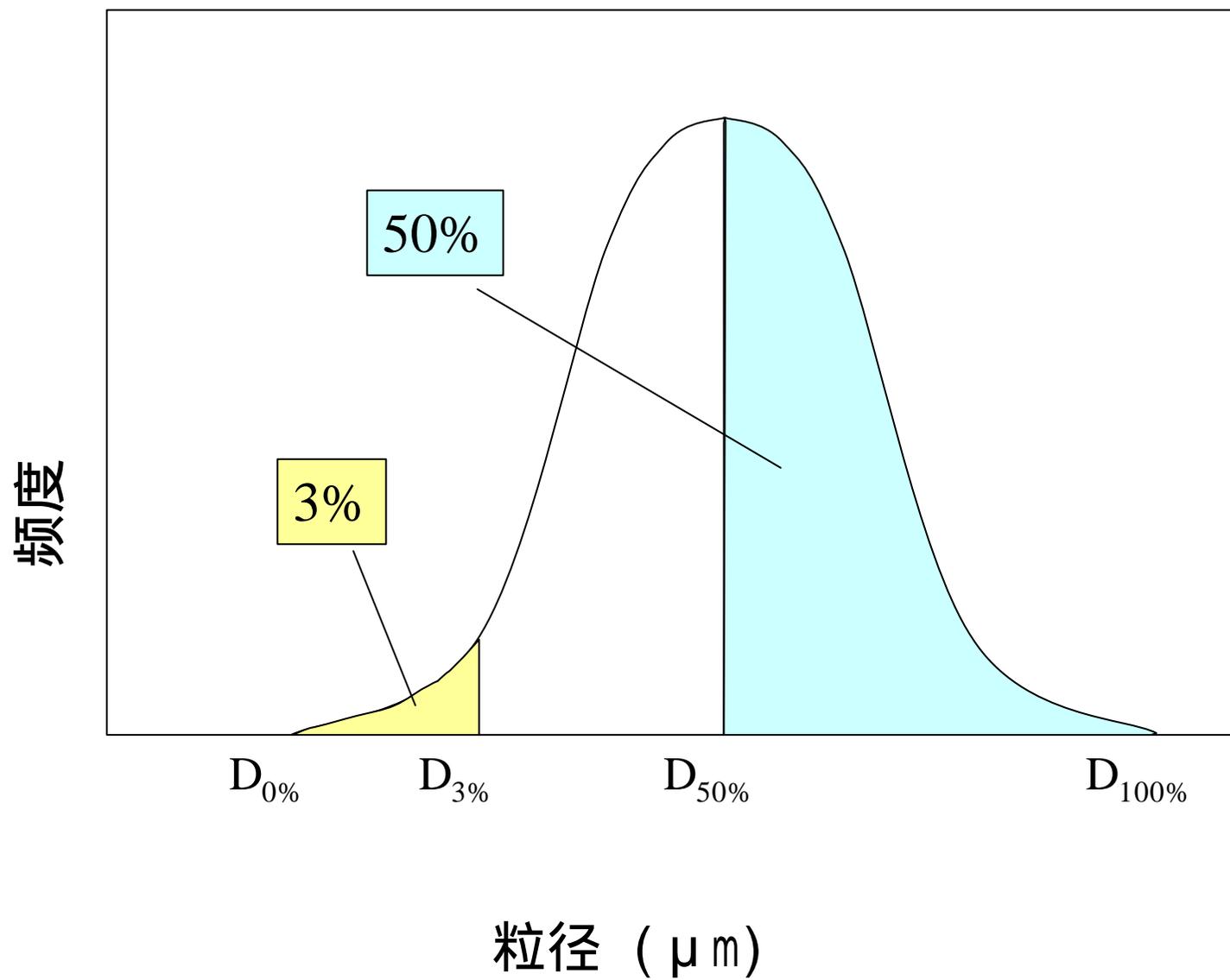


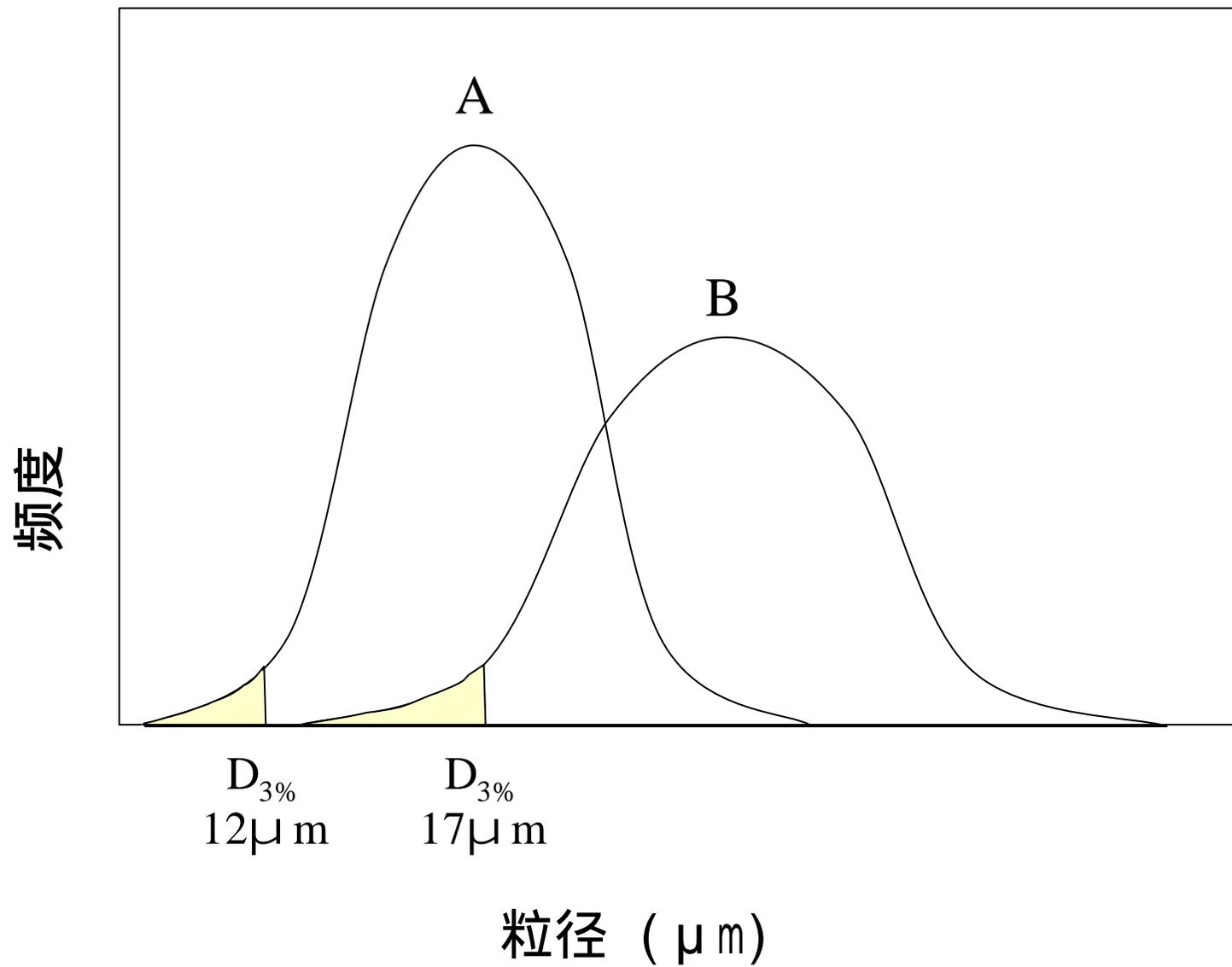
< 颗粒强度测量中典型的载荷 - 位移曲线 >



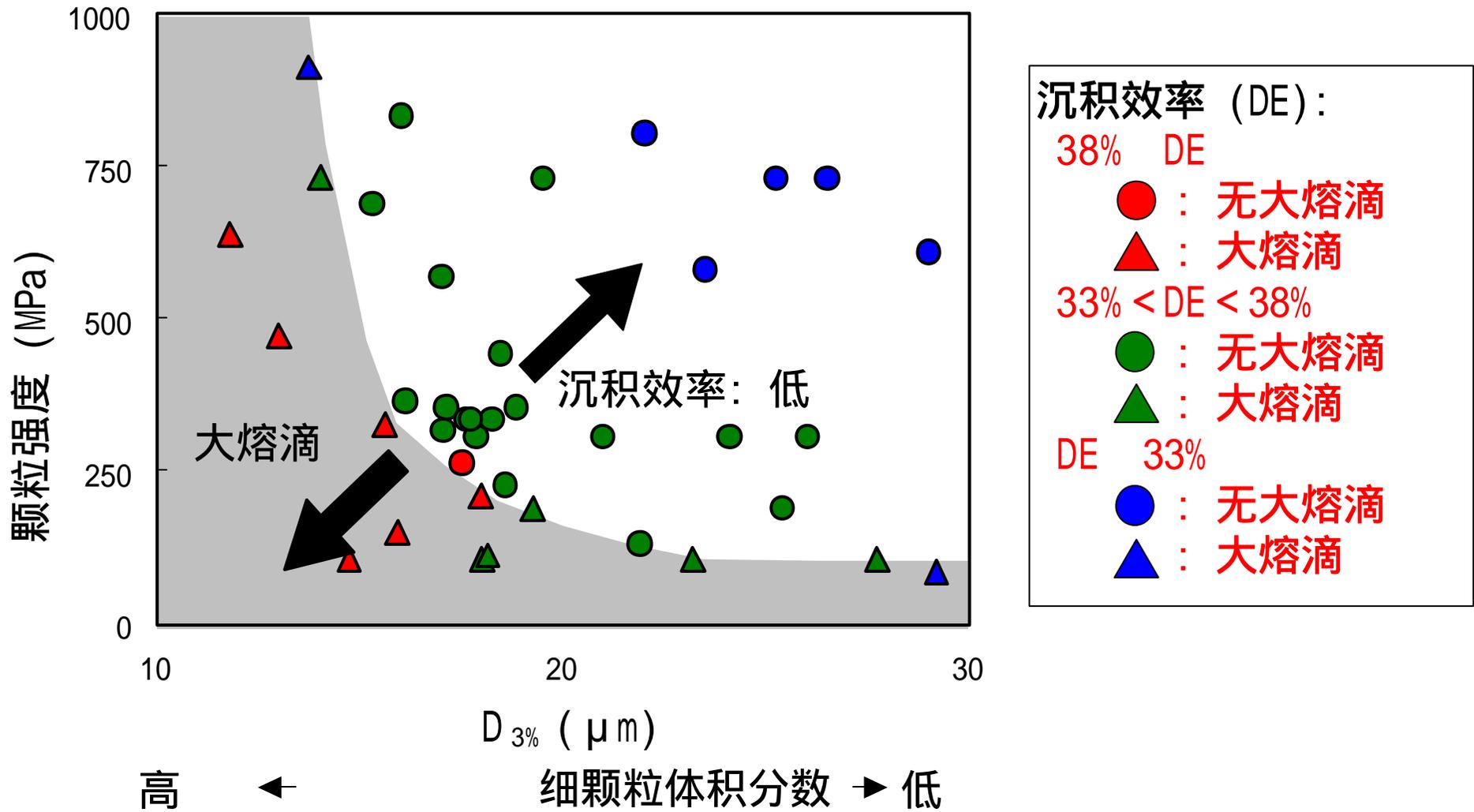
<颗粒强度和小颗粒含量的体积分数对沉积效率的影响>







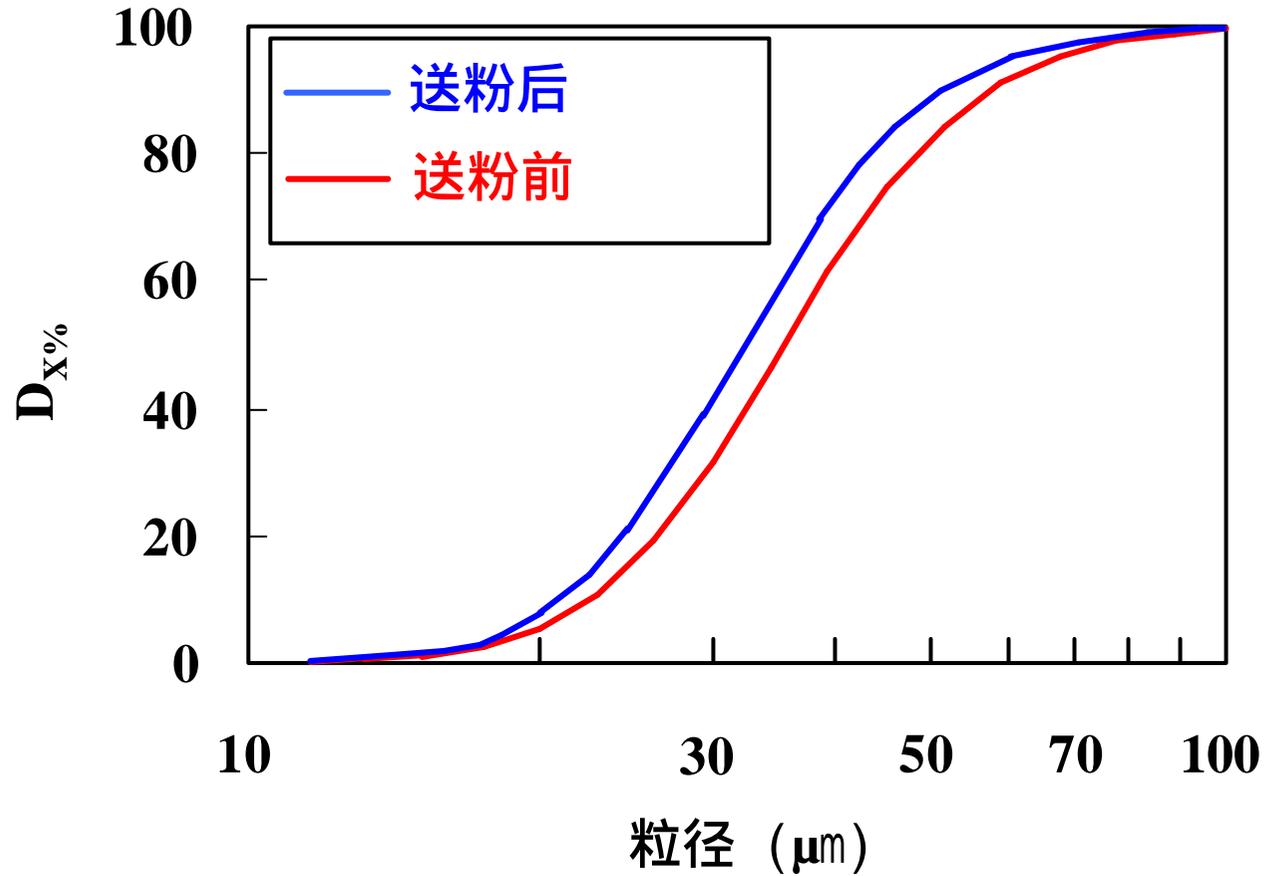
< 采用JP-5000喷涂Cr₃C₂-25%NiCr 粉末时大熔滴转换曲线示意图 >



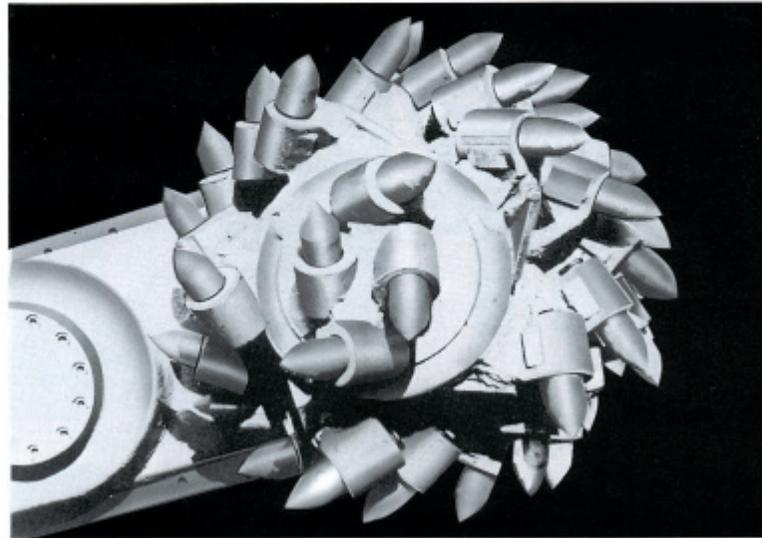
< 通过送粉器后颗粒粒径的体积分数的改变 >

颗粒强度 (MPa)		粒径分布		
		D _{3%} (μm)	D _{50%} (μm)	D _{97%} (μm)
送粉				
98	前	18.0	35.4	75.5
	后	16.8	32.2	66.7
304	前	18.0	34.6	70.0
	后	18.1	34.7	68.6
725	前	19.5	35.9	73.3
	后	19.4	35.8	72.8

