

REVISIÓN DE LITERATURA SOBRE PRUEBAS DE DURABILIDAD DE RECUBRIMIENTOS SUPERHIDROFÓBICOS

Juan Pablo Borunda Andujo¹, Dr. Delfino Cornejo Monroy¹

Resumen— Los recubrimientos superhidrofóbicos han sido tema de interés actual debido al gran potencial de aplicación que poseen, sin embargo, su desarrollo se ha visto obstaculizado por su susceptibilidad al desgaste mecánico. La degradación del recubrimiento detona una reducción en sus propiedades superhidrofóbicas hasta eliminarlas por completo. En este trabajo se presenta una revisión del estado del arte sobre la fabricación de recubrimientos superhidrofóbicos durables. Se identificó que la combinación del recubrimiento con otros materiales como resinas epóxicas es el enfoque más comúnmente utilizado para incrementar su resistencia. Además señala la inconsistencia existente en el tipo de pruebas realizadas para catalogar al recubrimiento como durable. Si bien se han hecho esfuerzos considerables para desarrollar recubrimientos superhidrofóbicos durables, es necesario continuar con la investigación para maximizar su viabilidad de aplicación.

Palabras clave—Recubrimientos superhidrofóbicos, durabilidad, resistencia, revisión de literatura.

Introducción

Los RSH han sido tema de investigación desde hace décadas debido al gran potencial de aplicación comercial en áreas como las superficies autolimpiables, anti-hielo, anti-corrosión, reducción de fricción, entre otras. Formalmente, un recubrimiento o superficie superhidrofóbica (RSH) es aquel que posee un ángulo de contacto contra el agua (A.C.) mayor a 150° , y un ángulo de deslizamiento de agua (A.D.) menor a 10° (Guo et al., 2017), de tal forma que una gota de agua depositada en un RSH luce como una esfera casi perfecta y se desliza fácilmente de ésta (Ye et al., 2017).



Figura 1. Ángulo de contacto de una gota de agua en superficies hidrofílicas, hidrofóbicas y superhidrofóbicas.

Un punto que ha afectado su viabilidad como aplicación en la industria es baja resistencia al desgaste, tal que sus propiedades se pierden rápidamente (Bayer). Para contrarrestar este problema, se han reportado diversas estrategias, como abordar el problema de durabilidad desde el método de fabricación por medio de procesos como la deposición química de vapor, proceso químico húmedo o tratamiento con láser, (Bayer). Estrategias distintas han sido el de fabricación de RSH auto-reparables (Liu et al.; Xia Zhang et al.), o la combinación del material superhidrofóbico con resinas o películas poliméricas, para aprovechar su resistencia al desgaste por medio de un proceso relativamente simple y de bajo costo (Ye et al.).

Para las estrategias mencionadas anteriormente se pueden encontrar investigaciones clasificadas como durables. Sin embargo, el término durabilidad frecuentemente es utilizado aun cuando el RSH ha sido sometido solo a una prueba específica, mientras que existen múltiples modos de evaluar su resistencia. Esto obstaculiza la comparación cuantitativa y cualitativa entre distintos autores para conducir al diseño de nuevos y mejores RSH. La presente investigación apunta a atacar ese problema, por medio de una revisión semi-sistemática de literatura sobre los métodos de pruebas de durabilidad de los RSH, para identificar qué tipos de pruebas de durabilidad son realizadas más comúnmente y su clasificación. Además, se propone un método de prueba en base a la información obtenida, referenciando estándares internacionales con la finalidad de proveer una plantilla de prueba para la evaluación de RSH.

¹ El Ing. Juan Pablo Borunda Andujo es estudiante de Maestría en Ingeniería en Manufactura en la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Chihuahua, México, al187085@alumnos.uacj.mx

² El Dr. Delfino Cornejo Monroy es Profesor Investigador y Responsable del Cuerpo Académico en la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, delfino.cornejo@uacj.mx

Descripción del Método

Metodología de revisión semi-sistemática

El Cuadro 1 muestra la metodología de revisión de literatura semi-sistemática o narrativa utilizada para la extracción de los datos.

