

UNA REVISIÓN DE LA METALURGIA DE LOS ACEROS INOXIDABLES DÚPLEX

A REVIEW OF THE METALLURGY OF DUPLEX STAINLESS STEELS

CARLA ESTEFANÍA CONTRERAS
VALDÉS¹

MARCO ARTURO GARCÍA
RENTERÍA¹

VÍCTOR HUGO LÓPEZ MORELOS²

RESUMEN

Los aceros inoxidable dúplex (AID) son distinguidos por su microestructura, la cual está compuesta por ferrita y austenita, han adquirido una relevancia notable en diversas industrias debido a la conjugación de sus propiedades mecánicas excepcionales y su alta resistencia a la corrosión. Estas aleaciones no solo brindan una resistencia mayor en comparación con los aceros inoxidable austeníticos convencionales, sino que también proporcionan una resistencia superior a la corrosión en ambientes hostiles. Este artículo de revisión recopila y analiza información obtenida de bases de datos científicas con el objetivo de comparar la literatura existente sobre la metalurgia de los aceros inoxidable dúplex (AID). Se examinan aspectos clave como la composición química que distingue a estos aceros, su microestructura y cómo esta influye directamente en su rendimiento mecánico y su resistencia a la corrosión. Además, se detallan las aplicaciones industriales más comunes de estos materiales, entre las que se incluyen sectores como el petroquímico, el gas y petróleo, la construcción naval y las plantas de desalinización, donde las propiedades de los aceros dúplex son especialmente valoradas y necesarias. Un enfoque particular del artículo es el análisis de los desafíos asociados al procesamiento y, especialmente, la soldadura de estos aceros, debido a su microestructura compleja. Se discuten los avances recientes en técnicas de soldadura que buscan mitigar problemas como la formación de fases indeseables o la pérdida de propiedades mecánicas críticas. En conjunto, este trabajo no solo presenta una visión integral de las características de los aceros inoxidable dúplex (AID), sino que también resalta los esfuerzos actuales por optimizar su procesamiento para mejorar su desempeño en aplicaciones industriales exigentes.

Palabras clave: metalurgia; acero inoxidable dúplex; ferrita; austenita; soldadura; corrosión.

1. Facultad de Metalurgia, Unidad Norte, UAdeC.
2. Universidad Michoacana de San Nicolás Hidalgo, Morelia, Mich.

Correspondencia
marcogarciarenteria@uadec.edu.mx
<https://orcid.org/0000-0001-5313-4780>

Fecha de recepción
15 de enero de 2025.

Fecha de aceptación
19 de mayo de 2025.

ABSTRACT

Duplex stainless steels (DSA) are renowned for their two-phase ferrite and austenite microstructure. They have become a highly sought-after material in a range of industries thanks to their impressive mechanical properties and exceptional corrosion resistance. These alloys offer enhanced strength compared to conventional austenitic stainless steels and superior corrosion resistance in challenging environments. This review article collates and analyses information from scientific databases to provide a comprehensive overview of the existing literature on the metallurgy of duplex stainless steels (DSA). This review examines key aspects of duplex stainless steels, including their chemical composition, microstructure and how this directly influences their mechanical performance and corrosion resistance. Furthermore, the most common industrial applications of these materials are outlined, including sectors such as petrochemical, oil and gas, shipbuilding and desalination plants, where the properties of duplex steels are particularly valued and needed. The article emphasizes the analysis of the challenges associated with the processing, particularly the welding of these steels, due to their complex microstructure. The paper reviews recent advances in welding techniques that seek to mitigate problems such as forming undesirable phases or losing critical mechanical properties. It also provides a comprehensive overview of duplex stainless steels (DSA) characteristics and highlights current efforts to optimize their processing to improve their performance in demanding industrial applications.

Keywords: metallurgy; duplex stainless steel; ferrite; austenite; welding; corrosion.

INTRODUCCIÓN

El desarrollo de los aceros inoxidable dúplex se asocia al siglo XX (Francis y Byrne, 2021). La aleación dúplex combina elementos de Cr-Ni-Mo-Fe y una microestructura constituida por granos en partes iguales de γ -austenita (FCC) y α -ferrita (BCC). Este acero inoxidable brinda una alta resistencia al límite elástico, también buena tenacidad y excelentes propiedades de resistencia a la corrosión (Maurya y col., 2021). A causa de estas características, se emplea ampliamente en diversas aplicaciones, como plantas nucleares, equipos de



CienciAcierta

procesamiento químico, recipientes, tuberías, intercambiadores de calor, turbinas, industrias de pulpa y papel, digestores y desalinización de agua de mar. Aunque, el acero inoxidable dúplex es complejo de mecanizar debido a su alto contenido de austenita, nitrógeno y una mayor concentración de elementos de aleación (Gowthaman y col., 2020).

