

---

## ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN.....	1
1.1	LA CIRCONA, MICROESTRUCTURA, CLASIFICACIÓN Y DIAGRAMAS DE FASES.....	2
1.1.1	Microestructura de la circona.....	2
1.1.2	Clasificación de los materiales de base circona.....	3
1.1.3	El sistema $ZrO_2 - Y_2O_3$ .....	4
1.1.4	Circonas Y-TZP.....	6
1.1.5	Circonas Y-PSZ.....	7
1.1.6	Circonas con microestructuras dúplex.....	8
1.2	TRANSFORMACIONES DE FASES EN MATERIALES DE CIRCONA.....	9
1.2.1	Transformación martensítica <i>t-m</i> .....	9
1.2.2	Transformaciones de fases en Y-TZP.....	10
1.2.3	Transformaciones de fases por tratamientos térmicos.....	11
1.3	PROPIEDADES MECÁNICAS.....	13
1.3.1	Resistencia a la fractura y su determinación experimental.....	13
1.3.2	Ensayos utilizados para determinar la resistencia de materiales cerámicos.....	13
1.3.3	Tenacidad de fractura y mecanismos de aumento de tenacidad.....	16
1.3.4	Mecanismo de transformación de fases.....	18
1.3.5	Formación de puentes sobre las caras de la fisura.....	19
1.3.6	Microfisuración.....	20

---

---

1.3.7 Desvío de la trayectoria de la fisura.....	21
1.4 MÉTODOS DE DETERMINACIÓN DE LA TENACIDAD.....	22
1.4.1 Ensayo de microfractura por indentación IM.....	22
1.4.2 Formación de las fisuras.....	23
1.4.3 Cálculo de tenacidad por el método IM.....	24
1.4.4 Fisuras semielípticas.....	25
1.4.5 Fisuras Palmquist.....	26
1.4.6 Cálculo de tenacidad por el método IBS.....	33
1.4.3. Ensayo de tenacidad de fisura superficial SCF.....	34
1.5 MECANIZADO DE MATERIALES CERÁMICOS.....	36
1.5.1 Proceso de rectificado.....	37
1.5.2 Desbaste plano.....	38
1.5.3 Caracterización de la superficie. Tensiones residuales y daño superficial.....	39
1.6 TRANSFORMACIÓN DE FASES DEBIDO A LOS PROCESOS DE MECANIZADO.....	40
1.6.1 Transformación de tetragonal a monoclinico.....	40
1.6.2 Transformación de fase tetragonal-romboédrica.....	41
1.6.3 Formación de textura.....	42
1.7 MEDICIÓN DE TENSIONES RESIDUALES EN LA SUPERFICIE.....	46
1.7.1 Técnica de difracción de rayos X para la determinación de tensiones residuales.....	46
1.7.2 Método del $\text{sen}^2\psi$ .....	47
1.7.3 Determinación de las tensiones principales.....	48
1.7.4 Determinación de las tensiones subsuperficiales.....	49

---

---

1.7.5	Calculo por el método de indentación Vickers.....	50
1.8	RESISTENCIA AL CONTACTO DE CERÁMICAS.....	51
1.8.1	Modos de fallo en cerámicas.....	51
1.8.2	Resistencia al contacto de cerámicas de circona.....	54
1.9	COMPORTAMIENTO DE LOS MATERIALES CERÁMICOS FRENTE AL CHOQUE TÉRMICO.....	56
1.9.1	Parámetros de la resistencia al choque térmico	56
1.9.2	Exposición a baja temperatura y degradación térmica.....	59
	OBJETIVOS.....	63
2	PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.....	65
2.1	PREPARACIÓN DE MUESTRAS DE Y-TZP.....	65
2.1.1	Material y propiedades mecánicas.....	65
2.1.2	Tratamientos térmicos.....	66
2.1.3	Procedimiento de preparación de las muestras pulidas.....	67
2.1.4	Procedimiento de preparación de las muestras desbastadas.....	68
2.1.5	Procedimiento de preparación de las muestras rectificadas.....	70
2.2	PROCEDIMIENTO UTILIZADO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA.....	72
2.2.1	Ensayo de flexión biaxial.....	72
2.3	PROCEDIMIENTO UTILIZADO EN LOS ENSAYOS DE RESISTENCIA AL CONTACTO.....	74
2.3.1	Determinación del efecto del contacto en la resistencia a la fractura.....	75
2.4	PROCEDIMIENTO UTILIZADO EN LOS ENSAYOS DE CHOQUE TÉRMICO.....	75

