

1. Evolución del silicio eutéctico en los tratamientos de esferoidización del lingote de Rheocasting

1.1 . Evolución del silicio a 450°C en las tres zonas del lingote

Tabla 1.1. Evolución de las áreas (μm^2).

| TIEMPO DE TRATAMIENTO | NÚCLEO | ZONA INTERMEDIA | PERIFERIA |
|-----------------------|--------|-----------------|-----------|
| 0 | - | - | - |
| 30' | 0.19 | 0.21 | 0.26 |
| 1 h | 0.20 | 0.22 | 0.35 |
| 3 h | 0.38 | 0.33 | 0.62 |
| 6 h | 0.46 | 0.51 | 0.98 |
| 12 h | 0.59 | 0.69 | 0.98 |
| 24 h | 0.77 | 0.65 | 1.13 |

Tabla 1.2. Evolución del factor de forma.

| TIEMPO DE TRATAMIENTO | NÚCLEO | ZONA INTERMEDIA | PERIFERIA |
|-----------------------|--------|-----------------|-----------|
| 0 | - | - | - |
| 30' | - | - | - |
| 1 h | 0,62 | 0,65 | 0,62 |
| 3 h | 0.70 | 0.68 | 0.64 |
| 6 h | 0.71 | 0.69 | 0.72 |
| 12 h | 0.72 | 0.70 | 0.70 |
| 24 h | 0.71 | 0.71 | 0.72 |

Tabla 1.3. Evolución del diámetro equivalente (μm).

| TIEMPO DE TRATAMIENTO | NÚCLEO | ZONA INTERMEDIA | PERIFERIA |
|-----------------------|--------|-----------------|-----------|
| 0 | - | - | - |
| 30' | 0.42 | 0.41 | 0.40 |
| 1 h | 0.40 | 0.43 | 0.53 |
| 3 h | 0.56 | 0.53 | 0.73 |
| 6 h | 0.61 | 0.64 | 0.92 |
| 12 h | 0.71 | 0.74 | 0.91 |
| 24 h | 0.87 | 0.72 | 1.03 |

1.2 . Evolución del silicio a 500°C en las tres zonas del lingote

Tabla 1.4. Evolución de las áreas (μm^2).

| TIEMPO DE TRATAMIENTO (h) | NÚCLEO | ZONA INTERMEDIA | PERIFERIA |
|---------------------------|--------|-----------------|-----------|
| 0 | - | - | - |
| 1 | 0.43 | 0.40 | 0.52 |
| 3 | 0.57 | 0.46 | 0.82 |
| 6 | 0.76 | 0.84 | 1.12 |
| 12 | 0.97 | 0.84 | 1.64 |
| 24 | 1.22 | 0.97 | 1.84 |

Tabla 1.5. Evolución del factor de forma.

| TIEMPO DE TRATAMIENTO (h) | NÚCLEO | ZONA INTERMEDIA | PERIFERIA |
|---------------------------|--------|-----------------|-----------|
| 0 | - | - | - |
| 1 | - | - | - |
| 3 | 0.72 | 0.71 | 0.69 |
| 6 | 0.73 | 0.76 | 0.74 |
| 12 | 0.74 | 0.72 | 0.73 |
| 24 | 0.76 | 0.75 | 0.75 |

Tabla 1.6. Evolución del diámetro equivalente (μm).

| TIEMPO DE TRATAMIENTO (h) | NÚCLEO | ZONA INTERMEDIA | PERIFERIA |
|---------------------------|--------|-----------------|-----------|
| 0 | - | - | - |
| 1 | 0.61 | 0.60 | 0.68 |
| 3 | 0.71 | 0.62 | 0.62 |
| 6 | 0.80 | 0.82 | 0.97 |
| 12 | 0.89 | 0.83 | 1.12 |
| 24 | 1.00 | 0.86 | 1.30 |

1.3 . Evolución del silicio a 550°C en las tres zonas del lingote

Tabla 1.7. Evolución de las áreas (μm^2).