< 通过送粉器后低强度 (98MPa) 粉末的粒径 - 体积分数分析 >

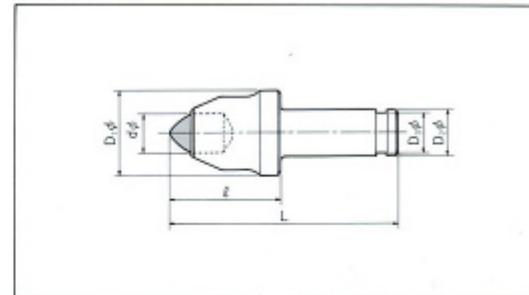


コニカルビット



標準型

軟岩・中硬岩向きで、汎用性が高く広範囲の岩石に適します。



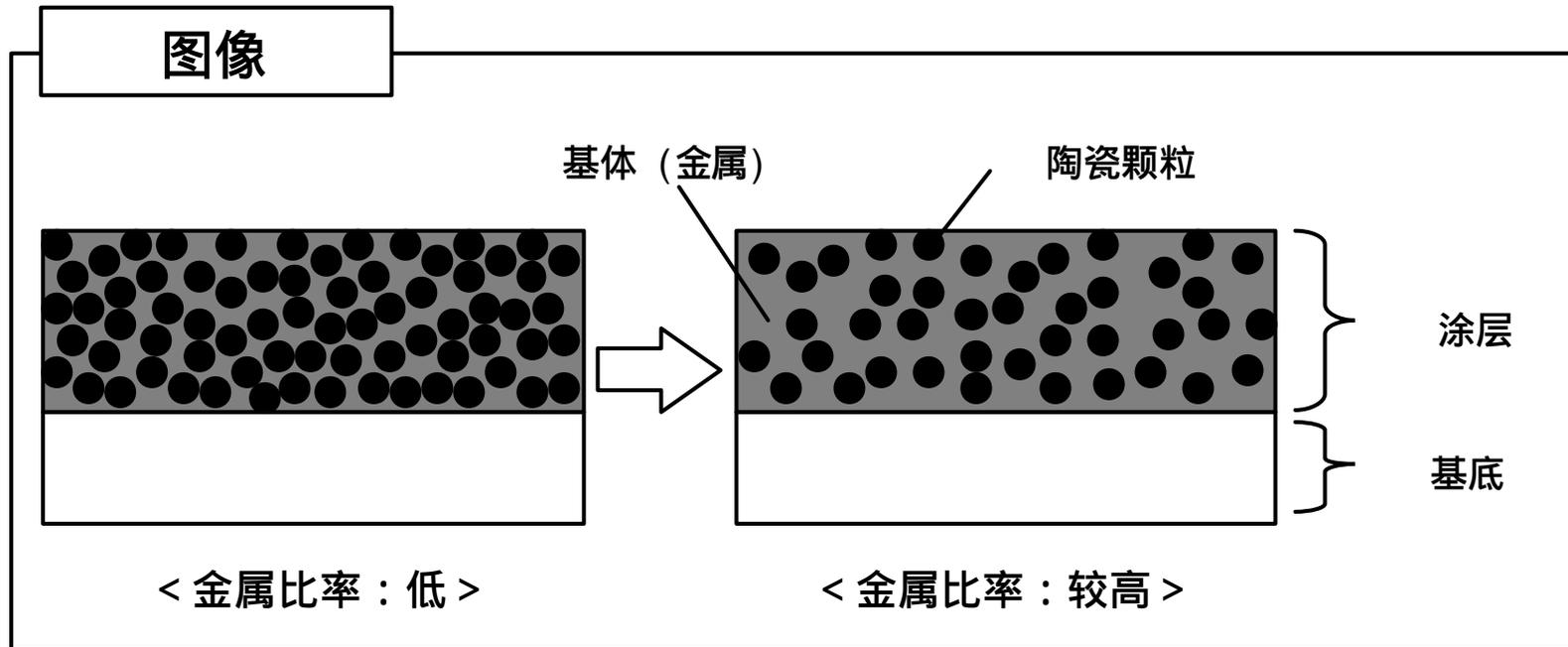
	D ₁ φ	D ₂ φ	D ₃ φ	dφ	L	ℓ	在庫
KC-3425(MR-C6)	53	34	27.8	25	139	75	有
MC-3025(MR-C7)	55	30	26	25	145	70	有



途径 1

< 提高金属陶瓷中的金属含量 >

WC/20CrC/7Ni WC/20CrC/10Ni

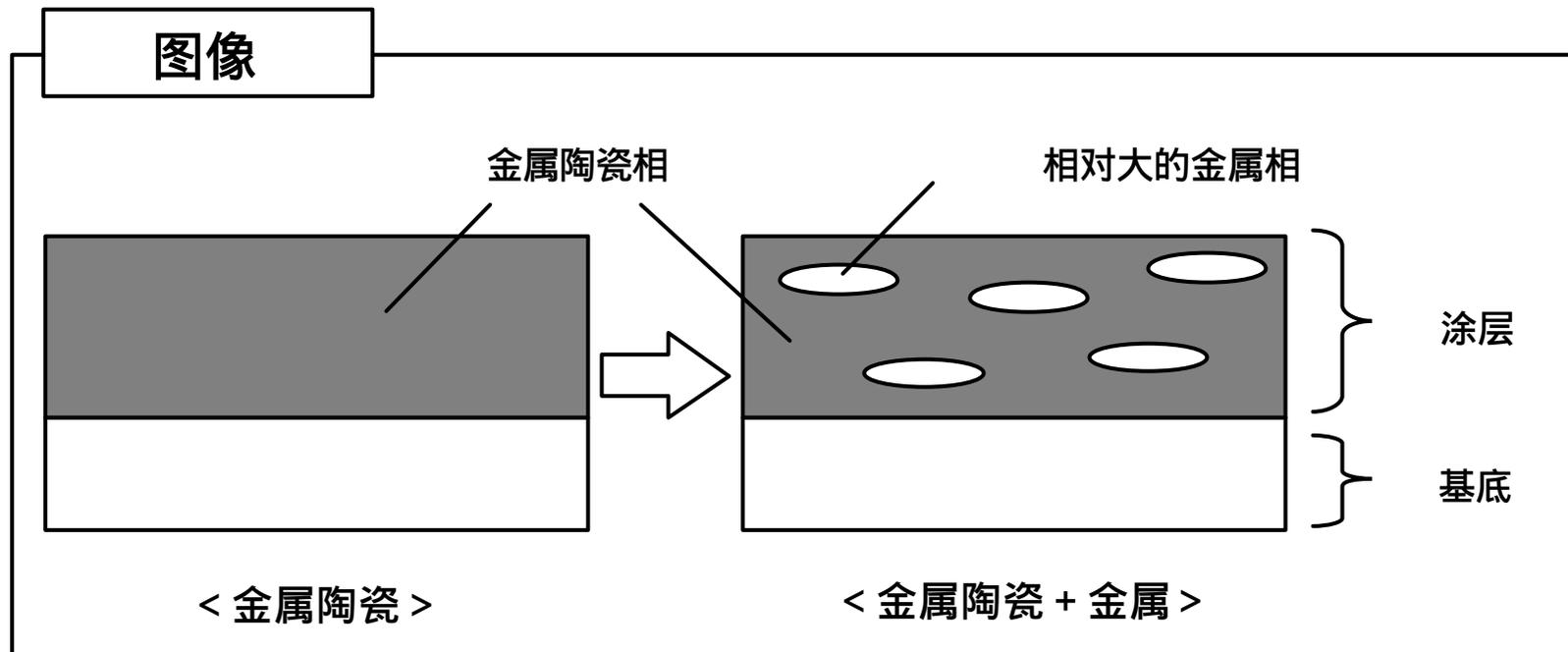


提高涂层中的金属比率涂层韧性改善

途径2

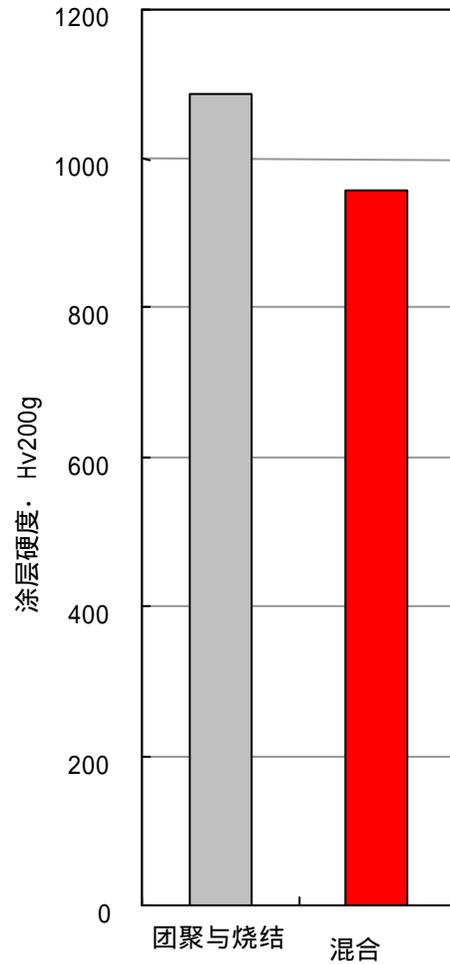
< 与金属混合 >

(WC/20CrC/10Ni)+10%NiCr、(WC/20CrC/10Ni)+10%Ni

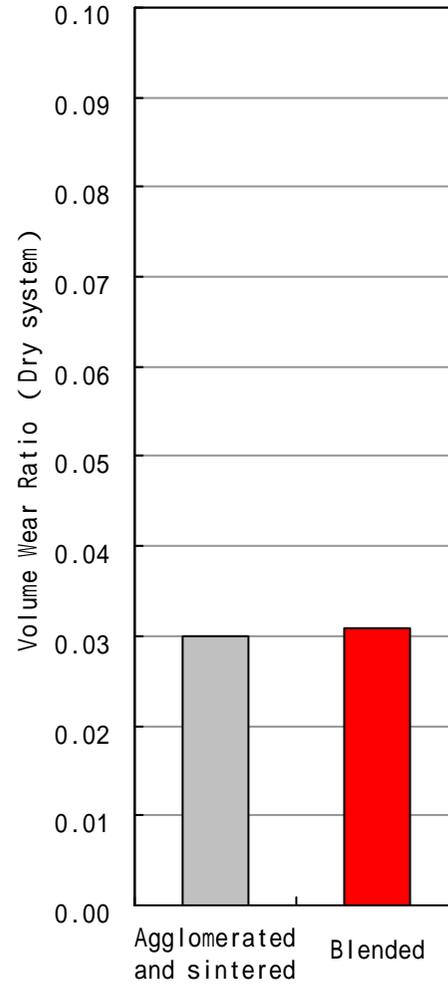


类球形金属相均匀分散起到冲击吸收物的功能

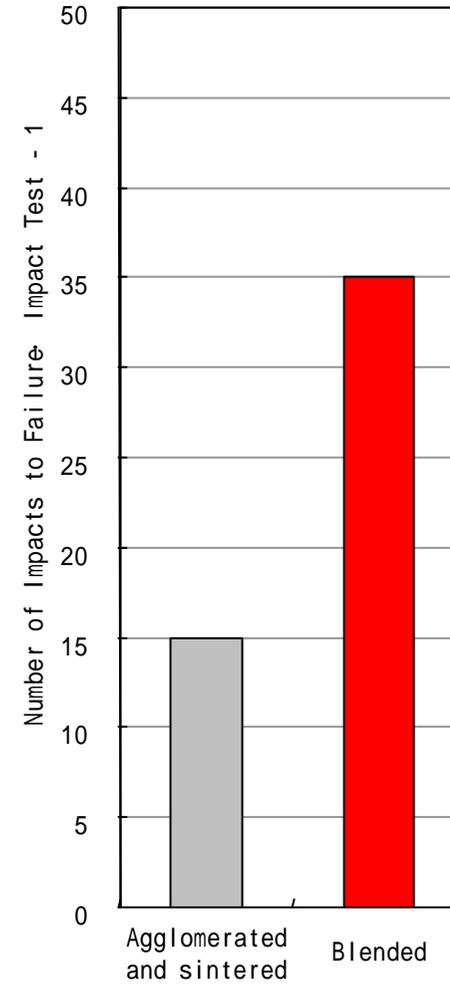
团聚与烧结 : WC/18CrC/9Ni/10NiCr
混合 : (WC/20CrC/10Ni) +10NiCr



< 涂层硬度 >



< 抗干磨粒磨损 >



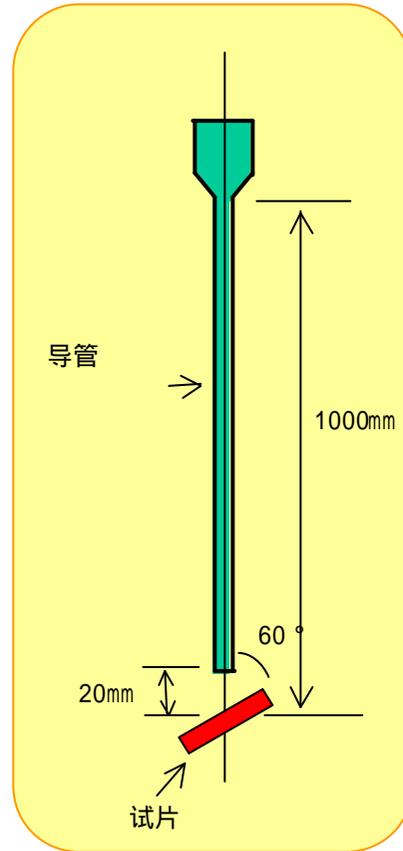
< 冲击测试 >

< 冲击测试原理 - 1 >

球重复落下直到涂层开始分裂



< 外形图 >



< 示意图 >



< 测试前 >



< 测试后 >

测试条件

球：SCr球(9.5mm、3.3g)

球数：500 球/次

行程：1000mm

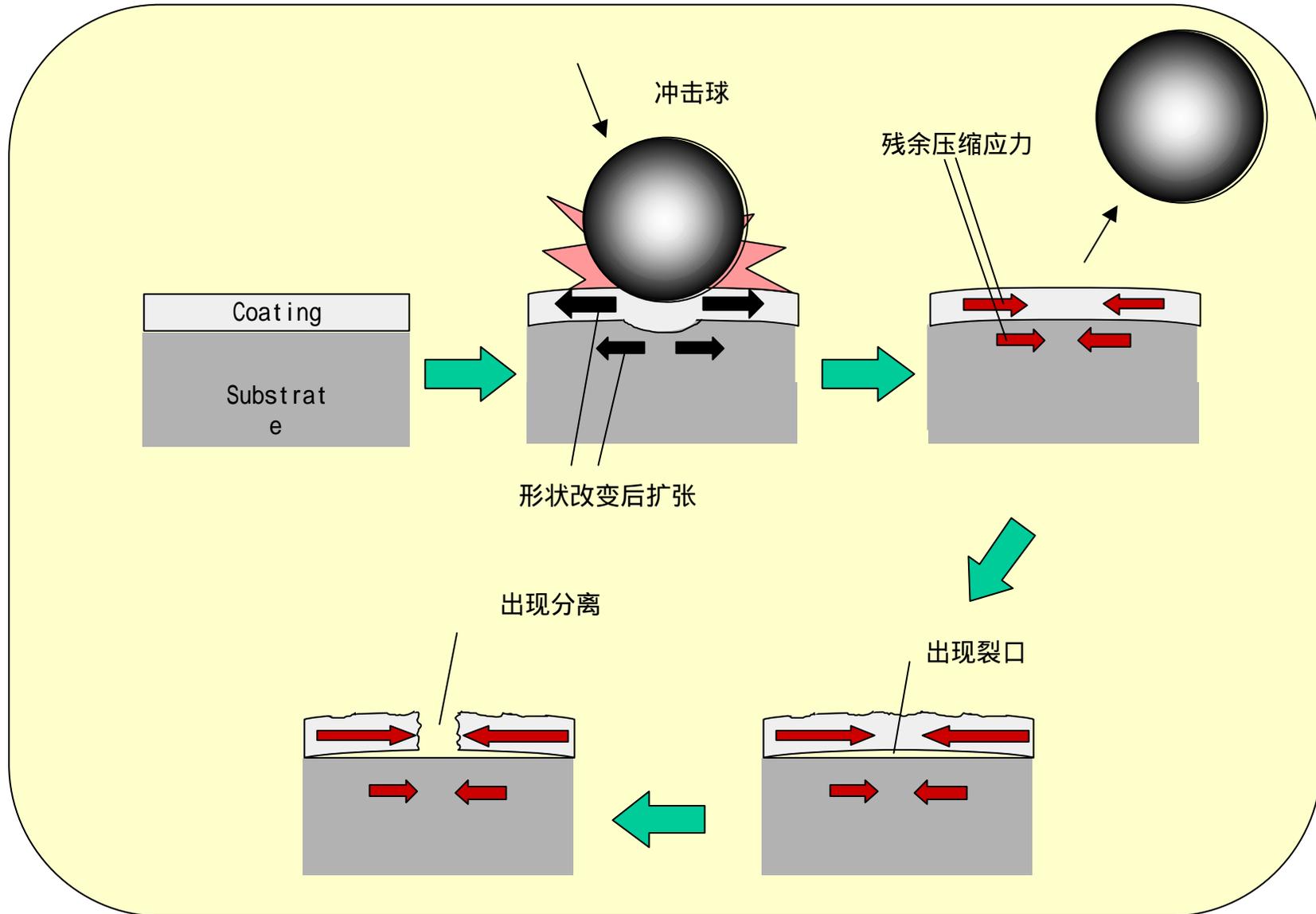
冲击角：60°

管内孔：29mm

基底材料：S45C(80 × 20^tmm)

涂层厚度：100 μm

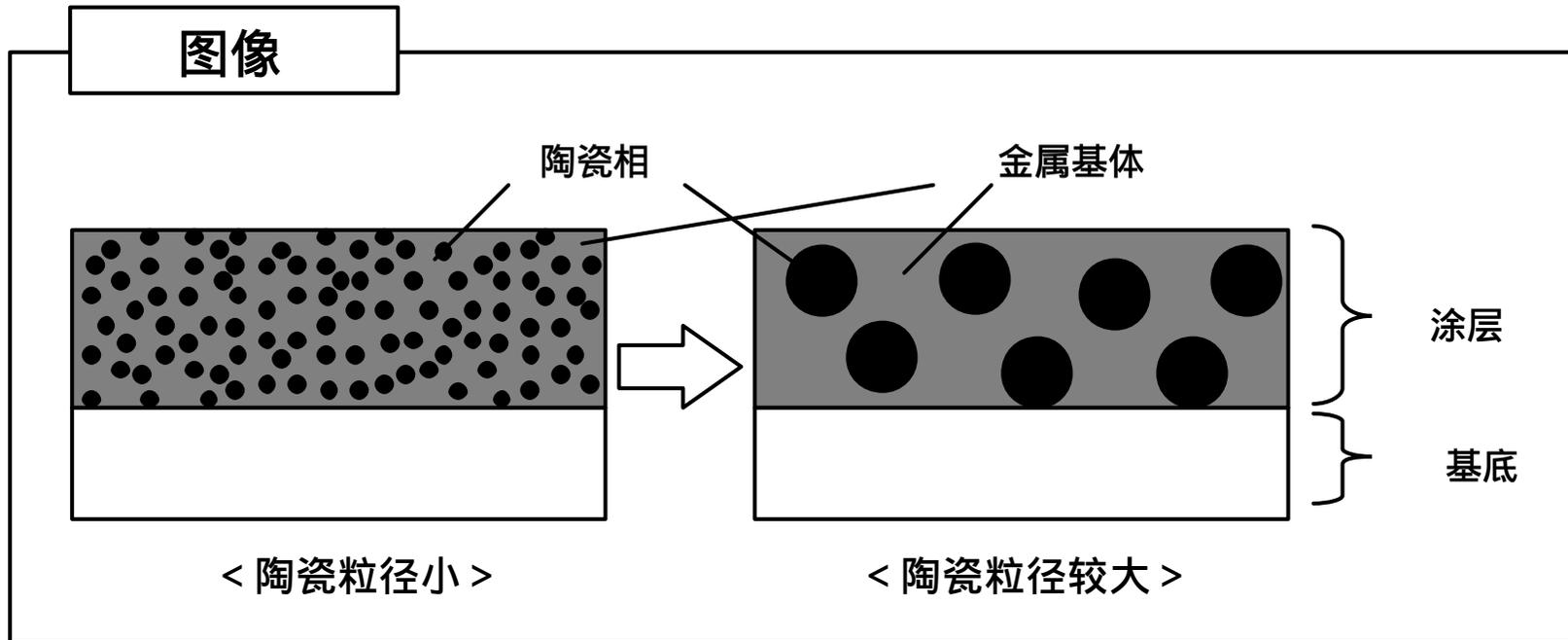
< 冲击测试中剥离机理 > (硬涂层情况下)



