



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ  
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΕΡΕΥΝΑ ΚΑΙ ΔΗΜΟΣΙΕΥΜΕΝΟ ΕΡΓΟ ΣΤΙΣ  
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΟΥ

ΚΟΣΠΕΝΤΑΡΗ ΓΕΩΡΓΙΟΥ ΙΑΣΟΝΑ  
ΑΡΙΘΜΟΣ ΜΗΤΡΩΟΥ: 461272017056

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: Α. ΒΑΪΡΗΣ

Αθήνα

Οκτώβριος 2023



UNIVERSITY OF WEST ATTICA  
DEPARTMENT OF MECHANICAL  
ENGINEERING

PUBLISHED RESEARCH IN WELDING

THESIS

of

KOSPENTARIS GEORGIOS IASONAS

REGISTER NUMBER: 461272017056

SUPERVISOR: A. VAIRIS

Athens

October 2023

Η Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή

ΒΑΪΡΗΣ ΑΧΙΛΛΕΑΣ	
ΚΑΝΕΤΑΚΗ ΖΩΗ	
ΠΡΟΕΣΤΑΚΗΣ ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ	

## Δήλωση Συγγραφέα Διπλωματικής Εργασίας

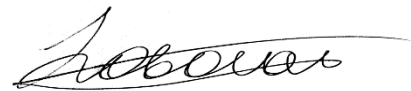
Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Κοσπεντάρης Γεώργιος Ιάσοντας του Κωνσταντίνου με αριθμό μητρώου 272017056 φοιτητής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Μηχανικών του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Ο Δηλών

Κοσπεντάρης Γεώργιος Ιάσοντας



## Περίληψη

Η συγκόλληση αναφέρεται στη διαδικασία ένωσης μετάλλων, με σκοπό το τελικό κομμάτι να έχει αντοχή ίση με αυτά που συνδέθηκαν. Συνήθως απαρτίζεται από τα μέταλλα, την πηγή θερμότητας, το συνδετικό υλικό και την πάστα που προστατεύει την κόλληση από τον ατμοσφαιρικό αέρα. Η διαδικασία αφορά την θέρμανση των μετάλλων σε θερμοκρασία τήξης και την μετέπειτα τοποθέτηση του συνδετικού υλικού στην περιοχή της ένωσης, προκειμένου να δημιουργηθεί το τελικό κομμάτι.

Η τέχνη της συγκόλλησης υπάρχει από όταν ο άνθρωπος ξεκίνησε να χρησιμοποιεί μέταλλα του χαλκού και του σιδήρου ώστε να φτιάξει όπλα, εργαλεία και σκεύη. Στο ξεκίνημα της Βιομηχανικής Επανάστασης χρησιμοποιήθηκε η συγκόλληση με σφυρηλάτηση, όπου τα υλικά θερμαίνονταν τοπικά στην περιοχή που θα γινόταν η ένωση, και μετά τα σφυρηλατούσαν μέχρι να συμπυκθούν σε ένα ενιαίο κομμάτι.

Λόγω της ανάπτυξης της βιομηχανίας, δημιουργείται η ανάγκη για εύρεση οικονομικότερων, γρηγορότερων και ασφαλέστερων τρόπων συγκόλλησης. Στα μέσα του 19<sup>ου</sup> αιώνα, αναπτύχθηκε η τεχνολογία συγκόλλησης με αντίσταση και σε συνεργασία με το ηλεκτρόδιο να αποτελούν την αρχή για τους περισσότερους τρόπους συγκόλλησης σήμερα. Στα τέλη του 19<sup>ου</sup> αιώνα αναπτύχθηκε η τεχνολογία συγκόλλησης με αέριο, πιο συγκεκριμένα με οξυγόνο-ασετιλίνη.

Στη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία θα ερευνήσουμε τα δημοσιοποιημένα άρθρα με τη βοήθεια του εργαλείου “Scopus”, τα οποία σχετίζονται με τις τεχνολογίες και τα υλικά των συγκολλήσεων, εντοπίζοντας το ενδιαφέρον των ερευνητών καθώς επίσης και τις χώρες που δημοσιεύονται τα περισσότερα άρθρα.

## Abstract

Welding Technology refers to the process of joining metals, so that the final piece has strength, equal to those who joined. It usually consists of the metals, the heat source, the electrode and the soldering paste that protects the solder from the atmosphere air. The process involves the heat of metals to their melting temperature and then the placing of the electrode in the joint area, to create the final piece.

The art of welding exists since humans began to use metals of copper and iron to make weapons, tools and utensils. At the start of the Industrial Revolution, forge welding was used, where materials were heated locally in the area to be joined, and then hammered together into a single piece.

Due to the development of the industry, there is a need to find cheaper, faster and safer ways of welding. In the middle of the 19<sup>th</sup> century, resistance and electrode welding were developed, to form the basis for most welding methods today. At the end of the 19<sup>th</sup> century, gas welding technology was developed, more specifically with oxygen-acetylene.

In this particular thesis we will research the published documents with the help of the tool “Scopus”, which are related to welding technologies and materials, identifying the interest of the researchers as well as the countries where the most articles are published.

## Ευχαριστίες

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου, κ. Αχιλλέα Βαΐρη, για τη συνεργασία, την εμπιστοσύνη και την καθοδήγηση που μου έδωσε κατά τη διάρκεια της διπλωματικής μου εργασίας.

Στη συνέχεια, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου και τους φίλους μου που μου στέκονται στις λύπες και τις χαρές, ιδιαίτερος τη μητέρα μου και τη γιαγιά μου, που ήταν δίπλα μου όλα αυτά τα χρόνια σε ό,τι έχω χρειαστεί.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους συμφοιτητές και φίλους που απέκτησα κατά τη διάρκεια των φοιτητικών μου χρόνων, ιδιαίτερα την Η. Στεφανίδη που με βοήθησε και κατά την εκπόνηση της διπλωματικής μου εργασίας, αλλά και τους Ι. Κατσάπη και Γ. Καμενίδη που περάσαμε μαζί τόσες πολλές στιγμές στο πανεπιστήμιο και έξω από αυτό.

## Κατάλογος Περιεχομένων

Κατάλογος Εικόνων.....	10
Κατάλογος Πινάκων.....	11
Κατάλογος Διαγραμμάτων.....	13
1. Εισαγωγή.....	15
2. Τεχνολογίες Συγκολλήσεων.....	16
2.1 Συγκόλληση Συμπαγούς Σύρματος με Τόξο - Gas Metal Arc Welding (GMAW).....	17
2.1.1 Βασικά Χαρακτηριστικά GMAW.....	17
2.1.2 Ιστορική Αναδρομή GMAW.....	17
2.1.3 Ηλεκτρόδιο GMAW.....	18
2.2 Συγκόλληση τόξου με ηλεκτρόδιο βολφραμίου - Gas Tungsten Arc Welding (GTAW)	18
2.2.1 Βασικά Χαρακτηριστικά GTAW.....	18
2.2.2 Ιστορική Αναδρομή GTAW.....	19
2.2.3 Ηλεκτρόδιο GTAW.....	19
2.3 Συγκόλληση Βυθισμένου Τόξου - Submerged Arc Welding (SAW).....	20
2.3.1 Βασικά Χαρακτηριστικά SAW.....	20
2.3.2 Ιστορική Αναδρομή SAW.....	20
2.3.3 Ηλεκτρόδιο SAW.....	21
2.4 Συγκόλληση με τριβή ανάδευσης - Friction Stir Welding (FSW).....	21
2.4.1 Βασικά Χαρακτηριστικά FSW.....	21
2.4.2 Ιστορική Αναδρομή FSW.....	21
2.5 Συγκόλληση Τόξου με Επενδυμένο Ηλεκτρόδιο - Shielded Metal Arc Welding (SMAW).....	22
2.5.1 Βασικά Χαρακτηριστικά SMAW.....	22
2.5.2 Ιστορική Αναδρομή SMAW.....	22
2.5.3 Ηλεκτρόδιο SMAW.....	23
2.6 Συγκόλληση Τόξου Πλάσματος - Plasma Arc Welding (PAW).....	23
2.6.1 Βασικά Χαρακτηριστικά PAW.....	23
2.6.2 Ιστορική Αναδρομή PAW.....	24
2.6.3 Διαδικασία Συγκόλλησης.....	24
2.7 Συγκόλληση Δέσμης Λείζερ - Laser Beam Welding (LBW).....	24



2.7.1	Βασικά Χαρακτηριστικά LBW.....	24
2.7.2	Ιστορική Αναδρομή LBW .....	25
3.	Υλικά.....	25
3.1	Χάλυβας (Steel).....	26
3.1.1	Γενικά Χαρακτηριστικά Χάλυβα.....	26
3.1.2	Παραγωγή Χάλυβα στον κόσμο .....	26
3.2	Αλουμίνιο (Aluminium).....	27
3.2.1	Γενικά Χαρακτηριστικά Αλουμινίου .....	27
3.2.2	Παραγωγή Αλουμινίου στον κόσμο .....	28
3.3	Τιτάνιο (Titanium) .....	29
3.3.1	Βασικά Χαρακτηριστικά Τιτανίου.....	29
3.3.2	Παραγωγή Τιτανίου στον κόσμο .....	29
3.4	Χαλκός (Copper).....	30
3.4.1	Βασικά Χαρακτηριστικά Χαλκού.....	30
3.4.2	Παραγωγή Χαλκού στον κόσμο .....	31
3.5	Μαγνήσιο (Magnesium).....	32
3.5.1	Βασικά Χαρακτηριστικά Μαγνησίου .....	32
3.5.2	Παραγωγή Μαγνησίου στον κόσμο.....	32
3.6	Νικέλιο (Nickel).....	33
3.6.1	Βασικά Χαρακτηριστικά Νικελίου .....	33
3.6.2	Παραγωγή Νικελίου στον κόσμο.....	34
4.	Χώρες υπό εξέταση .....	35
4.1	Κίνα (China).....	35
4.2	Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής (US of America) .....	36
4.3	Ιαπωνία (Japan) .....	36
4.4	Ινδία (India).....	37
4.5	Γερμανία (Germany) .....	37
4.6	Ηνωμένο Βασίλειο (United Kingdom) .....	38
4.7	Ρωσία (Russian Federation) .....	38
5.	Μεθοδολογία της Έρευνας .....	39
6.	Πίνακες και Διαγράμματα .....	41
6.1	Τεχνολογίες Συγκολλήσεων.....	41

6.1.1	Άρθρα ανά χρόνο παγκόσμια 1973-2022 .....	41
6.1.2	Άρθρα ανά δεκαετία σε κάθε χώρα 1981-2020 .....	45
6.1.3	Άρθρα ανά χρόνο στις 7 τεχνολογίες 1982-2022 .....	50
6.1.4	Άρθρα ανά χρόνο στις 7 χώρες 2000-2022.....	61
6.2	Υλικά Συγκολλήσεων .....	65
6.2.1	Άρθρα ανά χρόνο παγκόσμια 1973-2022 .....	65
6.2.2	Άρθρα ανά δεκαετία σε κάθε χώρα 1981-2020 .....	68
6.2.3	Άρθρα ανά χρόνο στα 6 υλικά 1982-2022.....	73
6.2.4	Άρθρα ανά χρόνο στις 7 χώρες 2000-2022.....	82
7.	Συμπεράσματα.....	85
8.	Βιβλιογραφία.....	87

## Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 2.1.	Βασικά Μέρη Τεχνολογίας GMAW (Emil Schubert, 2021).....	17
Εικόνα 2.2.	Βασικά Μέρη Τεχνολογίας GTAW (R. Kumar et al., 2017) .....	18
Εικόνα 2.3.	Βασικά Μέρη Τεχνολογίας SAW (Garg, 2012).....	20
Εικόνα 2.4.	Βασικά Μέρη Τεχνολογίας FSW (Taheri et al., 2019) .....	21
Εικόνα 2.5.	Βασικά Μέρη Τεχνολογίας SMAW (Iyibilgin et al., 2011).....	22
Εικόνα 2.6.	Βασικά Μέρη Τεχνολογίας PAW (Shanghai Domu Industrial Co., 2022).....	23
Εικόνα 2.7.	Βασικά Μέρη Τεχνολογίας LBW (S. Kumar et al., 2021).....	25
Εικόνα 4.1.	Παγκόσμιος Χάρτης με τις Χώρες που ερευνώνται.....	35
Εικόνα 4.2.	Χάρτης Πληθυσμού Κίνας .....	35
Εικόνα 4.3.	Χάρτης Πληθυσμού Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής.....	36
Εικόνα 4.4.	Χάρτης Πληθυσμού Ιαπωνίας.....	36
Εικόνα 4.5.	Χάρτης Πληθυσμού Ινδίας.....	37
Εικόνα 4.6.	Χάρτης Πληθυσμού Γερμανίας.....	37
Εικόνα 4.7.	Χάρτης Πληθυσμού Ηνωμένου Βασιλείου .....	38
Εικόνα 4.8.	Χάρτης Πληθυσμού Ρωσίας.....	38

## Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 2.1. ISO4063, 1998.....	16
Πίνακας 2.2. ISO6848, 2015.....	19
Πίνακας 2.3. ISO2560, 2009.....	23
Πίνακας 3.1. Μέταλλα και Ιδιότητες (Metal Supermarkets, 2020) .....	25
Πίνακας 3.2. World Production of Raw Steel by Country (2017-2021) .....	26
Πίνακας 3.3. World Production of Aluminium by Country (2017-2021) .....	28
Πίνακας 3.4. World Production of Titanium Minerals by Country (2016-2020).....	29
Πίνακας 3.5. World Production of Copper by Country (2017-2021).....	31
Πίνακας 3.6. World Production of Magnesium by Country (2017-2021).....	32
Πίνακας 3.7. World Production of Nickel by Country (2017-2021) .....	34
Πίνακας 5.1. Οι χώρες με τα περισσότερα δημοσιευμένα άρθρα για "Welding" .....	39
Πίνακας 6.1. Δημοσιευμένα Άρθρα για GMAW MIG MAG 1973-2022 .....	41
Πίνακας 6.2. Δημοσιευμένα Άρθρα για GTAW TIG 1973-2022.....	42
Πίνακας 6.3. Δημοσιευμένα Άρθρα για SAW 1973-2022 .....	42
Πίνακας 6.4. Δημοσιευμένα Άρθρα για FSW 1973-2022 .....	42
Πίνακας 6.5. Δημοσιευμένα Άρθρα για SMAW MMAW 1973-2022 .....	43
Πίνακας 6.6. Δημοσιευμένα Άρθρα για PAW 1973-2022 .....	43
Πίνακας 6.7. Δημοσιευμένα Άρθρα για LBW 1973-2022 .....	43
Πίνακας 6.8. Συνολικά Δημοσιευμένα Άρθρα για κάθε τεχνολογία 1973-2022.....	44
Πίνακας 6.9. Δημοσιευμένα Άρθρα για GMAW MIG MAG 1981-2020 ανά χώρα.....	45
Πίνακας 6.10. Δημοσιευμένα Άρθρα για GTAW TIG 1981-2020 ανά χώρα .....	45
Πίνακας 6.11. Δημοσιευμένα Άρθρα για SAW 1981-2020 ανά χώρα.....	45
Πίνακας 6.12. Δημοσιευμένα Άρθρα για FSW 1981-2020 ανά χώρα.....	46
Πίνακας 6.13. Δημοσιευμένα Άρθρα για SMAW MMAW 1981-2020 ανά χώρα.....	46
Πίνακας 6.14. Δημοσιευμένα Άρθρα για PAW 1981-2020 ανά χώρα.....	46
Πίνακας 6.15. Δημοσιευμένα Άρθρα για LBW 1981-2020 ανά χώρα.....	47
Πίνακας 6.16. Δημοσιευμένα Άρθρα για τις 7 πρωτοπόρες χώρες 1982-2022 ανά έτος στην τεχνολογία GMAW.....	50
Πίνακας 6.17. Δημοσιευμένα Άρθρα για τις 7 πρωτοπόρες χώρες 1982-2022 ανά έτος στην τεχνολογία GTAW.....	51
Πίνακας 6.18. Δημοσιευμένα Άρθρα για τις 7 πρωτοπόρες χώρες 1982-2022 ανά έτος στην τεχνολογία SAW.....	52

Πίνακας 6.19. Δημοσιευμένα Άρθρα για τις 7 πρωτοπόρες χώρες 1982-2022 ανά έτος στην τεχνολογία FSW.....	53
Πίνακας 6.20. Δημοσιευμένα Άρθρα για τις 7 πρωτοπόρες χώρες 1982-2022 ανά έτος στην τεχνολογία SMAW MMAW.....	54
Πίνακας 6.21. Δημοσιευμένα Άρθρα για τις 7 πρωτοπόρες χώρες 1982-2022 ανά έτος στην τεχνολογία PAW.....	55
Πίνακας 6.22. Δημοσιευμένα Άρθρα για τις 7 πρωτοπόρες χώρες 1982-2022 ανά έτος στην τεχνολογία LBW.....	56
Πίνακας 6.23. Δημοσιευμένα Άρθρα για Steel 1973-2022 .....	65
Πίνακας 6.24. Δημοσιευμένα Άρθρα για Aluminum 1973-2022 .....	65
Πίνακας 6.25. Δημοσιευμένα Άρθρα για Titanium 1973-2022.....	66
Πίνακας 6.26. Δημοσιευμένα Άρθρα για Copper 1973-2022.....	66
Πίνακας 6.27. Δημοσιευμένα Άρθρα για Magnesium 1973-2022 .....	66
Πίνακας 6.28. Δημοσιευμένα Άρθρα για Nickel 1973-2022.....	67
Πίνακας 6.29. Συνολικά Δημοσιευμένα Άρθρα για κάθε υλικό 1973-2022 .....	67
Πίνακας 6.30. Δημοσιευμένα Άρθρα για Steel 1981-2020 ανά χώρα.....	68
Πίνακας 6.31. Δημοσιευμένα Άρθρα για Aluminum 1981-2020 ανά χώρα .....	68
Πίνακας 6.32. Δημοσιευμένα άρθρα για Titanium 1981-2020 ανά χώρα .....	69
Πίνακας 6.33. Δημοσιευμένα Άρθρα για Copper 1981-2020 ανά χώρα .....	69
Πίνακας 6.34. Δημοσιευμένα Άρθρα για Magnesium 1981-2020 ανά χώρα.....	69
Πίνακας 6.35. Δημοσιευμένα Άρθρα για Nickel 1981-2020 ανά χώρα .....	70
Πίνακας 6.36. Δημοσιευμένα Άρθρα για τις 7 πρωτοπόρες χώρες 1982-2022 ανά έτος στον χάλυβα.....	73
Πίνακας 6.37. Δημοσιευμένα Άρθρα για τις 7 πρωτοπόρες χώρες 1982-2022 ανά έτος στο αλουμίνιο .....	74
Πίνακας 6.38. Δημοσιευμένα Άρθρα για τις 7 πρωτοπόρες χώρες 1982-2022 ανά έτος στο τιτάνιο .....	75
Πίνακας 6.39. Δημοσιευμένα Άρθρα για τις 7 πρωτοπόρες χώρες 1982-2022 ανά έτος στον χαλκό.....	76
Πίνακας 6.40. Δημοσιευμένα Άρθρα για τις 7 πρωτοπόρες χώρες 1982-2022 ανά έτος στο μαγνήσιο .....	77
Πίνακας 6.41. Δημοσιευμένα Άρθρα για τις 7 πρωτοπόρες χώρες 1982-2022 ανά έτος στο νικέλιο.....	78

## Κατάλογος Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 3.1. Total Production of Raw Steel 2021 .....	27
Διάγραμμα 3.2. Total Production of Aluminium 2021 .....	28
Διάγραμμα 3.3. Total Production of Titanium Minerals 2020 .....	30
Διάγραμμα 3.4. Total Production of Copper 2021 .....	31
Διάγραμμα 3.5. Total Production of Magnesium 2021 .....	33
Διάγραμμα 3.6. Total Production of Nickel 2021.....	34
Διάγραμμα 5.1. Οι χώρες με τα περισσότερα δημοσιευμένα άρθρα για "Welding" .....	39
Διάγραμμα 6.1. Δημοσιευμένα Άρθρα για κάθε τεχνολογία 1973-2022 .....	44
Διάγραμμα 6.2. Ποσοστό που καλύπτουν οι χώρες με τα περισσότερα αποτελέσματα για κάθε τεχνολογία 1981-1990 .....	47
Διάγραμμα 6.3. Ποσοστό που καλύπτουν οι χώρες με τα περισσότερα αποτελέσματα για κάθε τεχνολογία 1991-2000 .....	48
Διάγραμμα 6.4. Ποσοστό που καλύπτουν οι χώρες με τα περισσότερα αποτελέσματα για κάθε τεχνολογία 2001-2010 .....	48
Διάγραμμα 6.5. Ποσοστό που καλύπτουν οι χώρες με τα περισσότερα αποτελέσματα για κάθε τεχνολογία 2011-2020 .....	49
Διάγραμμα 6.6. Δημοσιευμένα Άρθρα για τις 7 πρωτοπόρες χώρες 2000-2022 ανά έτος στην τεχνολογία GMAW.....	57
Διάγραμμα 6.7. Δημοσιευμένα Άρθρα για τις 7 πρωτοπόρες χώρες 2000-2022 ανά έτος στην τεχνολογία GTAW.....	57
Διάγραμμα 6.8. Δημοσιευμένα Άρθρα για τις 7 πρωτοπόρες χώρες 2000-2022 ανά έτος στην τεχνολογία SAW.....	58
Διάγραμμα 6.9. Δημοσιευμένα Άρθρα για τις 7 πρωτοπόρες χώρες 2000-2022 ανά έτος στην τεχνολογία FSW.....	58
Διάγραμμα 6.10. Δημοσιευμένα Άρθρα για τις 7 πρωτοπόρες χώρες 2000-2022 ανά έτος στην τεχνολογία SMAW .....	59
Διάγραμμα 6.11. Δημοσιευμένα Άρθρα για τις 7 πρωτοπόρες χώρες 2000-2022 ανά έτος στην τεχνολογία PAW.....	59
Διάγραμμα 6.12. Δημοσιευμένα Άρθρα για τις 7 πρωτοπόρες χώρες 2000-2022 ανά έτος στην τεχνολογία LBW.....	60
Διάγραμμα 6.13. Δημοσιευμένα Άρθρα Κίνας για τεχνολογίες συγκόλλησης 2000-2022.....	61
Διάγραμμα 6.14. Δημοσιευμένα Άρθρα Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής για τεχνολογίες συγκόλλησης 2000-2022 .....	61
Διάγραμμα 6.15. Δημοσιευμένα Άρθρα Ιαπωνίας για τεχνολογίες συγκόλλησης 2000-2022.....	62

Διάγραμμα 6.16. Δημοσιευμένα Άρθρα Ινδίας για τεχνολογίες συγκόλλησης 2000-2022.....	62
Διάγραμμα 6.17. Δημοσιευμένα Άρθρα Γερμανίας για τεχνολογίες συγκόλλησης 2000-2022 ..	63
Διάγραμμα 6.18. Δημοσιευμένα Άρθρα Ηνωμένου Βασιλείου για τεχνολογίες συγκόλλησης 2000-2022 .....	63
Διάγραμμα 6.19. Δημοσιευμένα Άρθρα Ρωσίας για τεχνολογίες συγκόλλησης 2000-2022.....	64
Διάγραμμα 6.20. Δημοσιευμένα Άρθρα για κάθε υλικό 1973-2022 .....	67
Διάγραμμα 6.21. Ποσοστό που καλύπτουν οι χώρες με τα περισσότερα αποτελέσματα για κάθε υλικό 1981-1990 .....	70
Διάγραμμα 6.22. Ποσοστό που καλύπτουν οι χώρες με τα περισσότερα αποτελέσματα για κάθε υλικό 1991-2000 .....	71
Διάγραμμα 6.23. Ποσοστό που καλύπτουν οι χώρες με τα περισσότερα αποτελέσματα για κάθε υλικό 2001-2010 .....	71
Διάγραμμα 6.24. Ποσοστό που καλύπτουν οι χώρες με τα περισσότερα αποτελέσματα για κάθε υλικό 2011-2020 .....	72
Διάγραμμα 6.25. Δημοσιευμένα Άρθρα για τις 7 πρωτοπόρες χώρες 2000-2022 ανά έτος στον χάλυβα.....	79
Διάγραμμα 6.26. Δημοσιευμένα Άρθρα για τις 7 πρωτοπόρες χώρες 2000-2022 ανά έτος στο αλουμίνιο .....	79
Διάγραμμα 6.27. Δημοσιευμένα Άρθρα για τις 7 πρωτοπόρες χώρες 2000-2022 ανά έτος στο τιτάνιο .....	80
Διάγραμμα 6.28. Δημοσιευμένα Άρθρα για τις 7 πρωτοπόρες χώρες 2000-2022 ανά έτος στον χαλκό.....	80
Διάγραμμα 6.29. Δημοσιευμένα Άρθρα για τις 7 πρωτοπόρες χώρες 2000-2022 ανά έτος στο μαγνήσιο .....	81
Διάγραμμα 6.30. Δημοσιευμένα Άρθρα για τις 7 πρωτοπόρες χώρες 2000-2022 ανά έτος στο νικέλιο .....	81
Διάγραμμα 6.31. Δημοσιευμένα Άρθρα Κίνας για υλικά συγκόλλησης 2000-2022.....	82
Διάγραμμα 6.32. Δημοσιευμένα Άρθρα Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής για υλικά συγκόλλησης 2000-2022 .....	82
Διάγραμμα 6.33. Δημοσιευμένα Άρθρα Ιαπωνίας για υλικά συγκόλλησης 2000-2022 .....	83
Διάγραμμα 6.34. Δημοσιευμένα Άρθρα Ινδίας για υλικά συγκόλλησης 2000-2022 .....	83
Διάγραμμα 6.35. Δημοσιευμένα Άρθρα Γερμανίας για υλικά συγκόλλησης 2000-2022 .....	83
Διάγραμμα 6.36. Δημοσιευμένα Άρθρα Ηνωμένου Βασιλείου για υλικά συγκόλλησης 2000-2022.....	84
Διάγραμμα 6.37. Δημοσιευμένα Άρθρα Ρωσίας για υλικά συγκόλλησης 2000-2022 .....	84

# 1. Εισαγωγή

Η Συγκόλληση είναι μία τεχνολογία ένωσης υλικών, συνήθως μεταλλικών ή θερμοπλαστικών, κατά την οποία χρησιμοποιείται υψηλή θερμοκρασία, ώστε τα μέταλλα που θέλουμε να ενώσουμε, να φτάσουν στη θερμοκρασία τήξης και αφήνοντάς τα να κρυσώσουν, τελικά να ενωθούν. Πολλές φορές, εκτός από τα δύο ή περισσότερα μέταλλα που θέλουμε να συγκολληθούν, χρησιμοποιούμε και ένα επιπλέον υλικό (ηλεκτρόδιο), με σκοπό να επιτευχθεί η συγκόλληση. Παράλληλα, χρησιμοποιείται και ένα υλικό το οποίο δύναται να προστατεύσει τόσο από την οξείδωση όσο και από διάφορα σωματίδια του αέρα όπως η σκόνη.

Από τότε που ξεκίνησε η ενασχόληση του ανθρώπου με τα μέταλλα για την κατασκευή όπλων, εργαλείων και σκευών, εντοπίζεται και η χρήση της συγκόλλησης. Τα πρώτα παραδείγματα ένωσης μετάλλων έρχονται από την εποχή του Χαλκού όπου διήρκησε από το 3.300 π.Χ. μέχρι το 1.200 π.Χ. και την εποχή του Σιδήρου όπου διήρκησε από το 1.200 π.Χ. μέχρι και το 500 π.Χ. Κατά τη διάρκεια του Μεσαίωνα φαίνεται να υπάρχει ιδιαίτερη ανάπτυξη στην τεχνολογία συγκόλλησης με σφυρηλάτηση, κατά την οποία χτυπούσαν τα θερμαινόμενα μέταλλα μέχρι να επιτευχθεί η συγκόλληση.

Στις αρχές του 19<sup>ου</sup> αιώνα παρατηρείται έντονα η ανάπτυξη της συγκόλλησης με αντίσταση και με ηλεκτρικό τόξο, ενώ στα τέλη του 19<sup>ου</sup> αιώνα η ανάπτυξη της συγκόλλησης με αέριο. Στην πρώτη τεχνολογία τα μεταλλικά υλικά θερμαίνονται με τη διέλευση ρεύματος λόγω της αντίστασης που προκαλείται ανάμεσα στα υλικά. Στη δεύτερη τεχνολογία, η θερμότητα που αναπτύσσεται πηγάζει από ένα μείγμα, συνήθως οξυγόνου και ασετιλίνης. Το μείγμα αυτό θερμαίνει τοπικά το σημείο που επιτυγχάνεται η συγκόλληση και ενώνονται τα μέταλλα, με ή χωρίς πρόσθετο υλικό.

Αν μπορούσαν να χωριστούν οι συγκολλήσεις σε δύο μεγάλες κατηγορίες, αυτές θα ήταν οι αυτογενείς και οι ετερογενείς συγκολλήσεις. Στις αυτογενείς, θερμαίνονται τοπικά τα μέταλλα μέχρι το σημείο τήξης και η συγκόλληση επιτυγχάνεται μόνο με τα τεμάχια, χωρίς δηλαδή την προσθήκη κάποιου συγκολλητικού μέσου. Μερικές από τις εν λόγω συγκολλήσεις είναι η οξυγονοσυγκόλληση, η ηλεκτροσυγκόλληση, η συγκόλληση με αντίσταση, η συγκόλληση με Laser κλπ. Στις ετερογενείς συγκολλήσεις, δεν απαιτείται τοπική τήξη των μετάλλων προς συγκόλληση, αρκεί να θερμανθεί και να τοποθετηθεί το λιωμένο συγκολλητικό υλικό. Τέτοιου είδους συγκολλήσεις αποτελούν η κασσιτεροσυγκόλληση, η μπруντζοσυγκόλληση, η ασημοκόλληση κλπ.

Παρατηρείται πως στις αρχές του 20<sup>ου</sup> αιώνα υπήρχαν περίπου πέντε μέθοδοι συγκόλλησης, ενώ σήμερα διακρίνονται πάνω από πενήντα διαφορετικά είδη. Αυτό συμβαίνει λόγω της μεγάλης ποικιλίας συνθηκών, που μπορεί να κυμαίνεται από χαμηλή θερμοκρασία με υψηλή πίεση, μέχρι υψηλή θερμοκρασία χωρίς πίεση. Γι' αυτόν τον λόγο, μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο ακόμη κατηγορίες, τις συγκολλήσεις τήξεως και τις συγκολλήσεις πίεσεως. Στην πρώτη κατηγορία, τα μέταλλα θερμαίνονται μέχρι τήξεως, ώστε τα μόρια του ενός μετάλλου να διεισδύσουν μέσα στα μόρια του άλλου, προκειμένου να επιτευχθεί η σύνδεση. Στη δεύτερη κατηγορία χρησιμοποιείται

θερμοκρασία χαμηλότερη του σημείου τήξεως, ώστε τα υλικά να γίνουν πιο εύπλαστα και στη συνέχεια να πιεστούν το ένα πάνω στο άλλο.

Η χρήση των συγκολλήσεων αξιοποιείται κυρίως στην αυτοκινητοβιομηχανία, στη ναυπηγική βιομηχανία και στις μεταλλικές κατασκευές γενικότερα. Το εύρος εφαρμογής της τεχνολογίας είναι ιδιαίτερα μεγάλο, καθώς περιλαμβάνει από στοιχεία ηλεκτρονικών κυκλωμάτων, μέχρι πλοία, αυτοκίνητα, γέφυρες, κτίρια, έπιπλα και πολλά ακόμη. Τα πλεονεκτήματα που διαθέτει σε σχέση με άλλες τεχνολογίες σύνδεσης που αντικατέστησε, είναι το μικρότερο βάρος στις κατασκευές, καθώς δεν προστίθεται νέο υλικό, η καλύτερη στεγανότητα από τη στιγμή που δεν δημιουργούνται σπές για την επίτευξή της, όπως και η εξοικονόμηση του χρόνου κατασκευής. Όλα τα παραπάνω οδηγούν τελικά στην εμφάνιση μικρότερου κόστους, ενώ συνδυάζεται παράλληλα και καλύτερο αισθητικό αποτέλεσμα στα προϊόντα.

## 2. Τεχνολογίες Συγκολλήσεων

Η συγκεκριμένη διπλωματική εργασία εστιάζει σε ορισμένες τεχνολογίες συγκολλήσεων, προκειμένου να παρατηρηθεί η συγκέντρωση του περισσότερου ενδιαφέροντος των ερευνητών. Η επιλογή της τεχνολογίας που χρησιμοποιείται εξαρτάται από πληθώρα παραγόντων. Μέσα σε αυτήν συμπεριλαμβάνεται το μέταλλο που πρόκειται να συγκολληθεί, καθώς και το πάχος των υλικών. Κάποιες από τις κυριότερες μεθόδους συγκόλλησης, όπου θα χρησιμοποιηθούν και για την έρευνα της εργασίας, φαίνονται στον Πίνακα 2.1 σύμφωνα με το πρότυπο (ISO4063, 1998).