METODOLOGÍA

CLASIFICACIÓN Y ESPECIFICACIONES

Los aceros inoxidables dúplex (DSS) se definen por su clasificación que se basa en su composición química y los procesos de tratamiento termo-mecánico

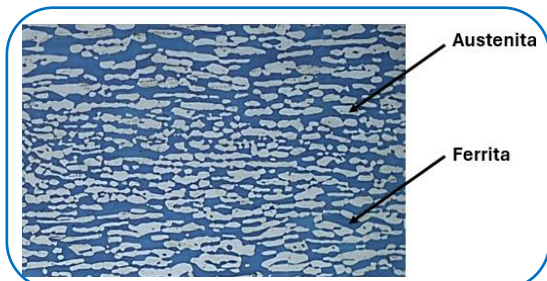


Figura 1. Microestructura del acero inoxidable dúplex.

aplicados (Tahchieva y col., 2019). La Figura 1, muestra una microestructura de un acero inoxidable dúplex, en el que se observan sus fases principales austenita y ferrita (Kahar, 2017).

La Tabla 1, presenta la clasificación de los tipos más destacados de aceros inoxidables dúplex,

destacando su composición química y las propiedades mecánicas que los definen. El acero inoxidable superdúplex (AISD) es conveniente para entornos altamente corrosivos, siendo una opción viable al acero inoxidable superaustenítico de alta aleación. Por otro lado, los aceros inoxidables hiperdúplex, una innovación reciente, destacan por ofrecer la máxima resistencia a la corrosión dentro de la amplia gama de aceros inoxidables y sus aleaciones, estas propiedades logran que los hiperdúplex reemplacen hasta a las aleaciones basadas en níquel, siendo una solución más rentable para la protección contra la corrosión (Patra y col., 2021).

Tabla 1. Principales componentes químicos de los aceros inoxidables dúplex más representativos

Gra-do	Cr	Mn	Ni	C	N	Si	Cu	Mo	W	Cr Equivalente	Ni Equivalente	Crequi/Niequi	PREN	YS (Mpa)	UTS (Mpa)	% Elongación
2101	21	5	1.5	.02	.23	.4	.3	0.2		21.2	9.075	2.34	25.34	600	700	30
2304	23	1.5	4	.02	.13	.4	.3	.2		23.3	8.575	2.72	26.07	450	650	35
2205	22	1	5	.02	.15	.4	.3	3		25	10.18	2.46	34.3	480	680	35
2507	25	1	7	.02	.25	.4	.2	3.5		28.5	15.15	1.88	40.55	620	800	30
32.760	25	.6	7	.02	.25	.4	.6	3.5	.6	28.5	15.25	1.87	40.55	620	800	30
2707	27	.8	7	.02	.4	.4	.4	5		32	19.1	1.62	49.9	700	850	30

DESARROLLO Y DISCUSIÓN

1. TRANSFORMACIONES DE FASE Y MICROESTRUCTURA

El acero inoxidable dúplex (AID) es una aleación Fe-Cr-Ni en la que convergen las fases ferrita y austenita en una proporción equilibrada en 50/50. Esta microestructura se logra mediante un tratamiento térmico óptimo y una adición apropiada de elementos de aleación como Cr, Mn, Mo, Ni y N₂ (Mampuya y col., 2021). Además de la relación de las dos fases, las propiedades de los AID están muy relacionadas con los precipitados secundarios, que conllevan principalmente (σ), χ , τ , R y π . Estos precipitados afectan tanto a los nitruros como CrN y Cr₂N, carburos como M₇C₃ y M₂₃C₆ (M=Fe o Cr) y compuestos intermetálicos, como las fases sigma, lo que impacta tanto en sus propiedades mecánicas como en su resistencia a la corrosión, principalmente con respecto a la formación de las fases σ y χ (Zhang y col., 2022).

En la siguiente tabla se describen algunas de las características cristalográficas de las partículas presentes en los aceros inoxidables dúplex (Gunn, 1997).