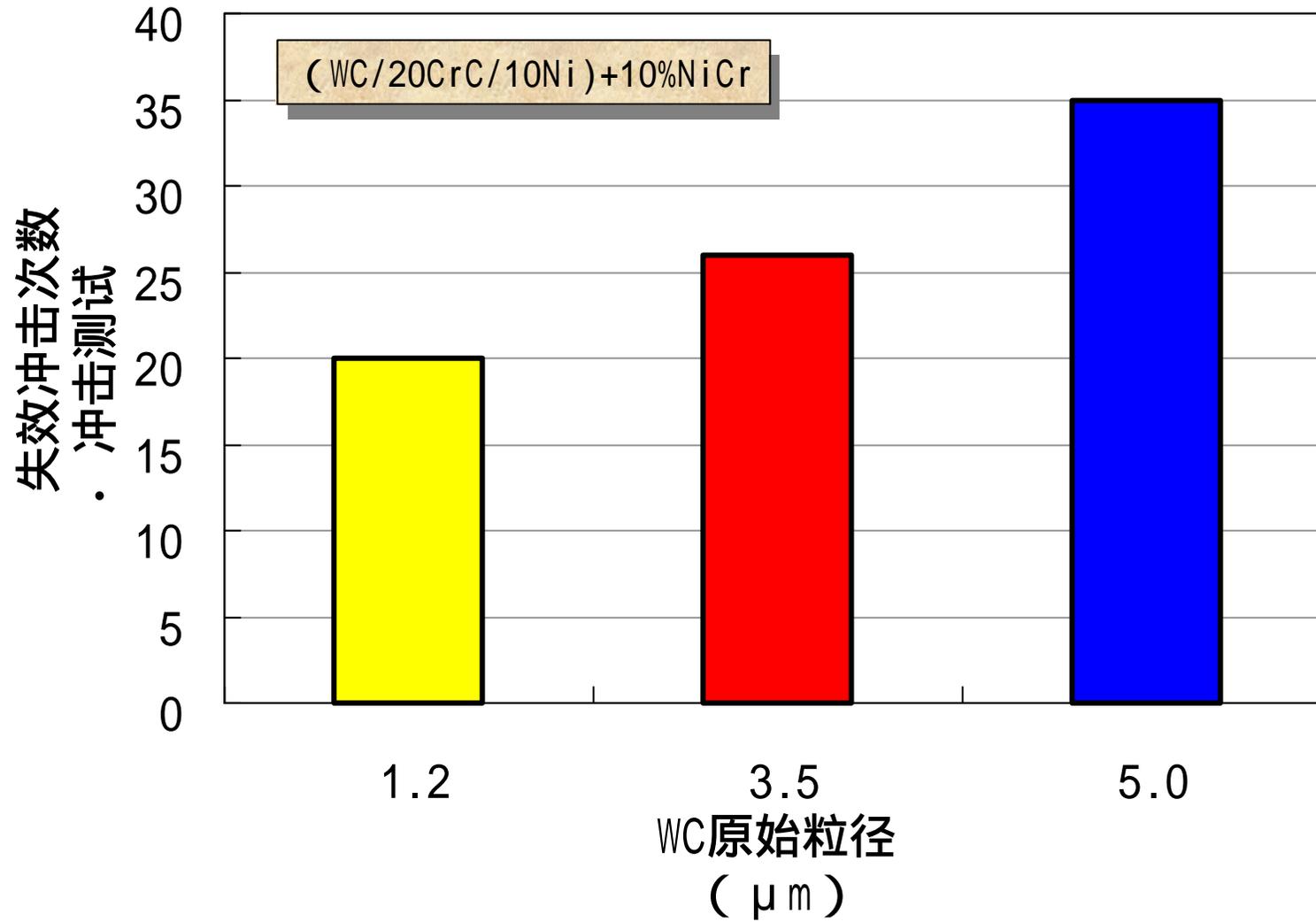
途径三 3

< 提高金属陶瓷中原始陶瓷颗粒的粒径 >

WC : $1.2\ \mu\text{m}$ $5.0\ \mu\text{m}$



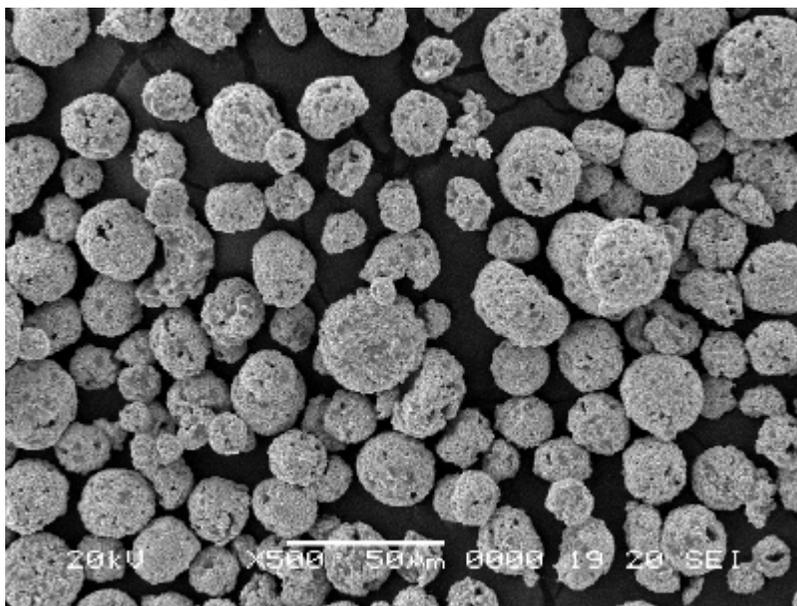
金属基体相的平均自由程增加涂层韧性提高



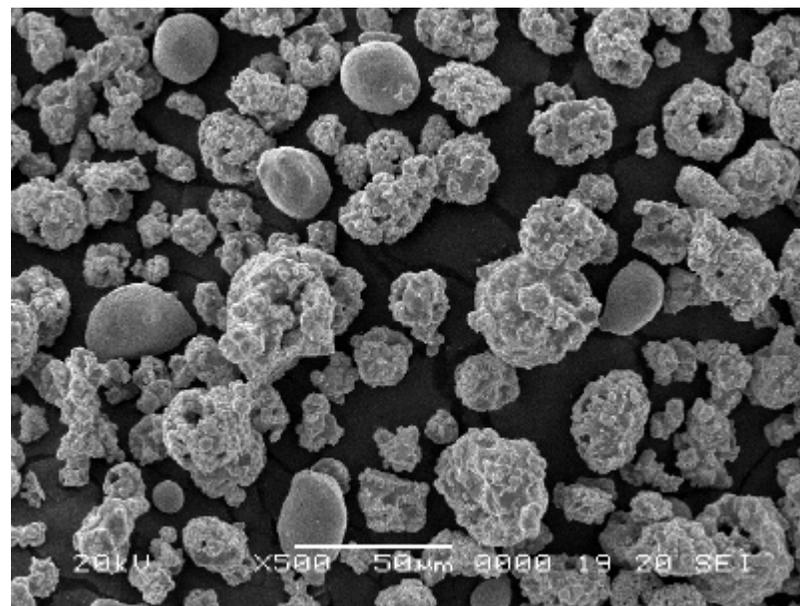
WC原始粒径对涂层冲击韧性的影响

(冲击测试 - 1)