Pregunta de estudio	¿Cuáles son las pruebas a las que los RSH son sometidos para clasificarlos como durables?	
Objetivo	Determinar si existe consistencia en cuanto al método de evaluación de la durabilidad de RSH con el fin de facilitar la comparación de resultados.	
Criterio de elegibilidad de publicaciones	Definición	Criterio
	1. Año de Publicación	Sólo se incluyeron investigaciones de los últimos 5 años a la actualidad (2015-2020).
	2. Factor de Impacto	Sólo se incluyeron investigaciones publicadas en revistas con calificación en Scopus CiteScore.
	3. Idioma	Sólo se incluyeron investigaciones publicadas en idioma inglés (Requisito de revistas de impacto).
	4. Relevancia de durabilidad	Sólo se incluyeron investigaciones donde el título o resumen hablan acerca de durabilidad del RSH.
	5. Relevancia de pruebas realizadas	Sólo se incluyeron investigaciones donde el título o resumen indican pruebas realizadas para la evaluación del RSH.
Fuentes de información	ELSEVIER, ACS Publications, MPDI, Royal Society of Chemistry, ScienceDirect, Scientific, Wiley Online Library.	
Estrategia de búsqueda	“Superhydrophobic coatings”, “Mechanical durability”, “Robust”, “Durable”, “Resistant”, “Abrasion Resistance”, “Chemical Resistance”, “Resin”, “Epoxy”, “Lacquer”.	
Variables de estudio	Pruebas Mecánicas, Pruebas Químicas, Pruebas Ambientales. Pruebas Abrasivas, Pruebas de Adherencia.	

Cuadro 1. Descripción de metodología semi-sistemática para revisión de literatura sobre RSH durables.

Clasificación de publicaciones y extracción de datos

La figura 2 muestra el proceso para la identificación y selección de publicaciones. Posteriormente, siguiendo el método descrito por (Polanin et al.), se hizo una lectura de los resúmenes para seleccionar artículos relevantes. Finalmente, se realizó la extracción de datos clave en relación a los principales métodos de fabricación y tipos de pruebas de durabilidad realizadas. El proceso se describe en la figura 2, y el listado de publicaciones finales se muestra en el cuadro 2.

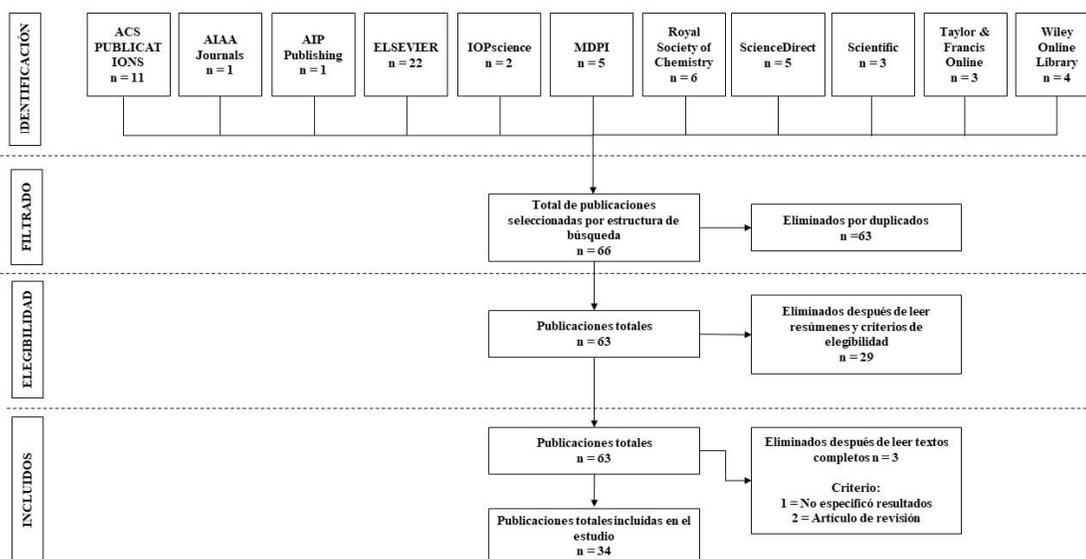


Figura 2. Diagrama PRISMA de la selección de publicaciones.