---

---

2.5 DETERMINACIÓN DE LAS TENSIONES RESIDUALES PRODUCIDAS POR DESBASTE.....	76
2.5.1 Método de rayos X.....	77
2.5.2 Método para determinar las tensiones residuales por Indentación.....	78
2.6 TÉCNICAS UTILIZADAS PARA EL ESTUDIO DE LA MICROESTRUTURA.....	78
2.6.1 Espectroscopía Raman.....	79
2.6.2 Lectura de una curva Raman.....	79
2.6.3 Cálculo de la cantidad de fase monoclinica.....	80
2.6.4 Determinación de las fases por difracción de rayos X.....	82
2.7 PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS DE TENACIDAD.....	82
2.7.1 Preparación de las muestras de tenacidad (ensayo IM).....	82
2.8 PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS PARA ENSAYO SCF.....	83
2.9 MEDICIÓN DE LA LONGITUD DE FISURA POR MICROSCOPIA ÓPTICA.....	86
3 RESULTADOS EXPERIMENTALES.....	87
3.1 TRANSFORMACIÓN DE FASE POR TRATAMIENTO TÉRMICO.....	87
3.2 DETERMINACIÓN DE LA CANTIDAD DE FASES.....	93
3.3 DETERMINACIÓN DE LA TRANSFORMABILIDAD.....	96
3.4 TRANSFORMACIONES DE FASE OCACIONADA POR LOS PROCESOS DE MECANIZADO.....	98
3.4.1 Transformación de fases durante el proceso de rectificado.....	98
3.4.2 Análisis de la transformación de fases durante el proceso de desbaste plano.....	100
3.4.3 Estudio de la presencia de textura ocasionada por el desbaste.....	103
3.4.4 Estudio de la posibilidad de la transformación reversible.....	105

---

---

3.5 ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DEL TRATAMIENTO TÉRMICO EN LA MICROESTRUCTURA.....	108
3.6 TRANSFORMACIONES DE FASES POR PROCESOS DE MECANIZADO.....	111
3.6.1 Análisis de la transformación de fases durante el proceso de rectificado	111
3.6.2 Análisis de la transformación de fases durante el proceso de desbaste plano.....	112
3.6.3 Análisis de la posibilidad de producirse la transformación de fases reversible $t-m$ durante el proceso de desbaste plano.....	114
3.7 DETERMINACIÓN DE TENSIONES RESIDUALES POR DIFRACCIÓN DE RAYOS X .....	115
3.7.1 Muestras mecanizadas por desbaste plano.....	115
3.7.2 Muestras mecanizadas por rectificado.....	119
3.7.3 Cálculo de las tensiones principales (desbaste plano).....	120
3.7.4 Determinación de la distribución de tensiones subsuperficial.....	121
3.7.5 Determinación de las tensiones en muestras desbastadas por métodos destructivos.....	126
3.7.6 Determinación de los espesores de la capa de tensiones.....	130
3.8 ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA DETERMINACIÓN DE LAS TENSIONES RESIDUALES.....	132
3.8.1 Magnitud de las tensiones.....	132
3.8.2 Distribución de las tensiones.....	135
3.9 INFLUENCIA DEL PROCESO DE MECANIZADO SOBRE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS.....	135
3.9.1 Influencia de la microestructura en la resistencia a la rotura.....	135
3.9.2 Fractografía.....	139
3.9.3 Influencia de la microestructura en la tenacidad de fractura.....	142
3.9.4 Influencia de las tensiones residuales de mecanizado en las propiedades mecánicas.....	150
3.9.5 Influencia de las tensiones residuales en la tenacidad de fractura.....	155
3.10 ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LA MICROESTRUCTURA EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS.....	164

---

---

3.10.1 Tensiones residuales y resistencia a la fractura.....	169
3.10.2 Tensiones residuales y tenacidad de fractura.....	171
3.11 RESISTENCIA A FUERZAS DE CONTACTO PUNTUALES .....	178
3.11.1 Determinación de las zonas transformadas por la indentación.....	181
3.11.2 Influencia de la fatiga de contacto en la resistencia a la fractura.....	183
3.11.3 Comportamiento de las tensiones residuales en la resistencia de 40M sometidas a cargas cíclicas de contacto.....	184
3.11.4 Comportamiento de las tensiones residuales en la resistencia de 40M sometidas a fatiga de contacto.....	186
3.12 ANÁLISIS DE LA DEGRADACIÓN DE LA RESISTENCIA POR EL CONTACTO.....	190
3.12.1 Efecto de las tensiones residuales en la resistencia al contacto.....	192
3.13 ESTUDIO DEL CHOQUE TÉRMICO Y A LA DEGRADACIÓN A BAJA TEMPERATURA.....	193
3.13.1 Influencia de las tensiones residuales inducidas por el proceso de mecanizado.....	193
3.13.2 Evaluación de la resistencia al choque térmico de las muestras ensayadas sin indentación a baja temperatura.....	195
3.13.3 Evaluación de la transformación de fases debido al choque térmico.....	199
3.13.4 Evaluación del estado tensional después del choque térmico y recocido.....	200
3.13.5 Modelo de la rotura por choque térmico.....	201
3.13.6 Determinación experimental de la resistencia al choque térmico.....	210
3.14 ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	212
4 CONCLUSIONES.....	217
REFERENCIAS.....	221

---