Name	Number	American Welding Society (AWS)	Characteristics
Gas Metal Arc Welding	131	GMAW	Continuous consumable electrode and shielding gas
Metal Inert Gas	135	MIG	
Metal Active Gas		MAG	
Gas Tungsten Arc Welding	141	GTAW	Non-consumable electrode, slow, high-quality welds
Tungsten Inert Gas		TIG	
Submerged Arc Welding	121	SAW	Automatic, arc submerged in granular flux
Friction Stir Welding	42	FSW	A rotating non-consumable tool is traversed along the joint line
Shielded Metal Arc Welding	111	SMAW	Consumable electrode covered in flux, can weld any metal as long as they have the right electrode
Manual Metal Arc Welding		MMAW	
Plasma Arc Welding	15	PAW	Non-consumable electrode, constricted arc
Laser Beam Welding	521	LBW	Deep penetration, fast, high equipment cost
	522		

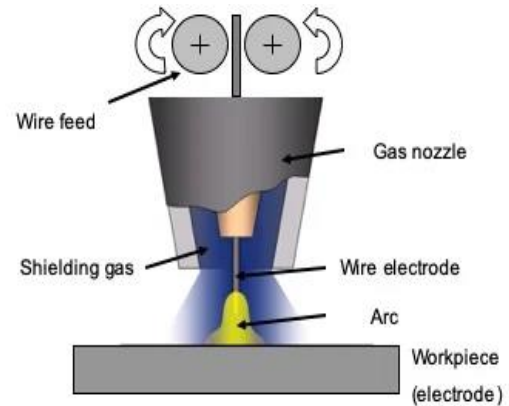
Πίνακας 2.1. ISO4063, 1998



## 2.1 Συγκόλληση Συμπαγούς Σύρματος με Τόξο - Gas Metal Arc Welding (GMAW)

### 2.1.1 Βασικά Χαρακτηριστικά GMAW

Η τεχνολογία συγκολλήσεων Gas Metal Arc Welding (GMAW), όπου συχνά αναφέρεται και ως Metal Inert Gas (MIG) ή Metal Active Gas (MAG), είναι μία διαδικασία όπου σχηματίζεται ένα ηλεκτρικό τόξο μεταξύ του ηλεκτροδίου και των μετάλλων υπό συγκόλληση, το οποίο θερμαίνει το τεμάχιο προκαλώντας τη σύντηξή του. Χρησιμοποιείται συνήθως σε απλούς χάλυβες ή αλουμίνια. Λειτουργεί σε χαμηλή τάση ρεύματος και παράγει μία πάστα ταχείας ψύξης, με αποτέλεσμα να είναι κατάλληλη τόσο για λεπτότερες λαμαρίνες, όσο και για όλες τις θέσεις συγκόλλησης που απαιτούνται στα λεπτά ελάσματα (Norris & Cuiuri, 2014). Με σωστή ρύθμιση παραμέτρων θεωρείται εύχρηστη και γρήγορη τεχνολογία. Η γρήγορη και ευδιάκριτη εναπόθεση του σύρματος αποτελεί το βασικό της πλεονέκτημα, αλλά δεν ενδείκνυται για τη χρήση της σε εξωτερικούς χώρους λόγω του αέρα.



Εικόνα 2.1. Βασικά Μέρη Τεχνολογίας GMAW (Emil Schubert, 2021)

### 2.1.2 Ιστορική Αναδρομή GMAW

Η τεχνολογία GMAW συναντάται πρώτη φορά στα τέλη της δεκαετίας του 1940, όπου το Battelle Memorial Institute, με χρηματοδότηση από την Air Reduction Company, και σε συνεργασία με τους H.M. Hobart και P.K. Devers, ερευνήθηκε και αναπτύχθηκε η πρώτη χρήση συνεχούς τροφοδότησης αλουμινένιου σύρματος ηλεκτροδίου, θωρακισμένο με αργό αέριο (Miller Electric Mfg. LLC, 2020). Το 1953 με τη βοήθεια των Novoshilov και Lyubavshkii, αναπτύχθηκε ένα μεγαλύτερο σε διάμετρο ηλεκτρόδιο, το οποίο όμως είχε μεγαλύτερο πιτσίλισμα και επειδή βασίστηκε σε μεγαλύτερες θερμοκρασίες, δεν έγινε αρκετά αποδεκτό από τους συγκολλητές. Στα τέλη του 1950 αναπτύχθηκε ένα πιο λεπτό ηλεκτρόδιο και με λιγότερη χρήση θερμότητας, βοήθησε στη συγκόλληση λεπτότερων ελασμάτων. Η παραλλαγή της μεταφοράς με τόξο ψεκασμού ήρθε στις αρχές του 1960, όπου οι ερευνητές πρόσθεσαν μικρές ποσότητες οξυγόνου στο μείγμα. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα τη μείωση πιτσίλισματος και τη χαμηλότερη χρήση θερμότητας. Το 1970 δημοσιοποιήθηκε μια τεχνολογία πηγής ενέργειας η οποία βοήθησε στην ανάπτυξη της τεχνολογίας GMAW, το θυρίστορ. Το Welding Institute of the United Kingdom είναι κυρίως υπεύθυνο για τη συσχέτιση του θυρίστορ με την ταχύτητα που εναποτίθεται το ηλεκτρόδιο. Ένα μικρό τηλεχειριστήριο, διαχειρίζεται μεγάλα ποσά τάσης και ενέργειας, έτσι ώστε να μπορέσει να ελεγχθεί η ταχύτητά του (Nadzam Jeff et al., 1997).

### 2.1.3 Ηλεκτρόδιο GMAW

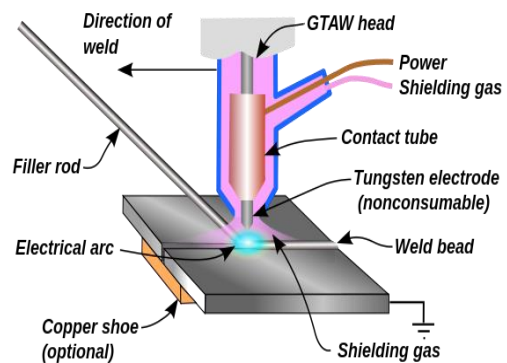
Το ηλεκτρόδιο GMAW αποτελείται από μία κουλούρα μεταλλικού σύρματος, που τροφοδοτείται με σταθερή ταχύτητα και τάση ρεύματος προς τα τεμάχια. Η τροφοδοσία παρουσιάζει ελαφρώς μεγαλύτερο ρυθμό ταχύτητας από τον συνδυασμό της θέρμανσης της αντίστασης και της θέρμανσης του τόξου, ώστε να μπορεί να το λιώσει. Διαχέεται στο μέταλλο προς συγκόλληση, από το εσωτερικό του σωλήνα, όπου με το πάτημα της σκανδάλης ενεργοποιείται η τροφοδοσία του ηλεκτροδίου, σε συνδυασμό με το ρεύμα και τη ροή του προστατευτικού αερίου. Η μεταφορά του ηλεκτροδίου από τη συσκευή στο μέταλλο γίνεται με έναν από τους ακόλουθους τέσσερις τρόπους.

- Μεταφορά με Βραχυκύκλωμα
- Σφαιρική Μεταφορά
- Αξονική Μεταφορά με Ψεκασμό
- Παλμική Μεταφορά με Ψεκασμό

## 2.2 Συγκόλληση τόξου με ηλεκτρόδιο βολφραμίου - Gas Tungsten Arc Welding (GTAW)

### 2.2.1 Βασικά Χαρακτηριστικά GTAW

Η τεχνολογία Gas Tungsten Arc Welding (GTAW) ή αλλιώς Tungsten Inert Gas (TIG) είναι, επίσης, μία τεχνολογία συγκόλλησης με ηλεκτρικό τόξο, με τη διαφορά πως χρησιμοποιεί ένα ηλεκτρόδιο βολφραμίου για την παραγωγή της συγκόλλησης. Χρησιμοποιείται συνήθως για τη συγκόλληση χαλύβων και μη σιδηρούχων μετάλλων, όπως το αλουμίνιο, το μαγνήσιο και τα κράματα χαλκού. Παρέχει μεγαλύτερο έλεγχο στη συγκόλληση από άλλες τεχνολογίες, με αποτέλεσμα να διαθέτει ισχυρότερα και υψηλότερης ποιότητας αποτελέσματα. Από την άλλη, είναι πιο απαιτητική και δύσκολη διαδικασία εφόσον στο ένα χέρι κρατείται η τσιμπίδα για τη θέρμανση του σημείου και στο άλλο το υλικό εναπόθεσης. Επιπλέον, είναι σημαντικά πιο χρονοβόρα από τις περισσότερες τεχνολογίες συγκόλλησης.



Εικόνα 2.2. Βασικά Μέρη Τεχνολογίας GTAW (R. Kumar et al., 2017)

## 2.2.2 Ιστορική Αναδρομή GTAW

Η τεχνολογία GTAW αναπτύχθηκε στις αρχές της δεκαετία του 1940, κατά τη διάρκεια του δευτέρου παγκοσμίου πολέμου, λόγω της ανάγκης της ένωσης του μαγνησίου και του αλουμινίου για τα αεροσκάφη και τα πλοία της Αμερικής. Ο Russel Meredith από τη Northrop Aircraft Corporation είναι αυτός που παρουσίασε την πρώτη διαδικασία TIG Welding, με ονομασία Heliarc, με ένα ηλεκτρόδιο βολφραμίου και ήλιο (Gadewar et al., 2010). Έπειτα, τα δικαιώματα για την τεχνολογία που ανέπτυξε ο Meredith, πωλήθηκαν στην εταιρεία Linde Division of UCC. Ύστερα από μόλις τρία χρόνια, πρότεινε 48 λύσεις, συμπεριλαμβανομένων των συγκολλήσεων του μαγνησίου, του αλουμινίου, του ανοξείδωτου ατσαλιού κ.α. Ο Frank Pilia επινόησε και κατοχύρωσε με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας έναν πυρσό με ψύξη νερού, ενώ αντίστοιχα ο Arthur Scheller επινόησε έναν λυγισμένο πυρσό για τη διευκόλυνση σε σημεία με κακή πρόσβαση. Στα μέσα του 1940 αντικαταστάθηκε το ήλιο με αργό και κάποια χρόνια αργότερα στην Πολωνία, κατασκευάστηκε το ηλεκτρόδιο από καθαρό βολφράμιο (Pocica, 2019).

## 2.2.3 Ηλεκτρόδιο GTAW

Τα ηλεκτρόδια της συγκεκριμένης τεχνολογίας είναι κατασκευασμένα από βολφράμιο ή κάποιο κράμα βολφραμίου, και αυτό γιατί έχει την υψηλότερη θερμοκρασία τήξης μεταξύ των καθαρών μετάλλων (3.422°C). Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να μην γίνεται κατανάλωση του ηλεκτροδίου κατά τη διαδικασία της συγκόλλησης. Τα ηλεκτρόδια που μπορούν να χρησιμοποιηθούν κατά το πρότυπο (ISO6848, 2015) είναι τα παρακάτω:

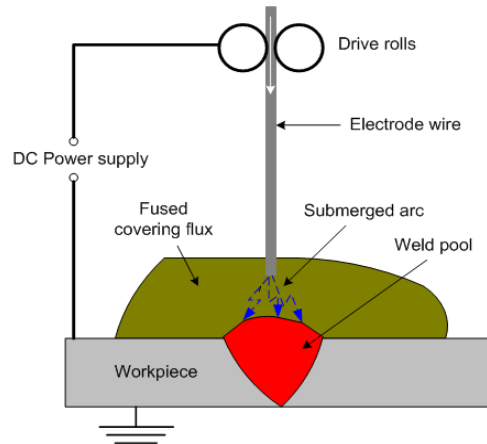
Colour	ISO 6848	Type	Current	For Welding
Green	W20	Pure Tungsten	AC	Aluminum, Magnesium, Nickel and their alloys
Red	WT20	Thoriated ThO <sub>2</sub> – 2%	DC	Carbon steel, Stainless steel, Nickel alloys and Titanium
Grey	WC20	Ceriated CeO <sub>2</sub> – 2%	AC & DC	Carbon steel, Stainless steel, Nickel alloys and Titanium
Gold	WL15	Lanthanated La <sub>2</sub> O <sub>3</sub> - 1,5%	AC & DC	Carbon steel, Stainless steel, Titanium, Aluminum and its alloys
Blue	WL20	Lanthanated La <sub>2</sub> O <sub>3</sub> - 2%	AC & DC	Carbon steel, Stainless steel, Nickel alloys, Aluminum, Magnesium, Titanium, Cobalt, Copper alloys, etc.

Πίνακας 2.2. ISO6848, 2015

## 2.3 Συγκόλληση Βυθισμένου Τόξου - Submerged Arc Welding (SAW)

### 2.3.1 Βασικά Χαρακτηριστικά SAW

Η τεχνολογία SAW είναι μια τεχνολογία συγκόλλησης που περιλαμβάνει το σχηματισμό υποβρύχιου ηλεκτρικού τόξου μεταξύ ενός ηλεκτροδίου που τροφοδοτείται διαρκώς και του μετάλλου προς συγκόλληση. Μία κουβέρτα βόρακα περιβάλλει και προστατεύει το τόξο, το οποίο όταν λιώσει, παρέχει αγωγιμότητα μεταξύ του μετάλλου και του ηλεκτροδίου. Την ίδια στιγμή, δημιουργεί μια προστατευτική ασπίδα για τα αέρια και τη σκουριά. Αυτή η κουβέρτα μπορεί να αποτελείται επίσης από ασβέστη, πυρίτιο, οξείδιο μαγγανίου και άλλες ενώσεις. Χρησιμοποιείται κυρίως στα ναυπηγεία και προορίζεται, κατά βάση, για επίπεδες ή οριζόντιες επιφάνειες. Τα πλεονεκτήματα που αξίζει να σημειωθούν απέναντι σε υπόλοιπες συγκολλήσεις είναι η εκπομπή λιγότερου καπνού συγκόλλησης, η εφαρμογή σε εσωτερικούς όσο και σε εξωτερικούς χώρους, η κάλυψη του τόξου κάτω από την πάστα, καθ' όλη τη διάρκεια, αποτελώντας γεγονότα που εξαλείφουν την πιθανότητα πιτσιλίσματος, ενώ προσφέρουν, παράλληλα, ομοιομορφία με ανθεκτικότητα σε διάβρωση.



Εικόνα 2.3. Βασικά Μέρη Τεχνολογίας SAW (Garg, 2012)

### 2.3.2 Ιστορική Αναδρομή SAW

Η πρώτη ευρεσιτεχνία για τη συγκεκριμένη τεχνολογία ήρθε από το Evgeny Oscarovich Paton Electric Welding Institute του Κιέβου το 1935 και η πιο γνωστή εφαρμογή του ήταν στο tank T34. Στα τέλη της δεκαετίας χρησιμοποιήθηκε σε πολεμικά πλοία και σε στρατιωτικό εξοπλισμό προκειμένου να βοηθήσει στον πόλεμο. Μάλιστα, από γράμμα του προέδρου των ΗΠΑ Franklin D.Roosevelt, στον πρωθυπουργό της Μεγάλης Βρετανίας Winston Churchill, αναφέρεται στην τεχνολογία SAW ως μία καινοτομία που τους επιτρέπει να κατασκευάζουν πλοία σε ταχύτητες που δεν μπορούν να συγκριθούν με την μέχρι τότε ιστορία της συγκόλλησης (American Welding Society, 2019).

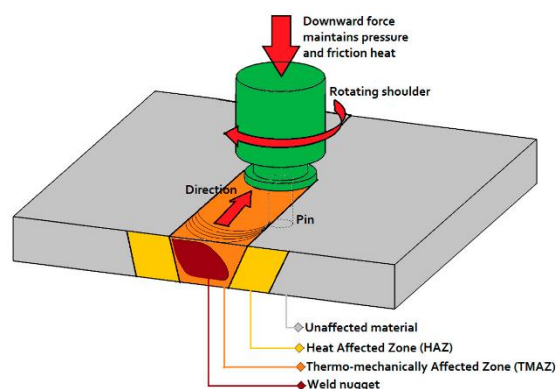
### 2.3.3 Ηλεκτρόδιο SAW

Το ηλεκτρόδιο στη συγκεκριμένη τεχνολογία είναι συνήθως ένα τυπικό σύρμα, όπως και στην τεχνολογία GMAW. Η σύνθεση του ηλεκτροδίου εξαρτάται από τα υλικά που πρόκειται να συγκολληθούν και μπορούν να προστεθούν σε αυτό και στοιχεία κράματος. Υπάρχουν επίσης και παραλλαγές του σύρματος που μπορεί να αποτελείται από περισσότερα ηλεκτρόδια.

## 2.4 Συγκόλληση με τριβή ανάδευσης - Friction Stir Welding (FSW)

### 2.4.1 Βασικά Χαρακτηριστικά FSW

Η τεχνολογία Friction Stir Welding, σε αντίθεση με τις προηγούμενες τεχνολογίες που αναφέρθηκαν, δεν χρησιμοποιεί ηλεκτρικό τόξο για να πετύχει τη συγκόλληση. Η διαδικασία που ακολουθεί είναι στερεής κατάστασης και χρησιμοποιεί ένα μη αναλώσιμο εργαλείο χωρίς να λιώσει το μέταλλο. Στο σημείο της συγκόλλησης, παράγεται θερμότητα από την τριβή μεταξύ του περιστρεφόμενου εργαλείου και των τεμαχίων που πρόκειται να συγκολληθούν, έτσι ώστε να μαλακώσουν και να ενωθούν. Η περιστροφή της FSW έχει ως αποτέλεσμα την ανάμιξη των υλικών στο πέρασμα της, οδηγώντας στη δημιουργία ενός ενιαίου μετάλλου στο κέντρο της συγκόλλησης.



Εικόνα 2.4. Βασικά Μέρη Τεχνολογίας FSW (TaHERi et al., 2019)

Στα υλικά που χρησιμοποιείται περισσότερο η συγκεκριμένη τεχνολογία είναι το αλουμίνιο και τα κράματά του, συχνά όμως συναντάται και σε ένωση χαλκού, τιτανίου, γάλυβα, μαγνησίου και τα κράματά τους. Βρίσκει έδαφος σε σύγχρονες ναυπηγικές εφαρμογές, σε σιδηρόδρομους και σε αεροδιαστημικές εφαρμογές. Στα πλεονεκτήματα της FSW σε σχέση με τις υπόλοιπες ηλεκτρικές τεχνολογίες είναι η βελτιωμένη ασφάλεια λόγω της απουσίας αναθυμιάσεων και πιτσιλισματος λιωμένων υλικών, η έλλειψη αναλώσιμων υλικών, οπότε και το χαμηλότερο κόστος και η καλύτερη εμφάνιση χωρίς τη χρήση επιπλέον κατεργασίας μετά το πέρας της συγκόλλησης.

### 2.4.2 Ιστορική Αναδρομή FSW

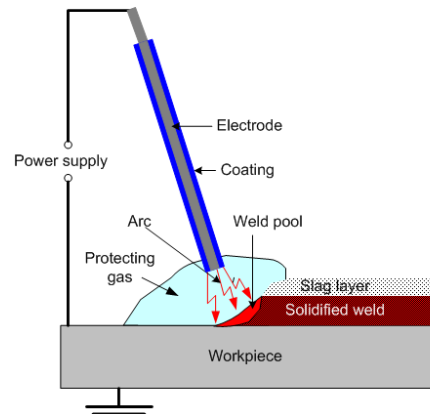
Η πρώτη αναφορά κατοχύρωσης της συγκεκριμένης πατέντας έρχεται στη Σοβιετική Ένωση από τον Klimentko Yu το 1965, αλλά χωρίς την εμπορική χρήση τη τεχνολογίας (Klimentko Yu, 1965).

Αρκετά χρόνια αργότερα, το 1991, κατοχυρώθηκε η πατέντα για την εμπορευματοποίηση της FSW, από το The Welding Institute στο Ηνωμένο Βασίλειο (Thomas W.M. et al., 1991).

## 2.5 Συγκόλληση Τόξου με Επενδυμένο Ηλεκτρόδιο - Shielded Metal Arc Welding (SMAW)

### 2.5.1 Βασικά Χαρακτηριστικά SMAW

Η τεχνολογία Shielded Metal Arc Welding (SMAW), γνωστή και ως Manual Metal Arc Welding (MMAW), είναι ακόμη μία συγκόλληση με χρήση θωρακισμένου ηλεκτρικού τόξου. Στη συγκεκριμένη τεχνολογία, χρησιμοποιείται ένα επικαλυμμένο ηλεκτρόδιο που πιάνεται από την τσιμπίδα της συσκευής και παρέχει προστασία από τον ατμοσφαιρικό αέρα και τη σκόνη. Είναι μία από τις πρώτες τεχνολογίες που χρησιμοποίησαν ηλεκτρικό τόξο μετάλλων, οπότε και ο μηχανισμός της είναι πιο απλός σε σύγκριση με τις υπόλοιπες. Χρησιμοποιείται κυρίως για τη συγκόλληση σιδήρου και χάλυβα, αλλά μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για αλουμίνιο, νικέλιο και κράματα χαλκού. Κυριαρχεί απέναντι σε υπόλοιπες τεχνολογίες στη συγκόλληση σε βιομηχανίες συντήρησης και επισκευής λόγω της απλότητας της, αλλά δεν υστερεί και στη χρήση της σε βαρέες χαλύβδινες και βιομηχανικές κατασκευές. Το βασικό της πλεονέκτημα είναι η οικονομική της κατασκευή, καθώς πρόκειται για αρκετά απλή τεχνολογία. Η φορητότητά της είναι επίσης ένα σημαντικό πλεονέκτημα, σε συνδυασμό παράλληλα με το ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο σε εσωτερικό όσο και σε εξωτερικό χώρο. Στα αρνητικά είναι η αργή διαδικασία συγκόλλησης σε σχέση με άλλες μεθόδους, τα υψηλότερα επίπεδα αναθυμιάσεων και η περιορισμένη καταλληλότητα σε λεπτά υλικά.



Εικόνα 2.5. Βασικά Μέρη Τεχνολογίας SMAW (Iyibilgin et al., 2011)

### 2.5.2 Ιστορική Αναδρομή SMAW

Το 1888, ο Ρώσος μηχανικός Nikolay Gavrilovich Slavyanov, εισήγαγε τη χρήση μεταλλικών ηλεκτροδίων αντικαθιστώντας τα ηλεκτρόδια άνθρακα. Ο Αμερικανός Charles L. Coffin το 1890, χρησιμοποιώντας αυτήν την καινοτομία, ανέπτυξε αναλώσιμα μεταλλικά ηλεκτρόδια για την συγκόλληση τόξου δημιουργώντας την καινοτομία της SMAW. Τα πρώτα επικαλυμμένα ηλεκτρόδια ήρθαν στην έναρξη 20<sup>ου</sup> αιώνα στη Μεγάλη Βρετανία από τους Arthur Percy Strohmenger και Oscar Kjellberg (Afolalu et al., 2019).

### 2.5.3 Ηλεκτρόδιο SMAW

Η επιλογή του αναλώσιμου ηλεκτροδίου εξαρτάται από το υλικό της συγκόλλησης, τη θέση και τις επιθυμητές ιδιότητες. Η επίστρωση του ηλεκτροδίου παρέχει προστασία από τον αέρα γύρω από το λιωμένο μέταλλο, προλαμβάνοντας την οξείδωση και τον σχηματισμό ακαθαρσιών και σκουριών. Διαθέτει μικρό σχετικά μήκος με αποτέλεσμα να χρειάζεται να διακοπεί η συγκόλληση τακτικά, ώστε να αντικατασταθεί το ηλεκτρόδιο. Ανάλογα με τον βαθμό επικάλυψης κατηγοριοποιείται σε λεπτής επικάλυψης (<1,2mm), μέσης επικάλυψης (1,2-1,55mm) και χονδρής επικάλυψης (>1,55mm), αν και τα περισσότερα ηλεκτρόδια σήμερα είναι χονδρής επικάλυψης. Σύμφωνα με το (ISO2560, 2009) η επικάλυψη χωρίζεται σε 4 κατηγορίες:

Symbol	Type of covering	Symbol	Type of covering
A	Acid Covering	R	Rutile Covering
C	Cellulosic Covering	B	Basic Covering

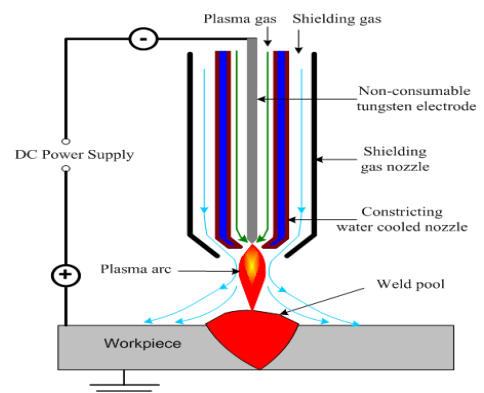
Πίνακας 2.3. ISO2560, 2009

Από την άλλη, η American Welding Society έχει δημιουργήσει ένα σύστημα αναγνώρισης διαφορετικών ηλεκτροδίων με έναν τετραψήφιο ή πενταψήφιο κωδικό. Τα καλυμμένα ηλεκτρόδια από κράμα χάλυβα ξεκινούν με το γράμμα E, τα δύο ή τρία πρώτα ψηφία προσδιορίζουν την αντοχή σε εφελκυσμό, το επόμενο τις επιτρεπόμενες θέσεις συγκόλλησης και το τελευταίο ψηφίο προσδιορίζει το είδος της επικάλυψης της ροής που εφαρμόζεται, την έκταση της διεύθυνσης του ηλεκτροδίου και το είδος ρεύματος (AC-DC).

## 2.6 Συγκόλληση Τόξου Πλάσματος - Plasma Arc Welding (PAW)

### 2.6.1 Βασικά Χαρακτηριστικά PAW

Η τεχνολογία Plasma Arc Welding (PAW) είναι μια διαδικασία αρκετά όμοια με την Gas Tungsten Arc Welding (GTAW), όπου το ηλεκτρικό τόξο σχηματίζεται ανάμεσα στο ηλεκτρόδιο και στο τεμάχιο εργασίας. Η βασική του διαφορά από την τεχνολογία GTAW είναι πως το ηλεκτρόδιο είναι τοποθετημένο μέσα στη μηχανή συγκόλλησης, οπότε το τόξο πλάσματος διαχωρίζεται από το περιβάλλον του προστατευτικού αερίου. Το πλάσμα είναι ένα αέριο μείγμα θετικών ιόντων, ηλεκτρονίων και ουδέτερων μορίων αερίου. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για συγκόλληση υψηλής ταχύτητας σε χάλυβες, αλουμίνια, χαλκούς, τιτάνια και νικέλια και άλλα. Τα πλεονεκτήματα αυτής της τεχνολογίας είναι η λειτουργία της σε οποιαδήποτε θέση, οι γρήγορες ταχύτητες συγκόλλησης με καλύτερα αποτελέσματα και η



Εικόνα 2.6. Βασικά Μέρη Τεχνολογίας PAW (Shanghai Domu Industrial Co., 2022)

δυνατότητα συγκόλλησης λεπτών και ευαίσθητων εξαρτημάτων με την λειτουργία χαμηλού ρεύματος. Από την άλλη, τα μειονεκτήματα που διαθέτει είναι αρκετά, όπως ο πολύ ακριβός εξοπλισμός, ο μεγάλος θόρυβος, η υπερϊώδη και η υπέρυθρη ακτινοβολία και οι παραμορφώσεις των αντικειμένων λόγω των υψηλών θερμοκρασιών.

## 2.6.2 Ιστορική Αναδρομή PAW

Η τεχνολογία συγκόλλησης με πλάσμα εφευρέθηκε και κατοχυρώθηκε με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας από τον Robert M. Gage το 1957 και μπορεί να θεωρηθεί μια εξέλιξη της τεχνολογίας GTAW (Robert M. Gage, 1957). Και οι δύο τεχνολογίες χρησιμοποιούν ένα μη-υπενδεδυμένο ηλεκτρόδιο για να δημιουργήσουν το ηλεκτρικό τόξο και να επιτύχουν τη συγκόλληση.

## 2.6.3 Διαδικασία Συγκόλλησης

Το ηλεκτρόδιο που χρησιμοποιεί η συγκεκριμένη τεχνολογία είναι αντίστοιχο με αυτό που αναφέρθηκε στην τεχνολογία GTAW. Όπως αναφέρει και το TWI (The Welding Institute, 1995), μπορεί να συγκολλήσει σε 3 διαφορετικές λειτουργίες, στην micro-plasma όπου λειτουργεί με κάτω από 15 αμπέρ, στην medium current που είναι από τα 15 μέχρι τα 200 αμπέρ και στην keyhole plasma που λειτουργεί με πάνω από 100 αμπέρ. Το micro-plasma χρησιμοποιείται για συγκόλληση λεπτών φύλλων με πάχος έως 0,1 mm και τμήματα σύρματος και πλέγματος, ενώ το ηλεκτρικό τόξο που μοιάζει με βελόνα, ελαχιστοποιεί την περιπλάνηση και την παραμόρφωση του τόξου. Το medium current χρησιμοποιείται σαν εναλλακτική της τεχνολογίας GTAW αλλά με πλεονέκτημα στη βαθύτερη διείσδυση κατά τη συγκόλληση και μεγαλύτερη ανοχή σε μολύνσεις από το περιβάλλον. Το «keyhole plasma» παρουσιάζει τα περισσότερα πλεονεκτήματα, καθώς έχει ακόμη βαθύτερη διείσδυση έως 10mm, αν και συνήθως κατά τη συγκόλληση περιορίζεται στα 6mm. Η κανονική του λειτουργία χρησιμοποιεί μαζί με την «key-hole» και ένα φίλτρο για την εξασφάλιση ενός ομαλού προφίλ συγκόλλησης.

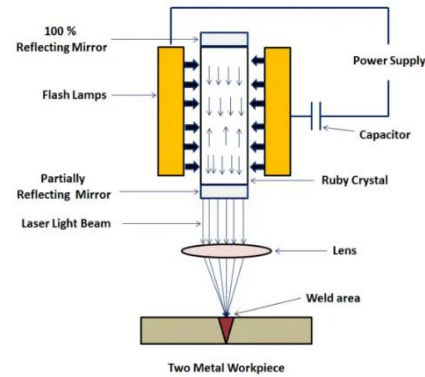
## 2.7 Συγκόλληση Δέσμης Λείζερ - Laser Beam Welding (LBW)

### 2.7.1 Βασικά Χαρακτηριστικά LBW

Η τεχνολογία Laser Beam Welding (LBW) χρησιμοποιεί ακτίνες λέιζερ για να συγκολλήσει μέταλλα και θερμοπλαστικά. Οι ακτίνες έχουν αρκετή ενέργεια ώστε όταν χτυπήσουν πάνω στα



μεταλλικά κομμάτια, να παραχθεί ποσό θερμότητας ικανό να λιώσει και να σχηματίσει τη συγκόλληση. Είναι μία διαδικασία η οποία δύναται να αυτοματοποιηθεί με ρομπότ και βρίσκεται έδαφος κυρίως στις αυτοκινητοβιομηχανίες και την αεροναυπηγική βιομηχανία. Είναι ικανή για τη συγκόλληση χάλυβα, αλουμινίου και τιτανίου. Τα πλεονεκτήματα που διαθέτει έναντι των υπολοίπων συγκολλήσεων είναι η δυνατότητα μετάδοσης μέσω του αέρα χωρίς να απαιτείται κενό, προσφέροντας ένα αποτέλεσμα υψηλότερης ποιότητας.



Εικόνα 2.7. Βασικά Μέρη Τεχνολογίας LBW (S. Kumar et al., 2021)

## 2.7.2 Ιστορική Αναδρομή LBW

Η ιστορία του λέιζερ ξεκίνησε με την θεωρία του Einstein το 1917 και χρησιμοποιεί τα ακρωνύμια του «Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation» (George, 2009). Οι πρώτες αναφορές για τη συγκόλληση με λέιζερ γίνονται το 1970 και αφορά τα θερμοπλαστικά όπου και μέχρι τα τέλη του 1990 χρησιμοποιήθηκε για μαζική παραγωγή (Michael J. Troughton, 2008). Το 1985 εφευρέθηκε και κατοχυρώθηκε με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας η συγκόλληση με λέιζερ μέσω οπτικής ίνας από τον Marshall G. (Marshall G. Jones & Gregory Georgalas, 1985).

## 3. Υλικά

Συγκόλληση ορίζεται η συνένωση μετάλλων με σκοπό το τελικό κομμάτι μετάλλου να έχει την ίδια αντοχή με αυτά που συνδέθηκαν. Προϋποθέτει να είναι κατάλληλα για συγκόλληση, καθώς υπάρχουν μέταλλα που δεν είναι δυνατόν να συγκολληθούν, και άλλα τα οποία χρειάζονται ειδική μεταχείριση. Η ιδιότητα των μετάλλων που απασχολεί τις συγκολλήσεις είναι η διαστολή τους κατά τη θέρμανση και η συστολή τους κατά την ψύξη, γιατί προκαλεί τάσεις και παραμορφώσεις των τεμαχίων (Αλεξίου Γ. Καρμίρη, 1997). Κάποια βασικά στοιχεία για τα μέταλλα που θα απασχολήσουν τη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Μέταλλο ή Κράμα (Χημικό Σύμβολο)	Ειδικό Βάρος (g/cm <sup>3</sup> )	Θερμοκρασία Τήξεως σε °C
Χάλυβας (Fe-C)	7,85	1400-1500
Αλουμίνιο (Al)	2,7	600-660
Τιτάνιο (Ti)	4,54	1668
Χαλκός (Cu)	8,9	1084
Μαγνήσιο (Mg)	1,74	657
Νικέλιο (Ni)	8,9	1453

Πίνακας 3.1. Μέταλλα και Ιδιότητες (Metal Supermarkets, 2020)

## 3.1 Χάλυβας (Steel)

### 3.1.1 Γενικά Χαρακτηριστικά Χάλυβα

Ο Χάλυβας (ή ατσάλι) είναι ένα κράμα σιδήρου – άνθρακα και είναι το πιο διαδεδομένο κατασκευαστικό μέταλλο. Στη σύσταση του χάλυβα μπορεί συχνά να υπάρξει μαγγάνιο, νικέλιο και χρώμιο. Η σύγχρονη ιστορία του ξεκίνησε από την ανακάλυψη της διαδικασίας Bessemer, που πήρε το όνομά της από τον εφευρέτη της, Henry Bessemer, το 1856 (Joseph S. Spoerl, 2004). Η διαδικασία αυτή ήταν η πρώτη βιομηχανική μαζική διαδικασία παραγωγής χάλυβα από λιωμένο χυτοσίδηρο. Ο χάλυβας χρησιμοποιείται σε πάρα πολλούς τομείς, από την αρχιτεκτονική και τη ναυπηγική μέχρι και στην κατασκευή χειρουργικών εργαλείων. Παρασκευάζεται με την εξανθράκωση του χυτοσιδήρου όπου ταυτόχρονα απομακρύνεται το θείο και ο φώσφορος, τα οποία είναι επιβλαβή για τον χάλυβα και τον κάνουν πιο ψαθυρό.

