

Tratamientos térmicos del acero: cementación, nitruración y temple superficial

Autor: EA4IPV

Fecha: 23/03/2026

Categoría: Orientación y Navegación

Etiquetas: Sin etiquetas

Tratamientos térmicos del acero: cementación, nitruración y temple superficial

Los tratamientos térmicos superficiales permiten endurecer solo la capa externa del acero manteniendo un núcleo tenaz y resistente al impacto. Esta combinación es esencial en herramientas que deben soportar desgaste en la superficie sin romperse: ejes, engranajes, levas, punzones y matrices. La cementación añade carbono a la superficie de aceros de bajo carbono, la nitruración difunde nitrógeno a temperaturas moderadas y el temple superficial endurece selectivamente zonas específicas. Dominar estas técnicas permite convertir acero barato y abundante en piezas con rendimiento comparable al de aceros especiales.

Cementación (carburización)

La cementación es el proceso termoquímico más antiguo para endurecer superficies. Consiste en difundir carbono en la capa externa de un acero de bajo carbono (0,05-0,25 % C) calentándolo en contacto con un material rico en carbono a temperaturas de 850-950 °C durante varias horas. La capa cementada alcanza 0,6-1,0 % de carbono y puede templarse para obtener durezas de 58-63 HRC, mientras el núcleo permanece blando y tenaz (20-30 HRC).

Cementación sólida (en caja): La pieza se entierra en una caja de acero sellada con carbón vegetal granulado mezclado con 10-15 % de carbonato de bario o carbonato de sodio como activador. El conjunto se calienta en horno o fragua a 900-930 °C y se mantiene entre 2 y 8 horas según la profundidad deseada. A 900 °C la velocidad de penetración es aproximadamente 0,1 mm por hora. Para una capa útil de 0,5-0,8 mm se necesitan 4-6 horas.

Cementación improvisada: En ausencia de materiales específicos, envolver la pieza en carbón vegetal pulverizado mezclado con cuero quemado (rico en carbono y nitrógeno) dentro de un tubo de acero sellado con arcilla en los extremos. La arcilla debe secarse antes de meter al fuego para evitar explosiones de vapor. Calentar al rojo naranja estable durante 4-6 horas.

Temple posterior: Después de cementar, la pieza se extrae caliente y se temple directamente en aceite o agua, o se deja enfriar, se recalienta a 800-830 °C (temperatura de austenización para acero de 0,8 % C) y se temple. El temple directo desde la caja es más sencillo pero puede generar distorsiones por el gradiente térmico.

Revenido obligatorio: Después del temple, revenir a 150-200 °C durante 1-2 horas para aliviar tensiones internas. Sin revenido, la capa cementada es extremadamente frágil y puede descascarillarse como cáscara de huevo al primer impacto.

Control de temperatura: La temperatura de cementación es crítica. Por debajo de 850 °C la difusión de carbono es insignificante y se pierde tiempo. Por encima de 960 °C el grano del acero crece excesivamente, haciéndolo frágil incluso después del temple. Sin pirómetro, el rojo naranja brillante corresponde aproximadamente a 900-930 °C.

Nitruración

La nitruración difunde nitrógeno atómico en la superficie del acero a temperaturas de 500-580 °C, muy por debajo de la temperatura de transformación del acero. El nitrógeno forma nitruros de hierro (Fe_2N , Fe_4N) y, si el acero contiene aluminio, cromo o molibdeno, nitruros de aleación extremadamente duros (hasta 70 HRC en superficie). La gran ventaja es que no requiere temple posterior: la pieza sale dura directamente del proceso.

Parámetro

Cementación

Nitruración

Temperatura de proceso

850-950 °C

500-580 °C

Tiempo típico

4-8 horas

10-72 horas

Profundidad de capa

0,5-2,0 mm

0,1-0,6 mm

Dureza superficial

58-63 HRC

65-70 HRC (aceros aleados)

Requiere temple posterior

Sí

No

Distorsión dimensional

Significativa

Mínima

Aceros aptos

Bajo carbono (1010, 1020, 8620)

Aleados con Al, Cr, Mo (Nitralloy, 4140)

Nitruración gaseosa: El método industrial estándar usa amoníaco (NH_3) que se disocia a 500-580 °C en nitrógeno y hidrógeno sobre la superficie del acero. El nitrógeno atómico difunde en el metal. Requiere un horno hermético con control de atmósfera. En contexto artesanal es difícil de implementar con seguridad.