Tabla 2. Características cristalográficas de las partículas observadas en aceros inoxidables dúplex

Partícula	Fórmula química	Cr	Ni	Mo	Rango de formación, °C	Tipo de red	Grupo espacial	Parámetro de red	Relación de orientación	Ubicación
Ferrita δ	-	27.4	8.7	4.0	-	BCC	Im3m	A=2.86-2.88		Matriz
Alfa prima (α')	-	65	2.5	13	300-525	BCC	Im3m	A=2.86-2.88	<001>	Intra δ
G-fase	>14	25	25	4	300-400					Inter α/α'
Austenita primaria (γ)		26.6	9.6	3.3	<1250	FCC	Fm3m	A=3.58-3.62	K-S: $\{111\}_{\gamma}/\{110\}_{\delta}\{101\}_{\gamma}/\{111\}_{\delta}$	Intra δ
Austenita secundaria γ_2	Tipo 1 Tipo 2 Tipo 3	Igual 24.3	Quela 11	Ferrita 3.4	<650-800-650-700-900	FCC			<133> δ N-W K-S	Intra δ , δ/γ , δ con σ
Sigma (σ)	Fe-Cr-Mo	30	4	7	600-1000	Tetragonal	P42/mnm	A=8.79, C=4.54	$\{111\}_{\gamma}/\{001\}_{\sigma}$ $\{110\}_{\gamma}/\{110\}_{\sigma}$	Inter δ/γ
Chi (χ)	Fe36Cr12Mo10	25	3	14	700-900	BCC-Mn	I43m	A=8.92		Inter δ/γ
R Laves	Fe2Mo	25	6	35	550-650	Trigonal	R3	A=10.903, c=19.34	<0001>R<101> δ	Inter δ/γ y δ
Nitruros de cromo	CR2N-CrN	72	6	15	700-950	Cúbica	P31m Fm3m	A=4.795, c=4.469, a=4.13-4.47	<0001>Cr2N <011> δ	Intra δ
Pi (π)	Fe7Mo3N4	35	3	34	550-600	Cúbica	P132	A=6.47	<001> π <012> δ	Intra δ
Epsilon (ϵ)	Rico en Q				No definido					Intra δ
Tao (τ)					550-650	Ortorómbica	Fmmm	A=4.05, b=4.84, c=2.86		δ/γ y δ
Carburos	M7C3C6	58	2.5	12	950-1050 650-950	FCC	Pnma Fm3m	A=4.52, b=6.99, c=12.11 a=10.56-10.65	$\{111\}_{\delta}$ <111> δ	δ/γ y δ

A causa de su inestabilidad microestructural, los aceros inoxidables dúplex pueden desarrollar fases intermetálicas indeseables, como alfa prima (α'), chi (χ), sigma (σ), carburos y nitruros, que pueden formarse durante los tratamientos térmicos o durante la soldadura en su aplicación. Entre estas fases, la precipitación de la fase sigma es más relevante en los aceros AID y AISD, ya que su presencia deteriora de gran manera tanto las propiedades mecánicas como la resistencia a la corrosión. Además, la fase sigma suele ocupar la mayor proporción de volumen entre las distintas fases intermetálicas que se desarrollan en estas microestructuras. Por esta razón, en muchos análisis se omiten otras fases precipitadas, se considera que la fase sigma es la principal responsable de la degradación de las propiedades mecánicas y de resistencia a la corrosión de este material. Asimilar las condiciones que promueven la formación de esta fase es esencial para prevenirla durante el procesamiento o la aplicación del acero, garantizando así el mantenimiento



de sus propiedades mencionadas anteriormente. El estudio de estas transformaciones de fase, que conllevan la nucleación y el crecimiento de nuevas fases, usualmente se realiza con el apoyo de teorías cinéticas avanzadas (Fonseca y col., 2019).

En la Figura 2, se exhibe un diagrama esquemático de tiempo-temperatura-precipitación (TTP), que ilustra los rangos de temperatura estimados en los que tienen lugar las precipitaciones de fases secundarias. Entre las fases más sobresalientes se encuentran los carburos, nitruros y las fases σ , χ , R, γ_2 . Este diagrama también refleja cómo las variaciones en el contenido de aleación influyen considerablemente en la cinética de precipitación, proporcionando una herramienta clave para entender y controlar la formación de estas fases durante el procesamiento térmico (Koniorczyk y col., 2021).

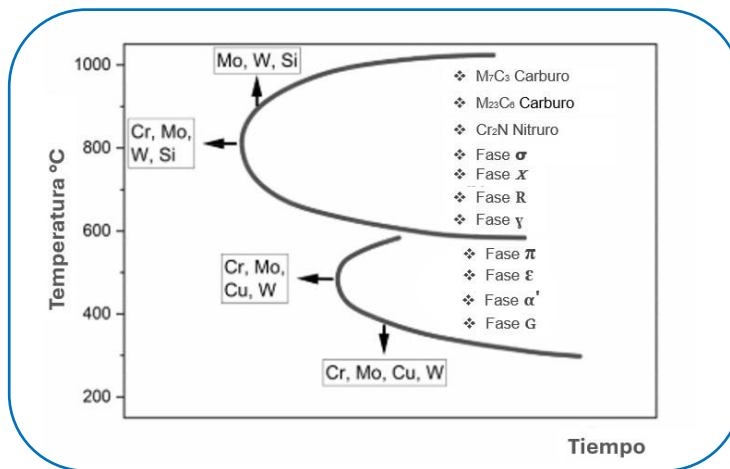


Figura 2. Diagrama esquemático TTT para fases secundarias en AID.

2. PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS

Las propiedades mecánicas como dureza y resistencia a la tracción de los inoxidables dúplex son alrededor de 1.5 veces superiores a las de los inoxidables austeníticos y ferríticos (Okayasu y Ishida, 2019). Sin embargo, la fragilización de los aceros inoxidables dúplex suele ser provocada por la formación de fases σ y χ en el rango de temperatura de 700–900 °C, a la vez que, a temperaturas inferiores a 500 °C, la denominada "fragilización a 475 °C" es dominante. Esta fragilización se debe esencialmente a la separación de Fe y Cr en la fase de ferrita que conlleva a la formación de dominios BCC



ricos en Fe (α) y dominios BCC ricos en Cr (α') a escala nanométrica. Esta transformación de fase, nombrada separación de fases (SF), puede llegar a ocurrir a través de dos mecanismos, ya sea, nucleación y crecimiento (NC) o descomposición espinodal (DE). El mecanismo activo está dado por la composición química de la aleación y la temperatura. La SF incrementa la dureza de la ferrita, pero sacrifica la tenacidad al impacto de los AID (Xu y col., 2019). A causa de la naturaleza bifásica de estas aleaciones y al comportamiento mecánico desigual entre la austenita y la ferrita, se pueden provocar algunos daños y fallas (grietas en los bordes) a lo largo del procesamiento de los componentes de los AID. Por lo tanto, se hacen indispensables estudios de la compatibilidad plástica entre las fases constitutivas (Besharatloo y col., 2020). La inestabilidad de la microestructura de AID en el rango de temperatura de 280-550 °C, después de un uso a largo plazo en este rango de temperatura, con frecuencia se observa una evolución microestructural a escala nanométrica en el material, lo que encamina a un deterioro grave de las propiedades mecánicas y la resistencia a la corrosión. Durante las últimas décadas, se han ejecutado numerosos estudios para investigar el proceso de degradación de las características de uso en AID durante el envejecimiento térmico a largo plazo (Fan y col., 2021). En los últimos años se ha incorporado en las estructuras de los edificios un nuevo acero inoxidable dúplex (S32001) con buena resistencia a la corrosión y propiedades mecánicas (Li y col., 2022). El diseño de aleaciones de aceros inoxidables dúplex con alto contenido en nitrógeno ha obtenido una atención ascendente debido a su excelente resistencia, ductilidad y anticorrosión. Sin embargo, los coeficientes de fluencia de estos aceros suelen ser inferiores y no pueden llegar a cumplir con los requisitos de las piezas estructurales (Zhang y col., 2022). El tratamiento electro-punzado aplicado al AID es una técnica alentadora para reducir el estado de endurecimiento por deformación sin la necesidad de tratamientos de recocido (Gennari y col., 2020).

3. MECANIZADO

La maquinabilidad se hace referencia a las muchas operaciones tales como: taladrado, corte, roscado, fresado y rectificado. Los aceros dúplex 2304 de baja aleación son mayormente mecanizables en comparación con los grados austeníticos 316SS, 317SS (Gowthaman y col., 2020). Las operaciones de



recocido y trabajo en caliente de estos aceros se realizan usualmente a temperaturas inferiores del solvente de ferrita, donde la austenita y la ferrita pueden coexistir en equilibrio. Supervisando la temperatura de transformación y la velocidad de enfriamiento desde esa temperatura es posible ajustar tanto la proporción como la distribución de ferrita y austenita en el material forjado (Lippold, 2015). La complejidad del procesamiento de los aceros dúplex se ve afectada por una serie de factores, como la fragmentación inherente del material, la estimulación de la deformación plástica durante el proceso de fabricación y la formación de severos cráteres de desgaste (Gopal y Gutema, 2021). Se examinan algunos aspectos del mecanizado de aceros inoxidable y aleaciones a través de procesos NTM, como el mecanizado por descarga eléctrica (EDM) y el electroerosionado por hilo (Ramesh, 2018).