Η συγκόλληση γίνεται ευκολότερη, όσο λιγότερη είναι η περιεκτικότητά του σε άνθρακα. Ο χαμηλής περιεκτικότητας σε άνθρακα χάλυβας, είναι ίσως το πιο συγκολλητικό μέταλλο. Λόγω της σύστασής του και σε συνδυασμό με ίχνη άλλων στοιχείων μέσα σε αυτή, ο χάλυβας γίνεται πιο όλκιμος. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την αποφυγή του σχηματισμού εύθραυστων μικροδομών και την εξάλειψη της πιθανότητας αποτυχίας της συγκόλλησης.

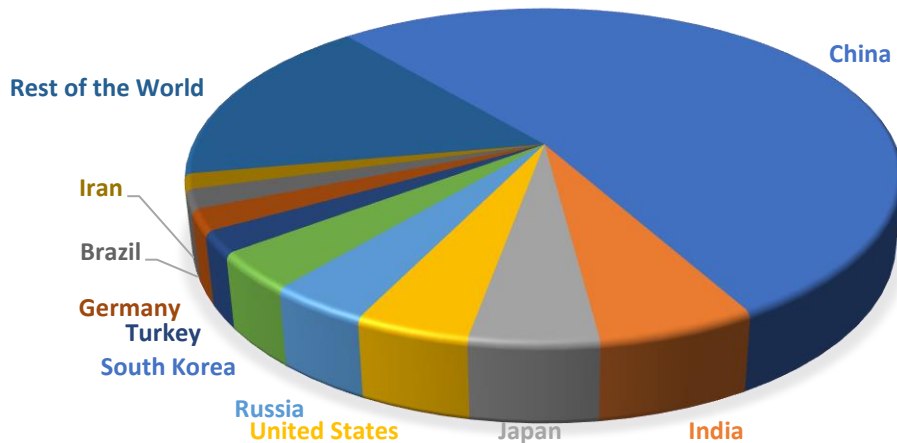
### 3.1.2 Παραγωγή Χάλυβα στον κόσμο

Βάσει στοιχείων που συλλέχθηκαν από το USGS (United States Geological Survey, 2023c) η παραγωγή ακατέργαστου χάλυβα ανά χιλιάδες τόνους τις χρονιές 2017 με 2021 φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Country	2017	2018	2019	2020	2021
China	870.740,0	920.027,0	995.419,0	1.064.767,0	1.033.000,0
India	101.455,0	109.272,0	111.351,0	100.256,0	118.234,0
Japan	104.661,0	104.319,0	99.284,0	83.186,0	96.334,0
United States	81.600,0	86.600,0	87.800,0	72.700,0	85.800,0
Russia	71.300,0	71.682,0	71.729,0	71.621,0	75.585,0
Korea, Republic of	71.030,0	72.463,0	71.411,0	67.098,0	70.556,0
Turkey	37.524,0	37.312,0	33.743,0	35.810,0	40.360,0
Germany	43.297,0	42.435,0	39.627,0	35.658,0	40.066,0
Brazil	34.778,0	35.407,0	32.236,0	31.415,0	36.039,0
Iran	21.236,0	24.520,0	25.609,0	28.990,0	28.460,0
World	1.740.000,0	1.820.000,0	1.870.000,0	1.880.000,0	1.950.000,0

Πίνακας 3.2. World Production of Raw Steel by Country (2017-2021)

## TOTAL PRODUCTION OF RAW STEEL 2021



Διάγραμμα 3.1. Total Production of Raw Steel 2021

Όπως παρατηρείται στο διάγραμμα 3.1 αλλά και στον Πίνακα 3.2, η Κίνα έχει πάνω από το 50% της παραγωγής του χάλυβα παγκοσμίως (53%). Στη δεύτερη και τρίτη θέση βρίσκονται επίσης Ασιατικές χώρες, η Ινδία και η Ιαπωνία, αλλά με εμφανώς πολύ μικρότερη παραγωγή από την Κίνα. Το ποσοστό της παραγωγής του χάλυβα από χώρες που δεν εμφανίζονται στο διάγραμμα είναι 17%. Η Ελλάδα στη συγκεκριμένη κατάταξη καταλαμβάνει την 47<sup>η</sup> θέση, με μόλις 1.498 χιλιάδες τόνους το 2021.

## 3.2 Αλουμίνιο (Aluminum)

### 3.2.1 Γενικά Χαρακτηριστικά Αλουμινίου

Το αλουμίνιο είναι ένα χημικό στοιχείο με το σύμβολο «Al» και με ατομικό αριθμό 13. Έχει χαμηλότερη πυκνότητα από τα υπόλοιπα κοινά μέταλλα, περίπου το ένα τρίτο από αυτό του χάλυβα. Η ανακάλυψή του έγινε το 1825, από τον Δανό, καθηγητή φυσικής στο University of Copenhagen, Hans Christian Ørsted, ο οποίος ήταν ο πρώτος που απομόνωσε με επιτυχία το αλουμίνιο σε καθαρή μορφή (Halvor Kvande, 2008). Η χρήση του είναι ευρεία καθώς χρησιμοποιείται στα μέσα μεταφοράς, στις συσκευασίες των προϊόντων, στα κουφώματα των κτιριακών εγκαταστάσεων, σε μαγειρικά σκεύη, και σε ηλεκτρονικές συσκευές.

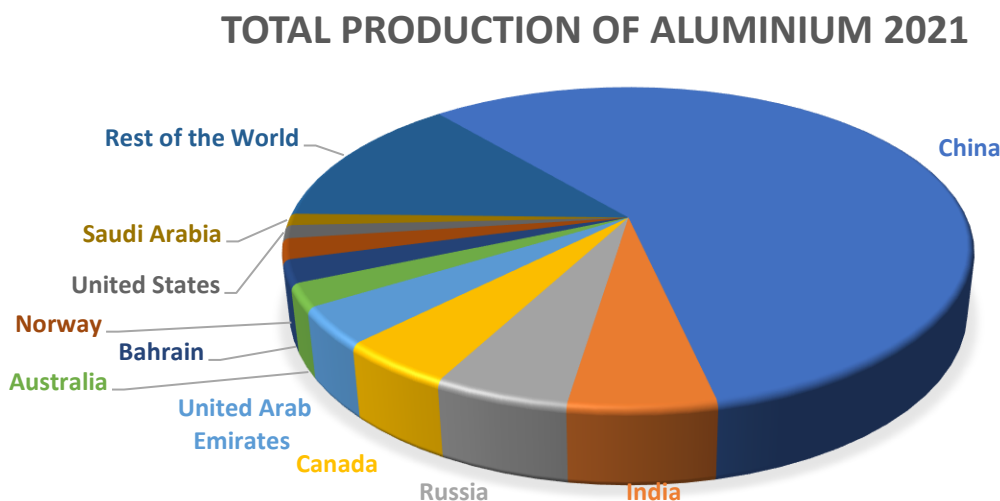
Η συγκόλληση του αλουμινίου είναι μία πιο σύνθετη διαδικασία σε σύγκριση με τα υπόλοιπα μέταλλα καθώς έχει χαμηλότερο σημείο τήξης από τα υπόλοιπα μέταλλα, οπότε εμφανίζει περισσότερες πιθανότητες να φθαρεί ή να λυγίσει από τις υψηλές θερμοκρασίες. Επιτυγχάνεται μόνο αν υπάρχει κάποιο υλικό πλήρωσης και αυτό όχι σε όλα τα είδη του αλουμινίου.

### 3.2.2 Παραγωγή Αλουμινίου στον κόσμο

Από στατιστικά στοιχεία που συλλέχθηκαν από το USGS (United States Geological Survey, 2023a), η παραγωγή αλουμινίου ανά χιλιάδες τόνους για τις χρονιές 2017 με 2021 φαίνονται στον Πίνακα 3.3.

Country	2017	2018	2019	2020	2021
China	32.273,0	35.802,0	35.044,0	37.080,0	38.900,0
India	3.269,0	3.675,0	3.640,0	3.558,0	3.967,0
Russia	3.583,0	3.627,0	3.637,0	3.639,0	3.640,0
Canada	3.212,0	2.923,0	2.854,0	3.119,0	3.137,0
United Arab Emirates	2.611,0	2.640,0	2.570,0	2.520,0	2.540,0
Australia	1.487,0	1.574,0	1.570,0	1.585,0	1.565,0
Bahrain	981,0	1.011,0	1.365,0	1.549,0	1.561,0
Norway	1.253,0	1.295,0	1.300,0	1.330,0	1.400,0
United States	741,0	891,0	1.093,0	1.012,0	889,0
Saudi Arabia	786,0	776,0	776,0	796,0	800,0
World	59.400,0	63.300,0	62.600,0	65.000,0	67.500,0

Πίνακας 3.3. World Production of Aluminium by Country (2017-2021)



Διάγραμμα 3.2. Total Production of Aluminium 2021

Όπως παρατηρείται και στο Διάγραμμα 3.2, η Κίνα καλύπτει και πάλι το συντριπτικά μεγαλύτερο ποσοστό στην παραγωγή αλουμινίου (58%). Ακολουθεί η Ινδία στη δεύτερη μεγαλύτερη παραγωγή, ενώ στην τρίτη και τέταρτη θέση βρίσκονται η Ρωσία και ο Καναδάς αντίστοιχα. Το ποσοστό της παραγωγής του αλουμινίου από χώρες που δεν εμφανίζονται στο διάγραμμα είναι 13%. Η Ελλάδα στην παραγωγή του αλουμινίου βρίσκεται στην 29<sup>η</sup> θέση.

### 3.3 Τιτάνιο (Titanium)

#### 3.3.1 Βασικά Χαρακτηριστικά Τιτανίου

Το Τιτάνιο είναι ένα χημικό στοιχείο με σύμβολο «Ti» και ατομικό αριθμό 22. Είναι πολύ ανθεκτικό, όλκιμο και με μικρή πυκνότητα. Ανακαλύφθηκε στην Αγγλία από τον William Gregor το 1791 και το όνομά του αποδόθηκε από τον Γερμανό χημικό Martin Heinrich Klaproth για τους τιτάνες της Ελληνικής μυθολογίας (Yunraj Gosavi et al., 2013). Χρησιμοποιείται σε πολλούς και διάφορους τομείς, όπως στην ιατρική, στην αεροδιαστημική βιομηχανία, στην αυτοκινητοβιομηχανία, σε στρατιωτικές εφαρμογές αλλά ακόμη και σε προϊόντα καθημερινής χρήσης.

Το τιτάνιο και τα κράματά του είναι σχετικά εύκολα στη συγκόλληση. Το πλεονέκτημα που διαθέτει το συγκεκριμένο μέταλλο είναι πως δεν υπόκειται σε διαδικασίες διάβρωσης. Εξ αιτίας της αντίδρασης του τιτανίου με το εξωτερικό περιβάλλον θεωρείται απαραίτητη η απομόνωσή του κυρίως από το οξυγόνο, το άζωτο και το υδρογόνο. Δεν συγκολλάται από όλες τις τεχνολογίες συγκόλλησης και συνήθως το αέριο προστασίας που χρησιμοποιείται είναι το καθαρό αργό.

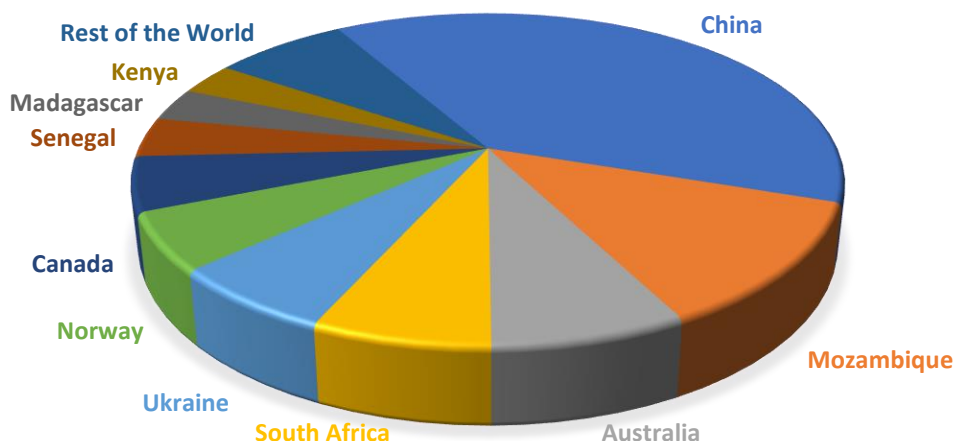
#### 3.3.2 Παραγωγή Τιτανίου στον κόσμο

Σύμφωνα με τα στατιστικά στοιχεία που συλλέχθηκαν από το USGS (United States Geological Survey, 2023f), η παραγωγή τιτανίου ανά χιλιάδες τόνους για τις χρονιές 2016 με 2020 καταγράφονται στον Πίνακα 3.4.

Country	2016	2018	2019	2020	2020
China	3.800.000,0	3.830.000,0	4.200.000,0	4.600.000,0	5.100.000,0
Mozambique	1.348.111,0	1.206.556,0	1.291.905,0	1.450.975,0	1.613.969,0
Australia	1.700.000,0	1.800.000,0	1.600.000,0	1.200.000,0	1.000.000,0
South Africa	920.000,0	1.110.000,0	1.060.000,0	1.008.000,0	915.000,0
Ukraine	450.000,0	492.000,0	852.275,0	918.543,0	872.953,0
Norway	590.000,0	670.000,0	590.000,0	640.000,0	740.000,0
Canada	700.000,0	800.000,0	700.000,0	800.000,0	700.000,0
Senegal	426.013,0	502.416,0	516.543,0	501.732,0	509.100,0
Madagascar	267.962,0	469.326,0	381.924,0	461.800,0	424.000,0
Kenya	557.191,0	561.773,0	548.848,0	420.143,0	410.643,0
World	12.099.000,0	12.718.000,0	12.629.000,0	12.967.000,0	13.252.000,0

Πίνακας 3.4. World Production of Titanium Minerals by Country (2016-2020)

## TOTAL PRODUCTION OF TITANIUM 2020



Διάγραμμα 3.3. Total Production of Titanium Minerals 2020

Η παραγωγή του τιτανίου όπως γίνεται αντιληπτό από το Διάγραμμα 3.3, ανήκει και πάλι στην Κίνα που βρίσκεται στην πρώτη θέση, αλλά αυτή τη φορά με μικρότερο ποσοστό παγκόσμια (38%). Σε αντίθεση με τα δύο προηγούμενα μέταλλα, στη δεύτερη και τρίτη θέση βρίσκονται χώρες εκτός της Ασίας, με την Μοζαμβίκη από την Ανατολική Αφρική στη δεύτερη θέση και την Αυστραλία από την Ωκεανία στην 3<sup>η</sup> θέση. Το ποσοστό της παραγωγής του τιτανίου από χώρες που δεν εμφανίζονται στο διάγραμμα είναι 7%.

### 3.4 Χαλκός (Copper)

#### 3.4.1 Βασικά Χαρακτηριστικά Χαλκού

Ο χαλκός είναι ένα μέταλλο με σύμβολο «Cu» και ατομικό αριθμό 29. Είναι όλκιμο υλικό και με μεγάλη ελασιμότητα. Η εποχή του Χαλκού είναι το προϊστορικό στάδιο μεταξύ του έτους 3.000 π.Χ. και 1.200 π.Χ. Εκείνη την εποχή ο χαλκός άρχισε να χρησιμοποιείται όλο και περισσότερο για την κατασκευή διαφόρων αντικειμένων και όπλων, αρχίζοντας να παραμερίζει την πέτρα. Την ονομασία του την πήρε από την λατινική λέξη «cuprum» που σημαίνει Κύπρος. Χρησιμοποιείται κυρίως σε ηλεκτρικό εξοπλισμό, όπως σε καλώδια και κινητήρες, και αυτό γιατί έχει καλή μεταφορά στη θερμότητα και στον ηλεκτρισμό. Χρησιμοποιείται επίσης στον κατασκευαστικό τομέα, δηλαδή σε σκεπές και σε σωλήνες, αλλά και σε βιομηχανικά μηχανήματα.

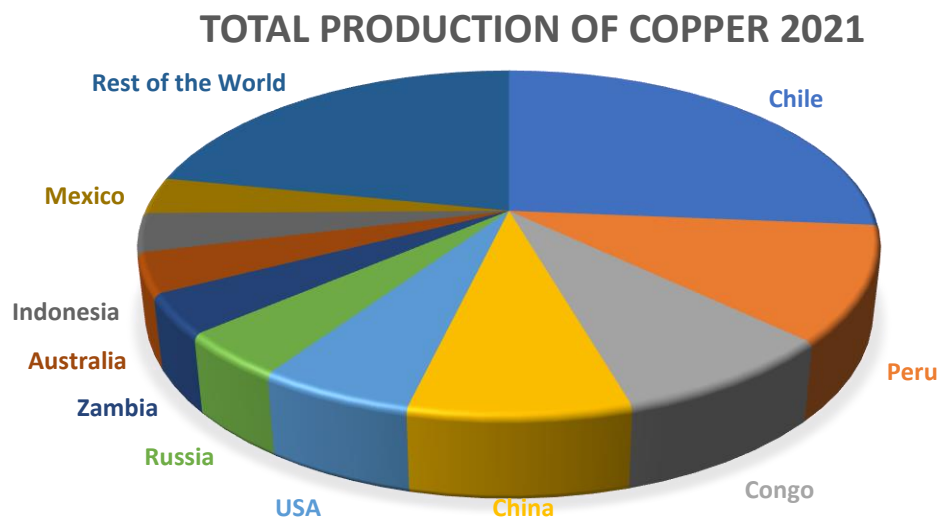
Μπορούν να συγκολληθούν σχεδόν όλα τα κράματα χαλκού και ο καθαρός χαλκός, χρησιμοποιώντας τεχνολογίες με ηλεκτρικό τόξο. Το πιο συνηθισμένο μέταλλο που χρησιμοποιείται για την ένωση του χαλκού είναι ο κασσίτερος, ο οποίος έχει σημείο τήξης τους 232°C.

### 3.4.2 Παραγωγή Χαλκού στον κόσμο

Από στατιστικά στοιχεία που συλλέχθηκαν από το USGS (United States Geological Survey, 2023b), η παραγωγή τιτανίου ανά χιλιάδες τόνους για τις χρονιές 2017 με 2021 φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Country	2017	2018	2019	2020	2021
Chile	5.503.500,0	5.831.600,0	5.787.400,0	5.733.100,0	5.624.900,0
Peru	2.445.584,0	2.437.035,0	2.455.440,0	2.153.952,0	2.299.277,0
Congo	1.094.730,0	1.225.607,0	1.370.500,0	1.601.600,0	1.797.836,0
China	1.706.400,0	1.624.900,0	1.683.700,0	1.723.100,0	1.750.000,0
USA	1.260.000,0	1.220.000,0	1.260.000,0	1.200.000,0	1.230.000,0
Russia	761.100,0	870.500,0	812.400,0	811.200,0	900.000,0
Zambia	829.700,0	887.300,0	799.900,0	852.700,0	800.696,0
Australia	849.000,0	911.000,0	925.000,0	885.000,0	795.955,0
Indonesia	600.160,0	608.071,0	350.777,0	505.377,0	775.000,0
Mexico	742.200,0	696.600,0	713.700,0	732.900,0	734.100,0
World	20.100.000	20.600.000	20.400.000	20.600.000	21.360.000

Πίνακας 3.5. World Production of Copper by Country (2017-2021)



Διάγραμμα 3.4. Total Production of Copper 2021

Στο Διάγραμμα 3.4 φαίνεται για πρώτη φορά η Κίνα να πέφτει από την πρώτη θέση στην παραγωγή κάποιου υλικού και να ηγείται η Χιλή με ποσοστό 26%. Στη δεύτερη θέση είναι επίσης μια χώρα της Νότιας Αφρικής, το Περού και στην τρίτη θέση το Κονγκό από την Αφρική. Η Κίνα έχει πέσει στην 4<sup>η</sup> θέση. Το ποσοστό της παραγωγής του χαλκού από χώρες που δεν εμφανίζονται στο διάγραμμα είναι 22%.

### 3.5 Μαγνήσιο (Magnesium)

#### 3.5.1 Βασικά Χαρακτηριστικά Μαγνησίου

Το μαγνήσιο είναι ένα χημικό στοιχείο με ατομικό αριθμό το 12 και χημικό σύμβολο το «Mg». Πήρε την ονομασία του από τη Μαγνησία, έναν από τους τέσσερις νομούς της Θεσσαλίας στην Ελλάδα, όπου και εκεί βρέθηκε για πρώτη φορά. Απομονώθηκε για πρώτη φορά το 1808 από τον Sir Humphry Davy με την ηλεκτρόλυση ενός μίγματος οξειδίου του μαγνησίου και οξειδίου του υδραργύρου (Kammer Catrin, 2000). Χρησιμοποιείται κυρίως στη δημιουργία κραμάτων με άλλα μέταλλα όπως το αλουμίνιο, αλλά και το καθαρό μαγνήσιο μπορεί να αξιοποιηθεί από διάφορες κατασκευαστικές εφαρμογές στην αυτοκινητοβιομηχανία, στην κατασκευή ειδών τεχνολογίας και ηλεκτρικών συσκευών και στην κατασκευή αεροδιαστημικών σκαφών.

Η συγκόλληση του μαγνησίου μπορεί να συγκριθεί με αυτή του αλουμινίου, καθώς και τα δύο διαθέτουν χαμηλό σημείο τήξης σε σύγκριση με τα υπόλοιπα μέταλλα. Χρειάζεται και αυτό προστασία με κάποιο αδρανές αέριο, λόγω του κινδύνου εμφάνισης οξειδίου του μαγνησίου στην επιφάνεια κατά τη διάρκεια της συγκόλλησης.

#### 3.5.2 Παραγωγή Μαγνησίου στον κόσμο

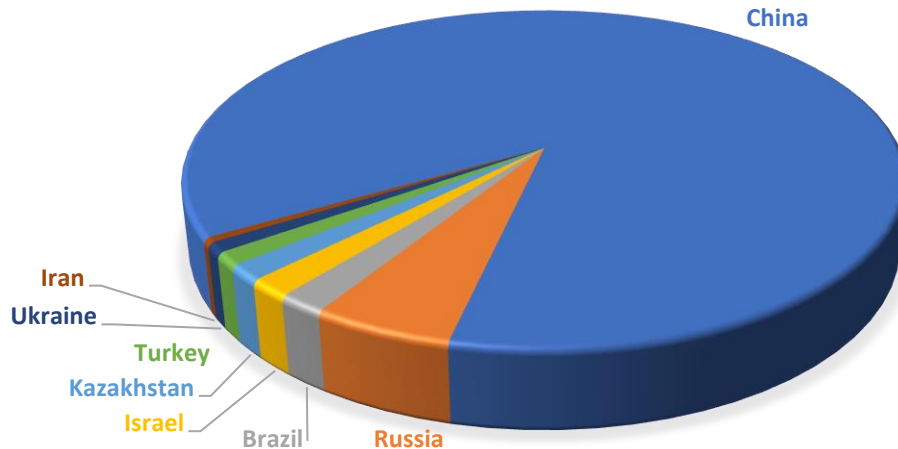
Από στατιστικά στοιχεία που συλλέχθηκαν από το USGS (United States Geological Survey, 2023d), η παραγωγή τιτανίου ανά χιλιάδες τόνους για τις χρονιές 2017 με 2021, φαίνονται στον Πίνακα 3.6.

Country	2017	2018	2019	2020	2021
China	904.600,0	863.000,0	910.000,0	886.000,0	930.000,0
Russia	65.000,0	67.000,0	67.000,0	48.000,0	58.000,0
Brazil	20.000,0	20.000,0	20.000,0	18.000,0	20.000,0
Israel	23.000,0	21.000,0	21.3500,0	18.500,0	18.200,0
Kazakhstan	12.000,0	17.000,0	25.000,0	16.000,0	16.000,0
Turkey	14.000,0	4.000,0	7.000,0	12.000,0	13.000,0
Ukraine	7.300,0	7.000,0	8.000,0	6.000,0	10.000,0
Iran	3.000,0	1.000,0	--	--	5.000,0
United States	--	--	--	--	--
World	1.050.000,0	1.000.000,0	1.060.000,0	1.000.000,0	1.070.000,0

Πίνακας 3.6. World Production of Magnesium by Country (2017-2021)



## TOTAL PRODUCTION OF MAGNESIUM 2021



Διάγραμμα 3.5. Total Production of Magnesium 2021

Λόγω της απουσίας των στατιστικών στην USGS για την παραγωγή μαγνησίου από τις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής, ενδέχεται τα δεδομένα του Πίνακα 3.6 και του Διαγράμματος 3.5 να απέχουν από την πραγματικότητα. Στα δεδομένα που είναι διαθέσιμα, παρατηρείται πως η Κίνα καλύπτει το 87% της παγκόσμιας παραγωγής που γνωρίζουμε, με δεύτερη τη Ρωσία σε σημαντικά μικρότερη παραγωγή με 5%.

### 3.6 Νικέλιο (Nickel)

#### 3.6.1 Βασικά Χαρακτηριστικά Νικελίου

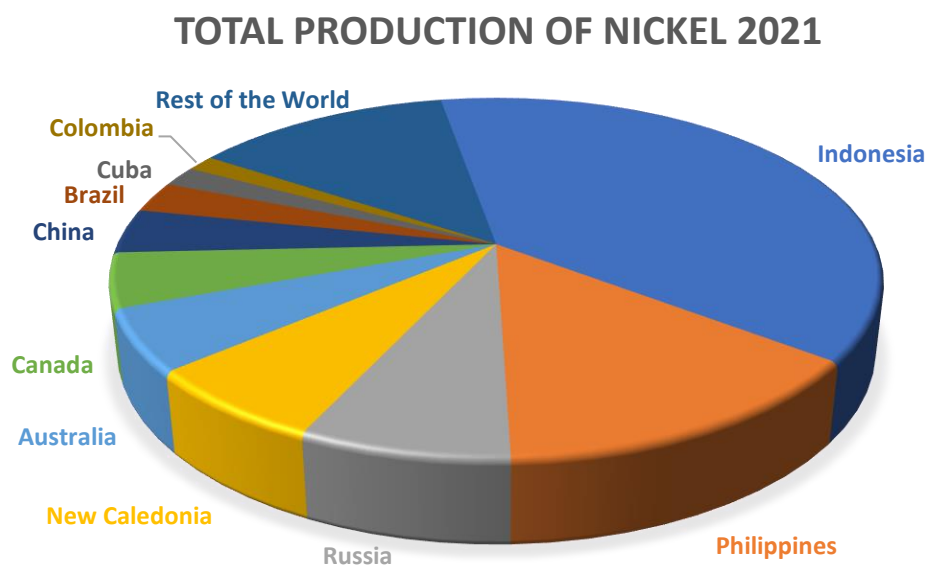
Το νικέλιο είναι ένα μέταλλο με χημικό σύμβολο «Ni» και ατομικό αριθμό 28. Είναι όλκιμο υλικό και σκληρό όπως ο σίδηρος. Εφευρέθηκε και απομονώθηκε για πρώτη φορά το 1751 από τον Axel Fredrik Cronstedt (Parkinson, 2001). Την ονομασία του την πήρε από την γερμανική λέξη «Kupfernickel», το οποίο σημαίνει ο χαλκός του Old Nick. Ο Old Nick ήταν το όνομα από έναν δαίμονα στη Σαξονική μυθολογία και χρησιμοποιήθηκε και ως ένα κοινό όνομα για τον διάβολο. Ο λόγος που του έδωσαν αυτήν την ονομασία ήταν το ότι εξέπεμπε τοξικές αναθυμιάσεις όταν θερμαινόταν (Iyaka, 2011). Η κύρια χρήση του είναι για κράματα με χάλυβες, αφού βοηθάει στη σκλήρυνση και στην ανθεκτικότητα του. Μικρότερες χρήσεις του είναι η επινικέλωση διαφόρων υλικών για την προστασία από τη διάβρωση, η κατασκευή εργαλείων, η κατασκευή νομισμάτων και η κατασκευή ηλεκτρικών συσκευών.

### 3.6.2 Παραγωγή Νικελίου στον κόσμο

Από στατιστικά στοιχεία που συλλέχθηκαν από το USGS (United States Geological Survey, 2023e), η παραγωγή τιτανίου ανά χιλιάδες τόνους για τις χρονιές 2017 με 2021 φαίνονται στον Πίνακα 3.7.

Country	2017	2018	2019	2020	2021
Indonesia	355.000,0	606.000,0	853.000,0	771.000,0	1.040.000,0
Philippines	339.377,0	344.966,0	323.325,0	334.000,0	387.000,0
Russia	267.300,0	272.300,0	278.700,0	283.000,0	205.000,0
New Caledonia	215.382,0	216.225,0	208.185,0	200.000,0	186.000,0
Australia	185.466,0	160.022,0	158.751,0	169.000,0	151.000,0
Canada	206.354,0	177.867,0	181.410,0	167.000,0	134.000,0
China	102.300,0	110.000,0	120.000,0	120.000,0	109.000,0
Brazil	76.800,0	74.400,0	60.600,0	77.100,0	76.000,0
Cuba	52.800,0	52.200,0	49.200,0	51.600,0	49.900,0
Colombia	45.510,0	47.700,0	45.000,0	36.094,0	38.300,0
World	2.200.000,0	2.400.000,0	2.610.000,0	2.510.000,0	2.730.000,0

Πίνακας 3.7. World Production of Nickel by Country (2017-2021)

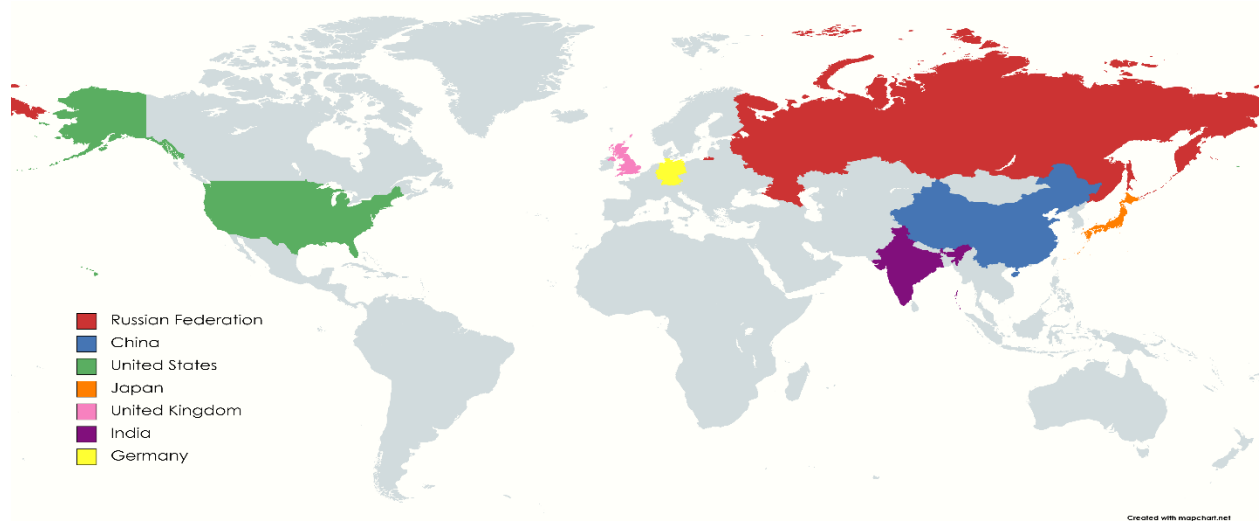


Διάγραμμα 3.6. Total Production of Nickel 2021

Το Διάγραμμα 3.6 έχει επίσης πολύ ενδιαφέρον, καθώς μας δείχνει πως στο Νικέλιο πρωτοπορούν χώρες της Ασίας εκτός της Κίνας, της Ινδίας και της Ιαπωνίας. Πρώτη βρίσκεται η Ινδονησία με ποσοστό 38%, ενώ στη δεύτερη σειρά στην κατάταξη είναι οι Φιλιππίνες με ποσοστό 8%. Το ποσοστό της παραγωγής του νικελίου από χώρες που δεν εμφανίζονται στο διάγραμμα είναι 13%.

## 4. Χώρες υπό εξέταση

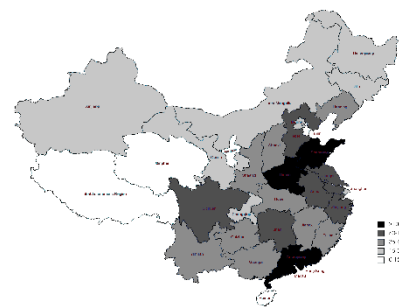
Για τις ανάγκες αυτής της διπλωματικής, συλλέχθηκαν δεδομένα ανάλογα με τις χώρες που συγκεντρώνονται τα περισσότερα άρθρα με θέμα τις τεχνολογίες και τα μέταλλα των συγκολλήσεων. Οι 7 χώρες που είχαν τα περισσότερα αποτελέσματα και θα ασχοληθούμε είναι η Κίνα, η Ιαπωνία, οι Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής, η Ινδία, η Γερμανία, το Ηνωμένο Βασίλειο και η Ρωσία. Σε αυτό το κεφάλαιο θα αναλυθούν κάποια γενικά χαρακτηριστικά των συγκεκριμένων χωρών, η οικονομική τους κατάσταση και η βιομηχανία τους ώστε να συγκριθούν με τα αποτελέσματα.