< 喷涂粉末的SEM 照片 >



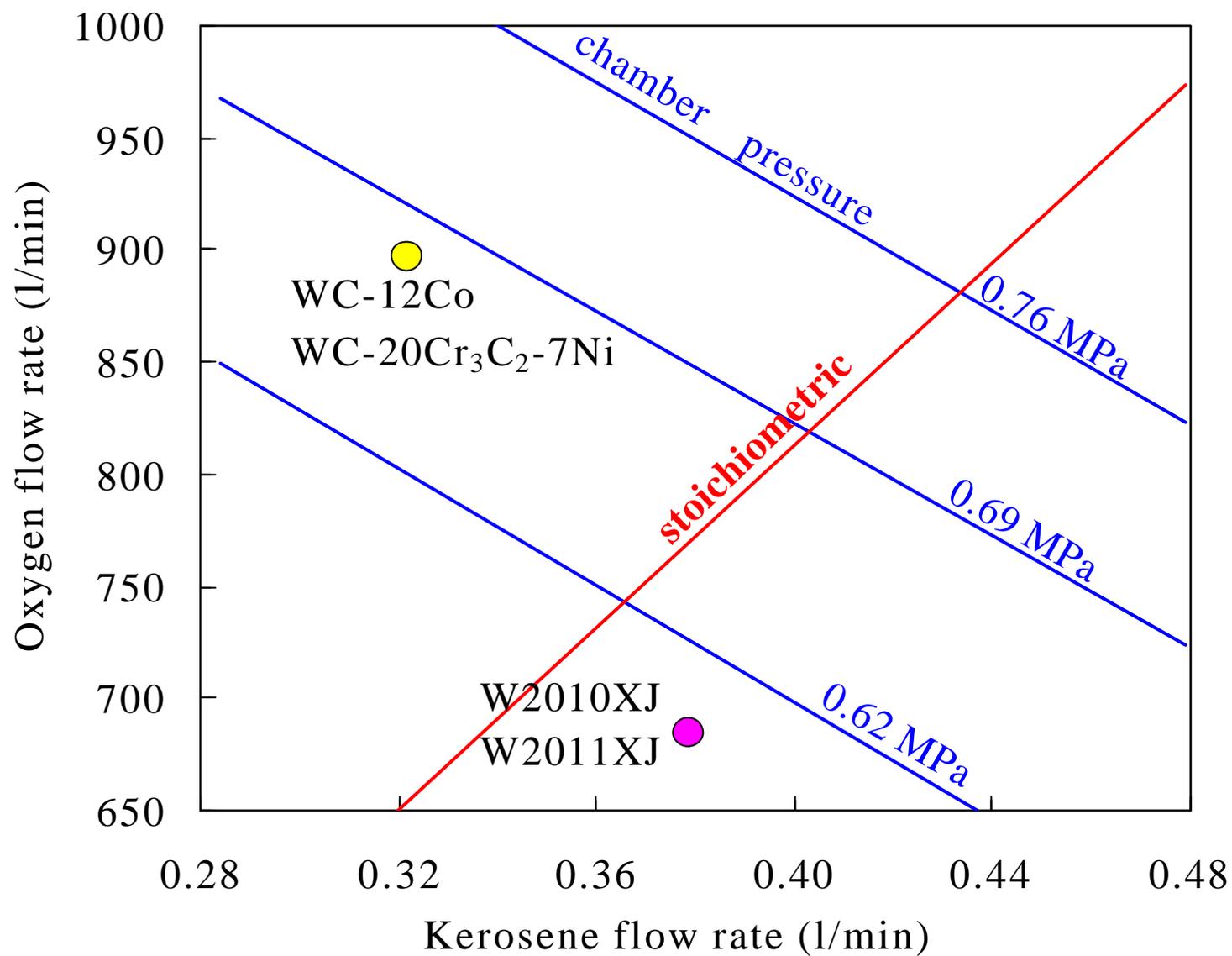
WC/20CrC/7Ni



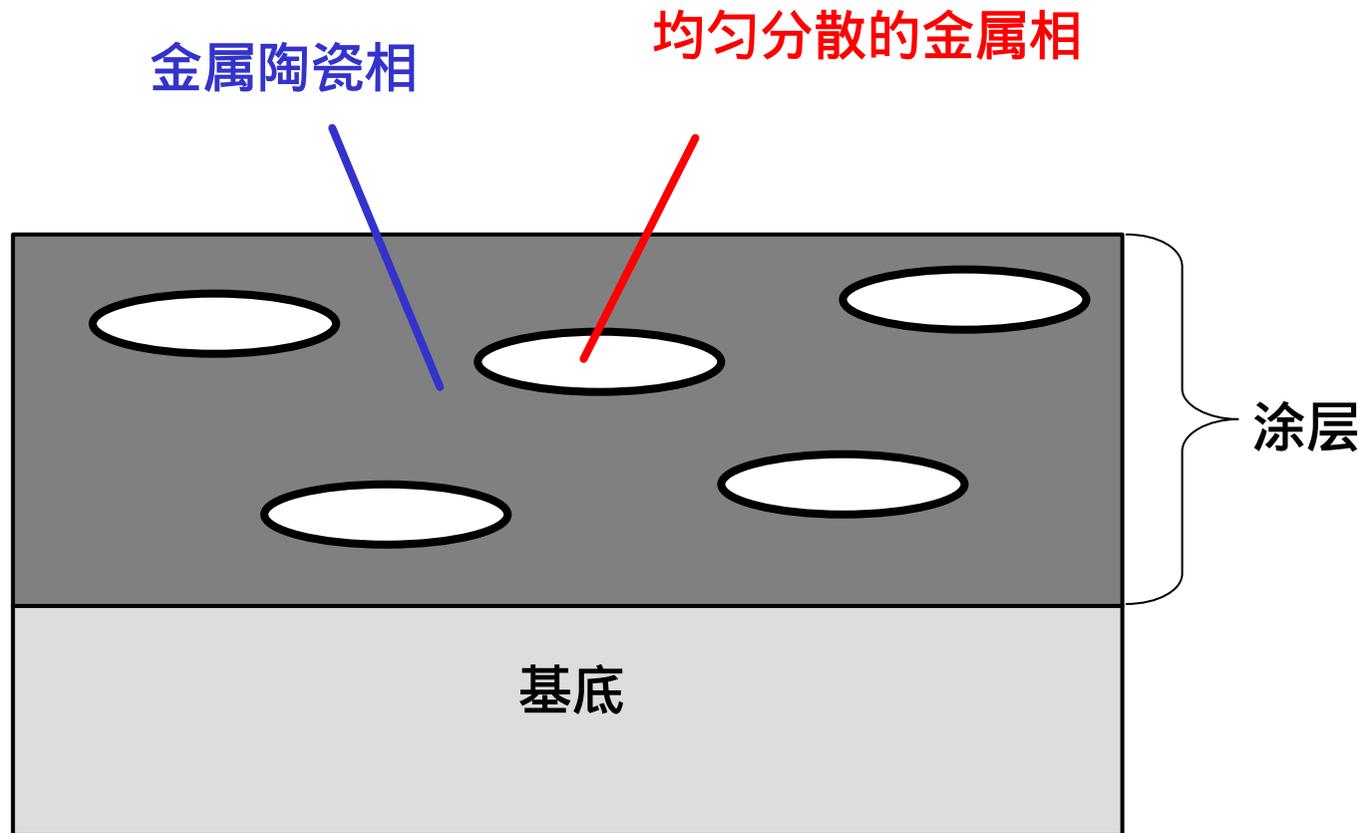
WC/20CrC/10Ni + 10%NiCr

<SURPREX W2010XJ>

< JP-5000 的氧气/煤油流量图 >



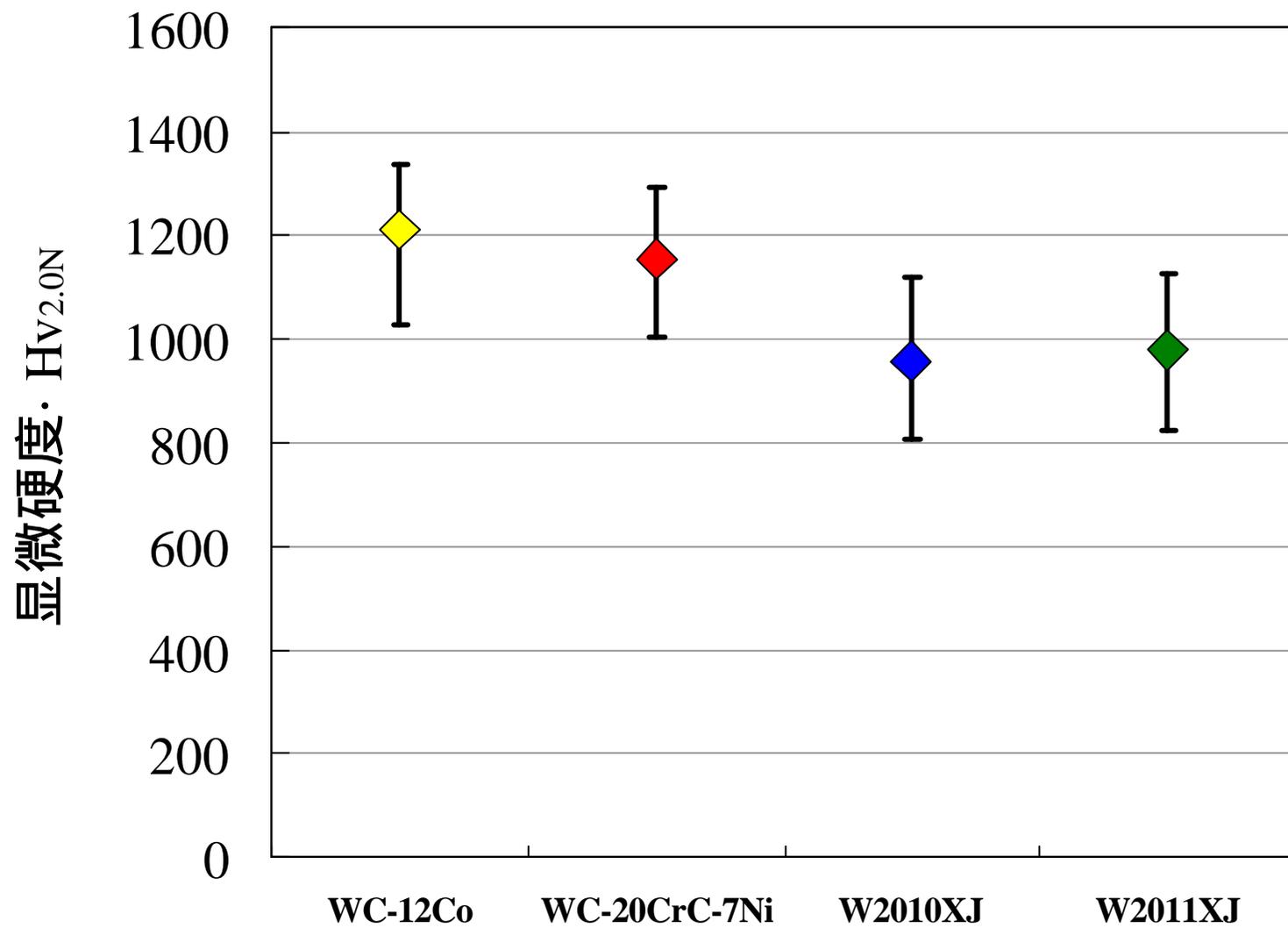
< 高耐冲击涂层的截面示意图 >

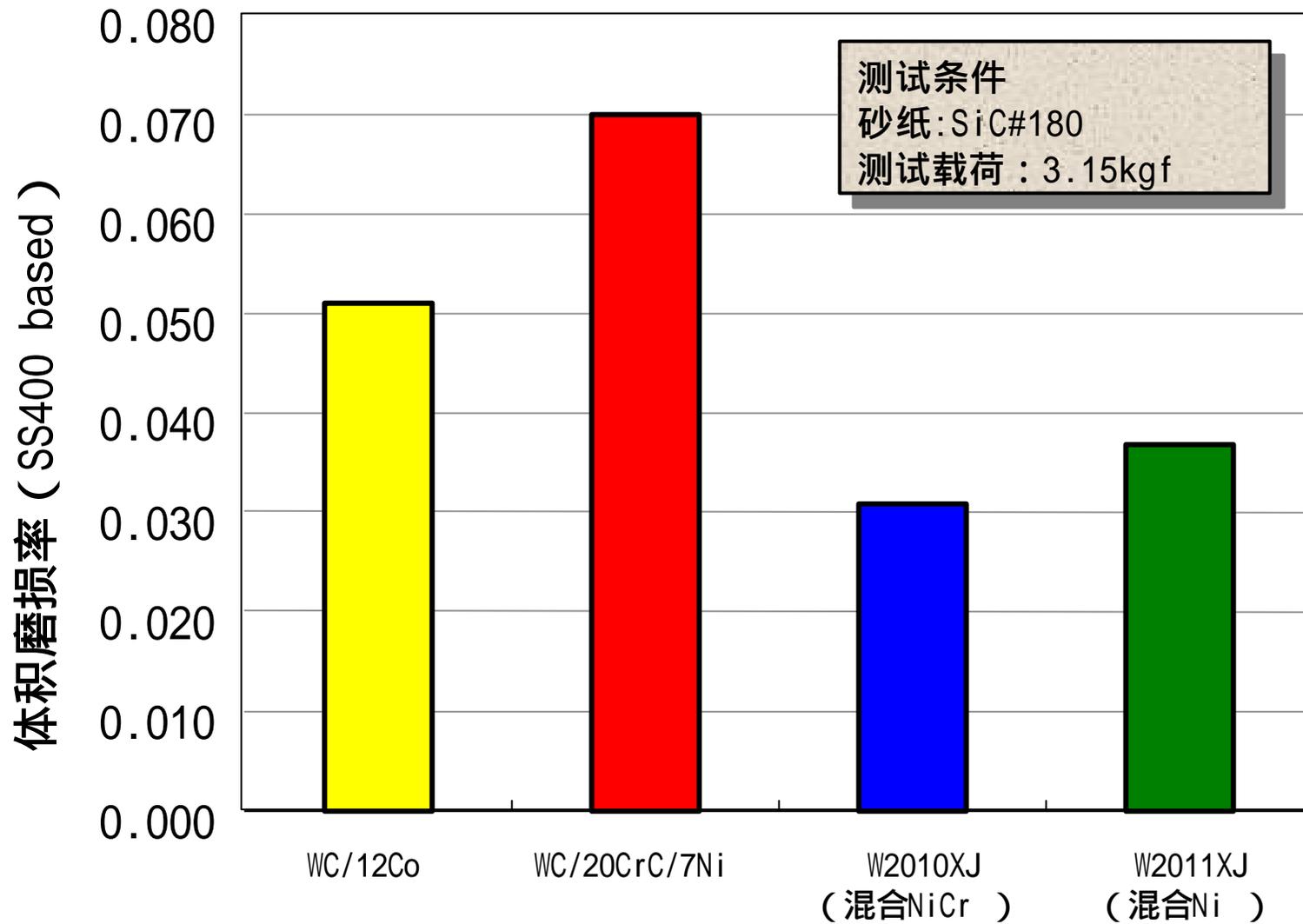


< 喷涂粉末 >

No.	喷涂材料	制造工艺	粒径	金属陶瓷粉末	混合用金属粉末
A	WC-12Co	团聚与烧结	15-45 μ m	WC-12%Co	-
B	WC-20Cr ₃ C ₂ -7Ni			WC-20%Cr ₃ C ₂ -7%Ni	
C	SURPREX W2010XJ	团聚与烧结 + 金属(混合)		Ni-20%Cr	
D	SURPREX W2011XJ			WC-20%Cr ₃ C ₂ -10%Ni	Ni

< 涂层硬度 >





耐磨粒磨损测试
(干系统 · Suga method)

< 湿磨损（浆料磨蚀）测试装置 >

此装置公司内部设计制造，
对湿环境下泥沙磨损的评估很有用处



< 放大的试样图及其周边环境 >



< 外形图 >



< 测试前 >



< 测试后 >

测试条件

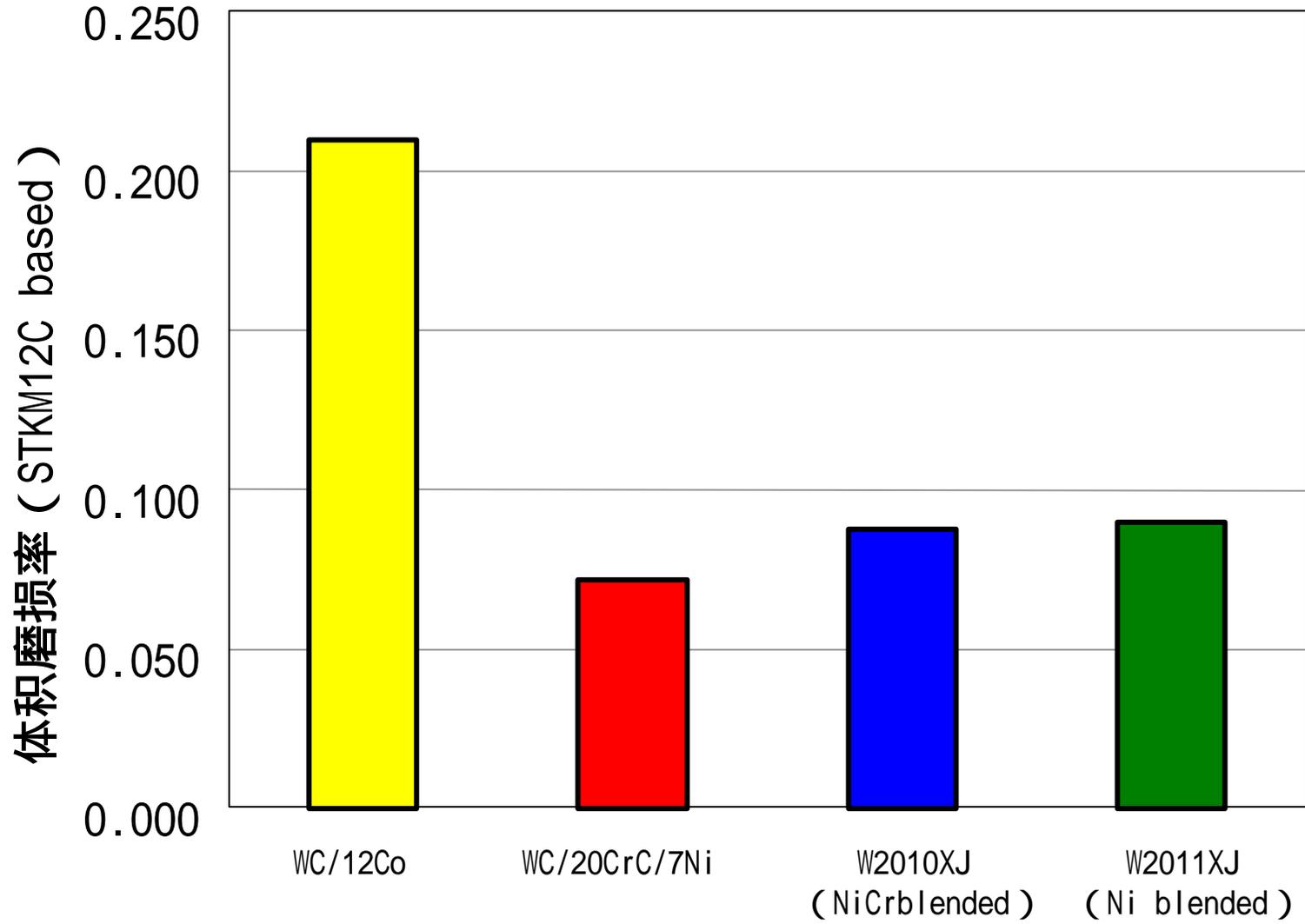
浆料：水溶液 A#8 (80%)

基底：STKM12C (25 × 70mm)

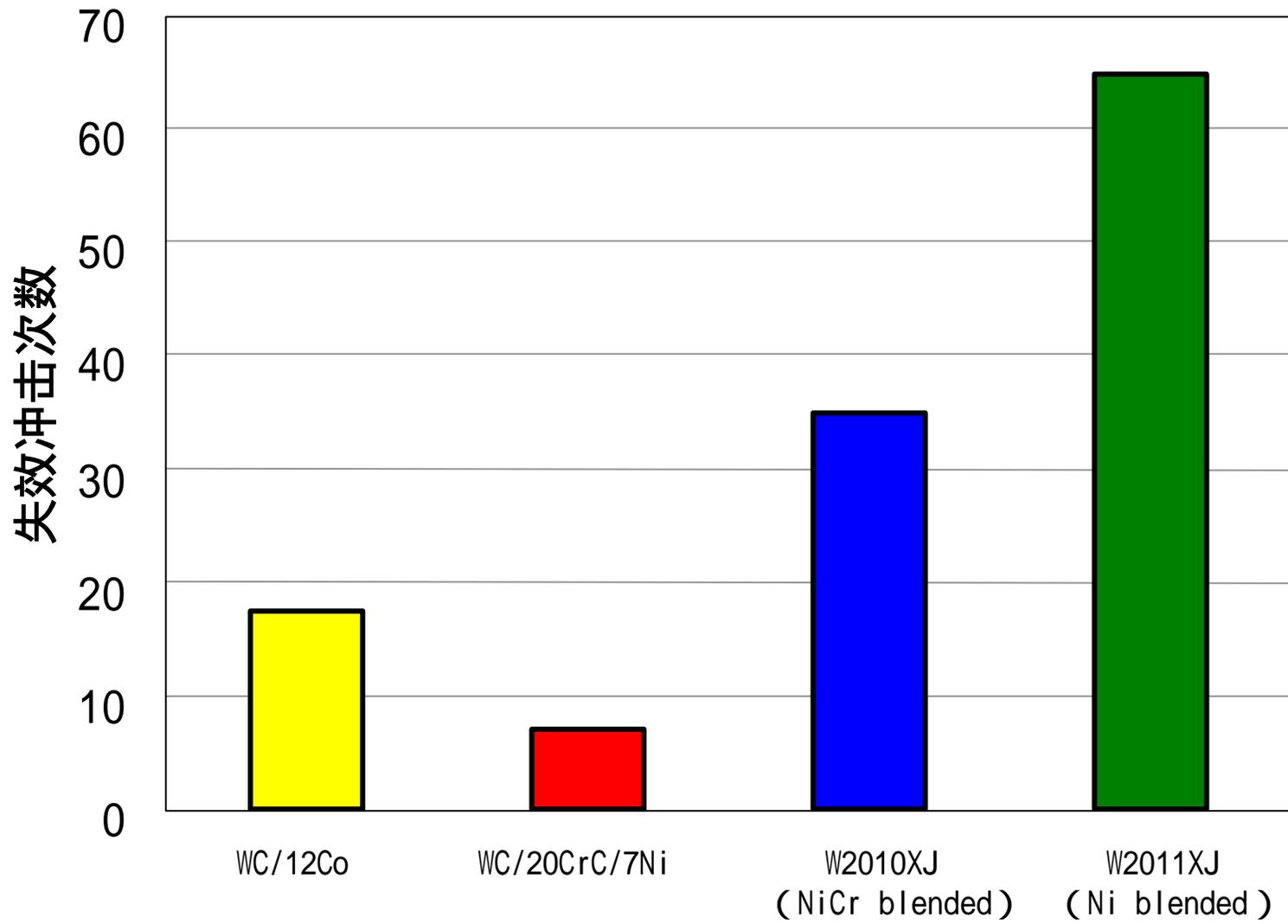
转速：50rpm (revolution)
30rpm (rotation)

测试时间：200hr

涂层厚度：200 μm



耐磨粒磨损测试
(湿磨损 (浆料磨蚀) 测试)



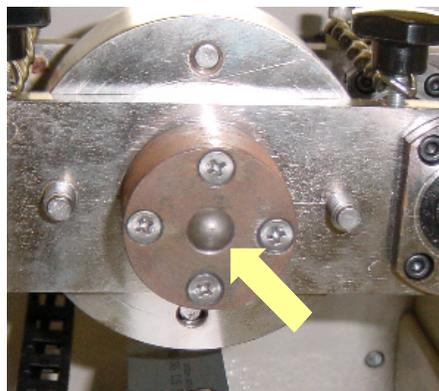
涂层抗冲击性能
(冲击测试 - 1)

< 冲击测试装置 - 2 >

采用大曲率钢球的重载冲击测试来评估涂层性能



< 外形图 >



< 落球 >



< 测试前 >



< 测试后 >



< 试样及其周边环境 >

测试条件

落球：钢球 (12.0mm)

行程：1500mm

冲击角：90°

测试载荷：3.0kg

基底：S45C (80 × 20^tmm)