Nitruración en sales: La pieza se sumerge en un baño de sales fundidas de cianuro y cianato de sodio/potasio a 570 °C durante 1-4 horas. Produce capas de 0,1-0,3 mm con excelente resistencia al desgaste. Los cianuros son extremadamente tóxicos y esta técnica solo es viable en entorno industrial con ventilación y neutralización de residuos.

Nitruración improvisada con amoniaco: En contexto artesanal limitado, se puede intentar una nitruración parcial colocando la pieza en un recipiente cerrado de acero con cristales de nitrato de amonio (fertilizante agrícola) que se descompone liberando nitrógeno. Calentar a 550 °C durante 6-8 horas. El resultado es impredecible pero puede aportar dureza adicional en piezas pequeñas como punzones o troqueles.

Peligro químico: Los baños de cianuros utilizados en nitruración industrial son letales por ingestión, inhalación o absorción cutánea. La dosis letal de cianuro de sodio es de 1-3 mg/kg de peso corporal. Nunca experimentar con cianuros fuera de un laboratorio equipado. La nitruración gaseosa con amoníaco también requiere ventilación forzada: el amoníaco concentrado causa edema pulmonar.

Temple superficial por llama y por inducción

El temple superficial endurece la capa externa de piezas de acero medio-alto carbono (0,35-0,60 % C) sin alterar el núcleo. A diferencia de la cementación, no cambia la composición química: simplemente calienta la superficie rápidamente por encima de la temperatura de austenización y la enfría antes de que el calor penetre al centro.

Temple por llama (flame hardening): Un soplete oxiacetilénico o de propano/oxígeno recorre la superficie a velocidad controlada. La llama calienta los primeros 2-5 mm al rojo cereza (800-870 °C) y un chorro de agua o aceite sigue inmediatamente detrás enfriando la superficie. La profundidad de temple depende de la velocidad de avance: más lento penetra más, pero hay riesgo de calentar el núcleo. Para ejes de 30-50 mm, la velocidad típica es 150-300 mm/min.

Temple por inducción: Una bobina de cobre refrigerada por agua genera un campo electromagnético de alta frecuencia (1-400 kHz) que induce corrientes parásitas en la superficie del acero, calentándola en segundos. Mayor frecuencia significa menor penetración: 400 kHz penetra 0,5-1 mm (engranajes), 10 kHz penetra 3-5 mm (ejes). Es el método industrial más preciso pero requiere generador de alta frecuencia.

Temple selectivo artesanal: El herrero tradicional aplica una pasta refractaria (arcilla, ceniza y carbón pulverizado) en las zonas que no deben endurecerse. Al temprar toda la pieza, las zonas protegidas por la pasta enfrían lentamente (sin temple) mientras las zonas expuestas se endurecen. Esta es exactamente la técnica japonesa del hamon en las katanas.

Aplicaciones prácticas en supervivencia

En un escenario de autosuficiencia, los tratamientos térmicos superficiales permiten fabricar herramientas

duraderas a partir de acero reciclado abundante.

Pieza

Tratamiento recomendado

Material base

Resultado esperado

Punzón para cuero

Cementación + temple

Clavo de acero dulce

Punta dura 60 HRC, cuerpo flexible

Eje de carro

Temple superficial por llama

Semieje de coche (acero 1045)

Superficie resistente al desgaste, núcleo tenaz

Troquel pequeño

Nitruración improvisada

Pieza de acero aleado reciclado

Máxima dureza superficial sin distorsión

Cuchillo de campo

Temple selectivo con arcilla

Lima vieja (acero 1095)

Filo duro 60 HRC, lomo flexible

Engranaje de molino

Cementación sólida

Acero de construcción (A36)

Dientes duros, cubo resistente al impacto

La cementación en caja con carbón vegetal es la técnica más accesible en condiciones primitivas. Solo requiere una fragua capaz de mantener 900 °C durante varias horas, un recipiente de acero sellable y carbón vegetal. El resto de tratamientos requieren recursos más específicos pero ofrecen resultados superiores cuando están disponibles.

⚠ Advertencia: Esta información es orientativa y educativa. En situaciones de emergencia real, consulte a profesionales cualificados siempre que sea posible. No ponga en riesgo su vida ni la de otros sin la formación adecuada.