4. RESISTENCIA A LA CORROSIÓN GENERAL

Los AID ofrecen una alta resistencia a la corrosión general, por la presencia de cromo, que produce una capa pasiva de óxido de cromo en la superficie. Esta capa resguarda el acero de la corrosión en ambientes oxidantes, como el aire y el agua. La película de pasivación puede brindar una mejor resistencia a la corrosión general de los aceros inoxidables, pero se ve sometida sin dificultad a una corrosión local, especialmente en presencia de especies aniónicas agresivas. Entre los comportamientos de corrosión local, la corrosión por picadura es la más agresiva porque no se puede observar su profundidad a simple vista, además, la picadura actuará como origen de grietas, agilizando el fallo de un acero (Chen y col., 2020). En la tabla 3, se muestran cómo diversas adiciones de aleación y la microestructura afectan la resistencia a la corrosión, tanto por picaduras como por grietas, en los AID (Gunn, 1997).

Tabla 3. Influencia de diferentes adiciones de aleación y microestructura en la resistencia a la corrosión de los aceros inoxidables dúplex

Elemento	Efecto	Motivo	Limitación práctica
C	Negativo	Provoca la precipitación de carburos de cromo en zonas pobres en cromo.	Alrededor de 0.03% como máximo
Si	Positivo	El Si estabiliza la película pasiva	Alrededor del 2% como máximo, debido a su efecto en la estabilidad estructural y en la solubilidad del nitrógeno.
Mn	Negativo	Los sulfuros ricos en Mn actúan como iniciadores de las picaduras. El Mn también puede desestabilizar la película pasiva.	Alrededor del 2% los niveles más altos también podrían aumentar el riesgo de precipitación intermetálica.
S	Negativo	Los sulfuros, si no son ricos en Cr-Ti o Ce-, tienden a iniciar el ataque por picaduras	Alrededor del 0.003 %. Si se requiere la máxima resistencia a las picaduras. Para una maquinabilidad razonable se permite hasta 0.02%.

Cr	Positivo	Cr estabiliza la película pasiva	Entre 25 y 26% máximo, según el contenido de Mo. Un mayor contenido de Cr aumenta el riesgo de precipitación intermetálica.
Ni	Negativo	El aumento de Ni, otros elementos constantes, diluye la fase γ , y si la aleación es muy sensible a la precipitación de nitruros de cromo el Ni puede tener un efecto positivo.	El Ni debe utilizarse principalmente para dar a la aleación el contenido de austenita deseado.
Mo	Positivo	El Mo estabiliza la película pasiva, ya sea directamente o mediante el enriquecimiento por debajo de la película.	Alrededor de 4-5% máximo, dependiendo del contenido de Cr. El Mo aumenta el riesgo de precipitación intermetálica.
N	Positivo	El N aumenta drásticamente el Pre número de la fase γ , no solo por el aumento de N-contenido de esa fase, sino también por el aumento de los contenidos de Cr y Mo a través de sus coeficientes de participación.	Alrededor del 1.15% en las calidades sin Mo. Alrededor de 0.3% en calidades súper-dúplex y alrededor de 0.4% en aleaciones con 25% de Cr, alto contenido en Mo y alto contenido en Mn.

5. PROCESOS DE SOLDADURA APLICABLES PARA ACEROS INOXIDABLES

El proceso de soldadura supone fenómenos eléctricos, térmicos, químicos, fluidos y mecánicos. También implica la fusión de las superficies de fusión del AID y su subsecuente solidificación. Esta fusión conlleva el calentamiento del metal base cerca de la zona de fusión, que se designa como zona afectada por el calor (ZAC). Esta región depende de la entrada de calor, del campo térmico, de la fusión de la carga, de la velocidad de enfriamiento, de las variables del proceso y de la técnica utilizada. Los métodos más comunes para la soldadura de AID son: la soldadura por arco de tungsteno con gas (GTAW), soldadura por arco metálico con gas (GMAW), soldadura por arco sumergido (SAW), soldadura por arco de plasma (PAW), soldadura por fricción (FSW) y soldadura por láser y por haz de electrones (LBW/EBW), (Chaudhari y col., 2019).