Journal	Base de Datos Principal	Referencia
ACS Omega	ACS Publications	(Gong and He)
Applied Materials & Interfaces	ACS Publications	(Si et al.), (Ye et al.), (Schaeffer et al.) (Emelyanenko et al.), (Su et al.), (Golovin et al.)
Langmuir	ACS Publications	(Peng et al.)
Applied Surface Science	ELSEVIER	(J. Zhi et al.), (Liu et al.), (M. Li et al.)
Chemical Engineering Journal	ELSEVIER	(D. Li et al.), (Xiguang Zhang et al.)
Composites Part B	ELSEVIER	(Tong et al.)
Materials Letters	ELSEVIER	(Zuo et al.), (Shah et al.)
Progress in Organic Coatings	ELSEVIER	(Lv et al.)
Solar Energy Materials and Solar Cells	ELSEVIER	(Polizos et al.)
Surface & Coatings Technology	ELSEVIER	(Yu et al.), (Zhong et al.), (Pan et al.), (Tian et al.)
Thin Solid Films	ELSEVIER	(Simovich et al.)
Polymers — Open Access Journal	MDPI	(J. Wang et al.), (Lei et al.)
Journal of Materials Chemistry A	Royal Society of Chemistry	(D. Zhi et al.), (Golovin et al.)
Colloids and Surfaces	ScienceDirect	(Chuan Zhang, Kalulu, et al.), (Zhaozhu Zhang, Ge, et al.), (X. Wang et al.)
Journal of Colloid and Interface Science	ScienceDirect	(Guo et al.)
Solid State Phenomena	Scientific	(Marsi et al.)
Advanced Materials & Interfaces	Wiley Online Library	(Chen et al.)
Macromolecular Symposia	Wiley Online Library	(Sutar et al.)

Cuadro 2. Publicaciones seleccionadas para la extracción de datos.

Resultados

Pruebas de Durabilidad

Se encontró que los métodos para determinar la durabilidad de los RSH son muy variados entre autores. Específicamente, se identificaron al menos 24 tipos de pruebas distintas, los cuales se agruparon en 4 grupos según la figura 3.

Pruebas Mecánicas

La distribución de pruebas mecánicas se muestra en la figura 3. Se generaron 3 subcategorías más, las cuales son pruebas de adherencia, rayadura y abrasión. Para las pruebas de adherencia, cabe resaltar el uso de pruebas estandarizadas como la GB9286-1998 y el ASTM D3359 (Métodos de prueba estándar para clasificar la adhesión mediante prueba de cinta). Por otro lado, el 8.8% de los estudios reportaron pruebas de adherencia *similares* a los métodos empleados en los estándares, mientras que el 5.9% únicamente mencionó la aplicación de pruebas de adherencia sin reportar su procedimiento, y finalmente el 61.8% de los estudios no realizó pruebas de adherencia. Para las pruebas de rayadura, el estándar ASTM D3359 (Rayadura con lápices de distintas durezas) fue reportado en 11.8% de los estudios. Se reportaron pruebas personalizadas con cuchillos en un 11.8% y sin especificar en 5.9%. El 70.6% de los casos no realizó pruebas de rayadura. Las pruebas de abrasión resultaron tener la mayor consistencia procedimental de las pruebas mecánicas. Los estándares ASTM 4060 (Lijado), ASTM D968 (Arenado), ASTM D2794 y GB/T 1732-1993 (Impacto) fueron reportados en 29.3% de los estudios. Asimismo, se reportaron pruebas de lijado *similares* al ASTM 4060 en un 35.8% y solo el 8.8% reportó pruebas abrasivas sin agregar detalles. En contraste con las pruebas de adherencia y rayadura, las pruebas abrasivas solo fueron omitidas por el 26.5% de los artículos.

Pruebas Químicas

La figura 3 se muestra la distribución de datos reportados para pruebas químicas. La ASTM B117 (Rocío continuo de agua con sal) fue a única prueba química estandarizada que se reportó, en el 11.8% de los estudios. En contraste, el 50% de los estudios reportó pruebas con ácidos y bases, los cuales abarcan un rango de pruebas de pH =1 a 14, mientras que el 2.9% solo mencionó pruebas químicas sin especificar procedimientos, y el resto de los estudios 44.1% no reportó pruebas químicas. Una explicación a la falta de pruebas estandarizadas es la necesidad de equipo especializado. Por ejemplo, el ASTM B117 requiere de una cámara específica de corrosión, la cual puede resultar impráctica, y en cambio éstos recurren a pruebas genéricas como exposición a ácidos y bases.