Εικόνα 4.1. Παγκόσμιος Χάρτης με τις Χώρες που ερευνώνται

### 4.1 Κίνα (China)

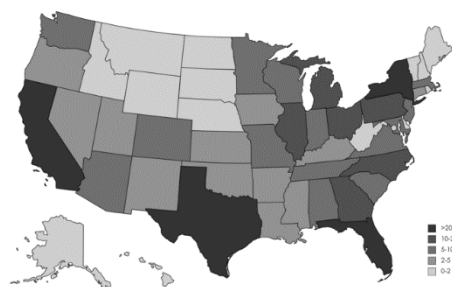
Η Κίνα είναι χώρα της Ανατολικής Ασίας με πρωτεύουσα το Πεκίνο. Ο πληθυσμός της φτάνει τους 1,412 δισεκατομμύρια ανθρώπους, περίπου το 18% του πλανήτη, κάνοντάς την, τη δεύτερη πολυπληθέστερη χώρα στον πλανήτη μετά την Ινδία. Έχει έκταση 9.562.910 τετραγωνικά χιλιόμετρα, γεωγραφικά η τέταρτη μεγαλύτερη στον κόσμο μετά την Ρωσία, τον Καναδά και τις ΗΠΑ. Όλα τα παραπάνω είναι με βάση τα στοιχεία που διαθέτει η Παγκόσμια Τράπεζα (World Bank, 2022). Το ΑΕΠ της Κίνας ανέρχεται στα 31.010 δισεκατομμύρια δολάρια για το 2023, που την θέτει στην πρώτη θέση (International Monetary Fund, 2023). Κάποιες από τις κυριότερες βιομηχανίες της χώρας είναι η βιομηχανία χάλυβα και η παραγωγή ηλεκτρικών συσκευών.



Εικόνα 4.2. Χάρτης Πληθυσμού Κίνας

## 4.2 Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής (US of America)

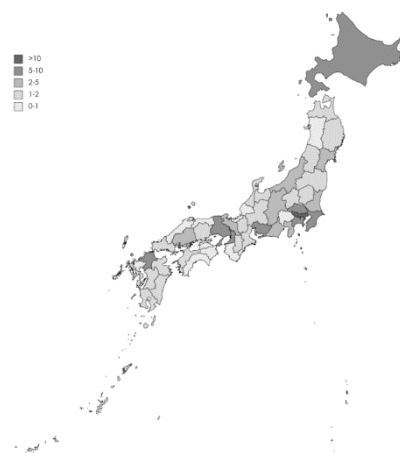
Οι Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής ή αλλιώς ΗΠΑ, αποτελούνται από 50 πολιτείες οι οποίες έχουν ως πρωτεύουσα την Ουάσιγκτον, ενώ η μεγαλύτερή της πολιτεία σε πληθυσμό είναι η Νέα Υόρκη. Έχει πληθυσμό περίπου 333,29 εκατομμύρια ανθρώπους και έκταση 9.831.510 τετραγωνικά χιλιόμετρα, τρίτη παγκόσμια και σε πληθυσμό και σε έκταση (World Bank, 2022). Το ΑΕΠ της χώρας ανέρχεται στα 26.850 δισεκατομμύρια δολάρια, δεύτερη οικονομικά δυνατότερη χώρα παγκοσμίως (International Monetary Fund, 2023). Έχει μεγάλη γκάμα βιομηχανιών, μέσα σε αυτή είναι η παραγωγή ηλεκτρικών συσκευών, η αυτοκινητοβιομηχανία και η αεροναυπηγική βιομηχανία.



Εικόνα 4.3. Χάρτης Πληθυσμού Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής

## 4.3 Ιαπωνία (Japan)

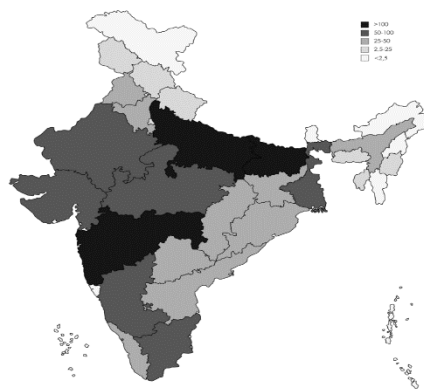
Η Ιαπωνία είναι μια νησιωτική χώρα της Ανατολικής Ασίας με πρωτεύουσα το Τόκιο. Ο πληθυσμός της αγγίζει περίπου τους 125,1 εκατομμύρια ανθρώπους, όπου την κάνει την ενδέκατη πολυπληθέστερη χώρα στον κόσμο και έχει έκταση 377.974 τετραγωνικά χιλιόμετρα (World Bank, 2022). Το ΑΕΠ της ανέρχεται στα 6.460 δισεκατομμύρια δολάρια, τέταρτη σε σχέση με τις υπόλοιπες χώρες (International Monetary Fund, 2023). Μερικές από τις γνωστές κατηγορίες της βιομηχανίας της είναι η αυτοκινητοβιομηχανία, η ρομποτική, η βιομηχανία κατασκευής αεροσκαφών, και η ηλεκτρονική βιομηχανία.



Εικόνα 4.4. Χάρτης Πληθυσμού Ιαπωνίας

#### 4.4 Ινδία (India)

Η Ινδία είναι μία χώρα της Νότιας Ασίας με πρωτεύουσα το Νέο Δελχί. Είναι η πολυπληθέστερη χώρα στον κόσμο με περίπου 1,417 δισεκατομμύρια κατοίκους αλλά η έβδομη σε έκταση καθώς περιορίζεται στα 3.287.260 τετραγωνικά χιλιόμετρα, μετατρέποντας την σε μία από τις χώρες με την μεγαλύτερη πυκνότητα κατοίκων ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο (World Bank, 2022). Το ΑΕΠ της ανέρχεται στα 13.030 δισεκατομμύρια δολάρια, παγκόσμια το τρίτο μεγαλύτερο (International Monetary Fund, 2023). Κάποιες από τις κύριες βιομηχανίες της χώρας είναι στον τομέα της κλωστοϋφαντουργίας, της πληροφορικής, της κατασκευής και της τεχνολογίας.



Εικόνα 4.5. Χάρτης Πληθυσμού Ινδίας

#### 4.5 Γερμανία (Germany)

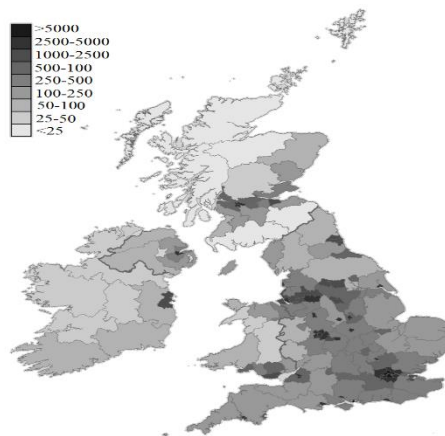
Η Γερμανία είναι χώρα της κεντρικής Ευρώπης με πρωτεύουσα το Βερολίνο. Αποτελείται από 84.080 χιλιάδες κατοίκους, περισσότερους από όλες τις υπόλοιπες χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Εκτείνεται στα 357.590 τετραγωνικά χιλιόμετρα, τέταρτη στην Ευρωπαϊκή Ένωση αλλά κατά πολύ μικρότερη σε σύγκριση με τις χώρες που μελετώνται στη διπλωματική εργασία, περίπου το 3,7% της Κίνας (World Bank, 2022). Το ΑΕΠ της είναι περίπου στα 5.550 δισεκατομμύρια δολάρια, βρισκόμενη πέμπτη στη σειρά σε σύγκριση με της υπόλοιπες χώρες του κόσμου (International Monetary Fund, 2023). Η βιομηχανία της στηρίζεται κυρίως στην κατασκευή αυτοκινήτων και στην τεχνολογία.



Εικόνα 4.6. Χάρτης Πληθυσμού Γερμανίας

#### 4.6 Ηνωμένο Βασίλειο (United Kingdom)

Το Ηνωμένο Βασίλειο ή αλλιώς Μεγάλη Βρετανία, είναι νησιωτικό κράτος της βορειοδυτικής Ευρώπης με πρωτεύουσα το Λονδίνο. Περιλαμβάνει τέσσερις χώρες, την Αγγλία, τη Σκωτία, την Ουαλία και τη Βόρεια Ιρλανδία. Αποτελείται από περίπου 66.971 χιλιάδες κατοίκους που ζουν σε έκταση 243.610 τετραγωνικά χιλιόμετρα (World Bank, 2022). Το ΑΕΠ της σύμφωνα με το Διεθνές Νομισματικό Ταμείο υπολογίζεται στα 3.850 δισεκατομμύρια δολάρια και είναι το χαμηλότερο σε σύγκριση με τις υπόλοιπες χώρες που ερευνώνται (International Monetary Fund, 2023). Οι κύριες βιομηχανίες της χώρας αφορούν την κλωστοϋφαντουργία, την ναυπηγία, την εξόρυξη άνθρακα και τη χαλυβουργία.



Εικόνα 4.7. Χάρτης Πληθυσμού Ηνωμένου Βασιλείου

#### 4.7 Ρωσία (Russian Federation)

Η Ρωσία είναι χώρα που βρίσκεται στη βόρεια Ευρασία με πρωτεύουσα τη Μόσχα. Κατοικείται από περίπου 143.556 χιλιάδες κατοίκους σε μία έκταση 17.098.250 τετραγωνικών χιλιομέτρων, μεγαλύτερη από όλες τις χώρες του πλανήτη, καλύπτοντας περίπου το ένα όγδοο της παγκόσμιας κατοικήσιμης γης (World Bank, 2022). Το ΑΕΠ της ανέρχεται στα 4.990 δισεκατομμύρια δολάρια, έκτη μεγαλύτερη παγκόσμια (International Monetary Fund, 2023). Οι γνωστότεροι βιομηχανικοί κλάδοι της χώρας είναι η αεροναυπηγία, η κατασκευή πυρομαχικών, η τεχνολογία και η διαχείριση ενέργειας.



Εικόνα 4.8. Χάρτης Πληθυσμού Ρωσίας

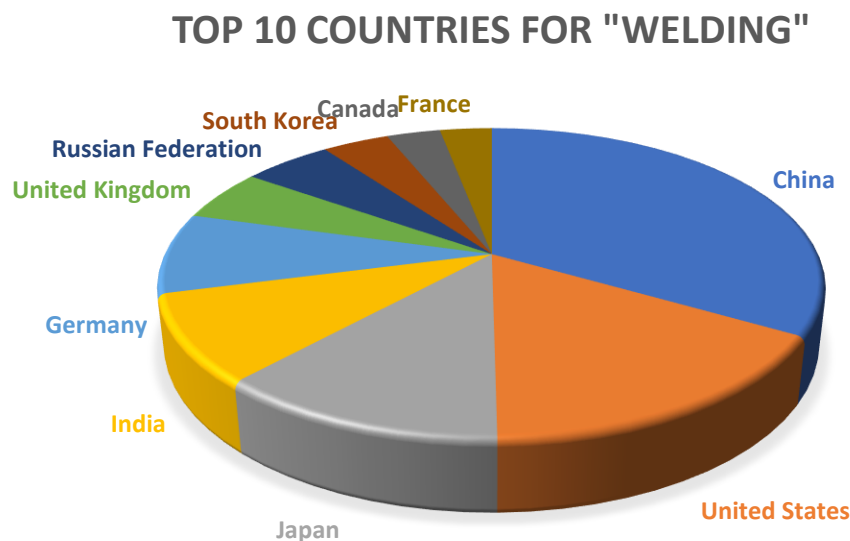
## 5. Μεθοδολογία της Έρευνας

Για την εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας συλλέχθηκαν κάποια δεδομένα από την ιστοσελίδα Scopus και σε αυτό το κεφάλαιο θα αναλυθεί ο τρόπος που έγινε η συλλογή των δεδομένων καθώς και οι λέξεις – κλειδιά που χρησιμοποιήθηκαν.

Ο λόγος που εκλέχθηκαν αυτές οι επτά χώρες για έρευνα έχει να κάνει με τις χώρες που ανάρτησαν τα περισσότερα άρθρα σχετικά με την συγκόλληση (Welding) για τις χρονολογίες από το 1970 έως και το 2022, όπως φαίνονται και στον Πίνακα 5.1 και το Διάγραμμα 5.1.

<b>Country</b>	<b>Num. of articles</b>
China	40038
United States	19746
Japan	14444
India	10976
Germany	10110
United Kingdom	6486
Russian Federation	6234
South Korea	4679
Canada	3758
France	3629

Πίνακας 5.1. Οι χώρες με τα περισσότερα δημοσιευμένα άρθρα για "Welding"



Διάγραμμα 5.1. Οι χώρες με τα περισσότερα δημοσιευμένα άρθρα για "Welding"

Εδώ παρατηρείται πως οι πρώτες επτά χώρες είναι η Κίνα, οι Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής, η Ιαπωνία, η Ινδία, η Γερμανία, το Ηνωμένο Βασίλειο και η Ρωσία. Επίσης είναι φανερό από τον Πίνακα 5.1 πως η Κίνα διαθέτει τα διπλάσια άρθρα από τη δεύτερη Αμερική.

Η αναζήτηση έγινε για έξι υλικά και για επτά τεχνολογίες συγκόλλησης. Παρακάτω παρατίθενται οι λέξεις που χρησιμοποιήθηκαν για την αναζήτηση των άρθρων ανάλογα με τη διερεύνηση:

**GMAW**

“mig OR mag OR gmaw OR metal inert gas OR metal active gas OR gas metal arc welding AND welding”

**GTAW**

“tig OR gtaw OR tungsten inert gas OR gas tungsten arc welding AND welding”

**SAW**

“submerged arc welding AND welding”

**FSW**

“fsw OR friction stir welding AND welding”

**SMAW**

“smaw OR mmaw OR shielded metal arc welding OR manual metal arc welding AND welding”

**PAW**

“paw OR plasma arc welding AND welding”

**LBW**

“lbw OR laser beam welding AND welding”

**Χάλυβας**

“steel AND welding”

**Αλουμίνιο**

“aluminum AND welding”

**Τιτάνιο**

“titanium AND welding”

**Χαλκός**

“copper AND welding”

**Μαγνήσιο**

“magnesium AND welding”

**Νικέλιο**

“nickel AND welding”



## 6. Πίνακες και Διαγράμματα

Για τη μελέτη των δημοσιευμένων άρθρων, τα αποτελέσματα χωρίστηκαν σε δύο μεγάλα κεφάλαια, ανάλογα με την έρευνα πάνω στις τεχνολογίες συγκόλλησης ή την έρευνα πάνω στα υλικά συγκόλλησης.

### 6.1 Τεχνολογίες Συγκολλήσεων

Για τη μελέτη των τεχνολογιών συγκολλήσεων, τα αποτελέσματα χωρίστηκαν σε τέσσερις μεγάλες κατηγορίες. Η πρώτη συγκρίνει τα άρθρα που δημοσιεύτηκαν για πέντε δεκαετίες από το 1973 μέχρι το 2022 από όλες τις χώρες, η δεύτερη τις χώρες που έδειξαν το περισσότερο ενδιαφέρον για τέσσερις δεκαετίες από το 1981 μέχρι το 2020, η τρίτη τις επτά χώρες που ερευνώνται για τέσσερις δεκαετίες από το 1983 μέχρι το 2022 και η τέταρτη αναλύει το ενδιαφέρον που παρουσιάζει η κάθε μία από τις επτά χώρες για κάθε τεχνολογία συγκόλλησης ξεχωριστά.

#### 6.1.1 Άρθρα ανά χρόνο παγκόσμια 1973-2022

Σε αυτό το κεφάλαιο, παρατίθενται πρώτα οι πίνακες με τις χρονολογίες με τα δημοσιευμένα άρθρα ανά τεχνολογία παγκόσμια και μετά τα διαγράμματα, καταλήγοντας σε ένα συγκεντρωτικό διάγραμμα που συγκρίνονται μεταξύ τους τα δημοσιευμένα άρθρα για τις χρονολογίες από 1973 έως το 2022.

**1973-2022 GMAW MIG MAG**

Year	Docs.	Year	Docs.	Year	Docs.	Year	Docs.	Year	Docs.
1973	151	1983	316	1993	568	2003	1184	2013	2281
1974	222	1984	397	1994	662	2004	1462	2014	2411
1975	214	1985	403	1995	690	2005	1618	2015	2606
1976	220	1986	455	1996	866	2006	1681	2016	2518
1977	194	1987	350	1997	924	2007	1833	2017	2849
1978	191	1988	361	1998	1049	2008	2282	2018	3217
1979	218	1989	432	1999	986	2009	2202	2019	3576
1980	180	1990	501	2000	1031	2010	2054	2020	3875
1981	238	1991	565	2001	1123	2011	2003	2021	4396
1982	267	1992	536	2002	1196	2012	1995	2022	4283

Πίνακας 6.1. Δημοσιευμένα Άρθρα για GMAW MIG MAG 1973-2022

**1973-2022 GTAW TIG**

Year	Docs.	Year	Docs.	Year	Docs.	Year	Docs.	Year	Docs.
1973	72	1983	108	1993	115	2003	239	2013	539
1974	66	1984	158	1994	137	2004	267	2014	590
1975	75	1985	181	1995	142	2005	311	2015	541
1976	76	1986	167	1996	155	2006	280	2016	620
1977	76	1987	131	1997	157	2007	360	2017	677
1978	67	1988	123	1998	184	2008	428	2018	764
1979	72	1989	140	1999	175	2009	404	2019	859
1980	77	1990	104	2000	166	2010	469	2020	758
1981	100	1991	108	2001	178	2011	500	2021	789
1982	107	1992	96	2002	251	2012	497	2022	815

*Πίνακας 6.2. Δημοσιευμένα Άρθρα για GTAW TIG 1973-2022***1973-2022 SAW**

Year	Docs.	Year	Docs.	Year	Docs.	Year	Docs.	Year	Docs.
1973	62	1983	77	1993	38	2003	53	2013	133
1974	59	1984	107	1994	40	2004	48	2014	131
1975	92	1985	92	1995	36	2005	56	2015	110
1976	69	1986	108	1996	64	2006	61	2016	122
1977	69	1987	83	1997	51	2007	84	2017	101
1978	84	1988	56	1998	47	2008	83	2018	137
1979	67	1989	71	1999	34	2009	88	2019	125
1980	68	1990	30	2000	57	2010	106	2020	142
1981	65	1991	45	2001	41	2011	112	2021	114
1982	84	1992	24	2002	53	2012	117	2022	128

*Πίνακας 6.3. Δημοσιευμένα Άρθρα για SAW 1973-2022***1973-2022 FSW**

Year	Docs.	Year	Docs.	Year	Docs.	Year	Docs.	Year	Docs.
1973	8	1983	3	1993	7	2003	199	2013	803
1974	5	1984	10	1994	9	2004	210	2014	987
1975	9	1985	7	1995	14	2005	336	2015	961
1976	7	1986	9	1996	16	2006	313	2016	1056
1977	11	1987	3	1997	28	2007	436	2017	1143
1978	11	1988	8	1998	41	2008	416	2018	1457
1979	4	1989	2	1999	27	2009	526	2019	1741
1980	6	1990	9	2000	41	2010	576	2020	1572
1981	4	1991	6	2001	85	2011	596	2021	1476
1982	5	1992	7	2002	117	2012	680	2022	1767

*Πίνακας 6.4. Δημοσιευμένα Άρθρα για FSW 1973-2022*

**1973-2022 SMAW MMAW**

Year	Docs.	Year	Docs.	Year	Docs.	Year	Docs.	Year	Docs.
1973	37	1983	65	1993	27	2003	58	2013	115
1974	43	1984	61	1994	29	2004	60	2014	130
1975	46	1985	63	1995	33	2005	102	2015	113
1976	53	1986	85	1996	52	2006	64	2016	106
1977	35	1987	50	1997	57	2007	92	2017	133
1978	47	1988	52	1998	59	2008	108	2018	153
1979	42	1989	45	1999	49	2009	122	2019	146
1980	30	1990	34	2000	46	2010	131	2020	169
1981	31	1991	37	2001	34	2011	92	2021	142
1982	48	1992	20	2002	69	2012	110	2022	139

*Πίνακας 6.5. Δημοσιευμένα Άρθρα για SMAW MMAW 1973-2022***1973-2022 PAW**

Year	Docs.	Year	Docs.	Year	Docs.	Year	Docs.	Year	Docs.
1973	26	1983	32	1993	45	2003	74	2013	188
1974	35	1984	59	1994	47	2004	72	2014	200
1975	39	1985	55	1995	49	2005	94	2015	146
1976	35	1986	48	1996	49	2006	112	2016	142
1977	25	1987	42	1997	55	2007	122	2017	183
1978	24	1988	32	1998	65	2008	135	2018	210
1979	20	1989	33	1999	52	2009	167	2019	239
1980	28	1990	28	2000	43	2010	158	2020	203
1981	24	1991	24	2001	60	2011	162	2021	199
1982	32	1992	25	2002	106	2012	182	2022	189

*Πίνακας 6.6. Δημοσιευμένα Άρθρα για PAW 1973-2022***1973-2022 LBW**

Year	Docs.	Year	Docs.	Year	Docs.	Year	Docs.	Year	Docs.
1973	17	1983	54	1993	162	2003	418	2013	697
1974	41	1984	85	1994	161	2004	432	2014	630
1975	23	1985	103	1995	152	2005	494	2015	704
1976	15	1986	93	1996	235	2006	440	2016	821
1977	18	1987	70	1997	319	2007	515	2017	828
1978	10	1988	56	1998	214	2008	619	2018	989
1979	27	1989	73	1999	190	2009	669	2019	899
1980	22	1990	55	2000	290	2010	711	2020	704
1981	23	1991	64	2001	229	2011	733	2021	619
1982	37	1992	78	2002	458	2012	680	2022	902

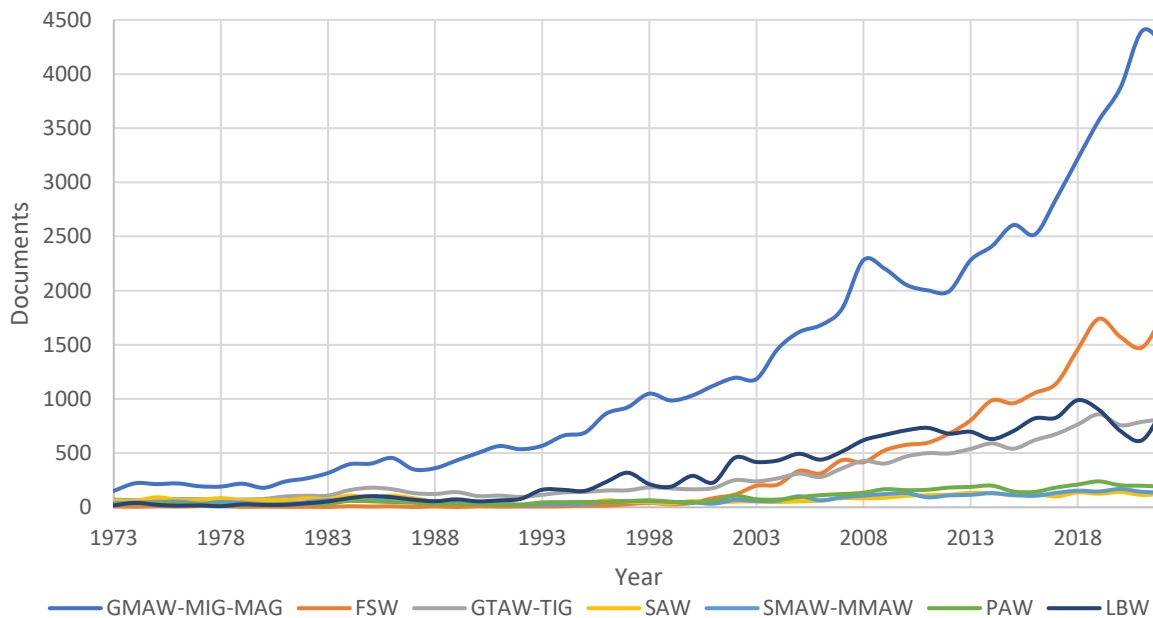
*Πίνακας 6.7. Δημοσιευμένα Άρθρα για LBW 1973-2022*

### Συνολικά Άρθρα για κάθε Τεχνολογία 1970-2022

Technology	Documents
GMAW MIG MAG	65.832
GTAW TIG	14.471
SAW	3.924
FSW	17.770
SMAW MMAW	3.664
PAW	4.414
LBW	16.878

Πίνακας 6.8. Συνολικά Δημοσιευμένα Άρθρα για κάθε τεχνολογία 1973-2022

### Each Kind of Technology from 1973 to 2022



Διάγραμμα 6.1. Δημοσιευμένα Άρθρα για κάθε τεχνολογία 1973-2022

Από τον Πίνακα 6.8 αλλά και από το Διάγραμμα 6.1 παρατηρείται πως η τεχνολογία Gas Metal Arc Welding συγκεντρώνει το περισσότερο ενδιαφέρον καθ' όλη τη διάρκεια των τελευταίων πενήντα ετών, με συνολικά άρθρα σχεδόν τέσσερις φορές περισσότερα από τη δεύτερη πιο δημοσιευμένη τεχνολογία. Η τεχνολογία FSW έχει περισσότερα δημοσιευμένα άρθρα από την LBW από το 2013 και μετά, δείχνοντας μία προτίμηση στην έρευνα της συγκεκριμένης τεχνολογίας. Η τελευταία, μαζί με την τεχνολογία GTAW-TIG παρουσιάζουν παρόμοιο ενδιαφέρον για έρευνα, ενώ οι τεχνολογίες SAW, PAW και SMAW-MMAW μένουν σε χαμηλά επίπεδα ερευνητικότητας. Σε όλες τις τεχνολογίες εκτός της GMAW παρατηρείται μία μείωση στη δημοσίευση άρθρων το 2020, λογικά λόγω της πανδημίας του COVID-19, αλλά ήδη από την επόμενη χρονιά όλα τα άρθρα επιστρέφουν στην κανονική συχνότητα δημοσίευσης.

### 6.1.2 Άρθρα ανά δεκαετία σε κάθε χώρα 1981-2020

#### GMAW MIG MAG

1981-1990		1991-2000		2001-2010		2011-2020	
Country	Docs	Country	Docs	Country	Docs	Country	Docs
United States	866	United States	3170	United States	5309	China	7306
Japan	347	Germany	815	China	1921	United States	5941
Germany	174	Japan	806	Germany	1898	Germany	2672
Un. Kingdom	169	Un. Kingdom	655	Japan	1560	India	2149
Canada	98	France	434	Un. Kingdom	1382	Un. Kingdom	2042
France	84	Canada	433	Italy	947	Japan	1630
Italy	63	Italy	351	France	929	Italy	1462
Switzerland	47	Russian Fed.	276	Canada	748	France	1365
India	46	Australia	247	Spain	729	Spain	1249
Netherlands	46	Spain	217	India	589	Canada	1118

Πίνακας 6.9. Δημοσιευμένα Άρθρα για GMAW MIG MAG 1981-2020 ανά χώρα

#### GTAW TIG

1981-1990		1991-2000		2001-2010		2011-2020	
Country	Docs	Country	Docs	Country	Docs	Country	Docs
Japan	192	Japan	336	China	860	China	1963
United States	107	United States	326	Japan	437	India	1227
Un. Kingdom	30	Un. Kingdom	89	United States	418	United States	454
Germany	18	China	86	India	240	Japan	346
Canada	14	Germany	71	Germany	138	Iran	276
India	14	India	59	Un. Kingdom	101	Brazil	254
France	9	France	42	South Korea	97	Germany	223
Italy	8	South Korea	34	France	93	Un. Kingdom	195
Finland	7	Italy	27	Taiwan	79	South Korea	162
Netherlands	5	Sweden	25	Brazil	70	France	145

Πίνακας 6.10. Δημοσιευμένα Άρθρα για GTAW TIG 1981-2020 ανά χώρα

#### SAW

1981-1990		1991-2000		2001-2010		2011-2020	
Country	Docs	Country	Docs	Country	Docs	Country	Docs
Japan	56	United States	58	China	152	China	380
United States	34	Japan	54	United States	67	India	214
Un. Kingdom	22	Un. Kingdom	39	India	63	Japan	72
Canada	16	India	31	Un. Kingdom	46	Russian Fed.	63
Germany	10	Germany	28	Japan	44	Germany	62
India	10	Russian Fed.	17	Germany	33	United States	62
Sweden	9	Canada	16	South Korea	27	Un. Kingdom	43
Italy	5	Slovenia	14	Italy	25	Brazil	41
South Korea	4	Singapore	13	Sweden	25	South Korea	41
China	3	Sweden	12	Canada	24	Canada	33

Πίνακας 6.11. Δημοσιευμένα Άρθρα για SAW 1981-2020 ανά χώρα

### FSW

1981-1990		1991-2000		2001-2010		2011-2020	
Country	Docs	Country	Docs	Country	Docs	Country	Docs
No Documents		United States	92	United States	981	China	2607
		Un. Kingdom	29	Japan	460	India	2377
		Japan	19	China	418	United States	1514
		Canada	10	Un. Kingdom	248	Iran	841
		Spain	8	Germany	173	Japan	673
		Germany	7	Italy	171	Un. Kingdom	380
		Sweden	7	France	138	Canada	371
		Belgium	6	Canada	136	Germany	351
		China	4	India	135	Italy	346
		France	4	South Korea	110	Russian Fed.	272

Πίνακας 6.12. Δημοσιευμένα Άρθρα για FSW 1981-2020 ανά χώρα

### SMAW MMAW

1981-1990		1991-2000		2001-2010		2011-2020	
Country	Docs	Country	Docs	Country	Docs	Country	Docs
Un. Kingdom	40	United States	70	United States	130	India	267
Japan	32	India	42	China	101	China	219
United States	28	Japan	31	India	80	United States	97
Finland	19	Un. Kingdom	27	Japan	66	Brazil	88
Germany	15	Germany	24	South Korea	46	Russian Fed.	62
Denmark	8	Brazil	14	Germany	39	Japan	55
Sweden	8	Sweden	13	Un. Kingdom	34	Germany	46
India	7	China	12	Brazil	33	Indonesia	44
Canada	5	Argentina	9	Australia	21	Iran	41
France	4	Portugal	7	Taiwan	20	Turkey	29

Πίνακας 6.13. Δημοσιευμένα Άρθρα για SMAW MMAW 1981-2020 ανά χώρα

### PAW

1981-1990		1991-2000		2001-2010		2011-2020	
Country	Docs	Country	Docs	Country	Docs	Country	Docs
Japan	46	United States	121	China	346	China	806
United States	22	Japan	52	Japan	142	India	162
Germany	5	China	41	United States	135	Japan	153
India	3	Un. Kingdom	32	Germany	71	Germany	116
Russian Fed.	3	Germany	24	Australia	40	United States	93
Un. Kingdom	3	Russian Fed.	18	Un. Kingdom	38	Brazil	76
France	2	South Korea	17	India	36	Russian Fed.	65
Italy	2	Australia	11	Brazil	31	Australia	59
Poland	2	Finland	9	Spain	28	France	55
China	1	France	8	South Korea	27	Turkey	53

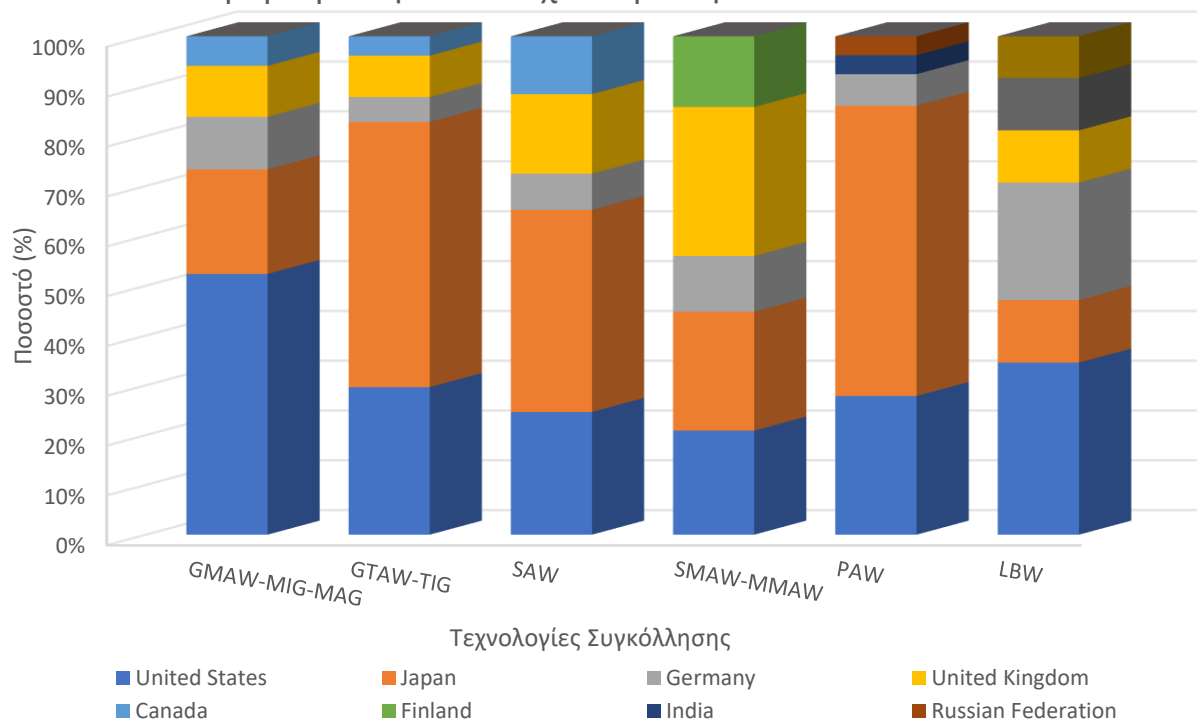
Πίνακας 6.14. Δημοσιευμένα Άρθρα για PAW 1981-2020 ανά χώρα

## LBW

1981-1990		1991-2000		2001-2010		2011-2020	
Country	Docs	Country	Docs	Country	Docs	Country	Docs
United States	66	United States	350	China	940	China	2755
Germany	45	Germany	264	Germany	853	Germany	1165
Japan	24	Japan	231	United States	676	United States	599
Un. Kingdom	20	Un. Kingdom	141	Japan	553	India	487
Italy	16	China	114	Un. Kingdom	233	Japan	444
France	6	France	84	Italy	195	Russian Fed.	300
Netherlands	6	Russian Fed.	67	France	185	Un. Kingdom	280
Austria	5	Italy	64	South Korea	171	Italy	256
Canada	3	Taiwan	42	Canada	151	South Korea	201
India	3	South Korea	39	India	100	Poland	185