Se han llevado a cabo diversas investigaciones experimentales con el objetivo de dominar el proceso de soldadura láser. Es claro que las máquinas de soldadura láser encuentran una amplia aplicación en las industrias manufactureras y automotrices (Abdo y Seikh, 2021). La soldadura por fricción y agitación es un proceso en estado sólido que elimina los problemas comunes asociados con la solidificación, tales como las grietas de solidificación, la licuación y la segregación de elementos de aleación. Las pruebas de tracción realizadas demostraron una mejora en la resistencia de las uniones soldadas, evidenciando un aumento tanto en el límite elástico como en la resistencia a la tracción en todos los casos analizados (Santos y col., 2018). Para optimizar el desarrollo de materiales derivados de AID, por lo que es fundamental crear fundentes capaces de reducir de manera significativa los efectos del contenido de difusión de hidrógeno en la unión soldada, lo que resultará en propiedades



mecánicas mejoradas (Omiogbemi y col., 2022). El proceso de soldadura deberá ser optimizado para lograr el mejor equilibrio posible en cuanto a la tasa de enfriamiento. Si esta es excesivamente alta, se produce un exceso de ferrita; por el contrario, si es demasiado lenta, pueden precipitarse fases que debilitan el material (Alvarez y Degallaix, 2013). La tabla 4 muestra artículos científicos de autores mexicanos con temas relacionados con el AID publicados en distintas revistas.

Tabla 4. Artículos científicos de autores mexicanos del acero inoxidable dúplex

Artículo	Año	Autor	Revista
Identificación de fases y precipitados por MFA en uniones de acero inoxidable dúplex	2016	María Eugenia Herrera Lopez, Eduardo Hurtado Delgado, David Torres Torres, Ana María Arizmendi Morquech	Soldagem & Inspeção
Improvement of localised corrosion resistance of AISI 2205. Duplex stainless-steel joints made by gas metal arc welding under electromagnetic interaction of low intensity	2014	MA García-Rentería, VH López-Morelos, R García-Hernández, L Dzib-Pérez, EM García-Ochoa, J González-Sánchez	Applied Surface Science
Study of the effect of sigma phase precipitation on the sliding wear and corrosion behaviour of duplex stainless steel AISI 2205	2018	JL Del Abra-Arzola, MA García-Rentería, VL Cruz-Hernández, J García-Guerra, VH Martínez-Landeros, LA Falcón-Franco, FF Curiel-López	Wear
Effect of electromagnetic interaction during fusion welding of AISI duplex stainless steel on the corrosion resistance	2017	MA García-Rentería, VH López-Morelos, J González-Sánchez, R García-Hernández, L Dzib-Pérez, FF Curiel-López	Applied Surface Science
Effect on the microstructure and mechanical properties of the electromagnetic stirring during GMA welding of 2205 DSS plates	2013	MA García, VH López, R García, FF Curiel, J Lemus	Materials Science Forum
Electrochemical characterization of AISI 2205 duplex stainless Steel welded joints electromagnetic interaction	2015	MA García-Rentería, VH López-Morelos, R García-Hernández, E Bedolla-Becerril, JA González-Sánchez	Materials (MDPI)
Effect of a magnetic field applied during fusion welding on the fatigue damage of 2205 stainless Steel joints	2019	J Rosado-Carrasco, Ulrich Krup, Vitos H López-Morelos, Alexander Gierler, MA García-Rentería, J González-Sánchez	International Journal Fatigue
Influencia del calor de entrada en la evolución microestructural de la unión disímil de acero inoxidable lean duplex 2304 y acero inoxidable super duplex 2507 soldados mediante el proceso GTW	2023	Bryan Ramiro Rodríguez Vargas, Argelia Fabiola Miranda, Perez, Eduardo Hurtado Delgado, Gladys Yerania Pérez Medina	Electrónica en Ingeniería Mecánica

En la Tabla 5, se pueden observar algunas de las patentes relacionadas con los AID que abarcan innovaciones que buscan mejorar sus propiedades en los últimos años, así como los principales países y empresas que patentan.