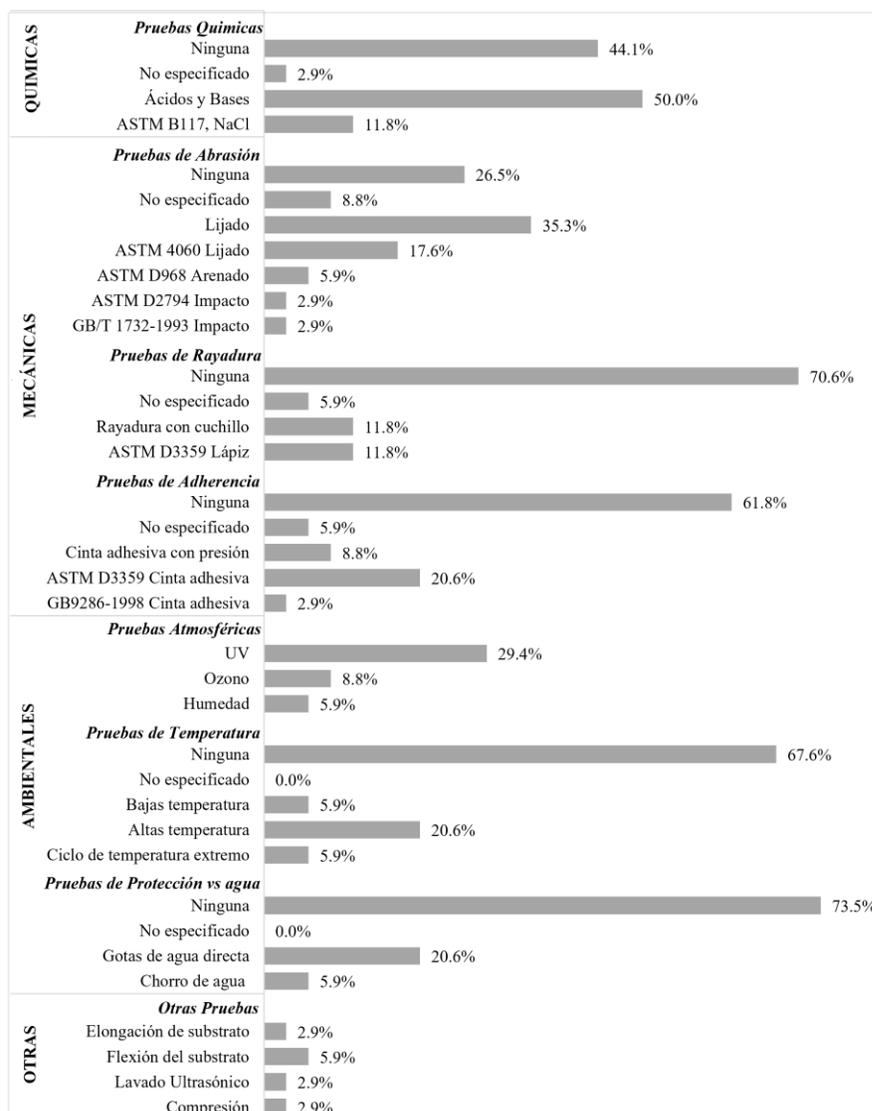


Figura 3. Distribución de pruebas de durabilidad encontradas.

Pruebas Ambientales

Se crearon 3 subcategorías, pruebas de protección contra el agua, temperatura y atmosféricas. Si bien prácticamente todos los estudios evalúan el RSH con gotas de agua en términos de ángulo de contacto y deslizamiento, solo el 5.9% y 20.6% reportaron pruebas de chorro y gotas de agua prolongados, respectivamente. En términos de resistencia a la temperatura, el 20.6% reportó pruebas a altas temperaturas, mientras que el 5.9% reportó pruebas a bajas temperaturas. Dependiendo de la aplicación y locación del RSH, ambos extremos de temperatura son realistas, por lo que resulta interesante la tendencia a evaluar más frecuentemente temperaturas altas. Por otra parte, la aplicación al aire libre del RSH conlleva a la exposición a luz ultravioleta y ozono. La luz ultravioleta no solo acelera el proceso de envejecimiento de los materiales, sino que también destruye su estructura interna. Estas pruebas fueron reportadas en el 29.4% de los estudios. Otro modo de corrosión de esta categoría es por la exposición a Ozono (O₃). El ozono corre principalmente a metales, convirtiéndolos en óxidos, lo cual produce un gran deterioro en ellos. Solo el 8.8% de los estudios reportó este tipo de pruebas de durabilidad.

Propuesta de método de prueba de durabilidad para RSH

La investigación realizada demostró la necesidad de un método estandarizado para la evaluación de RSH durables. Además, se identificaron 3 categorías de pruebas principales, para evaluar distintos modos de falla de los RSH. En base a lo anterior, se propone un método de prueba estandarizado, descrito en el Cuadro 3.