| TIEMPO DE TRATAMIENTO | NÚCLEO | ZONA INTERMEDIA | PERIFERIA |
|-----------------------|--------|-----------------|-----------|
| 0 | - | - | - |
| 5' | 0.27 | 0.30 | 0.46 |
| 10' | 0.37 | 0.49 | 0.52 |
| 15' | 0.49 | 0.58 | 0.70 |
| 30' | 0.55 | 0.64 | 0.94 |
| 45' | 0.64 | 0.63 | 0.95 |
| 1 h | 0.82 | 0.66 | 1.01 |
| 3 h | 1.00 | 0.83 | 1.97 |
| 6 h | 1.21 | 3.51 | 2.01 |
| 12 h | 2.66 | 4.09 | 3.55 |
| 24 h | 3.15 | 6.78 | 3.84 |

Tabla 1.8. Evolución del factor de forma.

| TIEMPO DE TRATAMIENTO | NÚCLEO | ZONA INTERMEDIA | PERIFERIA |
|-----------------------|--------|-----------------|-----------|
| 0 | - | - | - |
| 5' | 0.71 | 0.68 | 0.69 |
| 10' | 0.71 | 0.69 | 0.70 |
| 15' | 0.72 | 0.70 | 0.71 |
| 30' | 0.74 | 0.71 | 0.72 |
| 45' | 0.74 | 0.71 | 0.73 |
| 3 h | 0.75 | 0.75 | 0.74 |
| 6 h | 0.74 | 0.76 | 0.75 |
| 12 h | 0.74 | 0.70 | 0.72 |
| 24 h | 0.76 | 0.72 | 0.75 |

Tabla 1.9. Evolución del diámetro equivalente (μm).

| TIEMPO DE TRATAMIENTO | NÚCLEO | ZONA INTERMEDIA | PERIFERIA |
|-----------------------|--------|-----------------|-----------|
| 0 | - | - | - |
| 5' | 0.60 | 0.50 | 0.71 |
| 10' | 0.66 | 0.65 | 0.76 |
| 15' | 0.71 | 0.70 | 0.81 |
| 30' | 0.71 | 0.73 | 0.87 |
| 45' | 0.75 | 0.72 | 0.89 |
| 1 h | 0.83 | 0.73 | 0.93 |
| 3 h | 0.92 | 0.84 | 1.31 |
| 6 h | 0.99 | 1.67 | 1.29 |
| 12 h | 1.38 | 1.63 | 1.69 |
| 24 h | 1.52 | 2.29 | 1.70 |

1.4 . Evolución del silicio en el núcleo del lingote a las tres temperaturas

Tabla 1.10. Evolución de las áreas (μm^2).

| TIEMPO DE TRATAMIENTO | 450°C | 500°C | 550°C |
|-----------------------|-------|-------|-------|
| 0 | - | - | - |
| 5' | - | - | 0.2 |
| 10 | - | - | 0.3 |
| 15' | - | - | 0.5 |
| 30 | 0.2 | - | 0.5 |
| 45' | - | - | 0.6 |
| 1 h | 0.2 | 0.4 | 0.8 |
| 3 h | 0.3 | 0.6 | 1.0 |
| 6 h | 0.4 | 0.7 | 1.2 |
| 12 h | 0.6 | 0.9 | 2.6 |
| 24 h | 0.7 | 1.2 | 3.1 |

Tabla 1.11. Evolución del factor de forma.

| TIEMPO DE TRATAMIENTO | 450°C | 500°C | 550°C |
|-----------------------|-------|-------|-------|
| 0 | - | - | - |
| 5' | - | - | 0.7 |
| 10 | - | - | 0.7 |
| 15' | - | - | 0.7 |
| 30 | 0.6 | - | 0.7 |
| 45' | - | - | 0.7 |
| 1 h | 0.6 | 0.7 | 0.7 |
| 3 h | 0.7 | 0.7 | 0.7 |
| 6 h | 0.7 | 0.7 | 0.7 |
| 12 h | 0.7 | 0.7 | 0.7 |
| 24 h | 0.7 | 0.7 | 0.7 |

Tabla 1.12. Evolución del diámetro equivalente (μm).

| TIEMPO DE TRATAMIENTO | 450°C | 500°C | 550°C |
|-----------------------|-------|-------|-------|
| 0 | - | - | - |
| 5' | - | - | 0.6 |
| 10 | - | - | 0.6 |
| 15' | - | - | 0.7 |
| 30' | 0.4 | - | 0.7 |
| 45' | - | - | 0.7 |
| 1 h | 0.4 | 0.6 | 0.8 |
| 3 h | 0.5 | 0.7 | 0.9 |
| 6 h | 0.6 | 0.8 | 0.9 |
| 12 h | 0.7 | 0.9 | 1.3 |
| 24 h | 0.8 | 1.0 | 1.5 |