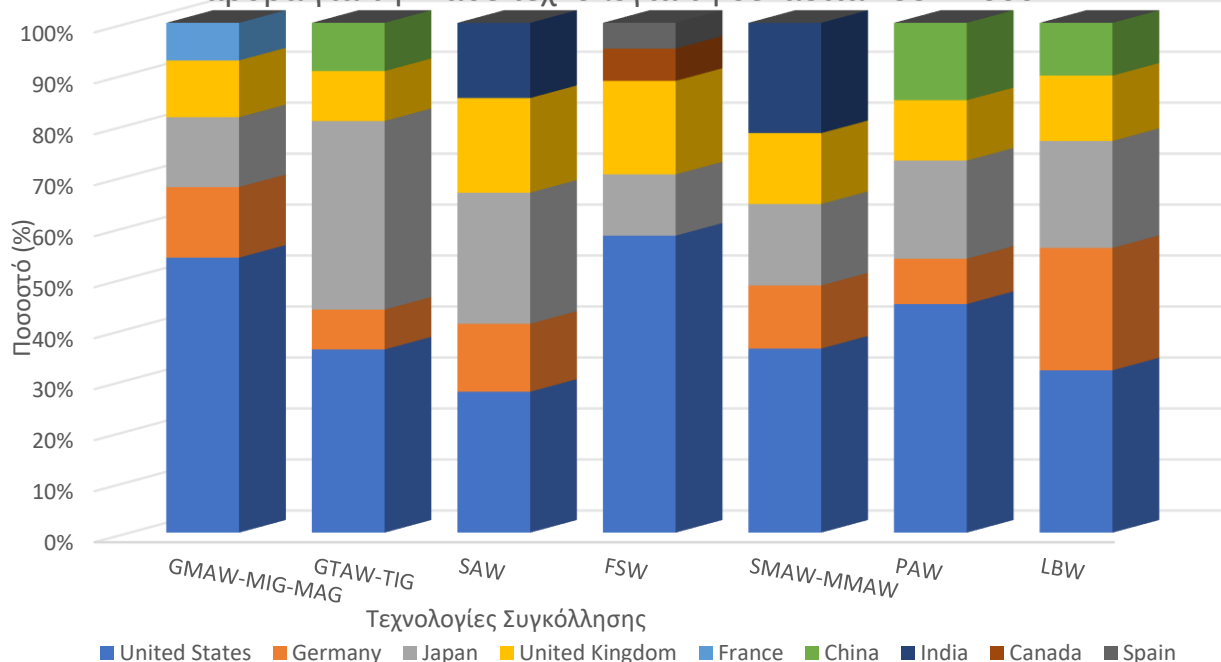
Πίνακας 6.15. Δημοσιευμένα Άρθρα για LBW 1981-2020 ανά χώρα

Το ποσοστό που καλύπτουν οι 5 χώρες με τα περισσότερα άρθρα για την κάθε τεχνολογία τη δεκαετία 1981-1990



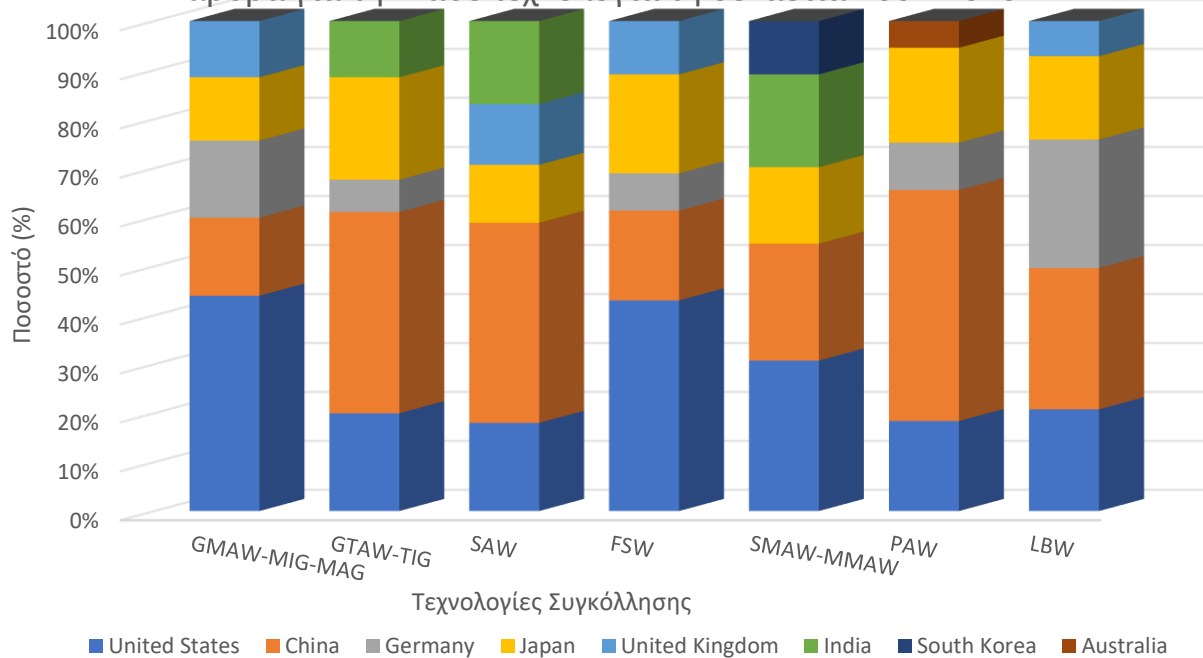
Διάγραμμα 6.2. Ποσοστό που καλύπτουν οι χώρες με τα περισσότερα αποτελέσματα για κάθε τεχνολογία 1981-1990

Το ποσοστό που καλύπτουν οι 5 χώρες με τα περισσότερα άρθρα για την κάθε τεχνολογία τη δεκαετία 1991-2000



Διάγραμμα 6.3. Ποσοστό που καλύπτουν οι χώρες με τα περισσότερα αποτελέσματα για κάθε τεχνολογία 1991-2000

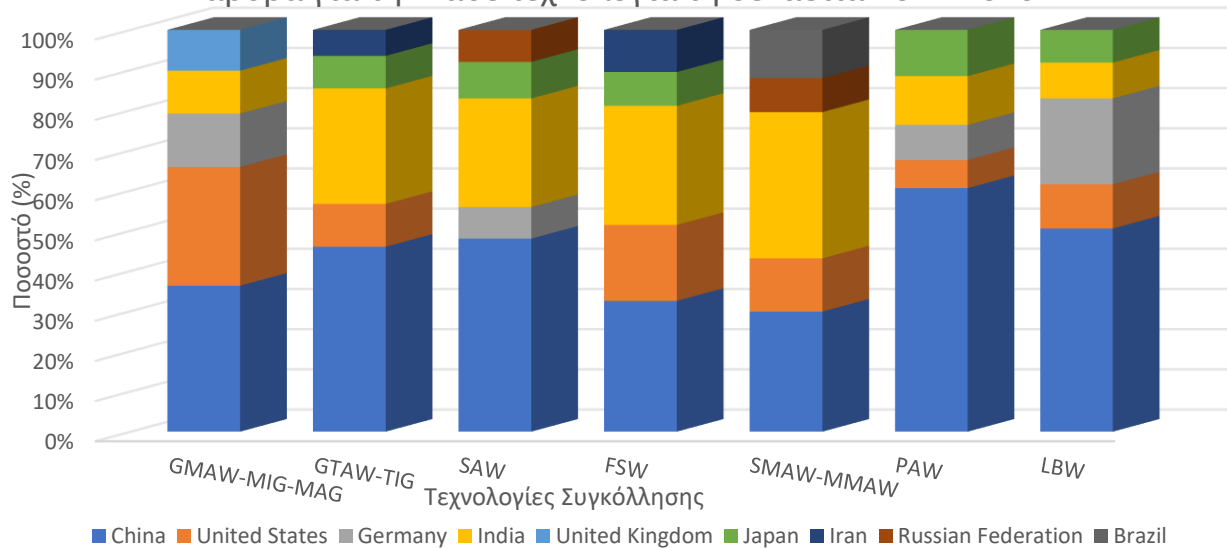
Το ποσοστό που καλύπτουν οι 5 χώρες με τα περισσότερα άρθρα για την κάθε τεχνολογία τη δεκαετία 2001-2010



Διάγραμμα 6.4. Ποσοστό που καλύπτουν οι χώρες με τα περισσότερα αποτελέσματα για κάθε τεχνολογία 2001-2010



Το ποσοστό που καλύπτουν οι 5 χώρες με τα περισσότερα άρθρα για την κάθε τεχνολογία τη δεκαετία 2011-2020



Διάγραμμα 6.5. Ποσοστό που καλύπτουν οι χώρες με τα περισσότερα αποτελέσματα για κάθε τεχνολογία 2011-2020

Από τους Πίνακες 6.9. μέχρι και 6.15 και τα Διαγράμματα 6.2 έως 6.5 παρατηρείται πως την πρώτη δεκαετία της έρευνας (1981-1990), τα περισσότερα δημοσιευμένα άρθρα γίνονται από τις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής και την Ιαπωνία, ενώ το Ηνωμένο Βασίλειο και η Γερμανία είχαν επίσης σημαντικό αριθμό άρθρων. Στην τεχνολογία της Friction Stir Welding δεν υπάρχουν δεδομένα για εκείνη την περίοδο, καθώς είναι η πιο πρόσφατη τεχνολογία συγκόλλησης με έτος εφεύρεσης το 1991. Σημαντικό είναι επίσης να αναφερθεί πως η Κίνα δεν συμμετέχει στη δημοσίευση καμίας τεχνολογίας για εκείνη τη δεκαετία. Για τη δεκαετία από το 1991 μέχρι και 2000, φαίνεται πως οι ΗΠΑ διεκδικούν περισσότερο έδαφος στην έρευνα σχεδόν όλων των συγκολλήσεων, σε σύγκριση με την Ιαπωνία. Η Κίνα κάνει την εμφάνισή της, φτάνοντας στις κορυφαίες πέντε χώρες σε τρεις εκ των επτά τεχνολογιών. Σημαντική είναι και η ανάπτυξη του ενδιαφέροντος της Ινδίας, διεκδικώντας σημαντικό ποσοστό έρευνας σε δύο τεχνολογίες συγκολλήσεων. Η δεκαετία 2001 μέχρι 2010 έχει αρκετό ενδιαφέρον, καθώς παρουσιάζει μια τεράστια ανάπτυξη της Κίνας σε σύγκριση με τα προηγούμενα χρόνια, αφήνοντας κατά πολύ πίσω την Ιαπωνία, έχοντας περισσότερα δημοσιευμένα άρθρα σε έξι από τις επτά τεχνολογίες, ξεχωρίζοντας μάλιστα στις GTAW-TIG και PAW ως πρώτη χώρα. Οι ΗΠΑ συνεχίζουν να δείχνουν το ίδιο ενδιαφέρον για όλες σχεδόν τις τεχνολογίες, με ίσως λίγο μειωμένο ενδιαφέρον προς την Submerged Arc Welding και την Plasma Arc Welding. Τέλος, για την τελευταία δεκαετία της έρευνας, από το 2011 μέχρι και το 2020, είναι ξεκάθαρο πως η Κίνα πρωτοπορεί σχεδόν σε όλες τις τεχνολογίες συγκόλλησης, ενώ η Αμερική σε μερικές συγκεντρώνει έναν αξιοσημείωτο αριθμό δημοσιευμένων έργων, ενώ σε τεχνολογίες όπως η Submerged Arc Welding δεν είναι καν στις πρώτες πέντε χώρες. Εκτός της Κίνας, πολύ σημαντική είναι και η ανάπτυξη της Ινδίας, δείχνοντας ιδιαίτερο ενδιαφέρον προς όλες τις τεχνολογίες συγκόλλησης, βρισκόμενη σχεδόν σε όλες στη δεύτερη θέση μετά την Κίνα. Στην τεχνολογία Shielded Metal Arc Welding καταφέρνει κι όλας να καταλάβει την πρώτη θέση των διαθέσιμων άρθρων.

### 6.1.3 Άρθρα ανά χρόνο στις 7 τεχνολογίες 1982-2022

#### GMAW MIG MAG

Year	China	Un. States	Japan	India	Germany	Un. Kingdom	Russian Fed.
2022	1629	717	198	485	336	278	150
2021	1492	796	254	430	333	319	199
2020	1198	745	242	393	312	262	187
2019	1129	702	182	381	313	261	167
2018	992	663	190	296	299	224	160
2017	786	596	125	234	272	241	118
2016	677	561	138	183	263	185	122
2015	682	591	153	182	267	178	80
2014	556	579	137	151	272	192	84
2013	481	556	167	124	272	203	78
2012	415	453	150	95	197	151	52
2011	390	495	146	110	205	145	49
2010	327	541	158	94	227	193	64
2009	397	592	181	106	234	143	56
2008	346	609	186	126	240	182	69
2007	208	606	170	53	194	161	35
2006	197	584	152	53	211	178	37
2005	135	567	152	41	199	126	57
2004	127	546	175	36	168	116	30
2003	75	451	119	32	150	110	30
2002	47	420	157	26	133	83	44
2001	62	393	110	22	142	90	43
2000	36	404	123	22	105	89	35
1999	30	396	89	20	135	95	35
1998	23	432	96	18	113	98	21
1997	24	340	93	23	130	82	42
1996	15	380	76	12	91	66	41
1995	7	303	62	19	53	40	32
1994	15	262	74	15	51	54	24
1993	9	212	70	8	47	28	20
1992	7	217	69	7	45	43	17
1991	10	224	54	16	45	60	9
1990	4	208	46	13	45	40	10
1989	9	112	62	8	30	33	8
1988	5	102	43	5	19	13	8
1987	1	72	30	3	17	12	0
1986	2	80	31	2	13	10	2
1985	1	61	33	2	11	15	1
1984	1	65	31	1	12	11	0
1983	3	64	26	5	10	16	0
1982	2	49	24	4	12	7	2
SUM	12552	16746	4774	3856	6223	4833	2218

Πίνακας 6.16. Δημοσιευμένα Άρθρα για τις 7 πρωτοπόρες χώρες 1982-2022 ανά έτος στην τεχνολογία GMAW

**GTAW TIG**

Year	China	Un. States	Japan	India	Germany	Un. Kingdom	Russian Fed.
2022	239	26	34	250	26	25	14
2021	221	34	38	243	13	20	21
2020	198	39	34	202	23	23	13
2019	238	46	37	242	30	31	16
2018	239	45	35	181	28	22	11
2017	208	47	32	148	22	26	4
2016	211	57	20	103	16	18	8
2015	171	43	31	94	28	13	12
2014	182	51	32	91	20	15	6
2013	175	55	44	55	21	19	6
2012	173	39	36	62	20	11	5
2011	168	32	45	49	15	17	1
2010	144	39	39	32	16	13	10
2009	120	45	40	38	19	17	2
2008	128	36	48	49	15	7	6
2007	111	30	45	27	16	7	4
2006	95	35	36	19	10	8	1
2005	91	47	49	25	18	8	2
2004	60	52	50	18	13	12	1
2003	42	51	42	19	13	12	1
2002	28	51	60	8	11	9	2
2001	41	32	28	5	7	8	3
2000	22	29	45	5	8	5	2
1999	18	39	35	9	7	10	3
1998	8	56	30	9	10	5	1
1997	10	33	31	11	8	9	5
1996	6	45	23	2	7	16	3
1995	3	33	39	11	5	5	3
1994	9	33	39	5	5	6	0
1993	7	13	31	4	6	12	0
1992	3	27	30	1	7	8	2
1991	0	18	33	2	8	13	0
1990	1	19	23	7	4	10	0
1989	1	24	42	4	4	5	0
1988	1	18	33	0	5	3	0
1987	1	4	11	2	1	4	1
1986	0	8	14	0	0	0	1
1985	0	12	10	0	0	1	0
1984	0	5	11	1	1	0	1
1983	0	6	15	0	0	3	0
1982	0	7	14	0	0	1	1
<b>SUM</b>	<b>3373</b>	<b>1361</b>	<b>1364</b>	<b>2033</b>	<b>486</b>	<b>457</b>	<b>172</b>

Πίνακας 6.17. Δημοσιευμένα Άρθρα για τις 7 πρωτοπόρες χώρες 1982-2022 ανά έτος στην τεχνολογία GTAW

SAW

Year	China	Un. States	Japan	India	Germany	Un. Kingdom	Russian Fed.
2022	39	5	5	27	10	4	5
2021	26	2	11	28	5	2	8
2020	42	7	7	34	7	6	9
2019	21	6	4	36	4	7	11
2018	32	5	10	20	10	2	9
2017	26	2	9	14	7	3	8
2016	42	9	4	11	6	6	8
2015	28	8	7	18	6	4	6
2014	49	5	10	11	5	4	6
2013	42	9	4	27	9	6	2
2012	51	6	8	23	6	3	0
2011	47	5	9	20	2	2	4
2010	38	4	7	13	4	9	0
2009	19	11	7	12	1	4	0
2008	20	6	2	13	7	4	0
2007	18	11	6	8	2	3	2
2006	23	6	0	6	2	2	0
2005	9	9	1	5	3	5	6
2004	10	8	5	4	4	7	1
2003	6	2	8	0	4	5	0
2002	3	6	5	2	1	5	1
2001	6	4	3	0	5	2	0
2000	1	6	5	3	5	7	4
1999	0	6	5	2	5	4	1
1998	2	7	6	3	1	2	2
1997	1	9	6	3	2	7	2
1996	0	9	7	3	3	2	3
1995	0	6	11	5	1	3	1
1994	1	2	2	3	2	5	2
1993	4	3	2	4	2	5	1
1992	0	5	2	2	0	2	0
1991	0	5	8	3	7	2	1
1990	0	5	2	5	3	2	0
1989	1	12	5	3	4	7	0
1988	0	4	4	2	1	3	1
1987	1	4	6	0	1	2	1
1986	0	0	4	0	0	1	0
1985	0	5	3	0	0	2	0
1984	0	0	10	0	0	1	0
1983	0	3	5	0	1	1	0
1982	0	0	9	0	0	1	0
SUM	608	227	234	373	148	154	105

Πίνακας 6.18. Δημοσιευμένα Άρθρα για τις 7 πρωτοπόρες χώρες 1982-2022 ανά έτος στην τεχνολογία SAW

**FSW**

Year	China	Un. States	Japan	India	Germany	Un. Kingdom	Russian Fed.
2022	432	147	86	627	40	49	60
2021	331	158	62	460	35	38	64
2020	423	139	80	498	45	43	58
2019	423	162	67	518	56	48	65
2018	334	157	73	405	53	31	42
2017	275	143	72	240	43	46	25
2016	246	169	70	156	36	54	23
2015	234	167	68	153	20	40	27
2014	210	147	67	128	32	44	21
2013	177	161	59	108	27	28	4
2012	152	122	57	108	18	22	5
2011	133	147	60	63	21	24	2
2010	86	150	72	50	28	37	1
2009	64	164	72	27	33	32	1
2008	64	104	57	29	18	28	0
2007	51	138	82	11	18	26	4
2006	53	81	34	9	17	36	1
2005	56	126	51	5	24	21	2
2004	27	55	40	2	11	25	2
2003	12	76	32	1	13	22	1
2002	1	46	10	1	9	13	0
2001	4	41	10	0	2	8	0
2000	0	18	8	0	2	7	0
1999	0	12	3	0	1	7	0
1998	1	29	1	0	1	2	0
1997	0	11	1	1	1	3	0
1996	1	8	0	0	1	4	0
1995	0	6	2	0	0	3	0
1994	2	3	1	0	1	1	1
1993	0	0	1	0	0	2	0
1992	0	4	0	0	0	0	0
1991	0	1	2	1	0	0	0
1990	0	5	0	1	0	0	0
1989	0	0	0	0	1	0	0
1988	0	3	2	0	0	0	0
1987	0	2	0	0	0	0	0
1986	0	4	0	0	0	1	0
1985	0	2	2	0	0	0	0
1984	0	5	1	0	0	0	0
1983	0	2	1	0	0	0	0
1982	0	4	0	0	0	0	0
SUM	3792	2919	1306	3602	607	745	409

Πίνακας 6.19. Δημοσιευμένα Άρθρα για τις 7 πρωτοπόρες χώρες 1982-2022 ανά έτος στην τεχνολογία FSW

**SMAW MMAW**

Year	China	Un. States	Japan	India	Germany	Un. Kingdom	Russian Fed.
2022	27	6	3	38	6	2	4
2021	14	3	5	42	4	5	17
2020	20	5	8	39	5	2	14
2019	15	8	2	37	6	2	11
2018	22	6	2	36	2	0	8
2017	11	11	4	44	8	1	8
2016	25	10	3	27	1	5	4
2015	19	14	9	18	11	0	0
2014	23	10	5	27	1	4	11
2013	30	9	8	17	6	2	1
2012	30	11	11	16	4	2	2
2011	24	13	3	6	2	2	3
2010	14	24	3	9	4	5	0
2009	18	10	19	15	3	3	0
2008	15	17	7	11	5	4	2
2007	15	13	9	1	4	3	1
2006	8	8	2	10	6	2	0
2005	12	20	4	6	5	8	3
2004	3	17	6	16	1	2	2
2003	7	7	6	3	3	0	0
2002	8	9	7	5	5	5	0
2001	1	5	3	4	3	2	0
2000	1	5	5	8	1	1	0
1999	0	16	1	9	0	0	0
1998	1	11	4	5	3	2	0
1997	3	11	4	2	4	6	1
1996	2	8	3	2	2	5	1
1995	0	9	2	1	1	3	0
1994	3	3	2	6	2	4	0
1993	2	3	4	3	3	0	1
1992	0	2	1	2	4	1	0
1991	0	2	5	4	4	5	0
1990	0	6	3	2	5	5	0
1989	2	4	5	0	5	8	0
1988	1	5	9	3	2	3	0
1987	0	1	0	2	1	3	0
1986	0	2	4	0	0	3	0
1985	0	2	1	0	0	7	0
1984	0	1	1	0	0	3	0
1983	0	3	3	0	0	3	0
1982	0	1	2	0	0	0	0
<b>SUM</b>	<b>376</b>	<b>331</b>	<b>188</b>	<b>476</b>	<b>132</b>	<b>123</b>	<b>94</b>

Πίνακας 6.20. Δημοσιευμένα Άρθρα για τις 7 πρωτοπόρες χώρες 1982-2022 ανά έτος στην τεχνολογία SMAW MMAW

PAW

Year	China	Un. States	Japan	India	Germany	Un. Kingdom	Russian Fed.
2022	95	4	16	35	11	5	5
2021	85	6	25	25	9	6	11
2020	88	5	21	31	9	7	7
2019	113	1	15	32	20	8	17
2018	104	6	19	26	14	5	10
2017	80	14	16	13	16	6	9
2016	76	9	7	9	5	2	8
2015	69	8	15	8	8	3	4
2014	77	19	10	17	13	2	6
2013	75	7	21	5	14	1	3
2012	58	12	17	15	11	3	1
2011	66	12	12	6	6	5	0
2010	61	12	18	11	13	1	1
2009	68	13	17	11	9	11	0
2008	41	10	18	7	9	5	1
2007	39	15	11	1	6	2	1
2006	44	22	10	2	7	7	2
2005	23	12	12	1	9	2	3
2004	17	10	13	1	6	2	2
2003	17	10	12	1	3	1	1
2002	20	18	25	0	6	6	1
2001	16	13	6	1	3	1	0
2000	9	14	4	0	1	3	2
1999	7	16	5	0	1	0	4
1998	6	26	2	0	4	4	1
1997	8	9	3	0	1	8	1
1996	2	11	3	0	4	4	5
1995	1	12	10	0	2	5	0
1994	4	11	7	1	3	2	1
1993	2	11	12	1	4	4	1
1992	0	5	3	1	4	2	2
1991	2	6	3	0	0	0	1
1990	0	7	4	1	1	0	0
1989	0	5	7	1	1	0	1
1988	1	5	6	1	1	0	2
1987	0	1	4	0	1	0	0
1986	0	1	3	0	0	0	0
1985	0	1	6	0	0	1	0
1984	0	1	4	0	1	0	0
1983	0	1	3	0	0	1	0
1982	0	0	4	0	0	0	0
SUM	1374	381	429	264	236	125	114

Πίνακας 6.21. Δημοσιευμένα Άρθρα για τις 7 πρωτοπόρες χώρες 1982-2022 ανά έτος στην τεχνολογία PAW

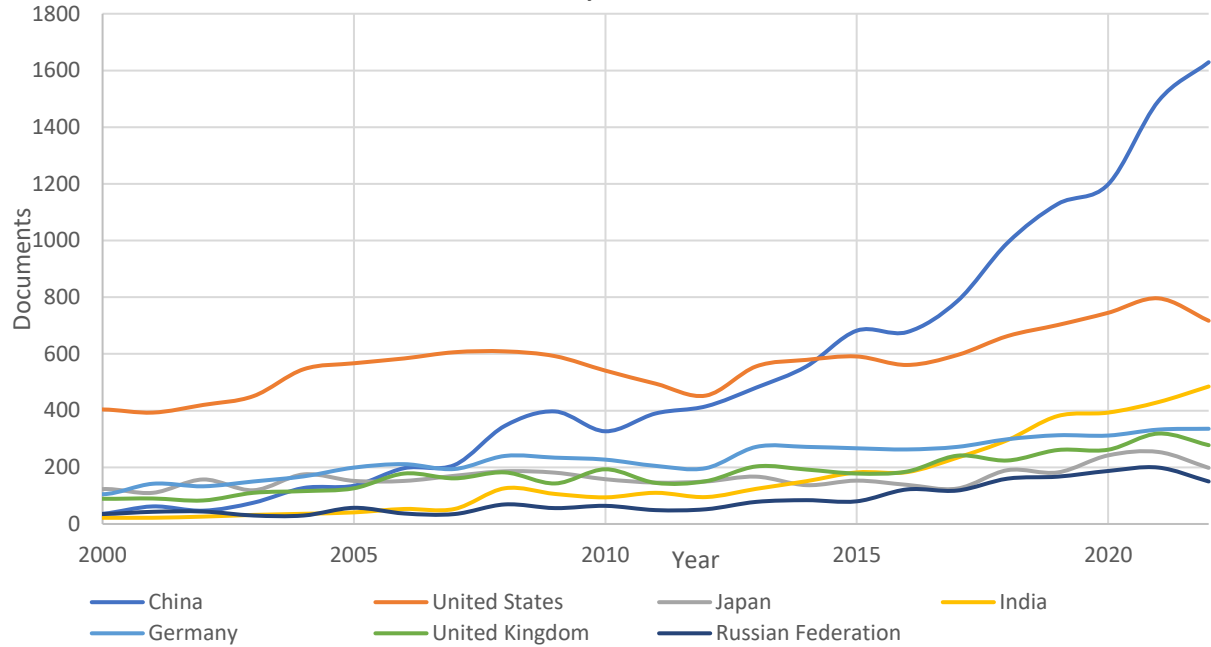
**LBW**

Year	China	Un. States	Japan	India	Germany	Un. Kingdom	Russian Fed.
2022	402	58	27	96	129	38	26
2021	235	32	25	71	87	16	28
2020	259	45	36	71	115	22	34
2019	364	70	32	91	118	20	49
2018	385	76	34	93	142	24	64
2017	287	62	56	52	119	45	46
2016	297	71	44	31	143	38	32
2015	241	58	53	33	108	32	21
2014	210	56	36	27	85	20	20
2013	220	51	52	28	111	33	13
2012	255	42	42	31	111	19	8
2011	237	68	59	30	113	27	13
2010	206	54	49	25	120	29	5
2009	178	77	75	19	100	25	7
2008	173	53	50	13	111	20	3
2007	103	59	51	8	84	19	4
2006	90	61	48	10	90	19	9
2005	65	92	48	10	82	27	8
2004	49	80	52	5	74	22	5
2003	21	96	66	5	72	28	5
2002	31	75	89	3	76	35	8
2001	24	29	25	2	44	9	3
2000	16	46	51	1	38	21	12
1999	13	26	29	2	31	14	13
1998	20	43	25	1	34	17	5
1997	24	57	44	2	49	21	11
1996	19	37	16	0	31	16	14
1995	8	30	18	0	21	13	3
1994	2	32	8	0	24	13	3
1993	6	47	18	0	18	16	0
1992	4	17	13	0	12	4	4
1991	2	15	9	0	6	6	2
1990	1	16	5	0	13	5	0
1989	0	20	4	1	16	8	0
1988	0	10	2	1	5	1	0
1987	0	0	3	0	3	2	0
1986	0	3	1	1	4	1	0
1985	0	5	4	0	1	2	0
1984	0	1	3	0	3	0	0
1983	0	5	0	0	0	1	0
1982	0	4	1	0	0	0	0
SUM	4447	1779	1303	763	2543	728	478

Πίνακας 6.22. Δημοσιευμένα Άρθρα για τις 7 πρωτοπόρες χώρες 1982-2022 ανά έτος στην τεχνολογία LBW

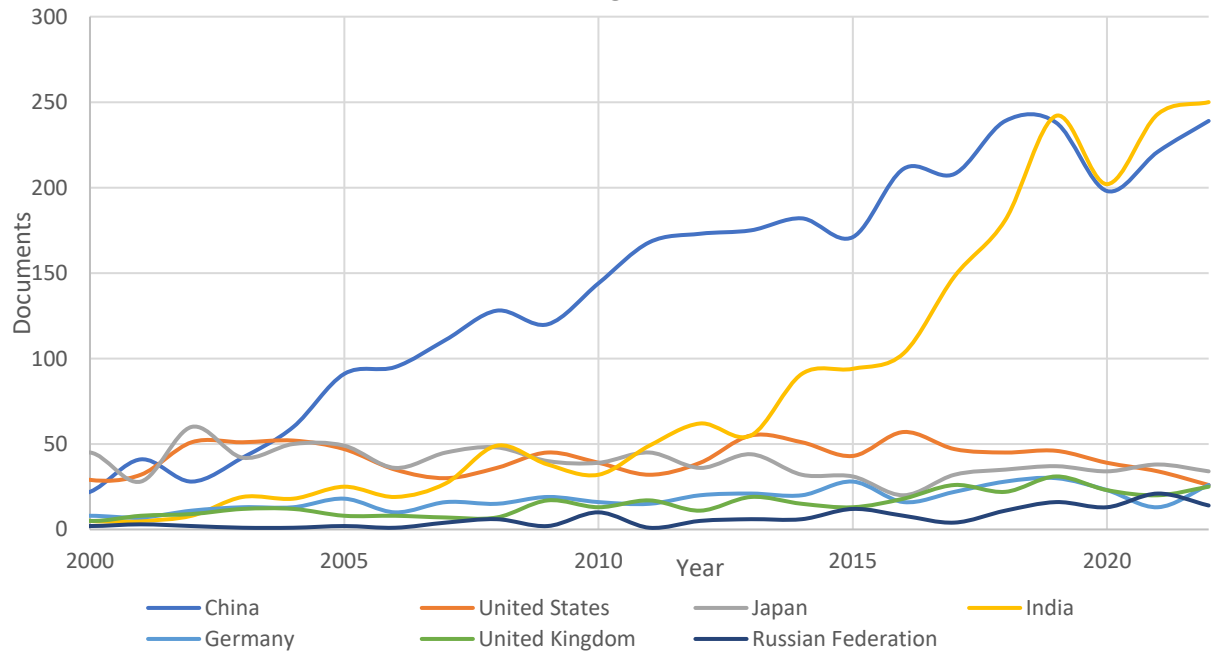


Documents "Welding" and "MIG" or "MAG" or "GMAW" by Country 2000-2022

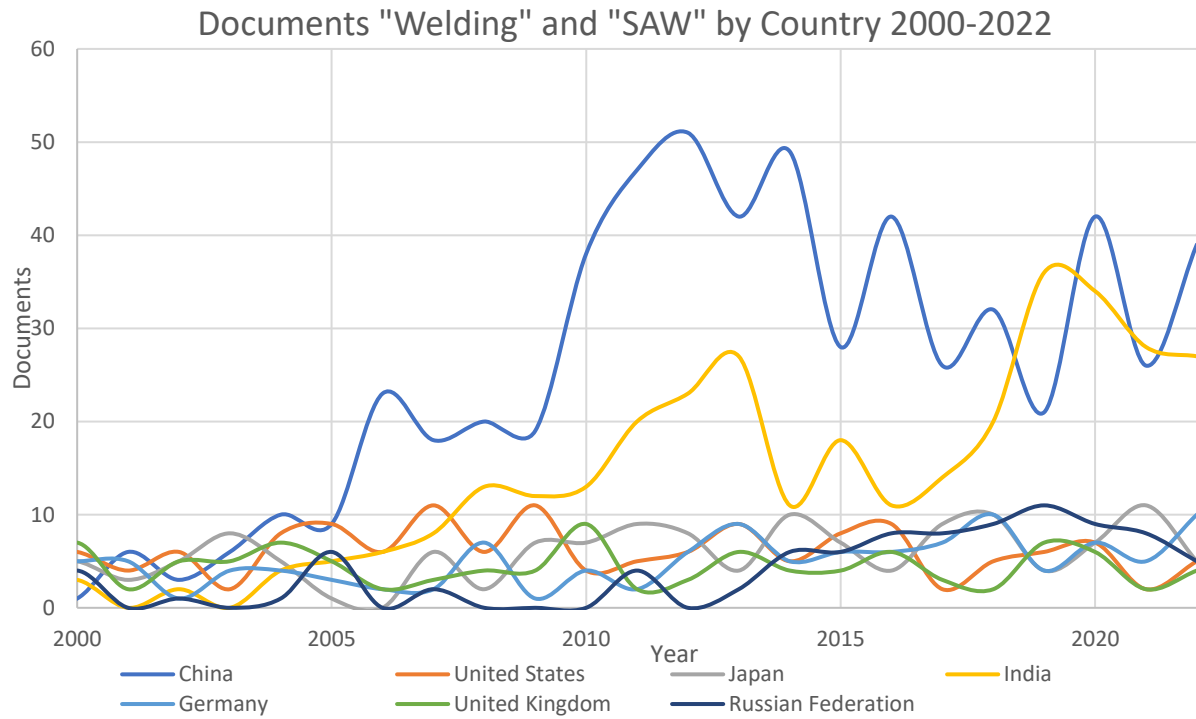


Διάγραμμα 6.6. Δημοσιευμένα Άρθρα για τις 7 πρωτοπόρες χώρες 2000-2022 ανά έτος στην τεχνολογία GMAW