Tipo de Prueba	Descripción	Estándares sugeridos
Ambientales	Exposición a baja temperatura	ASTM D6411
	Exposición a alta temperatura	ASTM D2485
	Exposición a humedad	ASTM G60-01
	Exposición a luz ultravioleta	ASTM D5272
	Chorro de agua	ISO 16925:2014
Mecánicas	Abrasión por lijado	ASTM 4060
	Rayadura	ASTM 3369
	Impacto	ASTM D2794
	Adherencia	ASTM 3359
Químicas	Resistencia a ácidos y bases	ASTM D1308
	Resistencia a solventes (resinas)	ASTM D5402
	Resistencia a agua con sal	ASTM B117

Cuadro 3. Propuesta de pruebas de durabilidad con referencia a estándares internacionales.

Comentarios Finales

Resumen de resultados

En la revisión de literatura realizada se evaluaron más de 66 estudios referentes a los RSH y su durabilidad, con el fin de obtener una imagen más clara en cuanto a las pruebas que actualmente son realidad para calificar a los RSH como durables. Se identificaron 24 diferentes tipos de pruebas, los cuales fueron agrupados en 4 categorías principales; mecánicas (85% de incidencia), químicas (53%), ambientales (62%) y otras (24%). Se identificó una gran variabilidad en términos de la ejecución de las pruebas, lo que obstaculiza el análisis cuantitativo de RSH entre estudios. Debido a esto, se propone un plan de evaluación de durabilidad descrito en el Cuadro 3, haciendo referencia a estándares internacionales de pruebas de durabilidad de recubrimientos, con el fin de proveer una referencia que permita eliminar la subjetividad de las pruebas, y ayuden al desarrollo de RSH durables.

Conclusiones

El objetivo de la presente investigación fue el de obtener una idea clara sobre que pruebas son realizadas actualmente a los RSH para calificarlos como durables. Por medio de una revisión semi-sistemática de literatura enfocada en durabilidad de RSH, se identificó que se realizan pruebas mecánicas, químicas y ambientales, con 24 tipos de pruebas distintas dentro de las categorías. La ausencia de la aplicación de métodos estandarizados de prueba ha imposibilitado la comparación de resultados entre diversos estudios de manera cuantitativa. Se propone un listado de pruebas mecánicas, químicas y ambientales, basadas en estándares internacionales (ASTM, ISO), de modo que futuros estudios puedan ser comparados objetivamente, para obtener mejores resultados que conduzcan a la aplicación de RSH en el mundo que nos rodea.

Referencias

- Bayer, Ilker S. "On the Durability and Wear Resistance of Transparent Superhydrophobic Coatings." *Coatings*, vol. 7, no. 1, 2017, doi:10.3390/coatings7010012.
- Chen, Liang, et al. *Large-Scale Fabrication of Robust Superhydrophobic Coatings with High Rigidity and Good Flexibility*. 2016, pp. 1–6, doi:10.1002/admi.201500718.
- Emelyanenko, Alexandre M., et al. *Reinforced Superhydrophobic Coating on Silicone Rubber for Longstanding Anti-Icing Performance in Severe Conditions*. 2017, doi:10.1021/acsami.7b05549.
- Golovin, Kevin, et al. *Designing Self-Healing Superhydrophobic Surfaces with Exceptional Mechanical Durability*. 2017, doi:10.1021/acsami.6b15491.
- Gong, Xiao, and Shuang He. *Highly Durable Superhydrophobic Polydimethylsiloxane / Silica Nanocomposite Surfaces with Good Self-Cleaning Ability*. 2020, doi:10.1021/acsomega.9b03775.
- Guo, Fei, et al. "Multifunctional Hollow Superhydrophobic SiO₂ Microspheres with Robust and Self-Cleaning and Separation of Oil/Water Emulsions Properties." *Journal of Colloid and Interface Science*, vol. 494, Elsevier Inc., 2017, pp. 54–63, doi:10.1016/j.jcis.2017.01.070.
- Lei, Hui, et al. "Superhydrophobic Coatings Based on Colloid Silica and Fluorocopolymer." *Polymer*, vol. 86, Elsevier Ltd, 2016, pp. 22–31, doi:10.1016/j.polymer.2016.01.026.
- Li, Da-wei, et al. "Large-Scale Fabrication of Durable and Robust Super-Hydrophobic Spray Coatings with Excellent Repairable and Anti-Corrosion Performance." *Chemical Engineering Journal*, vol. 367, no. February, Elsevier, 2019, pp. 169–79,