1.5 . Evolución del silicio en la periferia del lingote a las tres temperaturas

Tabla 1.13. Evolución de las áreas (μm^2).

| TIEMPO DE TRATAMIENTO | 450°C | 500°C | 550°C |
|-----------------------|-------|-------|-------|
| 0 | - | - | - |
| 5' | - | - | 0.4 |
| 10' | - | - | 0.5 |
| 15' | - | - | 0.7 |
| 30' | 0.2 | - | 0.9 |
| 45' | - | - | 0.9 |
| 1 h | 0.3 | 2.6 | 1.0 |
| 3 h | 0.6 | 3.3 | 1.9 |
| 6 h | 0.9 | 3.6 | 2.0 |
| 12 h | 0.9 | 4.3 | 3.5 |
| 24 h | 1.1 | 4.8 | 3.8 |

Tabla 1.14. Evolución del factor de forma.

| TIEMPO DE TRATAMIENTO | 450°C | 500°C | 550°C |
|-----------------------|-------|-------|-------|
| 0 | - | - | - |
| 5' | - | - | 0.7 |
| 10' | - | - | 0.7 |
| 15' | - | - | 0.7 |
| 30' | 0.6 | - | 0.7 |
| 45' | - | - | 0.7 |
| 1 h | 0.6 | 0.7 | 0.7 |
| 3 h | 0.6 | 0.7 | 0.7 |
| 6 h | 0.7 | 0.7 | 0.7 |
| 12 h | 0.7 | 0.7 | 0.7 |
| 24 h | 0.7 | 0.7 | 0.7 |

Tabla 1.15. Evolución del diámetro equivalente (μm).

| TIEMPO DE TRATAMIENTO | 450°C | 500°C | 550°C |
|-----------------------|-------|-------|-------|
| 0 | - | - | - |
| 5' | - | - | 0.7 |
| 10' | - | - | 0.7 |
| 15' | - | - | 0.8 |
| 30' | 0.4 | - | 0.8 |
| 45' | - | - | 0.8 |
| 1 h | 0.5 | 0.6 | 0.9 |
| 3 h | 0.7 | 0.6 | 1.3 |
| 6 h | 0.9 | 0.9 | 1.3 |
| 12 h | 0.9 | 1.1 | 1.7 |
| 24 h | 1.0 | 1.3 | 1.7 |

1.6 Efecto de los tratamientos térmicos en la dureza (HB) del lingote de Rheocasting

Tabla 1.16. Análisis de la dureza Brinell a 450 °C.

| TIEMPO DE TRATAMIENTO | NÚCLEO | ZONA INTERMEDIA | PERIFERIA |
|-----------------------|--------|-----------------|-----------|
| 0 | 61 | 58 | 60 |
| 30' | 39 | 35 | 35 |
| 1 h | 43 | 31 | 34 |
| 3 h | 47 | 42 | 41 |
| 6 h | 42 | 39 | 38 |
| 12 h | 39 | 36 | 38 |
| 24 h | 44 | 38 | 38 |

Tabla 1.17. Análisis de la dureza Brinell a 500 °C.

| TIEMPO DE TRATAMIENTO | NÚCLEO | ZONA INTERMEDIA | PERIFERIA |
|-----------------------|--------|-----------------|-----------|
| 0 | 61 | 58 | 60 |
| 1 h | 49 | 43 | 44 |
| 3 h | 50 | 39 | 43 |
| 6 h | 47 | 40 | 41 |
| 12 h | 47 | 40 | 46 |
| 24 h | 49 | 39 | 41 |

Tabla 1.18. Análisis de la dureza Brinell a 550 °C.

| TIEMPO DE TRATAMIENTO | NÚCLEO | ZONA INTERMEDIA | PERIFERIA |
|-----------------------|--------|-----------------|-----------|
| 0 | 61 | 58 | 60 |
| 5' | 45 | 47 | 43 |
| 10' | 47 | 47 | 40 |
| 15' | 49 | 41 | 43 |
| 30' | 53 | 44 | 43 |
| 45' | 48 | 44 | 47 |
| 1 h | 54 | 45 | 44 |
| 3 h | 48 | 43 | 41 |
| 6 h | 50 | 39 | 43 |
| 12 h | 49 | 36 | 38 |
| 24 h | 51 | 39 | 38 |