涂层厚度：100 μm

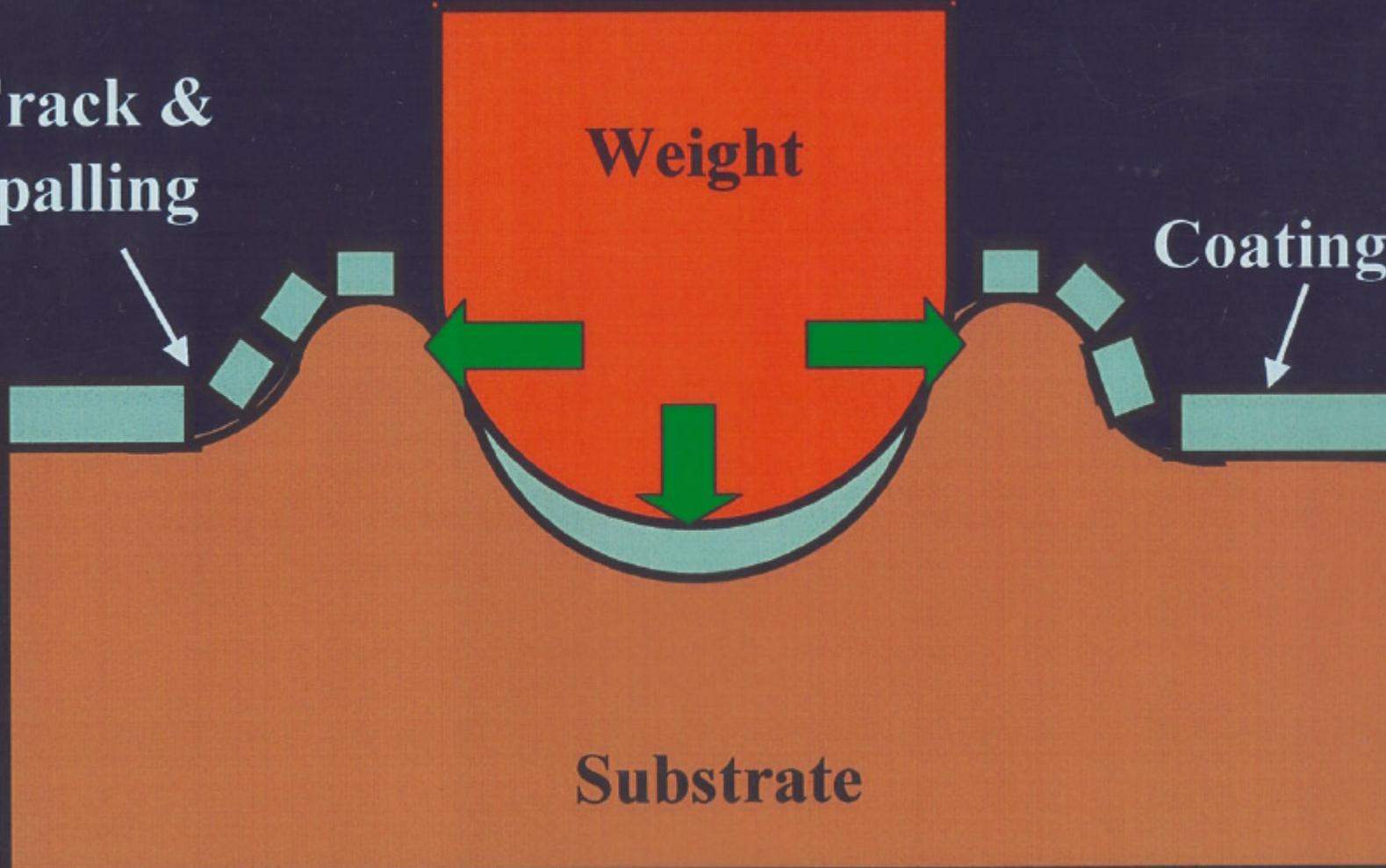
衝突時の損傷状態のモデル化

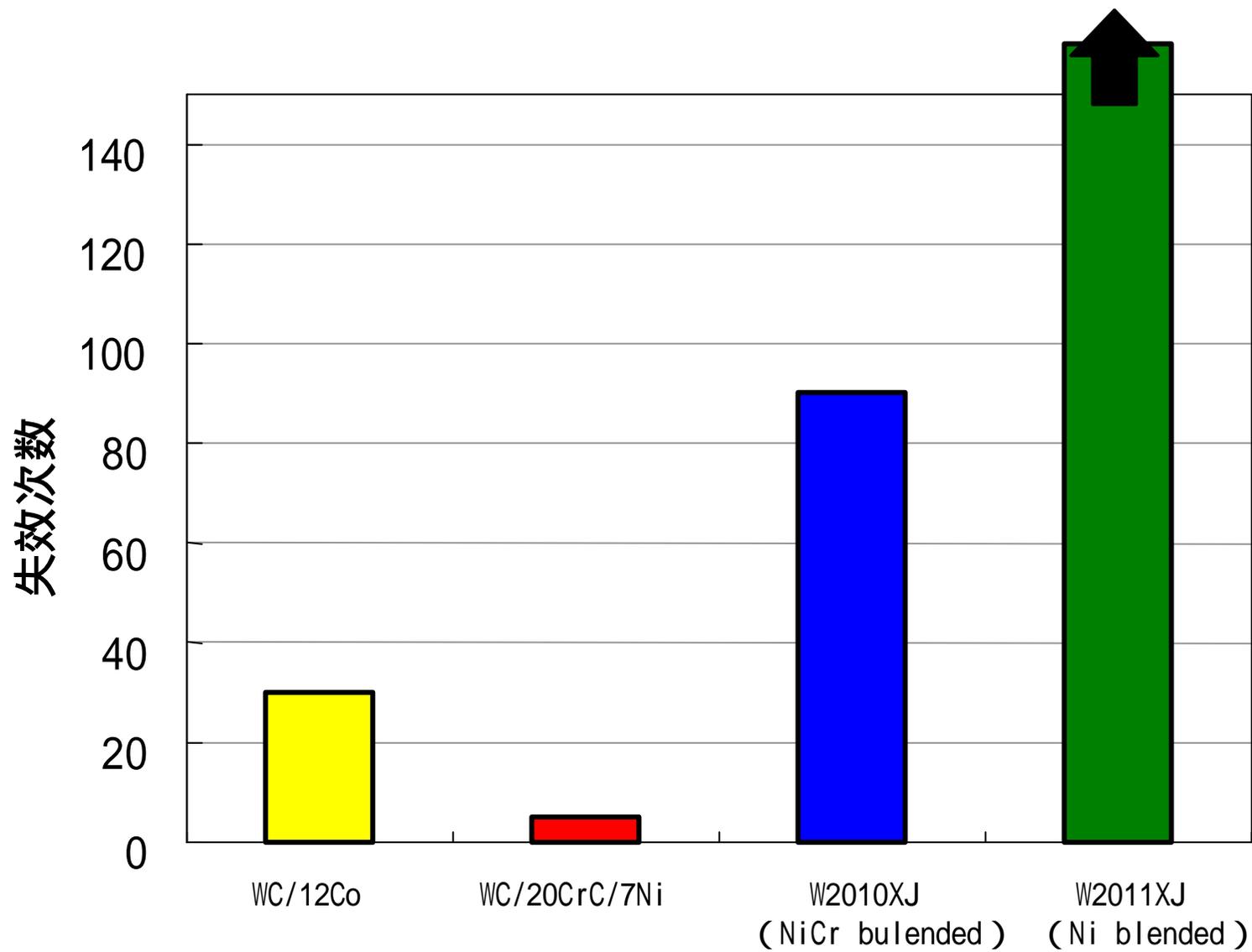
Crack &
Spalling

Weight

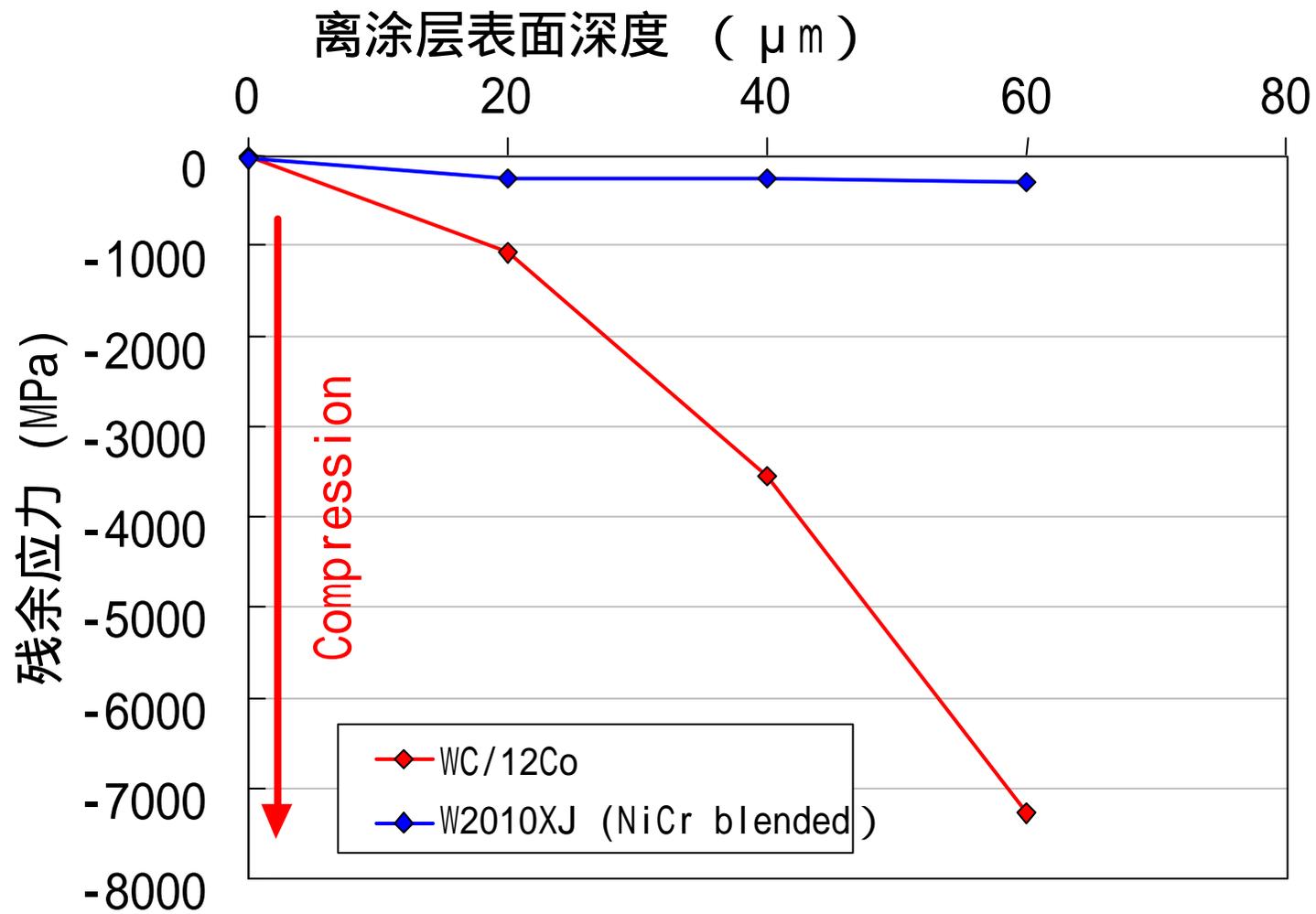
Coating

Substrate





涂层抗冲击性能
(冲击测试 - 2)



涂层的残余应力 (WC)

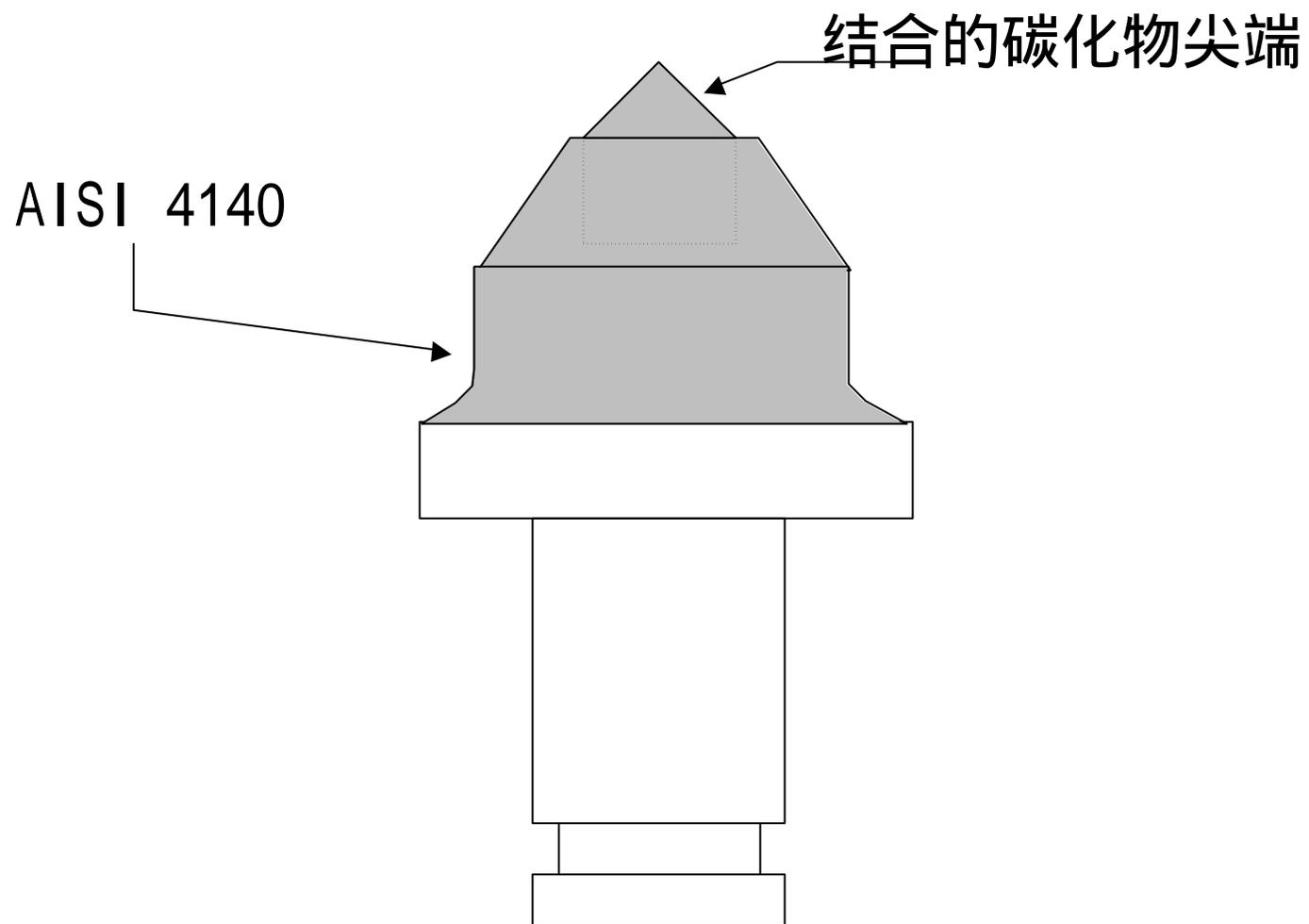
ブームヘッダー ビット摩耗状況



ブームヘッダー ビット摩耗状況



自由截面泥土掘进机的照片



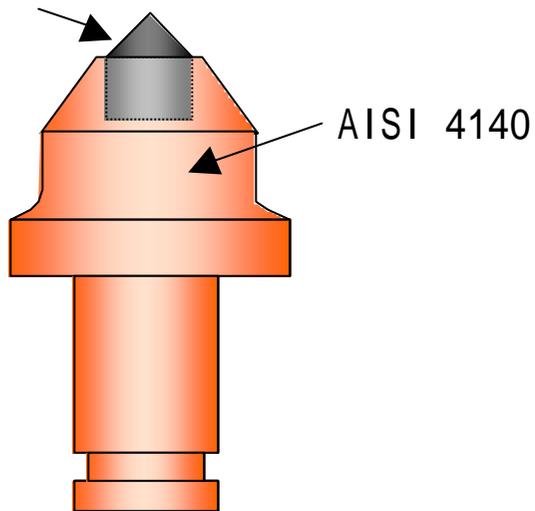
正常掘头示意图

<自由截面泥土掘进机的照片>



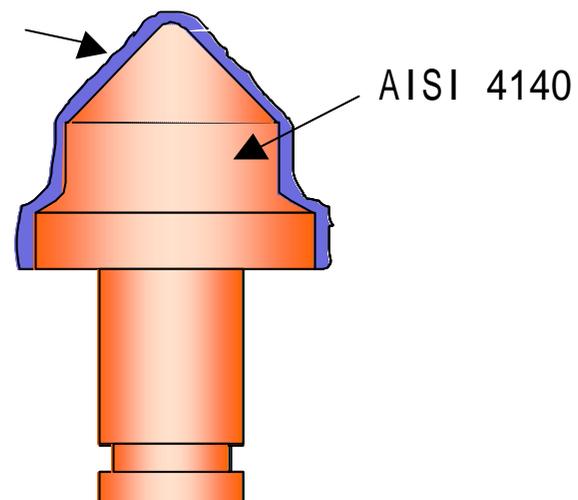
< 用于掘进测试的4种掘头 >

结合的碳化物尖端



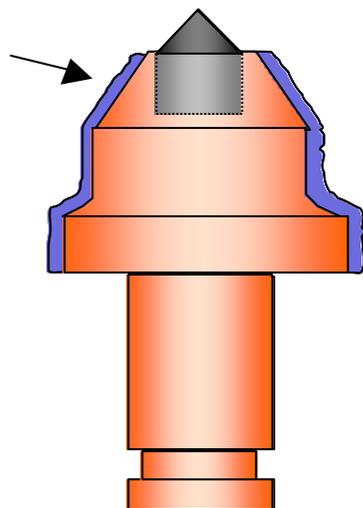
(a)

涂层

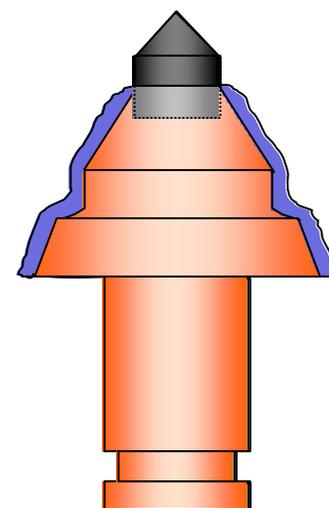


(b)

? 层



(c)



(d, e)

d : 500 μ m
e : 200 μ m

< 掘进测试后掘头磨损模式例子 >



(a)



(b)

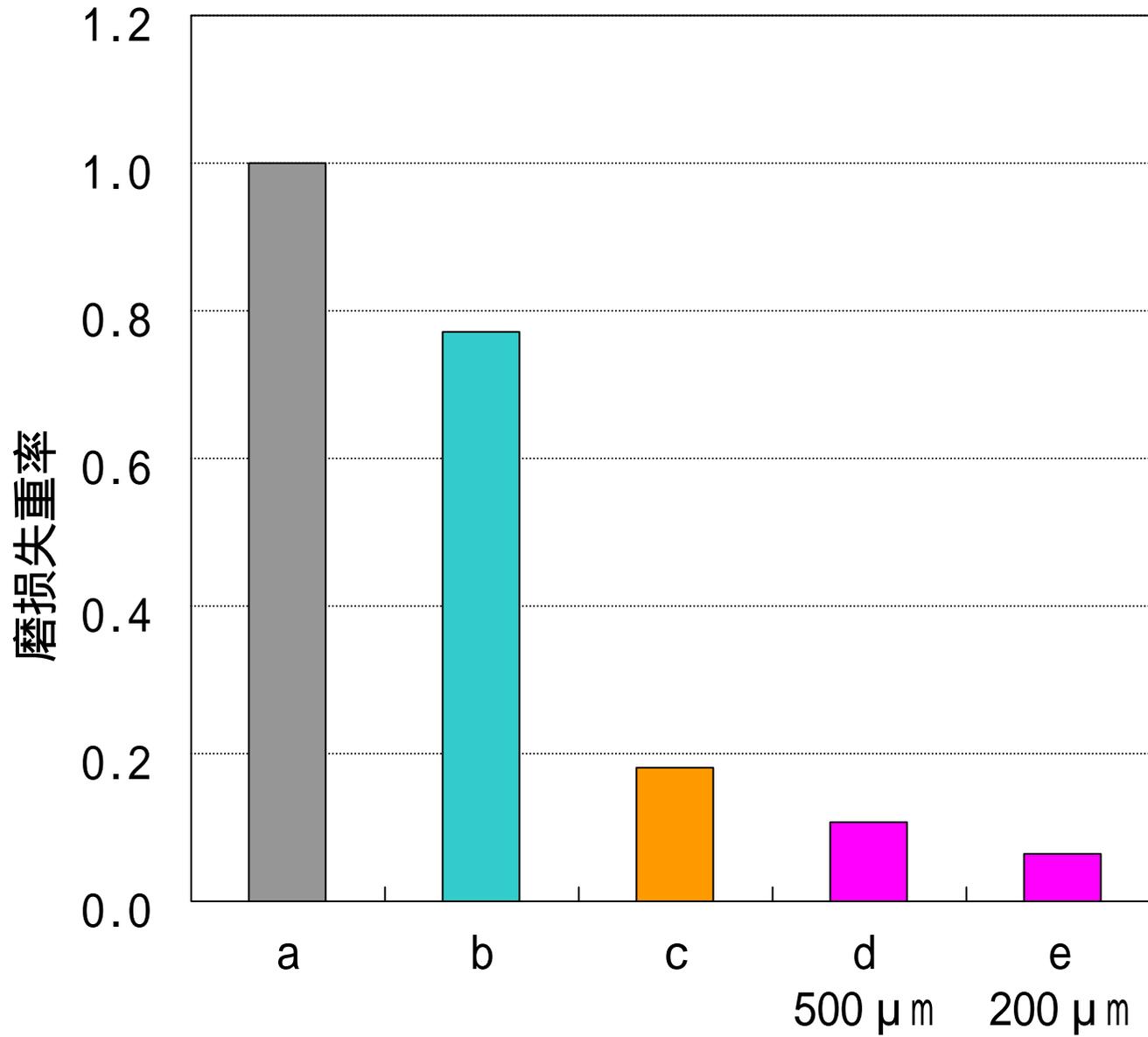


(c)

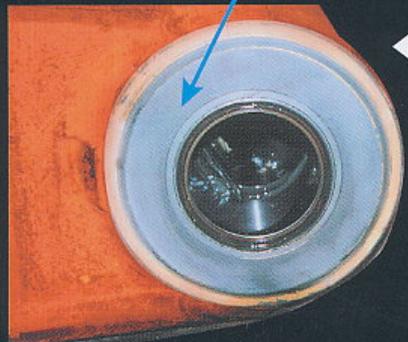


(d)

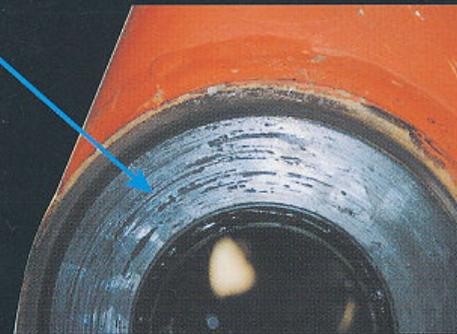
< 掘进测试后接头磨损失重率 >



日立建機パワーショベル
ZAXIS 200



◀ WC/CrC/Ni 溶射処理
100 μ m 傷なし
1000時間無給脂



溶射処理無、傷あり▶
300時間無給脂

< 影响涂层抗剥落性能的一些因素 >

喷涂材料

- 成份
- 制造工艺
- 原材料粒径
- 原材料制造工艺
- 颗粒形状
- 颗粒粒度分布
- 表观密度
- 流动性
- 颗粒强度
- 等...