Tabla 5. Las patentes relacionadas con los aceros inoxidables dúplex

Nombre de la patente	Año	Resumen	País	Empresa
A new welding duplex stainless Steel material suitable for welding a duplex stainless steel, a welded joint and a welding method thereof	2023	Material de soldadura para unir acero inoxidable dúplex que producirá una junta de soldadura que tendrá alta resistencia	Francia	Alleima Tube AB
Duplex stainless steel welded joint.	2024	Junta soldada de acero inoxidable d+úplex que puede suprimir los cortes y tiene excelentes características de fatiga.	EEUU	Nippon Steel Corporation
Two phase stainless Steel welded joint	2022	Se proporciona una junta soldada de acero inoxidable en dos fases que puede suprimir las socavaciones y tiene características de fatiga superiores.	Japón	Nippon Steel Corporation
Auxiliary device for welding duplex stainless Steel	2023	El dispositivo auxiliar para soldadura de acero inoxidable dúplex comprende un banco de trabajo, un mecanismo giratorio y uno de ajuste.	China	Nantong Zhongkuang Metal New Material Co. LTD.
Duplex stainless steel welded wire and preparation method thereof	2023	La invención proporciona un alambre de soldadura de acero inoxidable dúplex y un método de preparación del mismo.	China	Zhenshi Group Huazhi Research Institute Zhejiang Co. LTD.
Treatment equipment suitable for welding duplex stainless steel	2023	Mecanismo de soldadura ajustable	China	Nantong Zhongkuang Metal New Material Co. LTD.
Austenite ferrite 2205 duplex stainless steel plate welding proces	2023	La invención se refiere a un proceso de soldadura de placa de acero inoxidable de doble fase con ferrita austenita 2205, que adopta un material de soldadura con los mismos componentes que la placa	China	Angang Steel Company Limited
Method for on-line adjustment of phase proportion in duplex stainless Steel welding	2023	La invención describe un método de ajuste de proporción de fases en línea de soldadura de acero inoxidable dúplex	China	Zhejiang University of Technology
Method for regulating and controlling microstructure and corrosion resistance of electric arc additive manufactured duplex stainless Steel	2023	La invención describe un método para regular y controlar la microestructura y la resistencia a la corrosión de acero inoxidable dúplex fabricado con aditivos de arco eléctrico	China	China-Ukrainian Institute of Welding
Heat treatment method for duplex stainless Steel Weld join	2023	Un método de tratamiento térmico de muntas soldadas de acero inoxidable dúplex	China	China National Petroleum Corporation

CONCLUSIONES

Los aceros inoxidables dúplex se destacan como materiales avanzados debido a la combinación excepcional de muy buenas propiedades mecánicas y alta resistencia a la corrosión, ideal para aplicaciones exigentes. Su estructura bifásica, juega un papel crucial en determinar sus propiedades y en la forma en que deben ser tratados durante el proceso de soldadura.

El éxito de la soldadura depende de la elección adecuada del material de aporte, el tipo de proceso de soldadura y el control preciso de la temperatura para garantizar que la soldadura mantenga tanto las propiedades mecánicas, así como la resistencia a la corrosión del acero base.



La clave para superar los desafíos asociados con la soldadura de aceros inoxidables dúplex radica en una combinación de investigación continua y experiencia práctica, que permite perfeccionar las técnicas y alcanzar un rendimiento óptimo.

REFERENCIAS

- Abdo, H. S. y Seikh, A. H. (2021). *Mechanical Properties and Microstructural Characterization of Laser Welded S32520 Duplex Stainless Steel*. *Materials*, 14(19). <https://doi.org/10.3390/ma14195532>
- Alvarez-Armas, I. y Degallaix-Moreuil, S. (2013). *Duplex stainless steels*. John Wiley & Sons.
- Besharatloo, H., Carpio, M., Cabrera, J.-M., Mateo, A. M., Fargas, G., Wheeler, J. M., Llanes, L. (2020). *Novel Mechanical Characterization of Austenite and Ferrite Phases within Duplex Stainless Steel*. *Metals*, 10(10). <https://doi.org/10.3390/met10101352>
- Chaudhari, A. N., Dixit, K., Bhatia, G. S., Singh, B., Singhal, P. y Saxena, K. K. (2019). *Welding Behaviour of Duplex Stainless Steel AISI 2205: A Review*. *Materials Today: Proceedings*. Vol. 18, pp. 2731-2737. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.07.136>
- Chen, Y., Yang, B., Zhou, Y., Wu, Y. y Zhu, H. (2020). *Evaluation of pitting corrosion in duplex stainless steel Fe20Cr9Ni for nuclear power application*. *Acta Materialia*. Vol. 197, pp. 172-183. <https://doi.org/10.1016/j.actamat.2020.07.046>
- Fan, Y., Liu, T. G., Xin, L., Han, Y. M., Lu, Y. H. y Shoji, T. (2021). *Thermal aging behaviors of duplex stainless steels used in nuclear power plant: A review*. *Journal of Nuclear Materials*. Vol. 544, pp. 152693. <https://doi.org/10.1016/j.jnucmat.2020.152693>
- Fonseca, G. S. d., Mendes, P. S. N. y Silva, A. C. M. (2019). *Sigma Phase: Nucleation and Growth*. *Metals*, 9(1): 34.
- Francis, R. y Byrne, G. (2021). *Duplex Stainless Steels—Alloys for the 21st Century*. *Metals*, 11(5): 836.
- Gennari, C., Pezzato, L., Tarabotti, G., Zambon, A., Di Schino, A. y Calliari, I. (2020). *Influence of Electropulsing Treatments on Mechanical Properties of UNS S32750 Duplex Stainless Steel*. *Materials*, 13(7):1613. <https://doi.org/10.3390/ma13071613>
- Gopal, M. y Gutema, E. M. (2021). *Factors Affecting and Optimization Methods used in Machining Duplex Stainless Steel-A Critical Review*. *Journal of Engineering Science & Technology Review*, 14(2): 119-125. DOI: [10.25103/jestr.142.16](https://doi.org/10.25103/jestr.142.16)