1.7 Efecto de los tratamientos térmicos en la dureza (HV) de la fase α del lingote de Rheocasting

Tabla 1.19. Análisis de la microdureza a 450 °C

| TIEMPO DE TRATAMIENTO (h) | NÚCLEO | PERIFERIA |
|---------------------------|--------|-----------|
| 0 | 60 | 60 |
| 1 | 44 | 58 |
| 3 | 44 | 60 |
| 6 | 48 | 52 |
| 12 | 52 | 55 |
| 24 | 54 | 56 |

Tabla 1.20. Análisis de la microdureza a 500 °C

| TIEMPO DE TRATAMIENTO (h) | NÚCLEO | PERIFERIA |
|---------------------------|--------|-----------|
| 0 | 60 | 60 |
| 1 | 59 | 62 |
| 3 | 60 | 64 |
| 6 | 65 | 69 |
| 12 | 68 | 70 |
| 24 | 69 | 70 |

Tabla 1.21. Análisis de la microdureza a 550 °C

| TIEMPO DE TRATAMIENTO(h) | NÚCLEO | PERIFERIA |
|--------------------------|--------|-----------|
| 0 | 60 | 60 |
| 1 | 75 | 76 |
| 3 | 74 | 78 |
| 6 | 72 | 78 |
| 12 | 74 | 76 |
| 24 | 73 | 80 |

2. Evolución del silicio eutéctico en los tratamientos de esferoidización del semicomponente de Thixocasting

2.1 Evolución del silicio eutéctico en el semicomponente a las tres temperaturas

Tabla 2.1 Evolución de las áreas (μm^2).

| TIEMPO DE TRATAMIENTO | 450°C | 500°C | 550°C |
|-----------------------|-------|-------|-------|
| 0 min | 0,13 | 0,13 | 0,13 |
| 15 min | 0,13 | 0,27 | 1,82 |
| 30 min | 0,22 | 0,46 | 3,22 |
| 1 h | 0,40 | 1,50 | 6,73 |
| 3 h | 0,68 | 2,51 | 11,35 |
| 6 h | 1,92 | 6,58 | 14,15 |
| 12 h | 2,46 | 9,16 | 54,77 |
| 24 h | 6,45 | 17,04 | 111,3 |

Tabla 2.2 Evolución del factor de forma.

| TIEMPO DE TRATAMIENTO | 450°C | 500°C | 550°C |
|-----------------------|-------|-------|-------|
| 0 min | 0,60 | 0,60 | 0,60 |
| 15 min | 0,64 | 0,70 | 0,72 |
| 30 min | 0,67 | 0,71 | 0,73 |
| 1 h | 0,70 | 0,72 | 0,73 |
| 3 h | 0,66 | 0,73 | 0,69 |
| 6 h | 0,70 | 0,75 | 0,71 |
| 12 h | 0,74 | 0,70 | 0,74 |
| 24 h | 0,74 | 0,71 | 0,71 |

Tabla 2.3 Evolución del diámetro equivalente (μm).

| TIEMPO DE TRATAMIENTO | 450°C | 500°C | 550°C |
|------------------------------|--------------|--------------|--------------|
| 0 min | 0,53 | 0,53 | 0,53 |
| 15 min | 0,53 | 0,69 | 1,06 |
| 30 min | 0,63 | 0,77 | 1,25 |
| 1 h | 0,75 | 0,90 | 1,45 |
| 3 h | 0,85 | 1,19 | 1,63 |
| 6 h | 1,09 | 1,53 | 1,77 |
| 12 h | 1,17 | 1,53 | 2,42 |
| 24 h | 1,47 | 1,81 | 2,82 |

2.2 Efecto de los tratamientos térmicos en la dureza (HB) del semicomponente de Thixocasting

Tabla 2.4 Análisis de la dureza Brinell a distintas temperaturas.

| TIEMPO DE TRATAMIENTO | 450 °C | 500 °C | 550 °C |
|------------------------------|---------------|---------------|---------------|
| 0 | 58 | 58 | 58 |
| 15 min | 45 | 54 | 50 |
| 30 min | 42 | 41 | 40 |
| 1 h | 36 | 42 | 49 |
| 3 h | 40 | 44 | 47 |
| 6 h | 41 | 43 | 54 |
| 12 h | 38 | 46 | 52 |
| 24 h | 34 | 42 | 49 |