喷涂条件

- 喷枪
- 燃烧条件
- 喷涂距离
- 喷涂角
- 喷嘴长度
- 冷却
- 送粉速率
- 横向速度
- 预热
- 等...

基底

- 种类
- 热处理
- 表面粗糙度
- 热膨胀系数
- 硬度
- 弹性模量
- 热导率
- 屈服点
- 抗拉强度
- 等...

< 本研究中的基底种类 >

碳钢合金钢 (退火)	SS400, S25C, S35C, S45C, S55C, SK3, SKS3, SNC815, SCM440, SNCM420
碳钢合金钢 (淬火调质)	S35C-H, S45C-H, S55C-H, SK3-H, SKS3-H, SNC815-H, SCM440-H, SNCM420-H
不锈钢	SUS304, SUS316 (奥氏体 SUS), SUS430 (铁素体 SUS), SUS440C (马氏体 SUS)*
铸铁	FC300, FCD500, High-Cr Cast iron (Fe-24.6Cr-2.75C-0.75Mn-0.48Si-0.025P-0.016S)
其他	Cemented carbide (E5, WC/13~15%Co), Hardfacing (Fe-1.38Mn-1.16Cr-0.49Si-0.25C-0.010P- 0.008S)

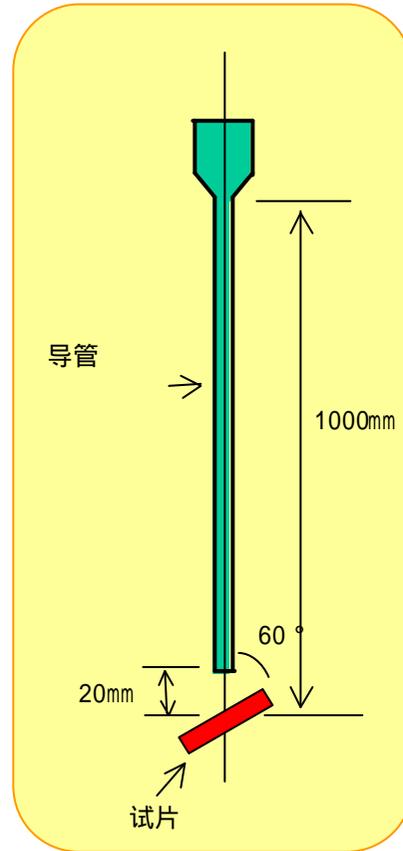
* Annealed, quenched & tempered

< 冲击测试原理 - 1 >

球重复落下直到涂层开始分裂



< 外形图 >



< 示意图 >



< 测试前 >



< 测试后 >

测试条件

球：SCr球(9.5mm、3.3g)

球数：500 球/次

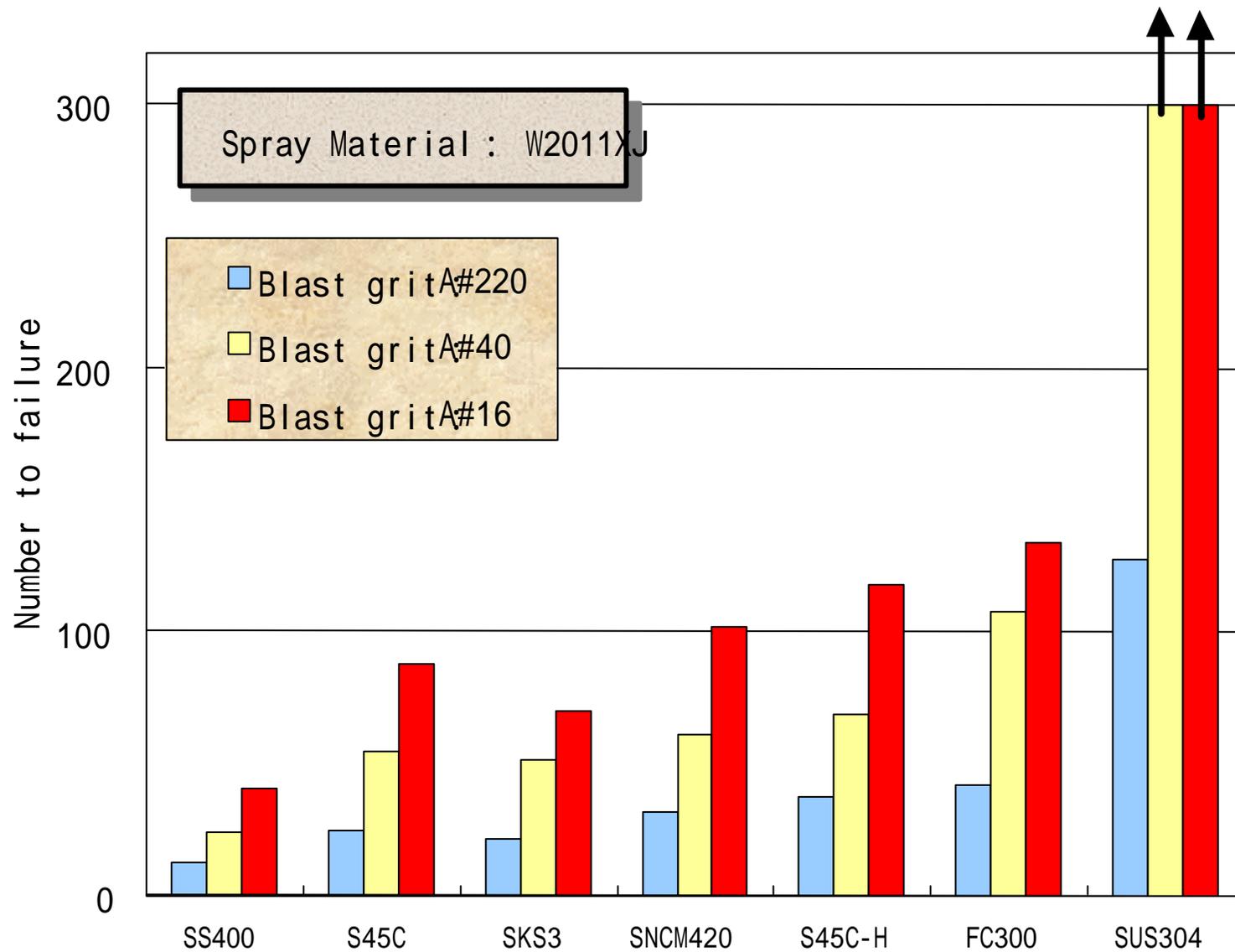
行程：1000mm

冲击角：60°

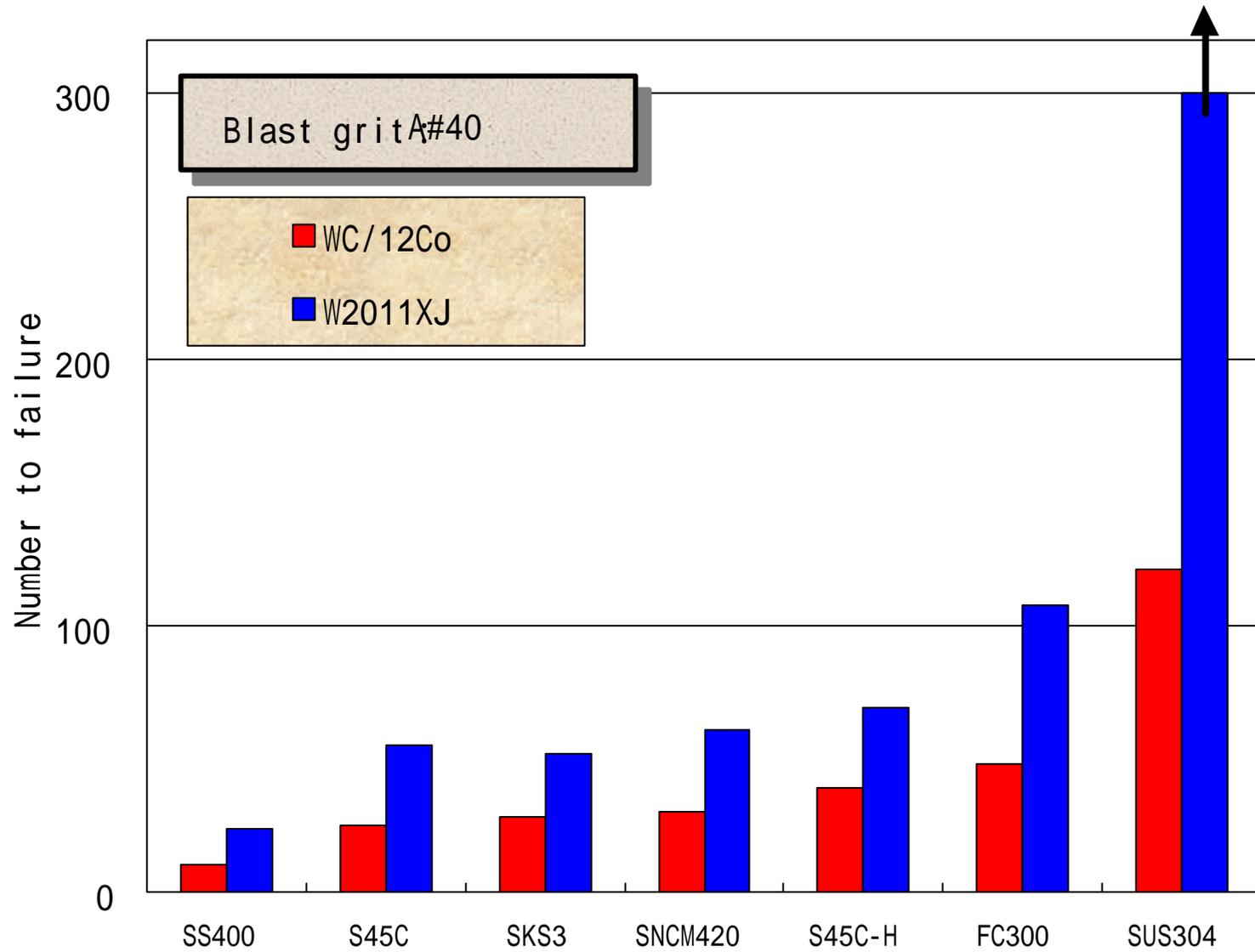
管内孔：29mm

基底材料：S45C(80 × 20^tmm)

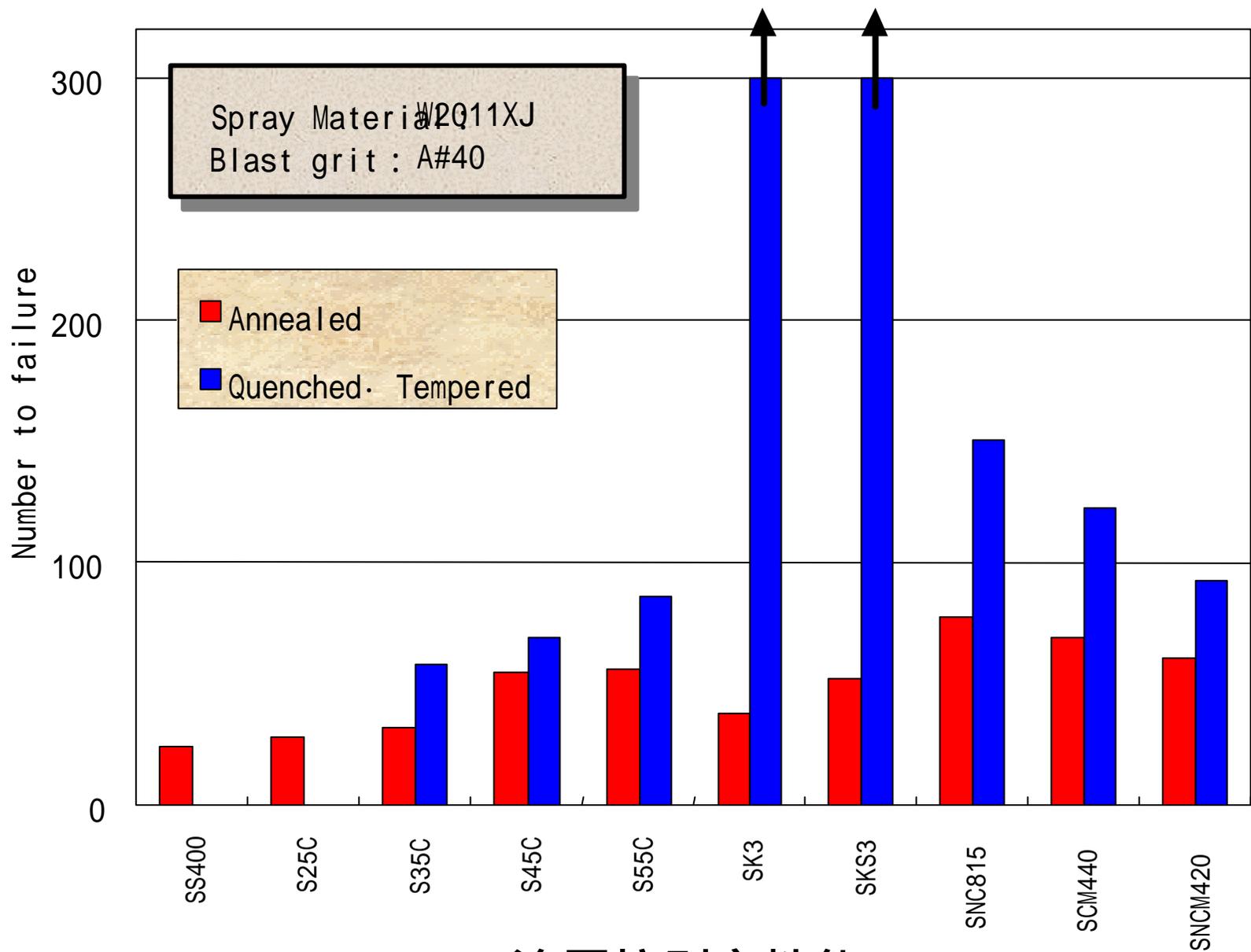
涂层厚度：100 μm



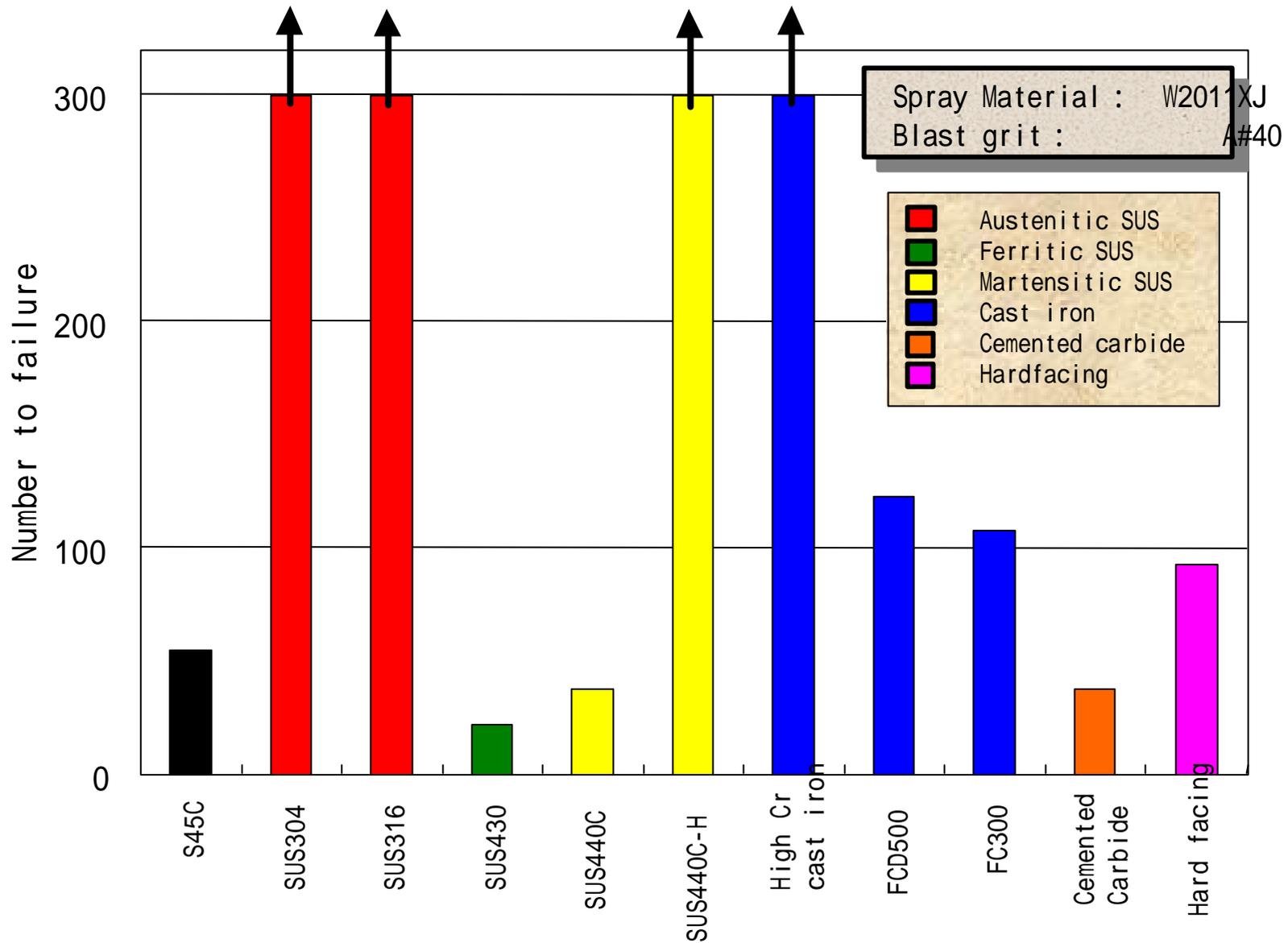
涂层抗剥离性能
(喷砂砂粒大小对涂层抗剥离性能的影响)