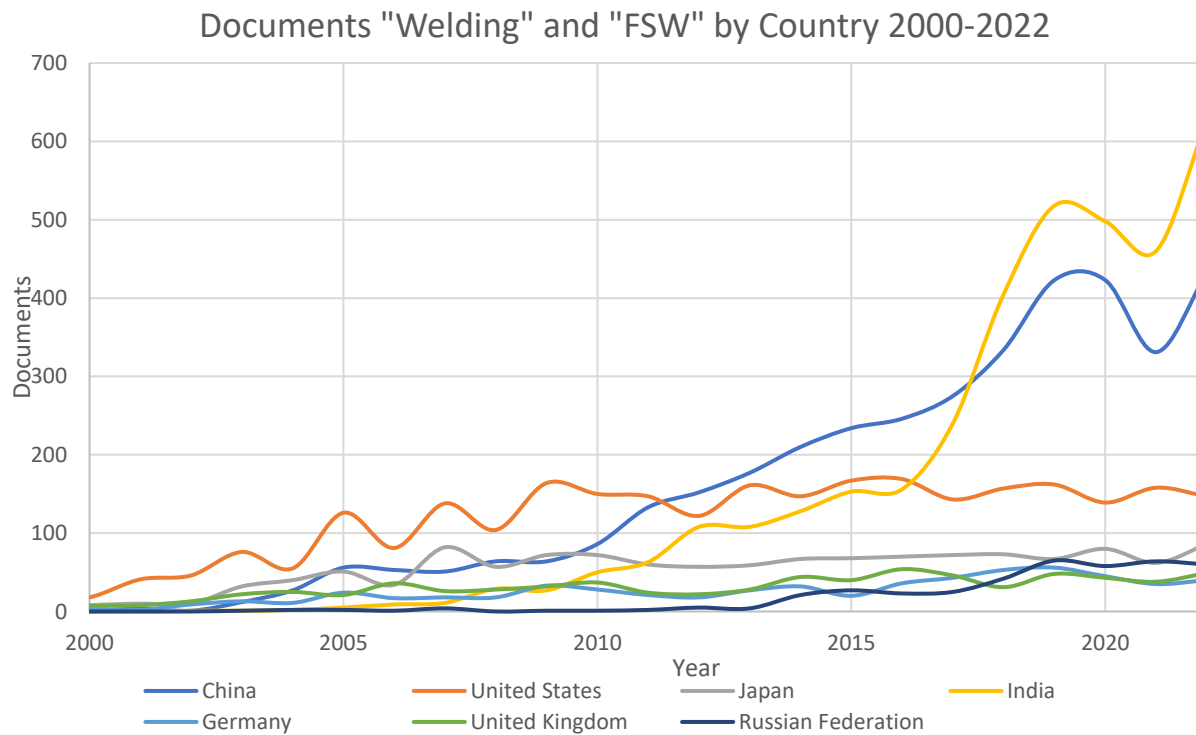
Documents "Welding" and "TIG" and "GTAW" by Country 2000-2022



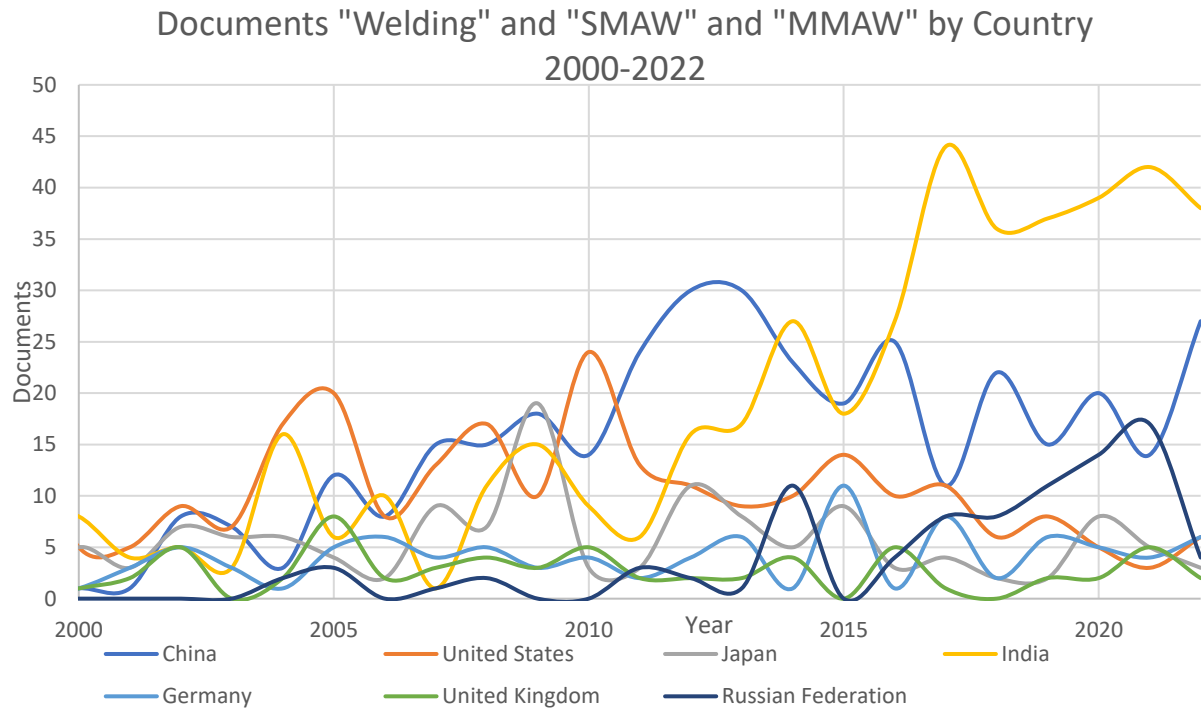
Διάγραμμα 6.7. Δημοσιευμένα Άρθρα για τις 7 πρωτοπόρες χώρες 2000-2022 ανά έτος στην τεχνολογία GTAW



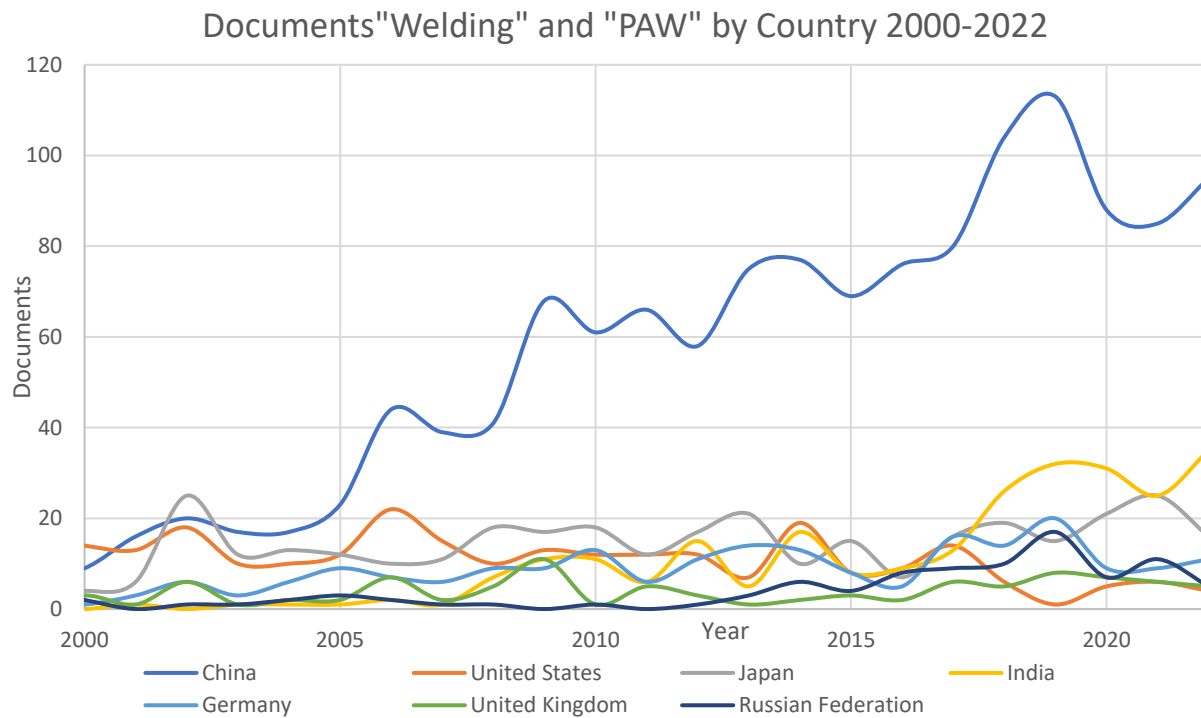
Διάγραμμα 6.8. Δημοσιευμένα Άρθρα για τις 7 πρωτοπόρες χώρες 2000-2022 ανά έτος στην τεχνολογία SAW



Διάγραμμα 6.9. Δημοσιευμένα Άρθρα για τις 7 πρωτοπόρες χώρες 2000-2022 ανά έτος στην τεχνολογία FSW

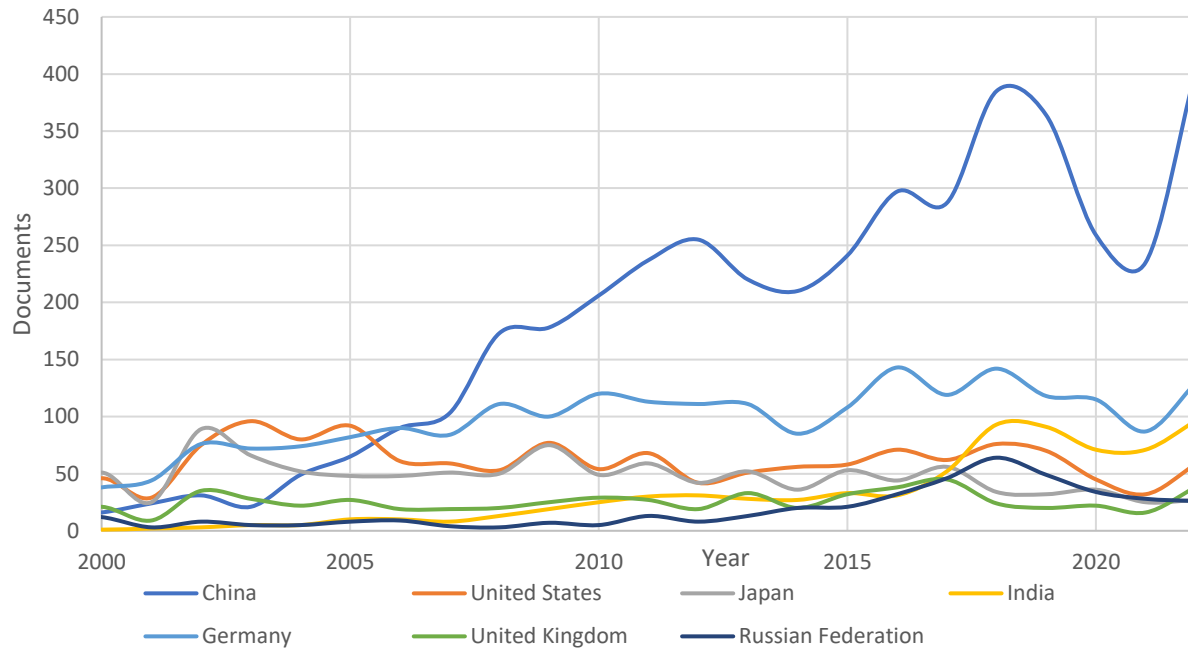


Διάγραμμα 6.10. Δημοσιευμένα Άρθρα για τις 7 πρωτοπόρες χώρες 2000-2022 ανά έτος στην τεχνολογία SMAW



Διάγραμμα 6.11. Δημοσιευμένα Άρθρα για τις 7 πρωτοπόρες χώρες 2000-2022 ανά έτος στην τεχνολογία PAW

## Documents "Welding" and "LBW" by Country 2000-2022

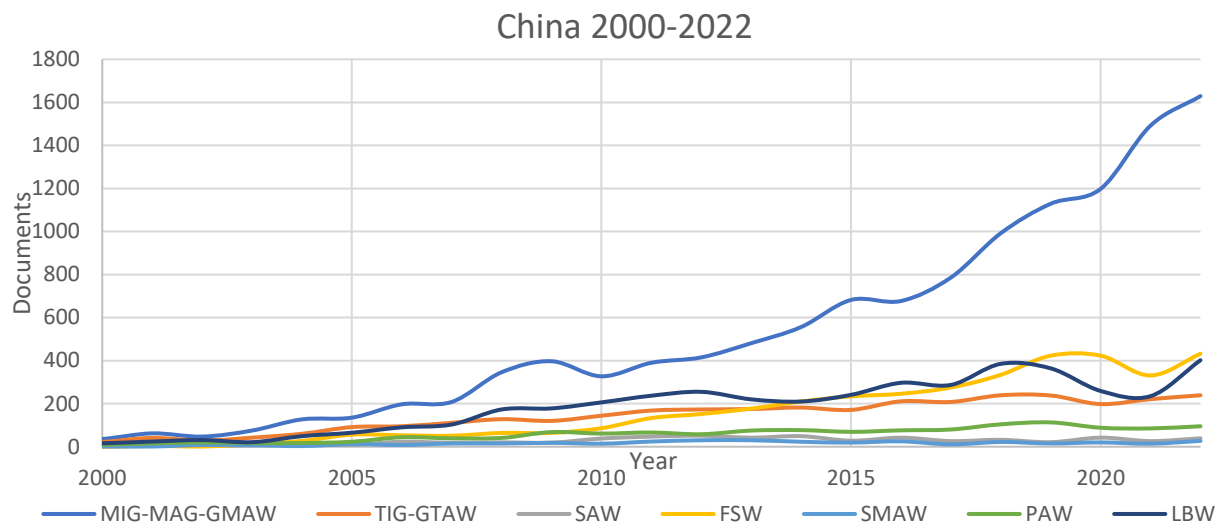


Διάγραμμα 6.12. Δημοσιευμένα Άρθρα για τις 7 πρωτοπόρες χώρες 2000-2022 ανά έτος στην τεχνολογία LBW

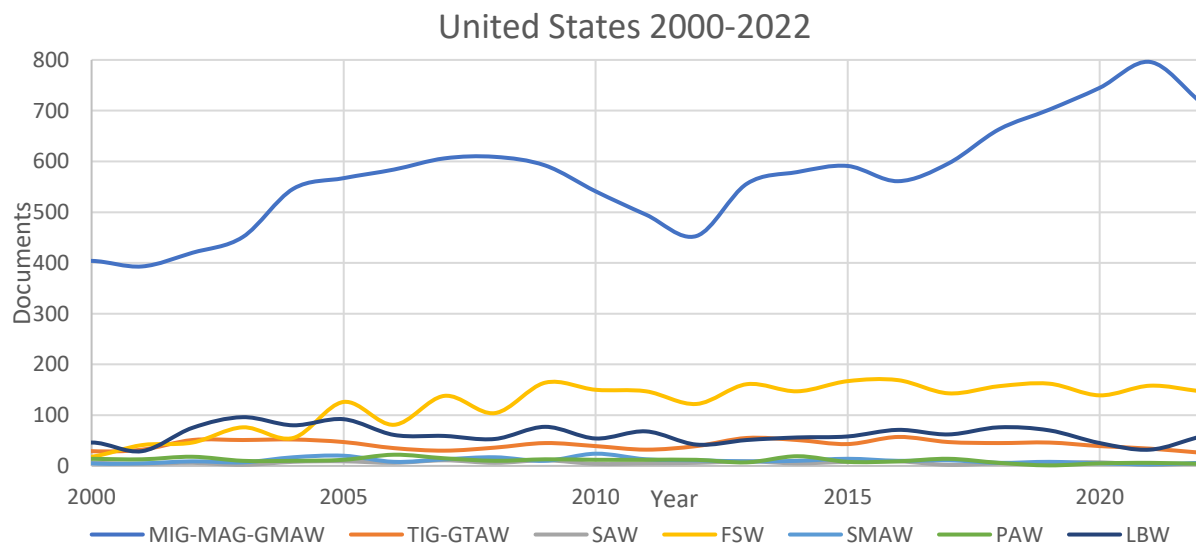
Στους Πίνακες από 6.16 μέχρι και 6.22 και στα Διαγράμματα από 6.6 μέχρι και 6.12, παρατηρείται πως ενώ στις αρχές του 2000, όλες οι χώρες κυμαίνονταν περίπου στο ίδιο ενδιαφέρον για όλες τις τεχνολογίες συγκόλλησης, μετά το 2006 η Κίνα εντείνει κατά πολύ το ενδιαφέρον της και ξεφεύγει στο κομμάτι των ερευνών σε σύγκριση με τις υπόλοιπες χώρες. Αναλύοντας την κάθε τεχνολογία ξεχωριστά, στην GMAW-MIG-MAG δείχνει ένα σταθερό ενδιαφέρον η Αμερική, μεγαλύτερο από τις υπόλοιπες χώρες, πλην της Κίνας. Η Γερμανία επίσης έχει αρκετά δημοσιοποιημένα άρθρα σε αυτήν την τεχνολογία μέχρι το 2018, που η Ινδία ανέπτυξε περισσότερο ενδιαφέρον. Στην τεχνολογία GTAW φαίνεται η δημοσιοποίηση των άρθρων από την Ινδία να παίρνει μία απότομη αύξηση μετά το 2016, όπου καταλήγει στο 2019 να ξεπερνάει την Κίνα, κρατώντας την πρώτη θέση μέχρι και το 2022. Το ενδιαφέρον των υπόλοιπων χωρών είναι αρκετά περιορισμένο, και εκτός του ότι δεν υπάρχει ανεβασμένο ενδιαφέρον, φαίνεται να φθίνει κι όλες την τελευταία πενταετία. Στη τεχνολογία SAW βλέπουμε επίσης τα περισσότερα δημοσιεύματα από την Κίνα και την Ινδία, αλλά με πολύ λιγότερα άρθρα σε σύγκριση με τις υπόλοιπες τεχνολογίες συγκόλλησης. Στην τεχνολογία FSW παρατηρείται ότι η Ινδία δείχνει εξαιρετικό ενδιαφέρον από το 2017 και μετά, καθώς έχει μία ανάπτυξη αρκετά μεγαλύτερη σε σύγκριση με τη δεύτερη Κίνα, τετραπλασιάζοντας τα δημοσιευμένα άρθρα σε μόλις 6 χρόνια, από το 2016 μέχρι το 2022. Αξίζει να σημειωθεί πως ξεχωρίζει και η Αμερική για το σταθερό ενδιαφέρον της στην τεχνολογία FSW. Η τεχνολογία SMAW, έχοντας επίσης σημαντικά μειωμένα άρθρα σε σύγκριση με τις υπόλοιπες τεχνολογίες, μας δείχνει ένα μεγαλύτερο ενδιαφέρον από την Ινδία σε σύγκριση με την Κίνα σχεδόν από το 2014 και μετά. Εδώ αξίζει να αναφερθεί πως το 2021 η Ρωσία δημοσίευσε περισσότερα άρθρα από την Κίνα βρισκόμενη δεύτερη, γεγονός που δεν συγκράτησε το 2022, δημοσιοποιώντας μόλις 4 άρθρα, σε αντίθεση με

την Κίνα που δημοσιοποίησε 27. Τέλος, στις τεχνολογίες PAW και LBW, φαίνεται ένα μεγαλύτερο ενδιαφέρον προς την τεχνολογία LBW από όλες τις χώρες, ξεχωρίζοντας βέβαια την Κίνα και στις δύο τεχνολογίες, αφού είναι η μόνη που διαθέτει τόσα δημοσιοποιημένα άρθρα από το 2006 τουλάχιστον. Μικρό ενδιαφέρον, αλλά εξίσου σημαντικό σε σύγκριση με άλλες χώρες, παρουσιάζει η Ινδία και στις 2 τεχνολογίες, η Ιαπωνία στο πλάσμα, και η Γερμανία στο λείζερ.

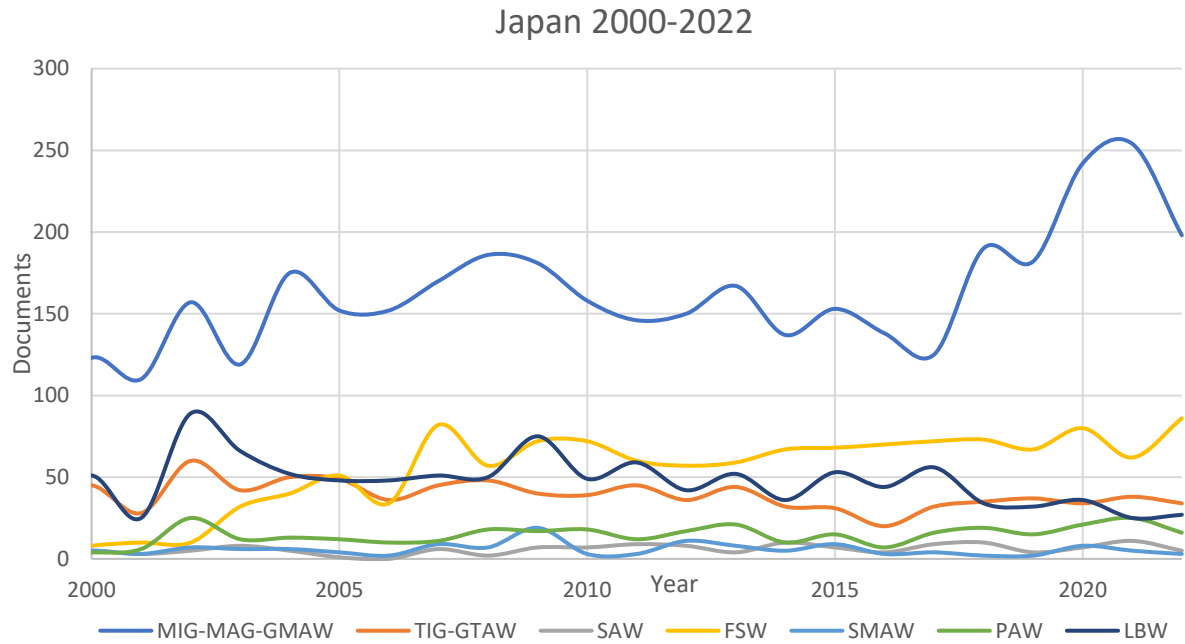
#### 6.1.4 Άρθρα ανά χρόνο στις 7 χώρες 2000-2022



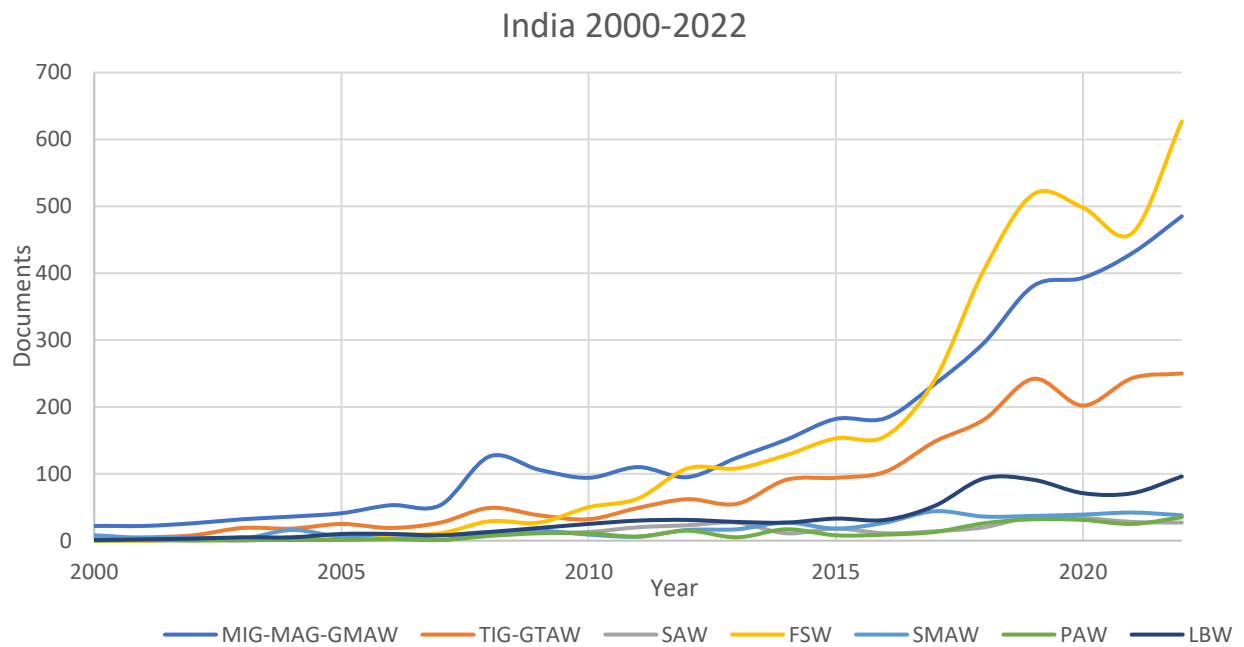
Διάγραμμα 6.13. Δημοσιευμένα Άρθρα Κίνας για τεχνολογίες συγκόλλησης 2000-2022



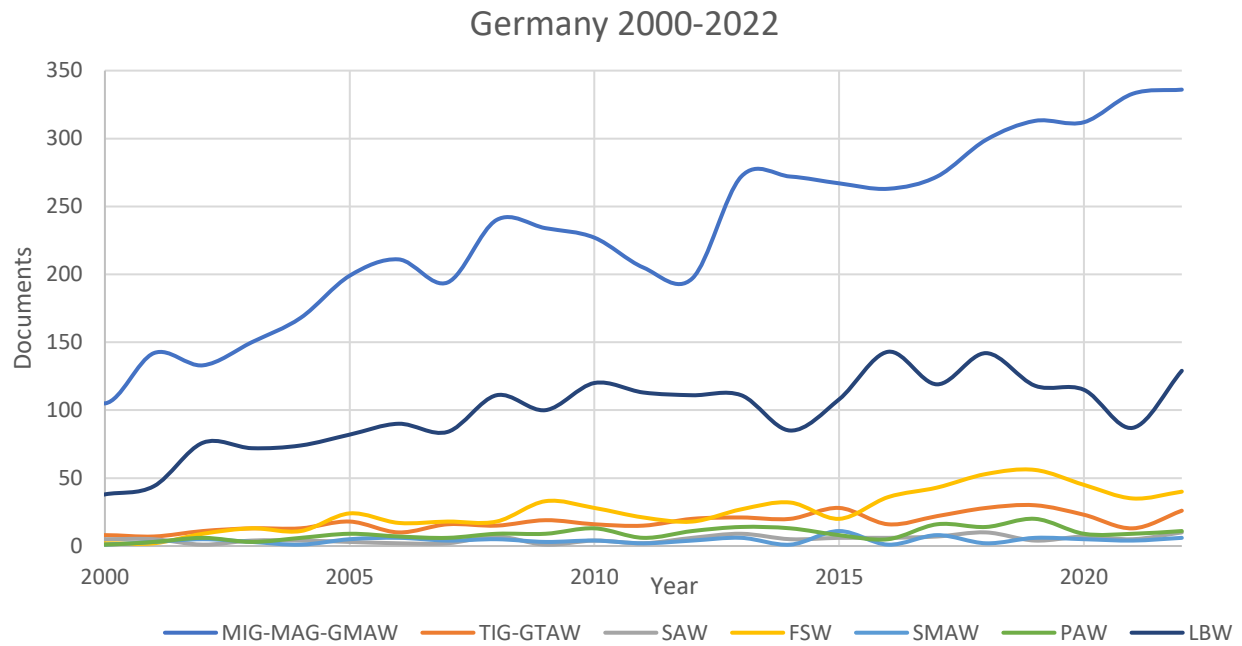
Διάγραμμα 6.14. Δημοσιευμένα Άρθρα Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής για τεχνολογίες συγκόλλησης 2000-2022



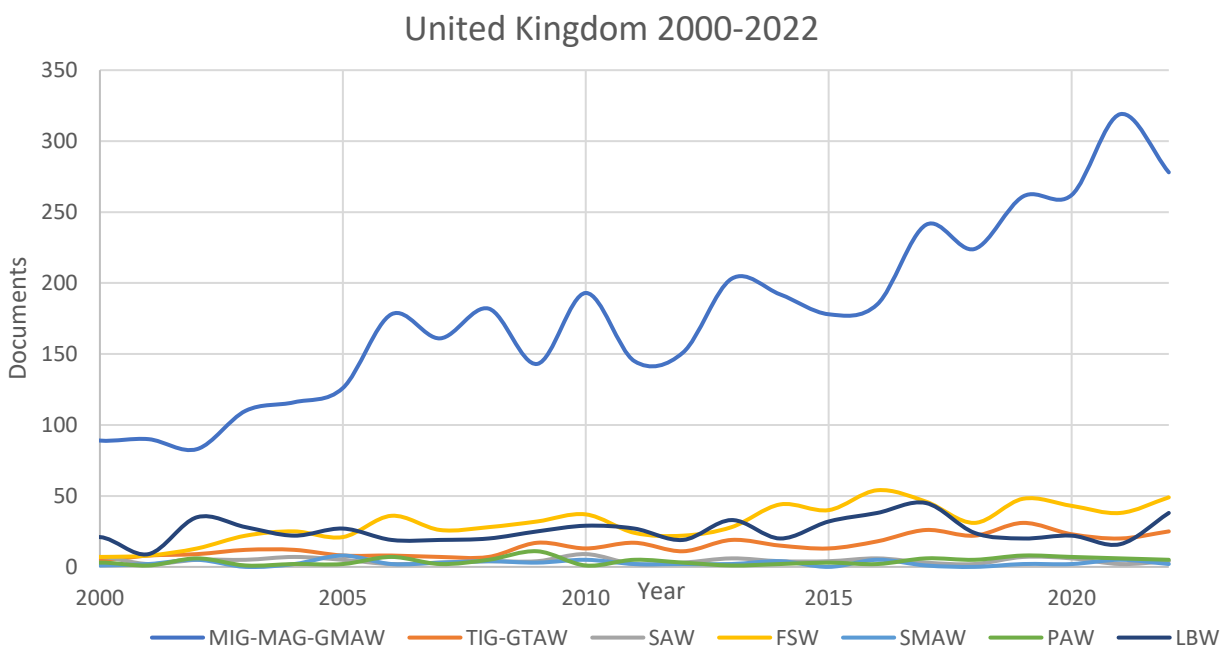
Διάγραμμα 6.15. Δημοσιευμένα Άρθρα Ιαπωνίας για τεχνολογίες συγκόλλησης 2000-2022



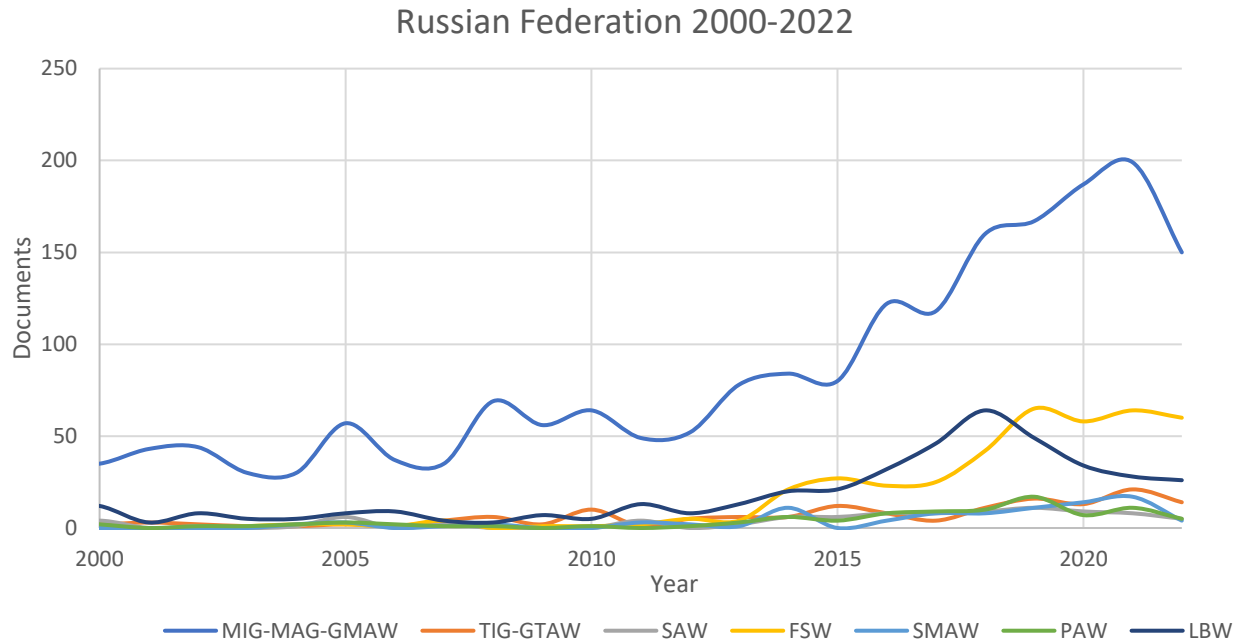
Διάγραμμα 6.16. Δημοσιευμένα Άρθρα Ινδίας για τεχνολογίες συγκόλλησης 2000-2022



Διάγραμμα 6.17. Δημοσιευμένα Άρθρα Γερμανίας για τεχνολογίες συγκόλλησης 2000-2022



Διάγραμμα 6.18. Δημοσιευμένα Άρθρα Ηνωμένου Βασιλείου για τεχνολογίες συγκόλλησης 2000-2022



Διάγραμμα 6.19. Δημοσιευμένα Άρθρα Ρωσίας για τεχνολογίες συγκόλλησης 2000-2022

Στα συγκεντρωτικά διαγράμματα συνοψίζοντας για κάθε χώρα, παρατηρείται για άλλη μία φορά ενδιαφέρον κυρίως για την τεχνολογία GMAW-MIG-MAG, και μετά για όλες τις υπόλοιπες. Η μόνη χώρα που διαφέρει από αυτό το μοτίβο είναι η Ινδία, εντείνοντας από το 2016 και μετά το ενδιαφέρον της για την τεχνολογία FSW. Σε όλες τις χώρες πλην της Ρωσίας και της Ιαπωνίας, παρατηρείται μία μικρή άνοδος στην έρευνα της τεχνολογίας LBW τα τελευταία χρόνια, με την Γερμανία να της δείχνει το περισσότερο ενδιαφέρον σε σύγκριση με την FSW. Τέλος, κάτι που αξίζει να αναφερθεί, είναι πως η Ινδία παρουσιάζει αρκετό ενδιαφέρον και για την τεχνολογία GTAW, που για τις υπόλοιπες χώρες είναι απλώς μια τεχνολογία που δεν έχει κάτι ξεχωριστό από τις υπόλοιπες προς έρευνα, ακολουθώντας την χαμηλή ερευνητικότητα των SAW, SMAW και PAW. Η Κίνα είναι η πρώτη χώρα μαζί με τη Ρωσία που φαίνεται να ξεκινούν μια αύξηση από το 2015 και μετά, ενώ η Ινδία και η Ιαπωνία ξεκινούν αντίστοιχη αύξηση από το 2017. Η Αμερική, η Γερμανία και το Ηνωμένο Βασίλειο φαίνεται να μην έχουν κάποια σημαντική στιγμή αύξησης.