- doi:10.1016/j.cej.2019.02.093.
9. Li, Meng, et al. *Applied Surface Science A Robust and Versatile Superhydrophobic Coating : Wear-Resistance Study upon Sandpaper Abrasion*. no. February, 2019, pp. 738–48, doi:10.1016/j.apsusc.2019.03.001.
 10. Liu, Shanhu, et al. “Self-Cleaning Transparent Superhydrophobic Coatings through Simple Sol-Gel Processing of Fluoroalkylsilane.” *Applied Surface Science*, vol. 351, Elsevier B.V., 2015, pp. 897–903, doi:10.1016/j.apsusc.2015.06.016.
 11. Lv, Chongjiang, et al. “Progress in Organic Coatings Fabrication of Durable Fl Uorine-Free Polyphenylene Sul Fi de / Silicone Resin Composite Superhydrophobic Coating Enhanced by Carbon Nanotubes / Graphene Fi Llers.” *Progress in Organic Coatings*, vol. 134, no. April, Elsevier, 2019, pp. 1–10, doi:10.1016/j.porgcoat.2019.04.042.
 12. Marsi, Noraini, et al. *The Synthesis and Surface Properties of Newly Eco-Resin Based Coconut Oil for Superhydrophobic Coating*. 2017, pp. 59–63, doi:10.4028/www.scientific.net/SSP.266.59.
 13. Pan, Guangming, et al. “Surface & Coatings Technology Fabrication of Stable Superhydrophobic Coating on Fabric with Mechanical Durability , UV Resistance and High Oil-Water Separation e Ffi Ciency.” *Surface & Coatings Technology*, vol. 360, no. December 2018, Elsevier, 2019, pp. 318–28, doi:10.1016/j.surfcoat.2018.12.094.
 14. Peng, Junyan, et al. *Durable Self-Cleaning Surfaces with Superhydrophobic and Highly Oleophobic Properties*. American Chemical Society, 2019, doi:10.1021/acs.langmuir.9b01507.
 15. Polanin, Joshua R., et al. “Best Practice Guidelines for Abstract Screening Large-Evidence Systematic Reviews and Meta-Analyses.” *Research Synthesis Methods*, vol. 10, no. 3, 2019, pp. 330–42, doi:10.1002/jrsm.1354.
 16. Polizos, G., et al. “Transparent Superhydrophobic Surfaces Using a Spray Coating Process.” *Solar Energy Materials and Solar Cells*, vol. 176, no. August 2017, Elsevier B.V., 2018, pp. 405–10, doi:10.1016/j.solmat.2017.10.029.
 17. Schaeffer, Daniel A., et al. “Optically Transparent and Environmentally Durable Superhydrophobic Coating Based on Functionalized SiO₂ Nanoparticles.” *Nanotechnology*, vol. 26, no. 5, IOP Publishing, 2015, p. 55602, doi:10.1088/0957-4484/26/5/055602.
 18. Shah, S. Maryam, et al. “A Durable Superhydrophobic Coating for the Protection of Wood Materials.” *Materials Letters*, 2017, doi:10.1016/j.matlet.2017.05.126.
 19. Si, Yifan, et al. *Article A Robust Epoxy Resins @ Stearic Acid-Mg (OH) 2 Micro-Nanosheet Superhydrophobic Omnipotent Protective Coating for Real Life Applications*. 2016, doi:10.1021/acsami.6b04668.
 20. Simovich, Tomer, et al. “Hierarchically Rough , Mechanically Durable and Superhydrophobic Epoxy Coatings through Rapid Evaporation Spray Method.” *Thin Solid Films*, vol. 589, Elsevier B.V., 2015, pp. 472–78, doi:10.1016/j.tsf.2015.05.065.
 21. Su, Xiaojing, et al. *Highly Stretchable and Conductive Superhydrophobic Coating for Flexible Electronics*. 2018, doi:10.1021/acsami.8b01382.
 22. Sutar, Rajaram S., et al. *Durable Self-Cleaning Superhydrophobic Coating of SiO₂ – Cyanoacrylate Adhesive via Facile Dip Coat Technique*. 2019, pp. 1–6, doi:10.1002/masy.201800218.
 23. Tian, Yuan, et al. “Surface & Coatings Technology Durable and Room-Temperature Curable Superhydrophobic Composite Coating on Nitrocellulose Lacquer.” *Surface & Coatings Technology*, vol. 328, Elsevier B.V., 2017, pp. 444–50, doi:10.1016/j.surfcoat.2017.08.056.