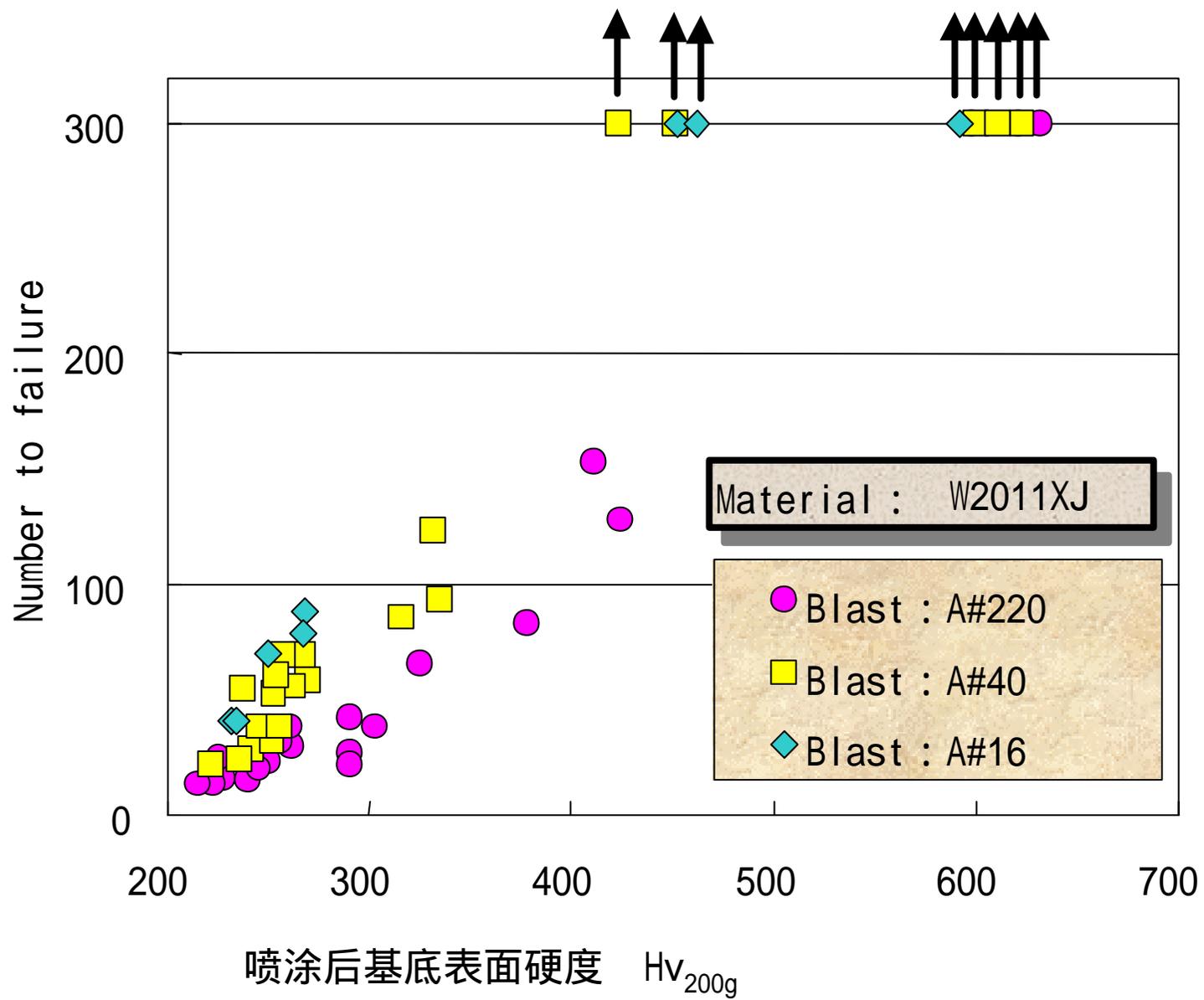
涂层抗剥离性能
(喷涂材料 : WC/12Co and W2011XJ)



涂层抗剥离性能
(基底：碳钢和合金钢)

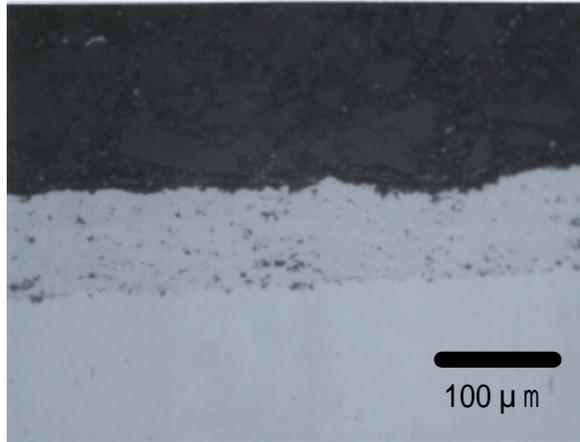


涂层抗剥离性能
(基底 : S45C, 不锈钢 和铸铁、等等.)

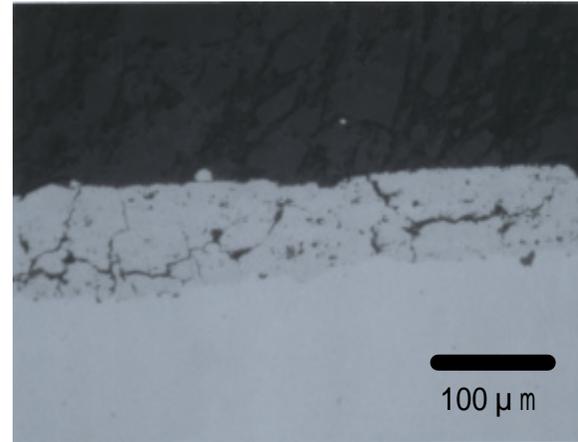


< 冲击测试后涂层的横截面照片 >

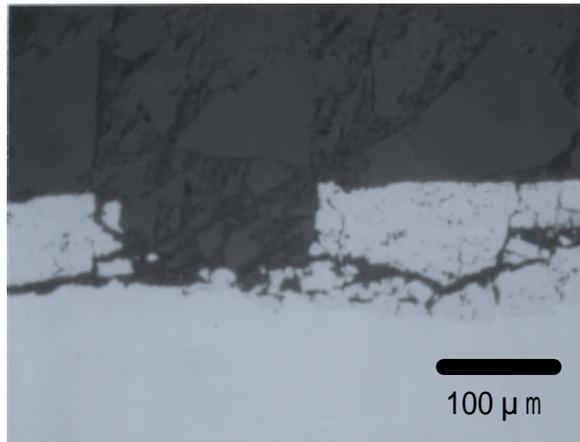
- 基底：SS400、金属陶瓷：WC/12Co、喷砂：A#220



n=0



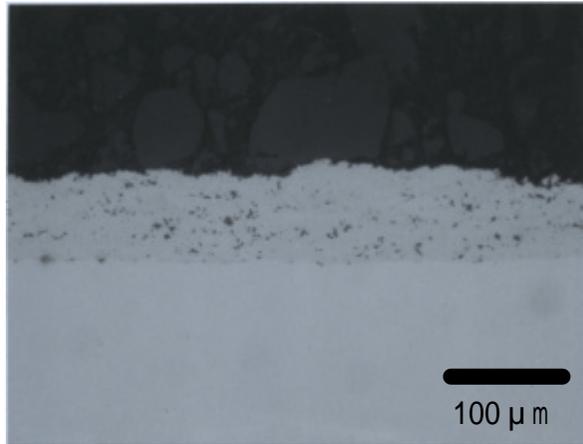
n=5



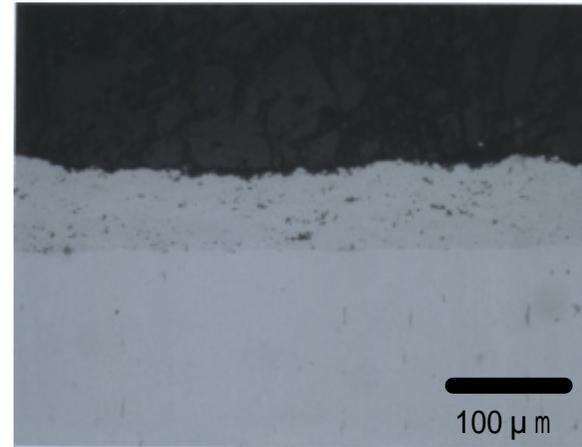
n=9 (Separation)