## 6.2 Υλικά Συγκολλήσεων

Για τη μελέτη των υλικών συγκολλήσεων, τα αποτελέσματα χωρίστηκαν επίσης σε τέσσερις μεγάλες κατηγορίες. Η πρώτη συγκρίνει τα άρθρα που δημοσιεύτηκαν για πέντε δεκαετίες από το 1973 μέχρι το 2022 από όλες τις χώρες, η δεύτερη τις χώρες που έδειξαν το περισσότερο ενδιαφέρον για τέσσερις δεκαετίες από το 1981 μέχρι το 2020, η τρίτη τις επτά χώρες που ερευνώνται για τέσσερις δεκαετίες από το 1983 μέχρι το 2022 και η τέταρτη αναλύει το ενδιαφέρον που παρουσιάζει η κάθε μία από τις επτά χώρες για κάθε υλικό συγκόλλησης ξεχωριστά.

### 6.2.1 Άρθρα ανά χρόνο παγκόσμια 1973-2022

Σε αυτό το κεφάλαιο, παρατίθενται πρώτα οι πίνακες με τις χρονολογίες με τα δημοσιευμένα άρθρα ανά υλικό παγκόσμια και μετά τα διαγράμματα, καταλήγοντας σε ένα συγκεντρωτικό διάγραμμα που συγκρίνονται μεταξύ τους τα δημοσιευμένα άρθρα για τις χρονολογίες από 1973 έως το 2022.

#### 1973-2022 Steel

Year	Docs	Year	Docs	Year	Docs	Year	Docs	Year	Docs
1973	397	1983	637	1993	469	2003	878	2013	2235
1974	464	1984	903	1994	447	2004	1147	2014	2582
1975	494	1985	919	1995	492	2005	1221	2015	2397
1976	487	1986	929	1996	637	2006	1102	2016	2532
1977	498	1987	722	1997	615	2007	1380	2017	2749
1978	416	1988	586	1998	646	2008	2088	2018	3136
1979	457	1989	611	1999	579	2009	2178	2019	3255
1980	362	1990	447	2000	612	2010	2328	2020	3218
1981	472	1991	447	2001	649	2011	2238	2021	3123
1982	587	1992	388	2002	855	2012	2215	2022	3133

Πίνακας 6.23. Δημοσιευμένα Άρθρα για Steel 1973-2022

#### 1973-2022 Aluminum

Year	Docs	Year	Docs	Year	Docs	Year	Docs	Year	Docs
1973	115	1983	122	1993	143	2003	432	2013	1084
1974	133	1984	174	1994	161	2004	515	2014	1365
1975	140	1985	206	1995	154	2005	597	2015	1270
1976	116	1986	187	1996	190	2006	556	2016	1417
1977	151	1987	131	1997	219	2007	635	2017	1594
1978	99	1988	110	1998	252	2008	783	2018	1971
1979	97	1989	121	1999	230	2009	898	2019	2197
1980	103	1990	95	2000	253	2010	897	2020	2029
1981	122	1991	129	2001	299	2011	956	2021	1942
1982	106	1992	106	2002	415	2012	1038	2022	2200

Πίνακας 6.24. Δημοσιευμένα Άρθρα για Aluminum 1973-2022

**1973-2022 Titanium**

Year	Docs	Year	Docs	Year	Docs	Year	Docs	Year	Docs
1973	49	1983	50	1993	51	2003	127	2013	358
1974	57	1984	73	1994	57	2004	186	2014	441
1975	53	1985	64	1995	65	2005	203	2015	340
1976	47	1986	72	1996	74	2006	146	2016	374
1977	39	1987	60	1997	74	2007	195	2017	461
1978	41	1988	40	1998	86	2008	319	2018	543
1979	37	1989	42	1999	60	2009	282	2019	619
1980	62	1990	51	2000	69	2010	300	2020	622
1981	36	1991	56	2001	78	2011	322	2021	576
1982	65	1992	45	2002	105	2012	363	2022	592

*Πίνακας 6.25. Δημοσιευμένα Άρθρα για Titanium 1973-2022***1973-2022 Copper**

Year	Docs	Year	Docs	Year	Docs	Year	Docs	Year	Docs
1973	66	1983	57	1993	63	2003	111	2013	242
1974	54	1984	65	1994	62	2004	143	2014	308
1975	75	1985	83	1995	53	2005	140	2015	306
1976	61	1986	73	1996	62	2006	166	2016	326
1977	70	1987	66	1997	57	2007	230	2017	395
1978	40	1988	64	1998	69	2008	435	2018	470
1979	42	1989	68	1999	65	2009	320	2019	561
1980	40	1990	51	2000	56	2010	208	2020	538
1981	50	1991	59	2001	64	2011	215	2021	514
1982	49	1992	47	2002	96	2012	223	2022	561

*Πίνακας 6.26. Δημοσιευμένα Άρθρα για Copper 1973-2022***1973-2022 Magnesium**

Year	Docs	Year	Docs	Year	Docs	Year	Docs	Year	Docs
1973	17	1983	8	1993	10	2003	54	2013	231
1974	12	1984	25	1994	14	2004	74	2014	288
1975	18	1985	38	1995	13	2005	101	2015	227
1976	11	1986	35	1996	15	2006	81	2016	238
1977	23	1987	14	1997	15	2007	121	2017	293
1978	12	1988	14	1998	18	2008	151	2018	390
1979	7	1989	9	1999	19	2009	121	2019	424
1980	8	1990	13	2000	28	2010	163	2020	393
1981	8	1991	11	2001	36	2011	198	2021	343
1982	11	1992	10	2002	37	2012	226	2022	411

*Πίνακας 6.27. Δημοσιευμένα Άρθρα για Magnesium 1973-2022*

### 1973-2022 Nickel

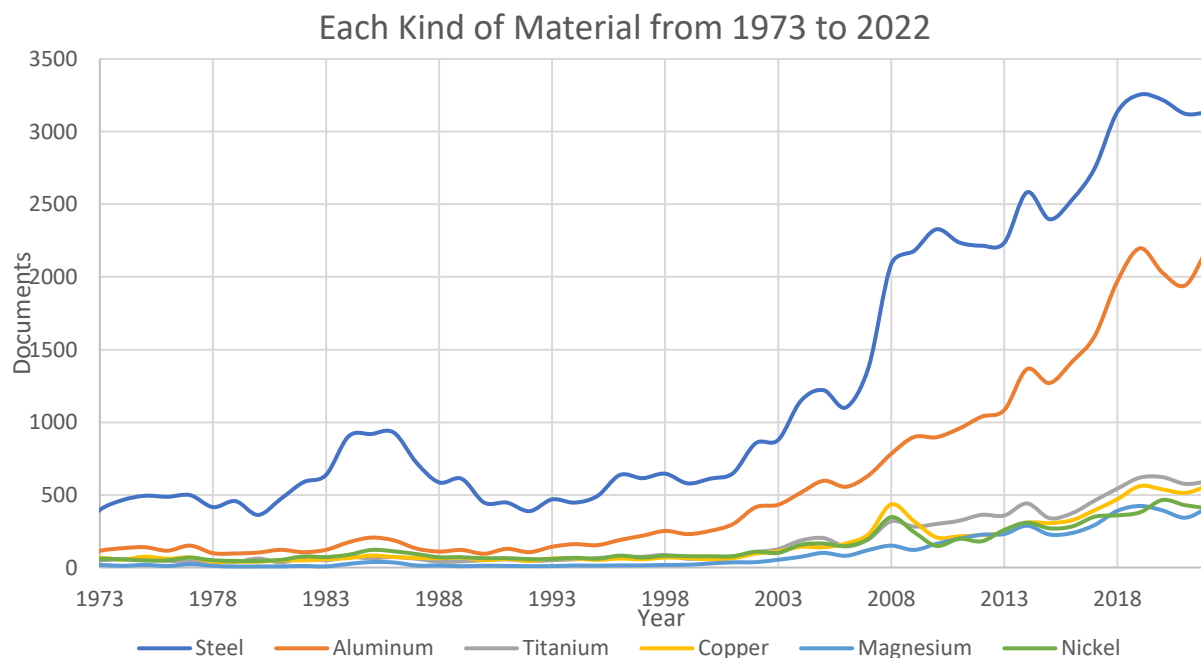
Year	Docs	Year	Docs	Year	Docs	Year	Docs	Year	Docs
1973	59	1983	72	1993	59	2003	101	2013	259
1974	57	1984	88	1994	67	2004	157	2014	309
1975	48	1985	121	1995	61	2005	165	2015	270
1976	50	1986	112	1996	82	2006	148	2016	283
1977	68	1987	93	1997	69	2007	199	2017	350
1978	50	1988	71	1998	82	2008	347	2018	359
1979	46	1989	71	1999	78	2009	245	2019	380
1980	45	1990	64	2000	78	2010	149	2020	465
1981	53	1991	65	2001	78	2011	198	2021	429
1982	76	1992	58	2002	109	2012	181	2022	409

Πίνακας 6.28. Δημοσιευμένα Άρθρα για Nickel 1973-2022

### Συνολικά Άρθρα για κάθε Υλικό 1970-2022

Material	Documents
Steel	63223
Aluminum	29500
Titanium	9217
Copper	8367
Magnesium	5068
Nickel	7654

Πίνακας 6.29. Συνολικά Δημοσιευμένα Άρθρα για κάθε υλικό 1973-2022



Διάγραμμα 6.20. Δημοσιευμένα Άρθρα για κάθε υλικό 1973-2022

Από τον πίνακα 6.29 αλλά και από το διάγραμμα 6.20 παρατηρούμε πως το επικρατέστερο υλικό και τις πέντε δεκαετίες της έρευνας, είναι ο χάλυβας. Μεγάλο ενδιαφέρον παρουσιάζεται και για το αλουμίνιο, αφού οι ιδιότητές του, του επιτρέπουν να χρησιμοποιηθεί σε μία τεράστια γκάμα κατασκευών. Παρατηρούνται επίσης στο διάγραμμα κάποιες χρονολογίες που έχουν μια μεγαλύτερη αύξηση σε σύγκριση με τις υπόλοιπες, όπως το 1984, το 2004, το 2008, το 2014 και το 2018, για όλες τις χώρες. Αντίστοιχα με τις τεχνολογίες, έτσι και με τα υλικά, παρατηρείται μία μείωση το 2020, πιθανόν λόγω του COVID-19.

### 6.2.2 Άρθρα ανά δεκαετία σε κάθε χώρα 1981-2020

Steel							
1981-1990		1991-2000		2001-2010		2011-2020	
Country	Docs	Country	Docs	Country	Docs	Country	Docs
Japan	798	Japan	963	China	2600	China	8043
United States	368	United States	875	United States	1898	India	2691
Un. Kingdom	165	Un. Kingdom	310	Japan	1746	United States	2235
Germany	124	Germany	266	Germany	919	Japan	1749
Canada	61	China	261	Un. Kingdom	679	Germany	1503
Russian Fed.	53	Russian Fed.	219	India	608	Russian Fed.	1094
Italy	51	India	201	South Korea	579	South Korea	998
India	43	Canada	120	Canada	411	Un. Kingdom	965
Sweden	43	France	113	France	411	Iran	830
Finland	35	Sweden	104	Russian Fed.	357	Brazil	815

Πίνακας 6.30. Δημοσιευμένα Άρθρα για Steel 1981-2020 ανά χώρα

Aluminum							
1981-1990		1991-2000		2001-2010		2011-2020	
Country	Docs	Country	Docs	Country	Docs	Country	Docs
Japan	163	United States	406	China	1231	China	4977
United States	87	Japan	399	United States	1017	India	2192
Un. Kingdom	30	Germany	115	Japan	818	United States	1236
Germany	27	Un. Kingdom	97	Germany	519	Germany	948
Ukraine	14	China	81	Un. Kingdom	351	Japan	771
Canada	10	Russian Fed.	80	France	238	Iran	712
Russian Fed.	9	India	50	Italy	218	Russian Fed.	591
France	7	Canada	39	India	200	Un. Kingdom	436
Italy	7	Italy	30	South Korea	196	Italy	427
Netherlands	7	France	29	Canada	156	Canada	386

Πίνακας 6.31. Δημοσιευμένα Άρθρα για Aluminum 1981-2020 ανά χώρα

### Titanium

1981-1990		1991-2000		2001-2010		2011-2020	
Country	Docs	Country	Docs	Country	Docs	Country	Docs
Japan	66	United States	131	China	528	China	1696
United States	29	Japan	94	United States	309	India	416
Un. Kingdom	12	Russian Fed.	48	Japan	195	Russian Fed.	383
Germany	11	China	40	Germany	111	United States	355
Canada	9	India	34	Un. Kingdom	89	Japan	184
Russian Fed.	9	Germany	32	India	82	Germany	181
Ukraine	9	Un. Kingdom	23	Russian Fed.	81	Un. Kingdom	172
China	5	Ukraine	22	South Korea	49	Italy	150
Finland	3	Canada	17	Canada	43	Iran	138
Italy	3	France	17	Italy	43	Poland	138

Πίνακας 6.32. Δημοσιευμένα άρθρα για Titanium 1981-2020 ανά χώρα

### Copper

1981-1990		1991-2000		2001-2010		2011-2020	
Country	Docs	Country	Docs	Country	Docs	Country	Docs
Japan	115	Japan	132	China	448	China	1178
United States	40	United States	114	United States	323	India	504
Germany	15	Russian Fed.	36	Japan	231	United States	291
Un. Kingdom	9	China	31	Germany	116	Germany	277
Italy	6	Germany	29	South Korea	92	Russian Fed.	210
Russian Fed.	5	Sweden	16	Taiwan	90	Japan	184
India	4	India	14	Un. Kingdom	65	Iran	176
Sweden	4	Un. Kingdom	14	India	64	France	92
China	3	Canada	13	France	55	Un. Kingdom	73
Netherlands	3	France	12	Singapore	41	Turkey	71

Πίνακας 6.33. Δημοσιευμένα Άρθρα για Copper 1981-2020 ανά χώρα

### Magnesium

1981-1990		1991-2000		2001-2010		2011-2020	
Country	Docs	Country	Docs	Country	Docs	Country	Docs
Very Few Documents		Japan	48	China	322	China	1180
		United States	22	Japan	152	India	423
		Germany	17	United States	99	United States	280
		India	9	Germany	87	Japan	161
		China	7	Canada	54	Canada	148
		Brazil	6	South Korea	44	Iran	136
		Norway	5	France	29	Germany	128
		Canada	4	India	29	Russian Fed.	120
		Russian Fed.	4	Un. Kingdom	23	Italy	79
		Egypt	3	Taiwan	16	Poland	67

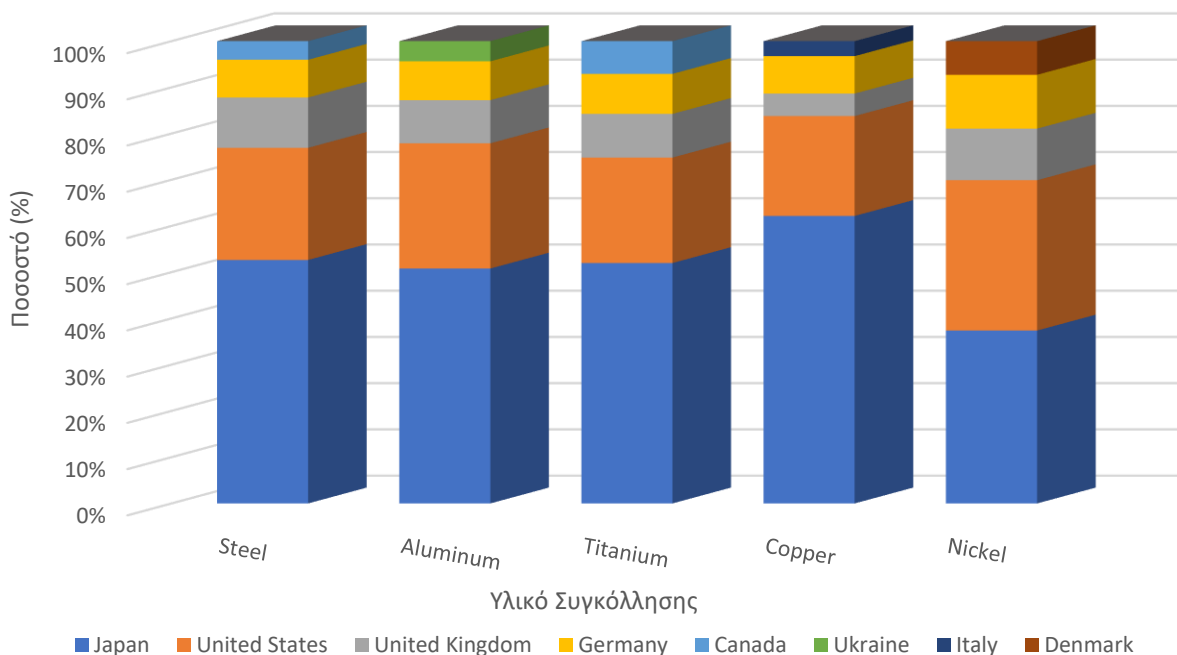
Πίνακας 6.34. Δημοσιευμένα Άρθρα για Magnesium 1981-2020 ανά χώρα

## Nickel

1981-1990		1991-2000		2001-2010		2011-2020	
Country	Docs	Country	Docs	Country	Docs	Country	Docs
Japan	77	United States	167	United States	358	China	845
United States	67	Japan	102	China	281	United States	354
Germany	24	Germany	57	Japan	169	India	302
Un. Kingdom	23	Russian Fed.	37	Germany	113	Russian Fed.	200
Denmark	15	China	36	Un. Kingdom	89	Germany	176
Finland	12	Un. Kingdom	31	India	72	Japan	166
Netherlands	7	France	24	Canada	70	Iran	135
Russian Fed.	7	Canada	20	South Korea	69	Un. Kingdom	128
Italy	6	Taiwan	18	Taiwan	59	Brazil	123
Canada	5	India	15	Russian Fed.	48	South Korea	102

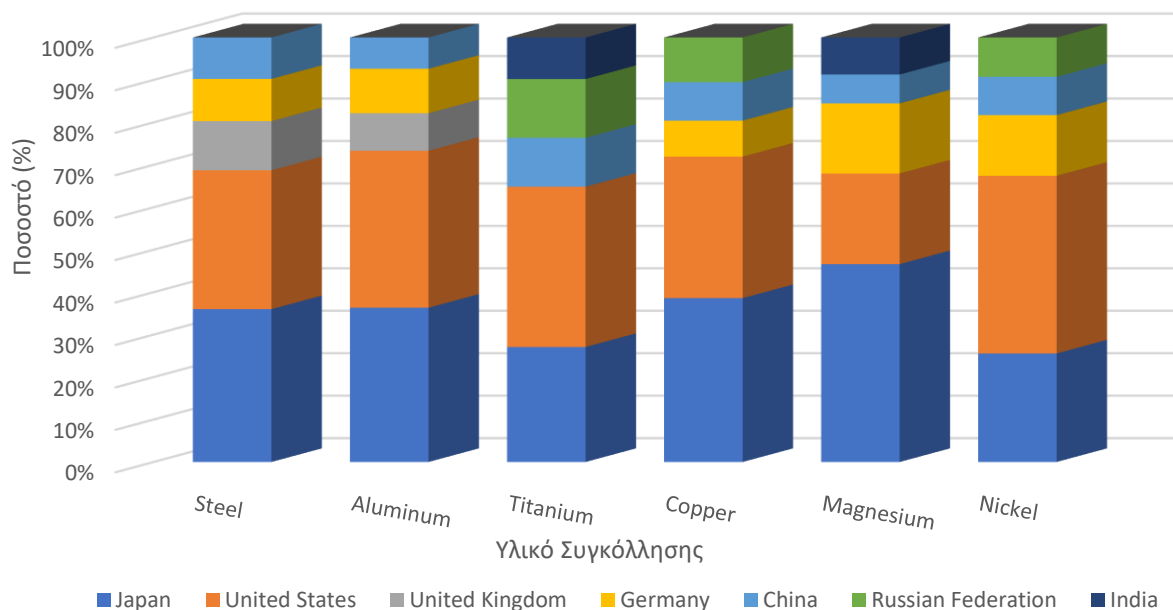
Πίνακας 6.35. Δημοσιευμένα Άρθρα για Nickel 1981-2020 ανά χώρα

Το ποσοστό που καλύπτουν οι 5 χώρες με τα περισσότερα άρθρα για το κάθε υλικό τη δεκαετία 1981-1990



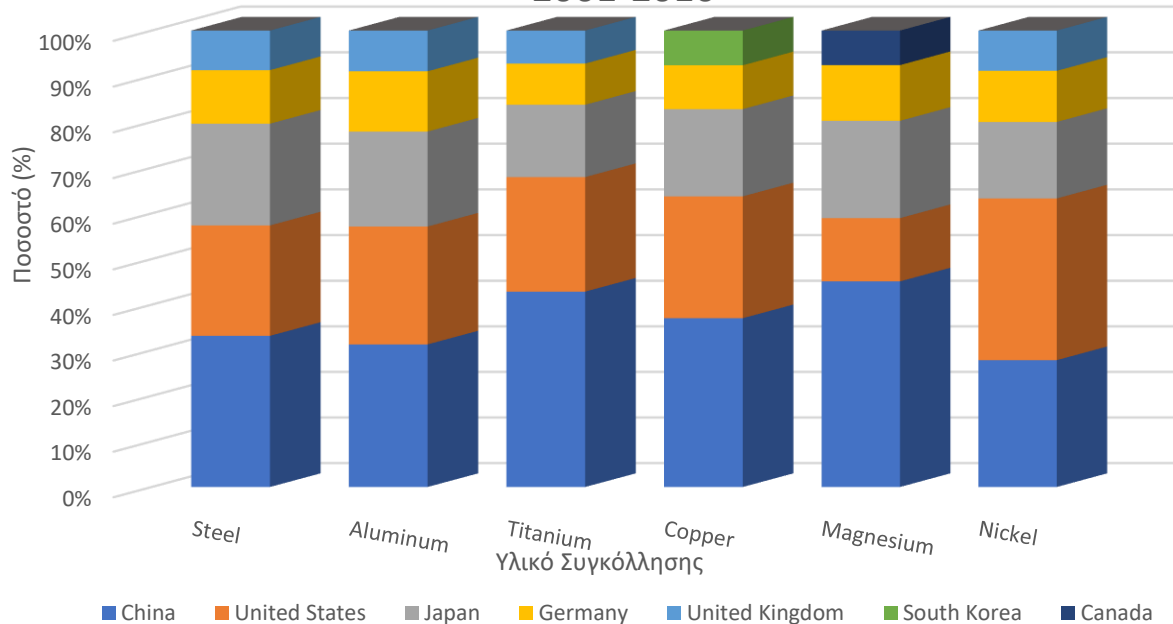
Διάγραμμα 6.21. Ποσοστό που καλύπτουν οι χώρες με τα περισσότερα αποτελέσματα για κάθε υλικό 1981-1990

Το ποσοστό που καλύπτουν οι 5 χώρες με τα περισσότερα άρθρα για το κάθε υλικό τη δεκαετία 1991-2000



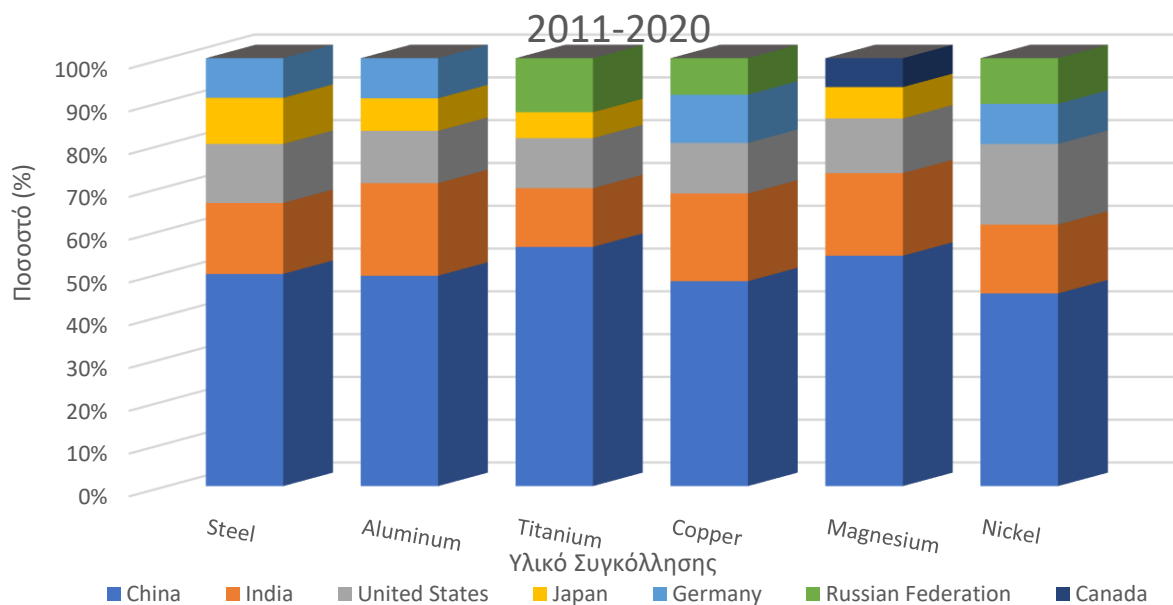
Διάγραμμα 6.22. Ποσοστό που καλύπτουν οι χώρες με τα περισσότερα αποτελέσματα για κάθε υλικό 1991-2000

Το ποσοστό που καλύπτουν οι 5 χώρες με τα περισσότερα άρθρα για το κάθε υλικό τη δεκαετία 2001-2010



Διάγραμμα 6.23. Ποσοστό που καλύπτουν οι χώρες με τα περισσότερα αποτελέσματα για κάθε υλικό 2001-2010

## Το ποσοστό που καλύπτουν οι 5 χώρες με τα περισσότερα άρθρα για το κάθε υλικό τη δεκαετία



Διάγραμμα 6.24. Ποσοστό που καλύπτουν οι χώρες με τα περισσότερα αποτελέσματα για κάθε υλικό 2011-2020

Συνοψίζοντας τους πίνακες από 6.30 μέχρι και 6.35, και τα διαγράμματα 6.21 μέχρι και 6.24, για την πρώτη δεκαετία παρατηρείται το μεγαλύτερο ενδιαφέρον από την Ιαπωνία, καθώς σε όλα τα υλικά είναι στην πρώτη θέση με τα περισσότερα δημοσιευμένα άρθρα. Σε υλικά όπως ο χαλκός φαίνεται να δημοσιεύει πάνω από το 50% των άρθρων σε σύγκριση με τις υπόλοιπες 4 πρώτες χώρες. Ακολουθεί η Αμερική, που σε όλα τα υλικά έχει τη δεύτερη μεγαλύτερη συμμετοχή. Στην τρίτη και τέταρτη βρίσκονται δύο Ευρωπαϊκές χώρες, το Ηνωμένο Βασίλειο και η Γερμανία. Σημαντικό είναι να αναφερθεί πως τα δημοσιευμένα άρθρα για το μαγνήσιο δεν ήταν αρκετά ώστε να συλλεχθούν για να εξηγηθούν. Την επόμενη δεκαετία, 1991-2000, παρακολουθούμε και πάλι την Αμερική και την Ιαπωνία να έχουν τα περισσότερα άρθρα, αν και η Αμερική φαίνεται να παρουσιάζει μια σχετικά μεγαλύτερη αύξηση από την Ιαπωνία. Η Γερμανία συνεχίζει να έχει συμμετοχή σε αντίθεση με το Ηνωμένο Βασίλειο, που εμφανίζεται μόνο σε δύο υλικά. Αυτή τη δεκαετία παρατηρείται επίσης και η έναρξη του ενδιαφέροντος για τα συγκεκριμένα υλικά συγκολλήσεως και για τις Κίνα, Ρωσία και Ινδία. Τη δεκαετία από το 2001 έως το 2010, η Κίνα φαίνεται να αρχίζει να δείχνει το μεγάλο της ενδιαφέρον, καθώς σε όλα τα υλικά εκτός του νικελίου, είναι στην πρώτη θέση. Η Αμερική λοιπόν και η Ιαπωνία, οπισθοχωρούν στη δεύτερη και τρίτη θέση αντίστοιχα, στις περισσότερες τεχνολογίες. Η Γερμανία και το Ηνωμένο Βασίλειο συνεχίζουν και καλύπτουν τις δύο τελευταίες θέσεις στη σχετική αναζήτηση. Την τελευταία δεκαετία από το 2011 μέχρι και το 2020 είναι πλέον ξεκάθαρο πως η Κίνα αποτελεί το μέγιστο κομμάτι όλων των ερευνών στα υλικά. Δημοσιεύει το διπλάσιο και μερικές φορές και τριπλάσιο ποσοστό άρθρων από τη δεύτερη χώρα, που κυρίως είναι η Ινδία, η οποία επίσης έχει μεγάλη ανάπτυξη ξεπερνώντας και την Ιαπωνία αλλά και την Αμερική. Στην τρίτη, τέταρτη και πέμπτη θέση βρίσκονται κυρίως η Ιαπωνία, η Ρωσία και η Γερμανία με διάφορες σειρές αναλόγως το υλικό.