 24. Tong, Wei, et al. “Mechanically Robust Superhydrophobic Coating for Aeronautical Composite against Ice Accretion and Ice Adhesion.” *Composites Part B*, vol. 176, no. August, Elsevier Ltd, 2019, p. 107267, doi:10.1016/j.compositesb.2019.107267.
 25. Wang, Jiajie, et al. *Facile Construction of Superhydrophobic Surfaces by Coating Fluoroalkylsilane / Silica Composite on a Modified Hierarchical Structure of Wood*. 2020.
 26. Wang, Xiao-yu, et al. “Durable Superhydrophobic Coating Based on Inorganic / Organic Double- Network Polysiloxane and Functionalized Nanoparticles.” *Colloids and Surfaces A*, vol. 578, no. June, Elsevier, 2019, p. 123550, doi:10.1016/j.colsurfa.2019.06.016.
 27. Ye, Hui, et al. “Constructing Fluorine-Free and Cost-Effective Superhydrophobic Surface with Normal-Alcohol-Modified Hydrophobic SiO₂ Nanoparticles.” *ACS Applied Materials and Interfaces*, vol. 9, no. 1, 2017, pp. 858–67, doi:10.1021/acsami.6b12820.
 28. Yu, Nanlin, et al. “Facile Preparation of Durable Superhydrophobic Coating with Self-Cleaning Property.” *Surface & Coatings Technology*, no. 2017, Elsevier B.V, 2018, p. #pagerange#, doi:10.1016/j.surfcoat.2018.04.088.
 29. Zhang, Chuan, Mulenga Kalulu, et al. “Environmentally Safe, Durable and Transparent Superhydrophobic Coating Prepared by One-Step Spraying.” *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, vol. 570, no. March, Elsevier, 2019, pp. 147–55, doi:10.1016/j.colsurfa.2019.03.015.
 30. Zhang, Xia, et al. “Self-Cleaning Superhydrophobic Surface Based on Titanium Dioxide Nanowires Combined with Polydimethylsiloxane.” *Applied Surface Science*, vol. 284, Elsevier B.V., 2013, pp. 319–23, doi:10.1016/j.apsusc.2013.07.100.
 31. Zhang, Xiguang, et al. “Durable Superhydrophobic Surface Prepared by Designing ‘ Micro-Eggshell ’ and ‘ Web-like ’ Structures.” *Chemical Engineering Journal*, Elsevier B.V., 2019, p. 123741, doi:10.1016/j.cej.2019.123741.
 32. Zhang, Zhaozhu, Bo Ge, et al. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects Mechanically Durable , Superhydrophobic Coatings Prepared by Dual-Layer Method for Anti-Corrosion and Self-Cleaning*. 2016, pp. 182–88, doi:10.1016/j.colsurfa.2015.11.049.
 33. Zhi, Danfeng, et al. “Large-Scale Fabrication of Translucent and Repairable Superhydrophobic Spray Coatings with Remarkable Mechanical, Chemical Durability and UV Resistance.” *Journal of Materials Chemistry A*, vol. 5, no. 21, Royal Society of Chemistry, 2017, pp. 10622–31, doi:10.1039/c7ta02488f.
 34. Zhi, Jing-hui, et al. “Mechanical Durability of Superhydrophobic Surfaces : The Role of Surface Modification Technologies.” *Applied Surface Science*, Elsevier B.V., 2016, doi:10.1016/j.apsusc.2016.09.049.
 35. Zhong, Minzhen, et al. “Facile Fabrication of Durable Superhydrophobic Silica/Epoxy Resin Coatings with Compatible Transparency and Stability.” *Surface & Coatings Technology*, Elsevier B.V, 2018, p. #pagerange#, doi:10.1016/j.surfcoat.2018.04.063.
 36. Zuo, Zhiping, et al. “A Novel and Facile Way to Fabricate Transparent Superhydrophobic Film on Glass with Self-Cleaning and Stability.” *Materials Letters*, vol. 239, Elsevier B.V., 2019, pp. 48–51, doi:10.1016/j.matlet.2018.12.059.