< 冲击测试后涂层的横截面照片 >

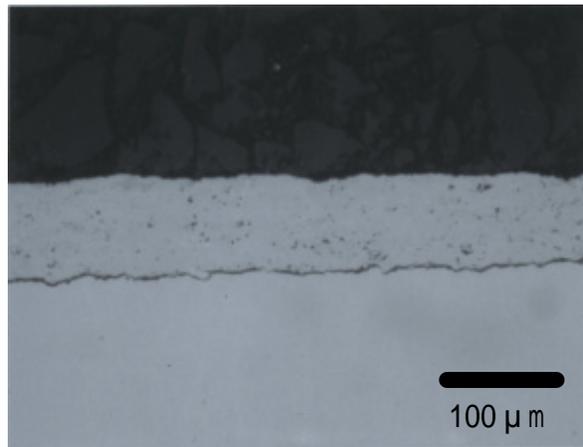
- 基底：SK3-H、金属陶瓷：WC/12Co、喷砂：A#220



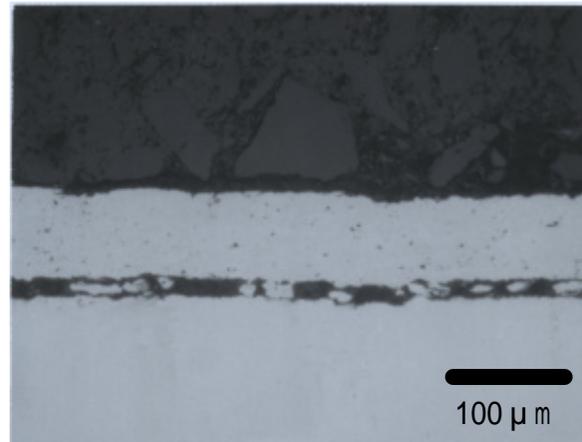
n=0



n=5

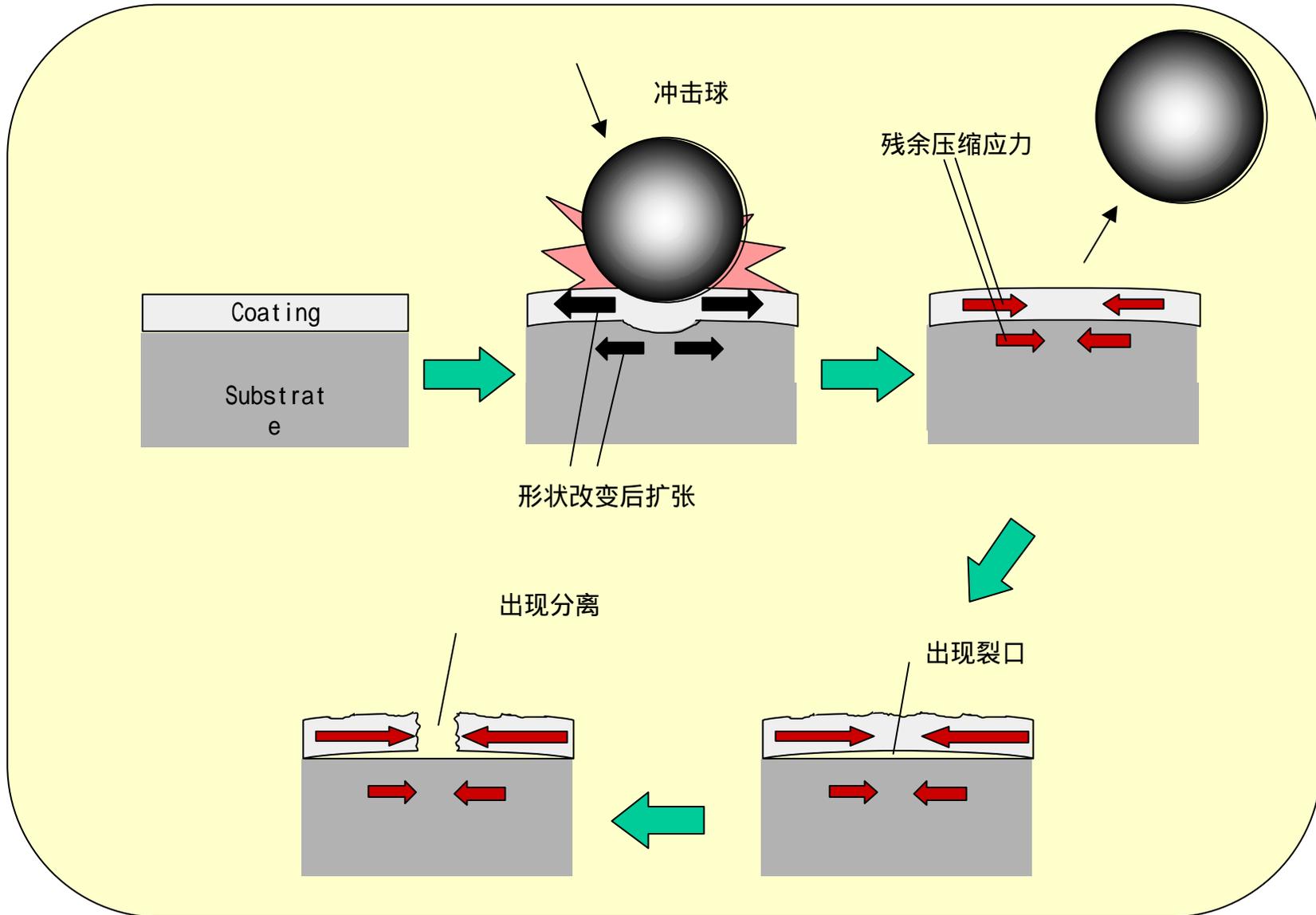


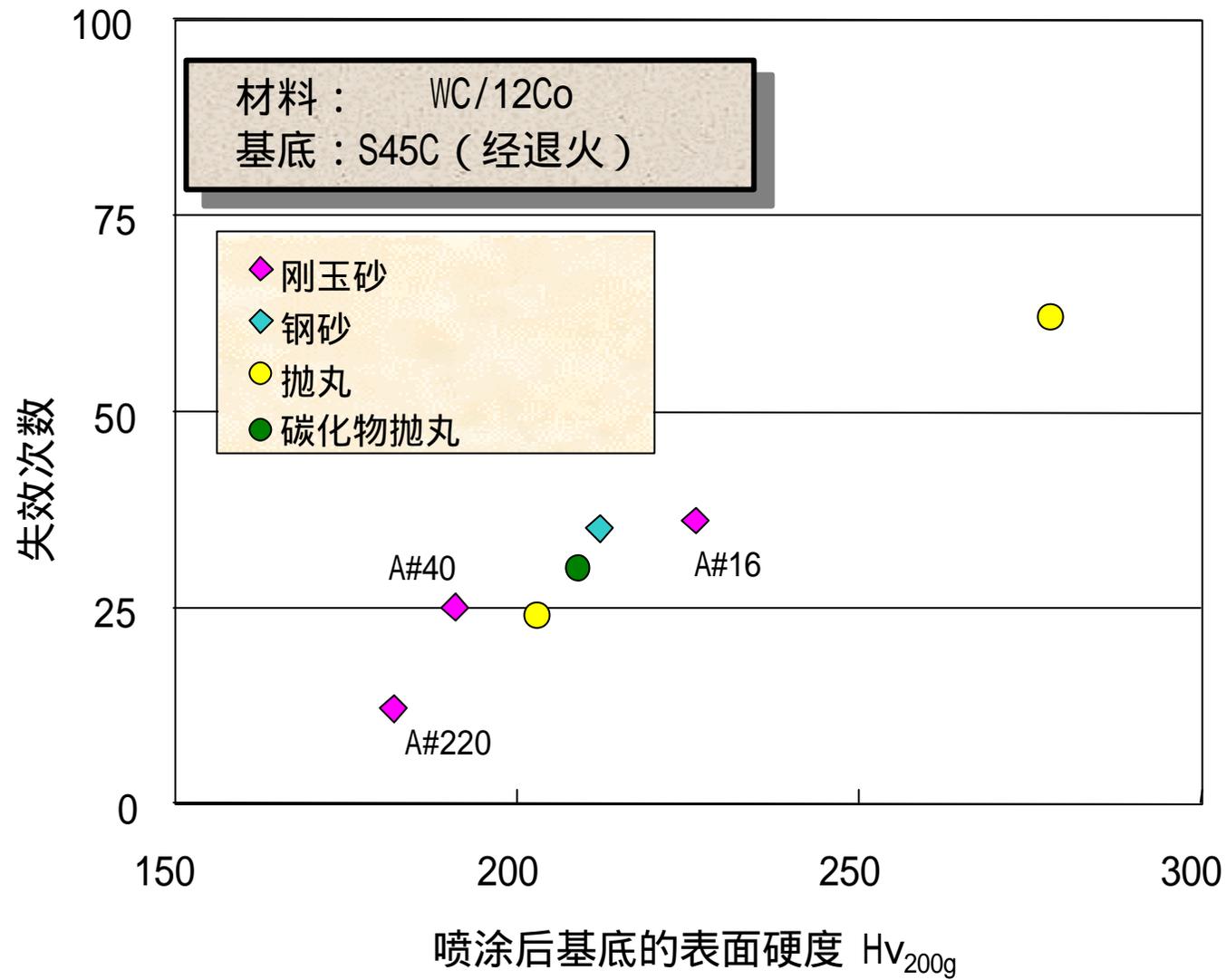
n=100

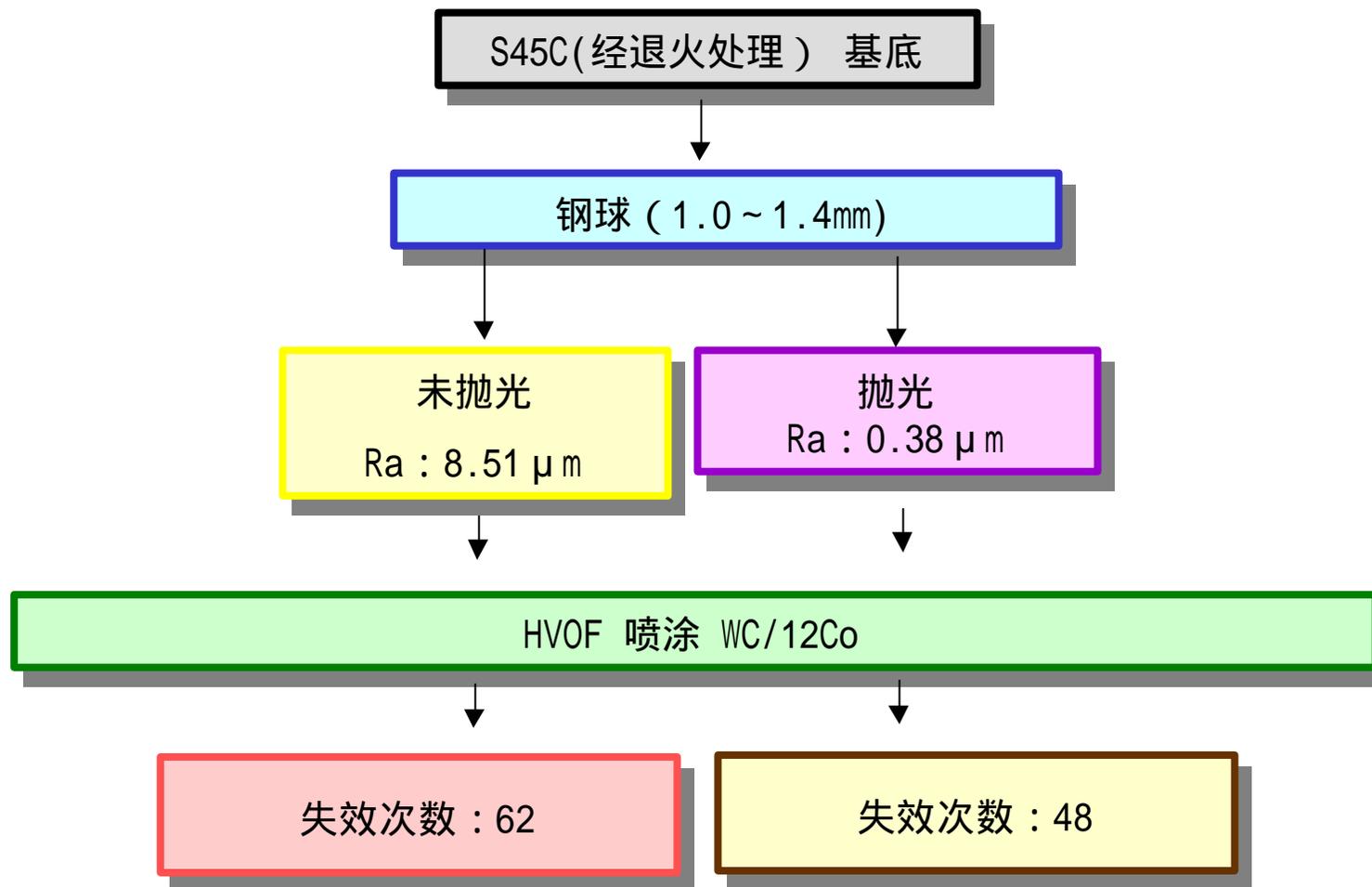


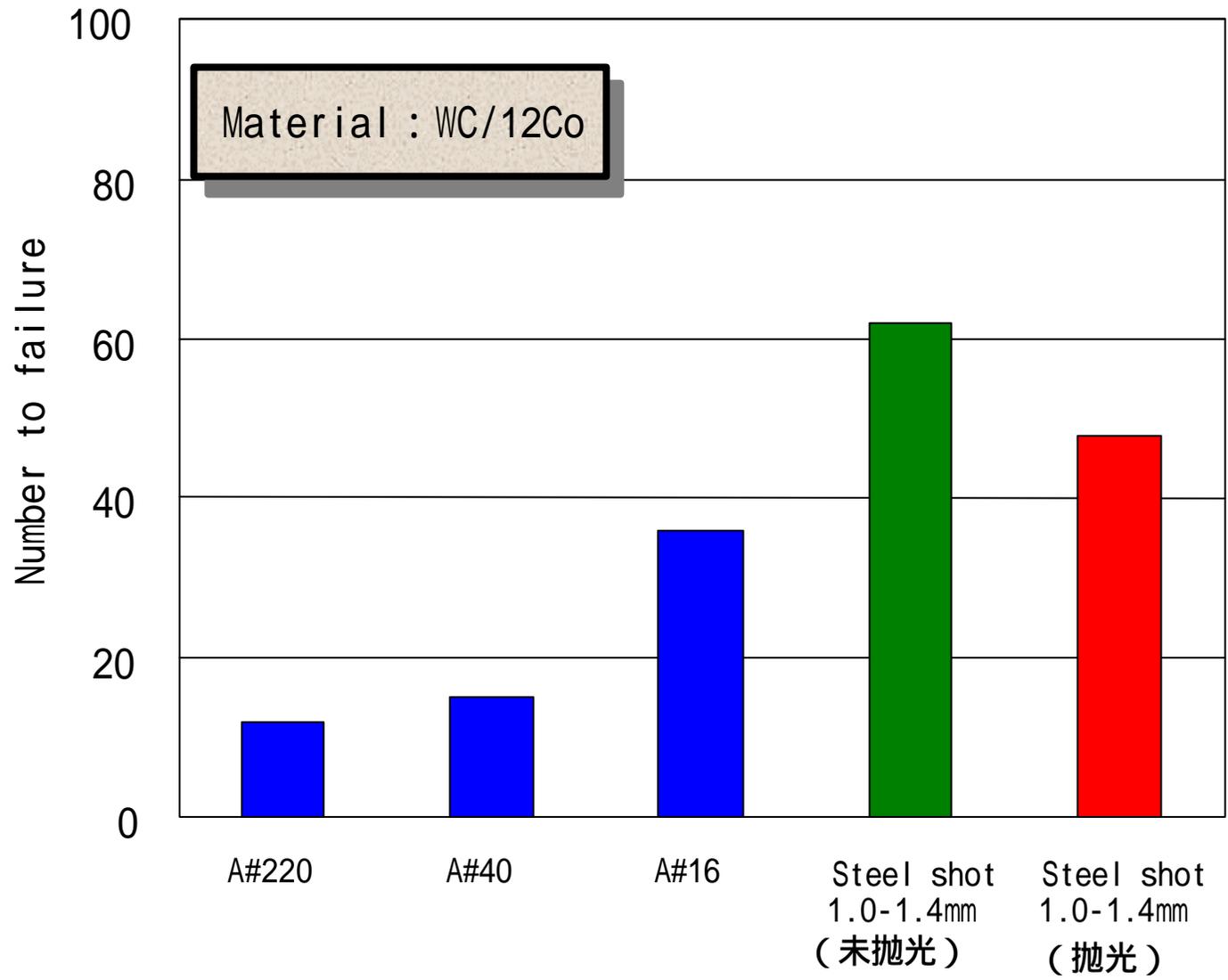
n=300

< 冲击测试中剥离机理 > (硬涂层情况下)

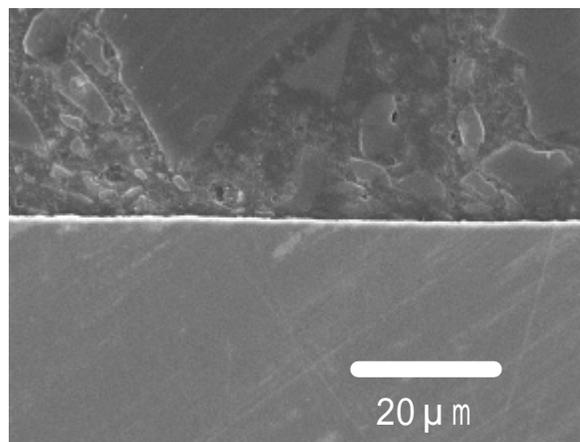




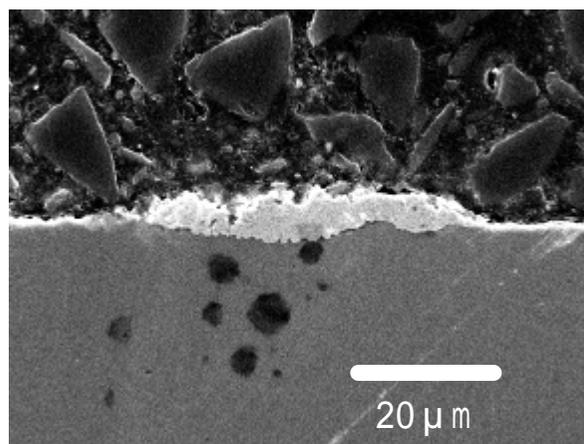




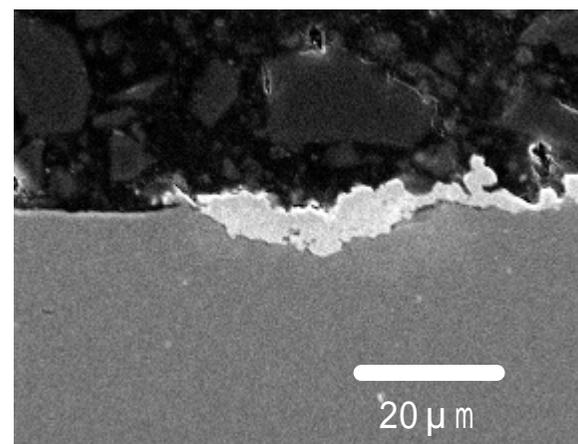
喷涂材料：WC/12Co (-45+15 μm)、喷枪：JP-5000



基底

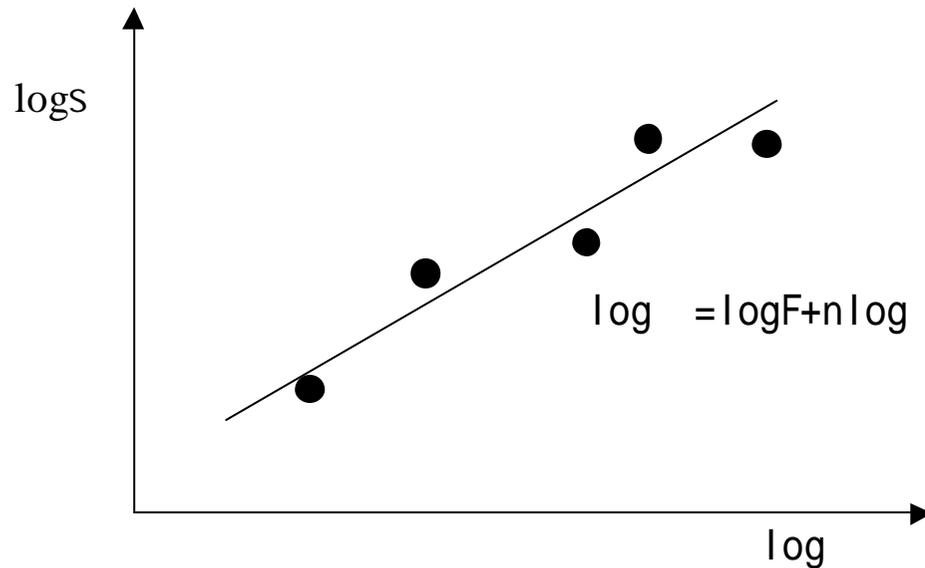
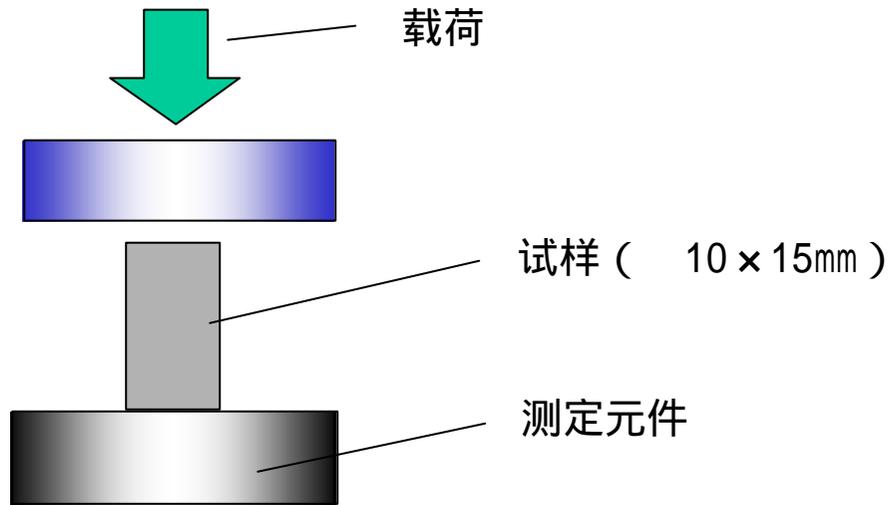


WC原始粒径 : 1.2 μm



WC原始粒径 : 6.0 μm

<加工硬化係数的测试方法 >



試験により得られる真応力 ()、真ひずみ () より変形抵抗曲線を求め、対数グラフの傾きにより加工硬化指数を算出する。

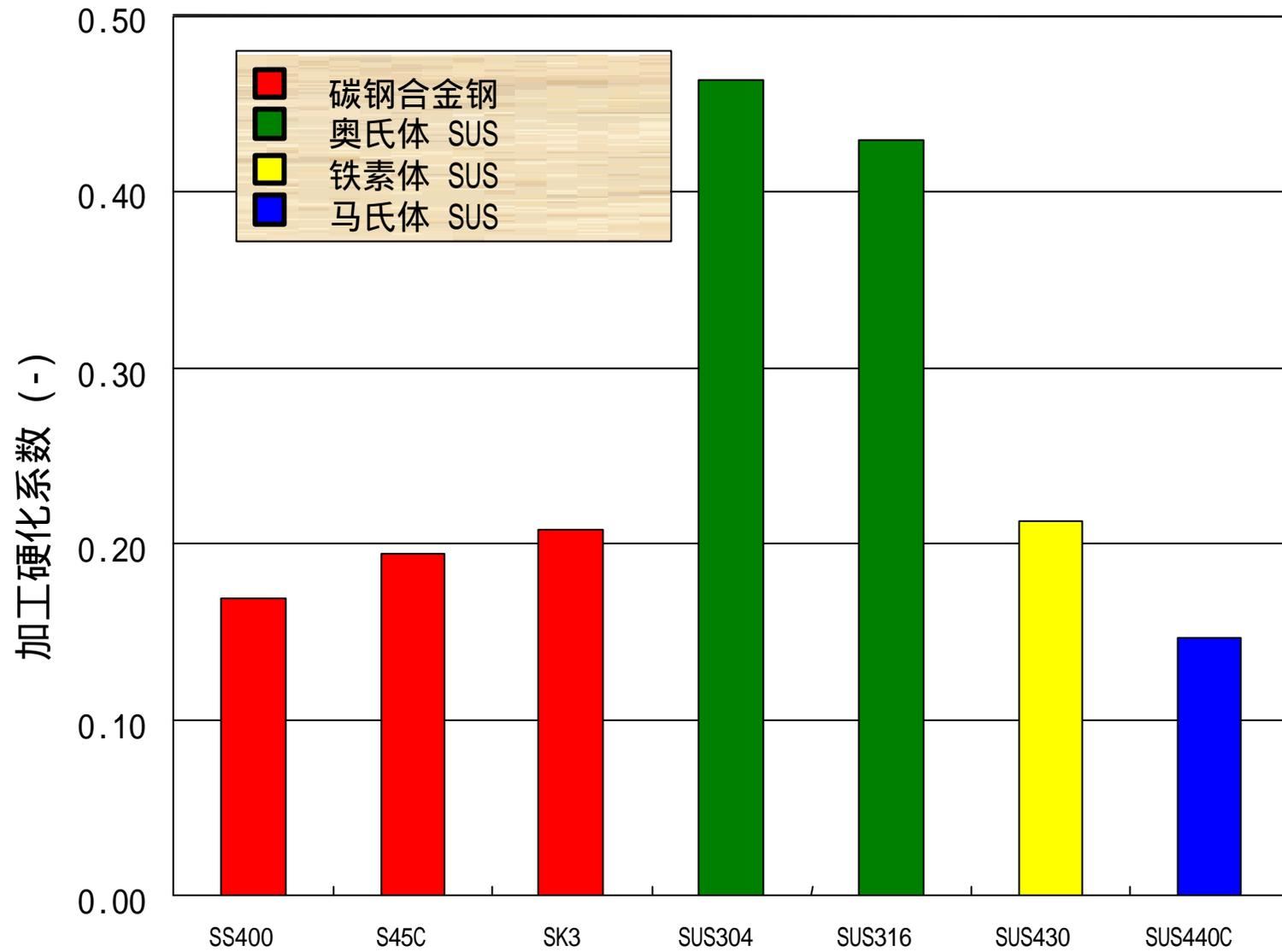
$$\sigma = F \epsilon^n$$

$$\log \sigma = \log F + n \log \epsilon$$

F : plasticity rate

n : work hardening coefficient

(: 0 ~ 0.3 の範囲)



几种基底的加工硬化系数