- Gowthaman, P. S., Jeyakumar, S. y Saravanan, B. A. (2020). Machinability and tool wear mechanism of Duplex stainless steel – A review. *Materials Today: Proceedings*, 26: 1423-1429. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.02.295>
- Gunn, R. (1997). *Duplex Stainless Steels—Microstructure, Properties and Applications*. Cambridge.
- Kahar, S. (2017). Duplex Stainless Steels-An overview. *International Journal of Engineering Research and Applications*. Vol. 07, pp. 27-36. <https://doi.org/10.9790/9622-0704042736>
- Koniorczyk, P., Sienkiewicz, J., Zmywaczyk, J., Dębski, A., Zieliński, M. y Preiskorn, M. (2021). Effect of Microstructure on Thermophysical Properties of Heat-Treated Duplex Steel. *Materials*, 14(20): 6043.
- Li, S., Ding, W., Zhang, Q., Xiao, X. y Zhou, Q. (2022). Experimental study of the mechanical properties of a new duplex stainless steel exposed to elevated temperatures. *Case Studies in Construction Materials*, 17: e01683. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e01683>
- Lippold, J. C., & Kotecki, D. J. . (2015). *Welding Metallurgy and Weldability of Stainless Steels*.
- Mampuya, M. B., Umba, M. C., Mutombo, K. y Olubambi, P. A. (2021). Effect of heat treatment on the microstructure of duplex stainless steel 2205. *Materials Today: Proceedings*, 38: 1107-1112. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.06.196>
- Maurya, A. K., Pandey, C. y Chhibber, R. (2021). Dissimilar welding of duplex stainless steel with Ni alloys: A review. *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, 192: 104439. <https://doi.org/10.1016/j.ijpvp.2021.104439>
- Okayasu, M. y Ishida, D. (2019). Effect of Microstructural Characteristics on Mechanical Properties of Austenitic, Ferritic, and γ - α Duplex Stainless Steels. *Metallurgical and Materials Transactions A*, 50(3): 1380-1388. <https://doi.org/10.1007/s11661-018-5083-4>
- Omiogbemi, I. M. B., Pandey, S., Yawas, D. S., Afolayan, M. O. y Dauda, E. T. (2022). Effect of welding conditions and flux compositions on the metallurgy of welded duplex stainless steel. *Materials Today: Proceedings*, 49: 1162-1168. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.06.161>
- Patra, S., Agrawal, A., Mandal, A. y Podder, A. S. (2021). Characteristics and Manufacturability of Duplex Stainless Steel: A Review. *Transactions of the Indian Institute of Metals*, 74(5): 1089-1098. <https://doi.org/10.1007/s12666-021-02278-7>
- Ramesh, R. (2018). *Machining of Stainless Steels and Alloys Using Non-Traditional Machining Processes*. In D. Zoia (Ed.), *Stainless Steels and Alloys*. Ch. 2). Rijeka: IntechOpen.



- Santos, T. F. d. A., Torres, E. A. y Ramirez, A. J. (2018). Friction stir welding of duplex stainless steels. *Welding International*, 32(2): 103-111. <https://doi.org/10.1080/09507116.2017.1347323>
- Tahchieva, A. B., Llorca-Isern, N. y Cabrera, J.-M. (2019). Duplex and Superduplex Stainless Steels: Microstructure and Property Evolution by Surface Modification Processes. *Metals*, 9(3): 347.
- Xu, X., Wessman, S., Odqvist, J., King, S. M. y Hedström, P. (2019). Nanostructure, microstructure and mechanical properties of duplex stainless steels 25Cr-7 Ni and 22Cr-5Ni (wt.%) aged at 325 °C. *Materials Science and Engineering: A*. 754: 512-520. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2019.03.046>
- Zhang, D., Liu, A., Yin, B. y Wen, P. (2022). Additive manufacturing of duplex stainless steels - A critical review. *Journal of Manufacturing Processes*, 73: 496-517. <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2021.11.036>
- Zhang, Y., Wang, C., Reddy, K. M., Li, W. y Wang, X. (2022). Study on the deformation mechanism of a high-nitrogen duplex stainless steel with excellent mechanical properties originated from bimodal grain design. *Acta Materialia*, 226: 117670. <https://doi.org/10.1016/j.actamat.2022.117670>