### 6.2.3 Άρθρα ανά χρόνο στα 6 υλικά 1982-2022

Steel							
Year	China	Un. States	Japan	India	Germany	Un. Kingdom	Russian Fed.
2022	1122	187	175	501	170	90	161
2021	1019	168	186	430	142	97	155
2020	1006	217	162	452	171	97	192
2019	997	227	149	454	198	118	183
2018	964	253	166	410	176	89	145
2017	801	216	165	277	151	105	141
2016	740	236	173	216	153	91	123
2015	730	221	200	219	137	96	97
2014	764	241	166	227	133	105	61
2013	623	226	172	159	133	81	42
2012	711	176	175	160	131	84	53
2011	707	222	221	117	120	99	57
2010	591	278	242	127	156	116	31
2009	500	247	259	121	127	101	25
2008	443	250	251	102	143	119	44
2007	255	203	172	39	81	59	18
2006	243	169	138	39	79	51	27
2005	193	192	146	46	93	68	74
2004	146	180	184	45	66	50	51
2003	78	137	135	51	62	42	25
2002	73	147	131	21	62	42	37
2001	78	95	88	17	50	31	25
2000	47	104	112	27	37	47	23
1999	42	121	98	27	28	35	19
1998	31	134	91	24	38	32	24
1997	45	97	108	18	37	26	31
1996	20	104	87	20	36	52	25
1995	12	78	122	23	20	31	19
1994	18	60	80	18	16	22	27
1993	34	70	81	21	16	22	18
1992	7	47	85	9	21	17	14
1991	5	60	99	14	17	26	19
1990	6	68	75	14	35	28	17
1989	7	79	120	11	33	36	9
1988	10	52	101	9	26	19	14
1987	2	29	64	3	9	13	9
1986	0	26	85	2	3	11	1
1985	1	32	80	0	4	20	3
1984	3	18	73	0	5	10	0
1983	2	26	65	3	4	11	0
1982	2	17	56	1	2	10	0
SUM	13078	5710	5538	4474	3121	2299	2039

Πίνακας 6.36. Δημοσιευμένα Άρθρα για τις 7 πρωτοπόρες χώρες 1982-2022 ανά έτος στον χάλυβα

### Aluminum

Year	China	Un. States	Japan	India	Germany	Un. Kingdom	Russian Fed.
2022	849	104	88	549	79	46	93
2021	686	115	90	396	78	44	104
2020	746	114	105	424	108	48	87
2019	747	141	67	466	116	53	119
2018	649	149	91	404	117	50	93
2017	552	146	79	211	106	55	78
2016	472	122	67	163	101	55	60
2015	411	140	69	155	72	47	46
2014	418	122	81	125	88	36	48
2013	354	109	59	84	84	19	23
2012	301	87	84	105	77	34	21
2011	327	106	69	55	79	39	16
2010	241	122	83	46	75	42	5
2009	202	141	114	43	76	48	12
2008	194	97	95	43	64	33	12
2007	133	126	97	17	48	33	4
2006	132	74	77	8	60	47	10
2005	134	122	76	14	62	34	12
2004	86	92	89	10	45	37	14
2003	51	92	65	7	33	35	11
2002	24	83	76	8	41	28	11
2001	34	68	46	4	15	14	11
2000	25	53	60	8	18	16	11
1999	14	50	52	5	12	14	7
1998	11	82	44	5	14	12	3
1997	11	38	38	7	19	9	11
1996	8	37	23	9	17	16	10
1995	4	37	36	0	7	12	14
1994	2	44	40	4	11	1	6
1993	3	23	39	7	9	7	6
1992	3	19	31	1	6	5	4
1991	0	23	36	4	2	5	8
1990	0	18	25	0	10	4	3
1989	2	21	21	2	7	9	2
1988	0	15	20	0	5	4	0
1987	0	3	14	0	0	5	3
1986	0	3	20	0	1	1	0
1985	1	6	18	0	0	2	1
1984	0	5	14	0	0	1	0
1983	0	7	11	0	2	2	0
1982	0	7	7	0	1	1	0
SUM	7827	2963	2316	3389	1765	1003	979

Πίνακας 6.37. Δημοσιευμένα Άρθρα για τις 7 πρωτοπόρες χώρες 1982-2022 ανά έτος στο αλουμίνιο

### Titanium

Year	China	Un. States	Japan	India	Germany	Un. Kingdom	Russian Fed.
2022	279	28	22	107	11	19	49
2021	247	29	26	81	26	15	63
2020	255	47	23	94	15	13	72
2019	261	39	19	92	11	22	63
2018	208	38	25	76	25	16	44
2017	166	42	15	40	25	24	52
2016	132	29	12	26	24	17	37
2015	124	22	26	27	12	20	30
2014	176	38	13	16	22	14	25
2013	117	36	16	13	16	14	18
2012	141	29	17	12	15	15	23
2011	116	35	18	20	16	17	19
2010	94	48	21	9	21	11	10
2009	73	46	28	13	14	16	15
2008	82	47	41	26	20	12	5
2007	58	27	24	10	12	6	2
2006	56	18	6	5	10	4	10
2005	65	30	16	7	8	6	13
2004	45	31	20	5	12	15	8
2003	27	24	12	6	7	8	7
2002	20	24	16	0	2	5	7
2001	8	14	11	1	5	6	4
2000	11	15	11	7	2	2	1
1999	8	8	7	5	4	0	3
1998	2	26	4	3	7	5	9
1997	7	10	3	10	9	8	7
1996	3	15	8	4	2	1	5
1995	1	17	19	2	0	4	6
1994	2	11	15	0	3	0	4
1993	5	12	5	2	2	1	6
1992	0	5	8	1	3	1	4
1991	1	12	14	0	0	1	3
1990	2	6	18	1	6	0	3
1989	2	7	7	1	1	3	1
1988	1	2	8	0	0	3	0
1987	0	4	4	0	1	1	1
1986	0	2	12	0	0	1	0
1985	0	1	3	0	1	0	0
1984	0	4	4	0	1	0	0
1983	0	0	2	0	1	2	0
1982	0	3	3	0	0	1	2
SUM	2795	881	582	722	372	329	631

Πίνακας 6.38. Δημοσιευμένα Άρθρα για τις 7 πρωτοπόρες χώρες 1982-2022 ανά έτος στο τιτάνιο

### Copper

Year	China	Un. States	Japan	India	Germany	Un. Kingdom	Russian Fed.
2022	215	29	18	102	43	22	31
2021	202	25	26	72	53	9	34
2020	216	34	28	94	44	9	31
2019	210	34	22	107	49	15	45
2018	163	37	19	87	37	7	19
2017	131	27	14	64	27	12	29
2016	102	29	19	45	31	9	23
2015	100	35	19	44	13	8	18
2014	74	35	12	15	26	3	17
2013	62	24	13	17	16	4	8
2012	63	13	16	21	15	4	13
2011	57	23	22	10	19	2	7
2010	46	18	29	9	23	3	1
2009	94	62	35	12	12	13	3
2008	120	84	46	10	18	13	6
2007	66	41	21	5	12	7	1
2006	32	27	18	1	14	9	4
2005	43	19	18	9	8	3	2
2004	20	19	16	6	10	9	5
2003	15	18	18	8	7	2	5
2002	5	17	19	1	7	4	7
2001	7	18	11	3	5	1	2
2000	7	8	11	3	6	3	2
1999	3	11	16	2	3	0	3
1998	3	16	14	2	4	0	3
1997	0	15	8	1	2	2	3
1996	5	12	7	2	2	4	5
1995	5	11	12	2	0	1	5
1994	1	8	28	0	2	0	5
1993	4	11	16	0	5	2	3
1992	1	10	10	0	3	2	3
1991	2	12	10	2	2	1	4
1990	1	8	14	1	6	2	2
1989	1	9	19	1	4	2	2
1988	1	7	11	1	2	1	0
1987	0	2	14	1	0	0	1
1986	0	2	15	0	1	0	0
1985	0	5	16	0	0	0	0
1984	0	0	8	0	0	1	0
1983	0	2	4	0	1	0	0
1982	0	3	7	0	0	3	0
SUM	2077	820	699	760	532	192	352

Πίνακας 6.39. Δημοσιευμένα Άρθρα για τις 7 πρωτοπόρες χώρες 1982-2022 ανά έτος στον χαλκό

### Magnesium

Year	China	Un. States	Japan	India	Germany	Un. Kingdom	Russian Fed.
2022	186	22	16	109	7	9	13
2021	134	26	14	74	15	9	27
2020	159	19	27	95	11	7	16
2019	176	17	18	99	18	6	31
2018	155	32	20	69	19	8	29
2017	125	26	12	43	9	9	11
2016	108	29	16	18	11	5	10
2015	85	32	14	30	9	2	10
2014	114	40	13	20	13	5	10
2013	92	33	10	15	14	2	3
2012	83	26	20	22	13	5	1
2011	83	26	11	12	11	2	3
2010	69	21	19	10	10	4	0
2009	46	7	23	4	14	2	2
2008	69	5	21	9	11	3	1
2007	38	14	27	4	10	1	2
2006	38	5	7	0	7	1	1
2005	33	11	15	1	10	6	1
2004	23	13	15	1	9	1	2
2003	4	7	13	0	6	4	2
2002	0	9	7	0	4	0	0
2001	2	7	5	0	6	2	1
2000	1	4	4	2	5	0	1
1999	0	3	6	1	4	0	0
1998	1	4	4	0	2	0	0
1997	2	4	2	1	2	0	0
1996	0	5	2	2	3	1	2
1995	1	1	8	0	0	0	0
1994	0	0	7	0	0	0	0
1993	1	1	4	2	0	1	0
1992	1	0	4	0	1	1	0
1991	0	0	7	1	0	0	1
1990	0	2	3	0	1	0	0
1989	0	3	1	0	0	0	0
1988	0	0	4	0	1	0	0
1987	0	0	2	0	0	0	1
1986	0	1	3	0	0	0	0
1985	0	1	2	0	0	0	0
1984	0	0	0	0	0	0	0
1983	0	0	0	0	0	0	0
1982	0	1	1	0	0	0	0
SUM	1829	457	407	644	256	96	181

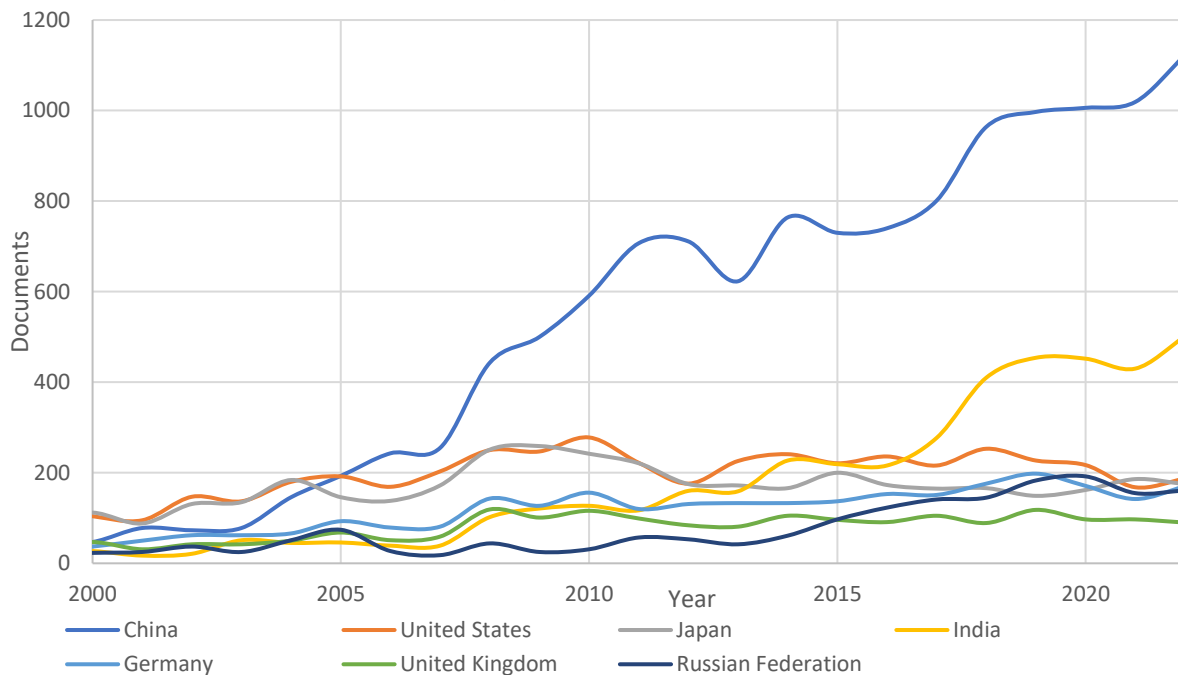
Πίνακας 6.40. Δημοσιευμένα Άρθρα για τις 7 πρωτοπόρες χώρες 1982-2022 ανά έτος στο μαγνήσιο

### Nickel

Year	China	Un. States	Japan	India	Germany	Un. Kingdom	Russian Fed.
2022	143	20	17	92	24	12	25
2021	138	24	16	68	30	10	32
2020	151	31	17	66	26	14	32
2019	111	30	9	49	23	17	30
2018	119	39	13	37	16	13	33
2017	96	37	22	42	21	10	31
2016	78	37	17	21	20	12	24
2015	87	35	20	21	13	5	18
2014	86	44	15	22	11	8	10
2013	53	40	13	19	20	12	9
2012	30	23	19	16	13	18	7
2011	34	38	21	9	13	19	6
2010	26	30	16	8	12	8	1
2009	52	40	17	14	11	12	3
2008	64	66	39	11	22	14	6
2007	35	44	19	6	16	11	3
2006	33	39	12	4	10	8	4
2005	24	42	19	11	9	6	5
2004	21	36	16	8	9	9	5
2003	12	25	8	7	10	5	2
2002	7	21	16	0	5	11	13
2001	7	15	7	3	9	5	6
2000	9	16	10	6	7	7	3
1999	6	20	9	1	9	4	4
1998	2	22	9	2	6	5	2
1997	3	19	9	0	4	0	5
1996	5	25	9	2	6	5	2
1995	4	14	8	1	9	3	4
1994	3	11	14	0	3	1	5
1993	2	14	6	2	4	4	3
1992	0	8	13	0	4	0	2
1991	2	18	15	1	5	2	7
1990	2	12	12	2	4	3	3
1989	1	12	14	0	7	3	2
1988	1	14	12	1	4	2	0
1987	1	4	8	0	1	1	0
1986	0	3	7	1	0	2	0
1985	0	6	6	0	3	2	1
1984	0	3	6	0	1	2	0
1983	0	4	4	0	1	6	0
1982	0	4	3	0	1	1	1
SUM	1448	985	542	553	422	292	349

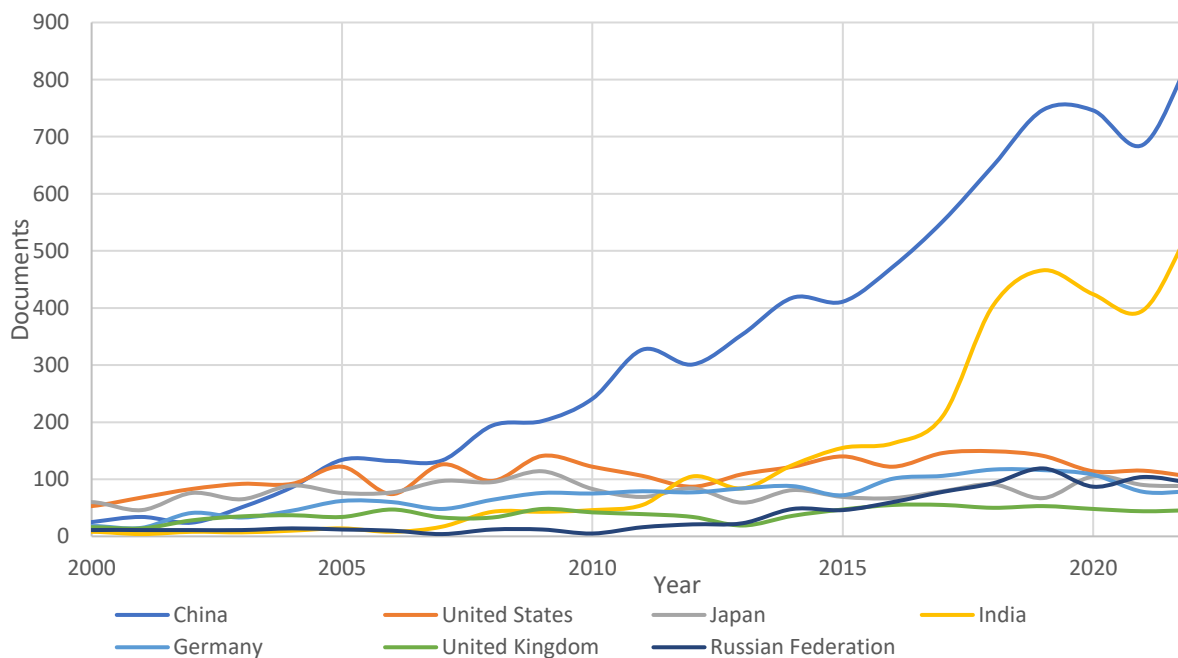
Πίνακας 6.41. Δημοσιευμένα Άρθρα για τις 7 πρωτοπόρες χώρες 1982-2022 ανά έτος στο νικέλιο

Documents "Welding" and "Steel" by Country 2000-2022



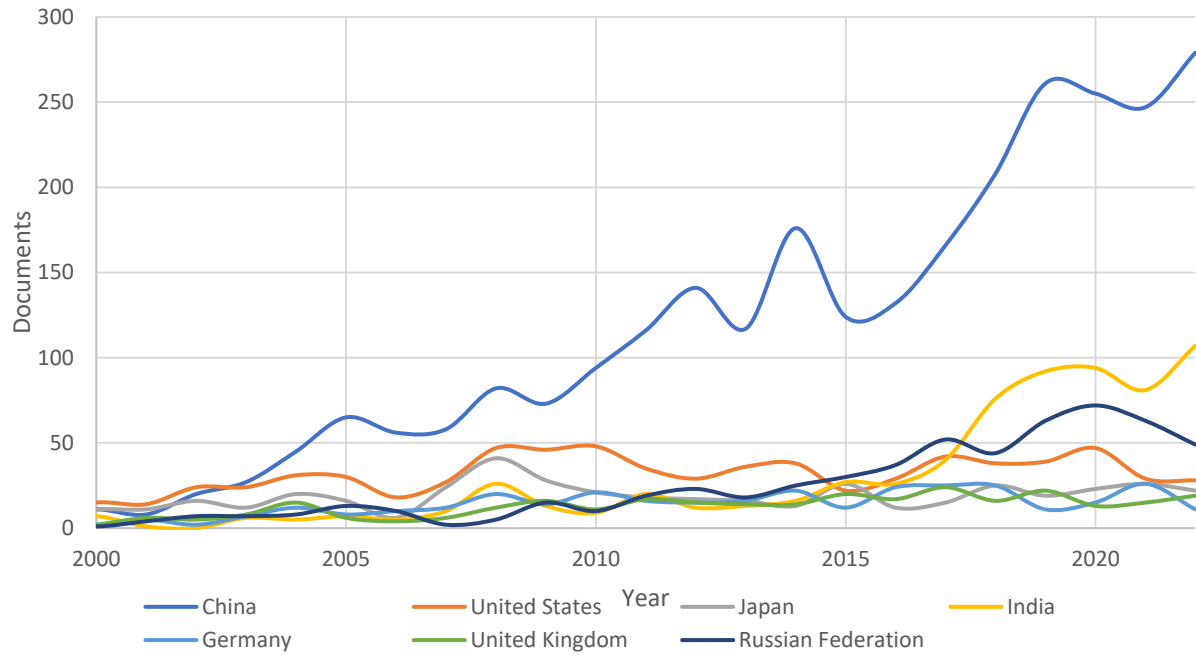
Διάγραμμα 6.25. Δημοσιευμένα Άρθρα για τις 7 πρωτοπόρες χώρες 2000-2022 ανά έτος στον χάλυβα

Documents "Welding" and "Aluminum" by Country 2000-2022



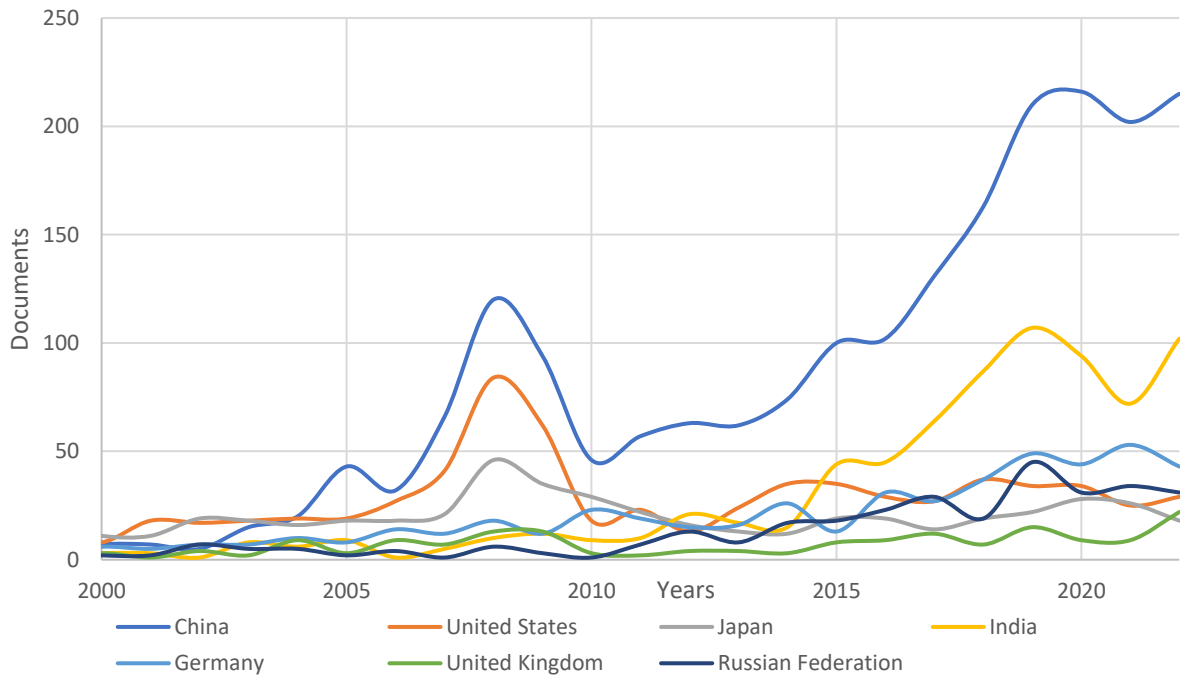
Διάγραμμα 6.26. Δημοσιευμένα Άρθρα για τις 7 πρωτοπόρες χώρες 2000-2022 ανά έτος στο αλουμίνιο

### Documents "Welding" and "Titanium" by Country 1982-2022



Διάγραμμα 6.27. Δημοσιευμένα Άρθρα για τις 7 πρωτοπόρες χώρες 2000-2022 ανά έτος στο τιτάνιο

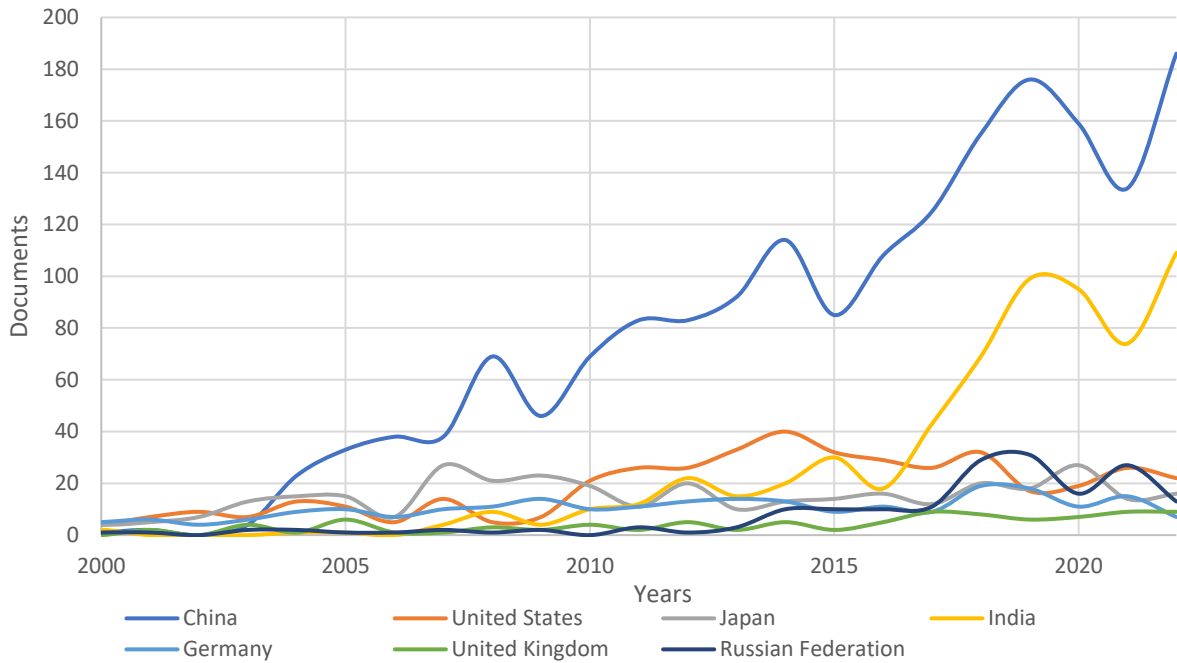
### Documents "Welding" and "Copper" by Country 2000-2022



Διάγραμμα 6.28. Δημοσιευμένα Άρθρα για τις 7 πρωτοπόρες χώρες 2000-2022 ανά έτος στον χαλκό

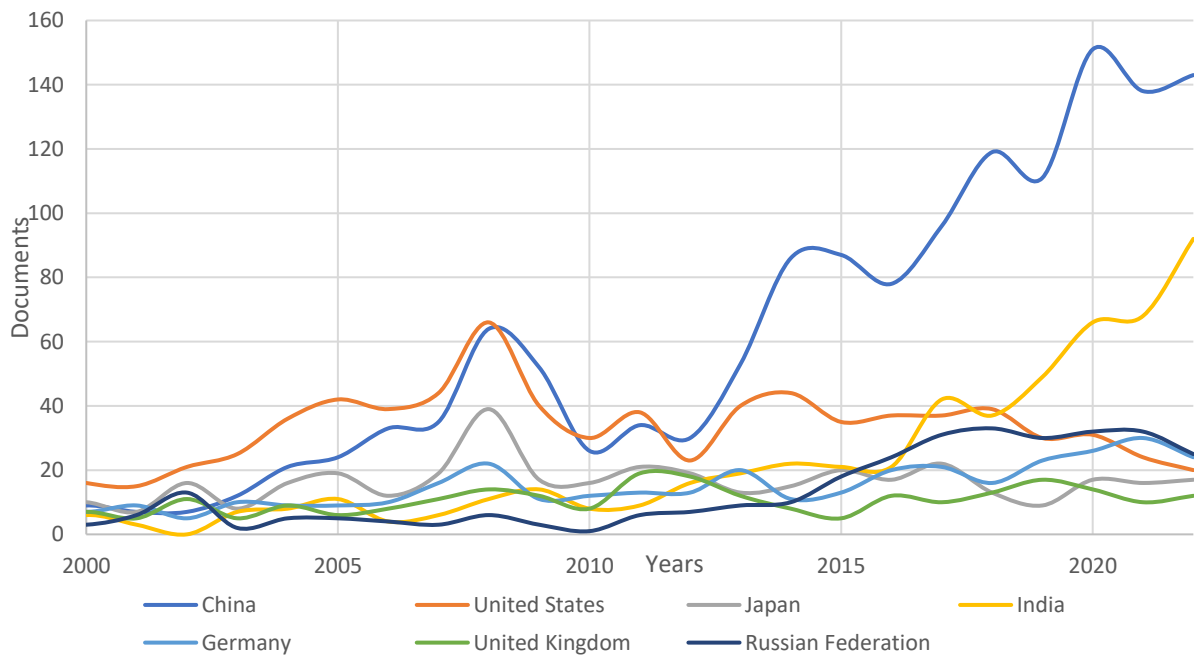


Documents "Welding" and "Magnesium" by Country 2000-2022



Διάγραμμα 6.29. Δημοσιευμένα Άρθρα για τις 7 πρωτοπόρες χώρες 2000-2022 ανά έτος στο μαγνήσιο

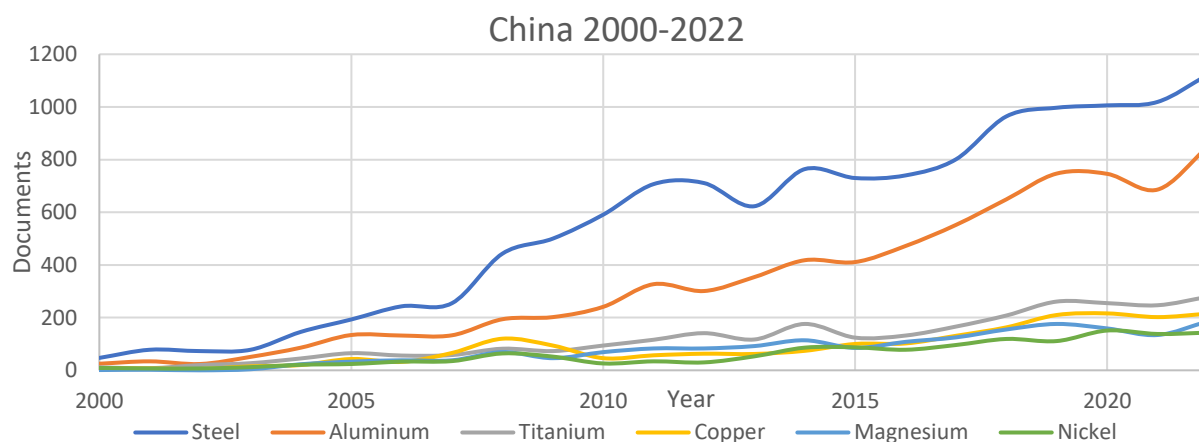
Documents "Welding" and "Nickel" by Country 2000-2022



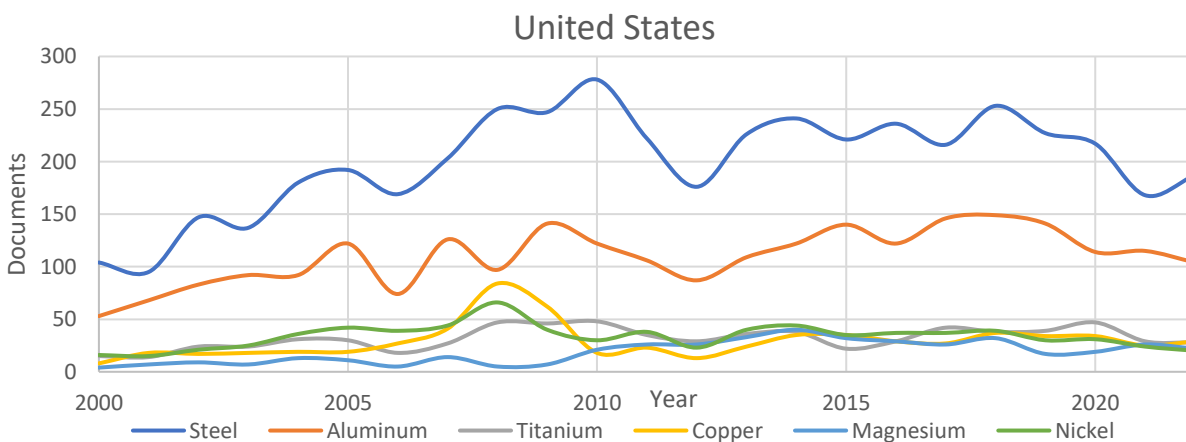
Διάγραμμα 6.30. Δημοσιευμένα Άρθρα για τις 7 πρωτοπόρες χώρες 2000-2022 ανά έτος στο νικέλιο

Από τους Πίνακες 6.36 μέχρι και 6.41 και τα Διαγράμματα από 6.25 μέχρι και 6.30, σε αντίθεση με τις τεχνολογίες, φαίνεται πως σε όλα τα υλικά η Κίνα από το 2005 μέχρι και το 2022 δημοσιεύει τα περισσότερα άρθρα σταθερά. Η μόνη διαφοροποίηση είναι στο Νικέλιο, όπου η Αμερική μέχρι το 2011 φαίνεται να συνεχίζει να δημοσιεύει με ανεβασμένους ρυθμούς, αν και αυτή επίσης, υποχωρεί πίσω από την Κίνα. Η Ινδία αυτή τη φορά, παρ' όλο που είναι εντυπωσιακά πάλι δεύτερη από το 2017 και μετά με αρκετά ταχεία ανάπτυξη, δεν μπορεί να συγκριθεί με την Κίνα, έχοντας εμφανώς λιγότερα άρθρα σε όλα τα υλικά. Μεγάλες αυξήσεις των χωρών φαίνεται να παρουσιάζονται σε όλα τα υλικά τις χρονολογίες 2008, 2013-2014, 2018-2019 και το 2022. Τέλος, αρκετά σημαντική αύξηση έχει η Ρωσία τη χρονολογία 2019, αλλά χωρίς να μπορεί να συναγωνιστεί τις πιο δραστήριες χώρες, την Κίνα και την Ινδία.

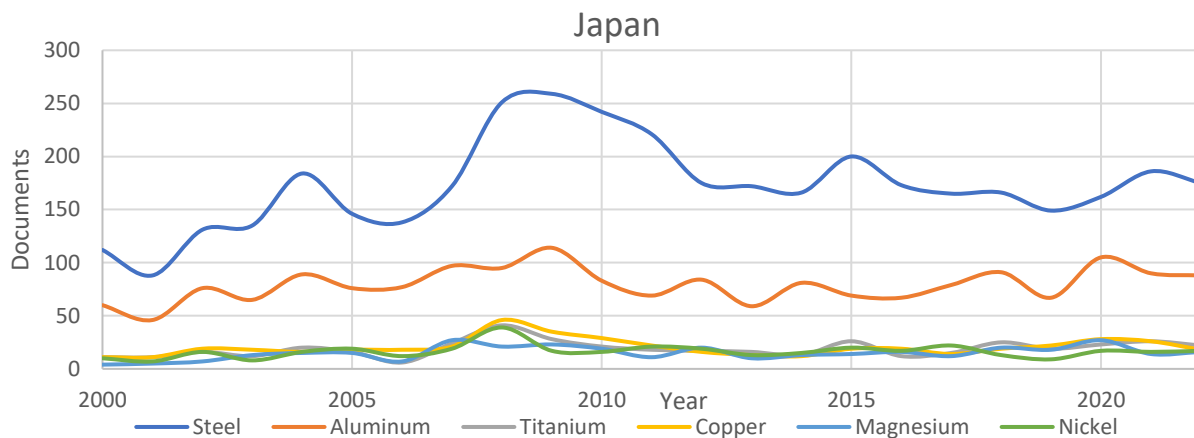
#### 6.2.4 Άρθρα ανά χρόνο στις 7 χώρες 2000-2022



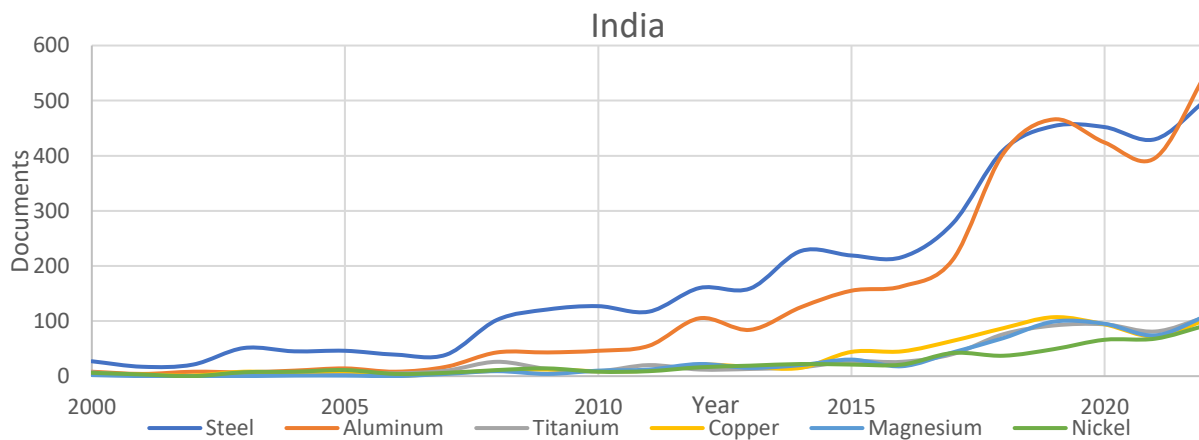
Διάγραμμα 6.31. Δημοσιευμένα Άρθρα Κίνας για υλικά συγκόλλησης 2000-2022



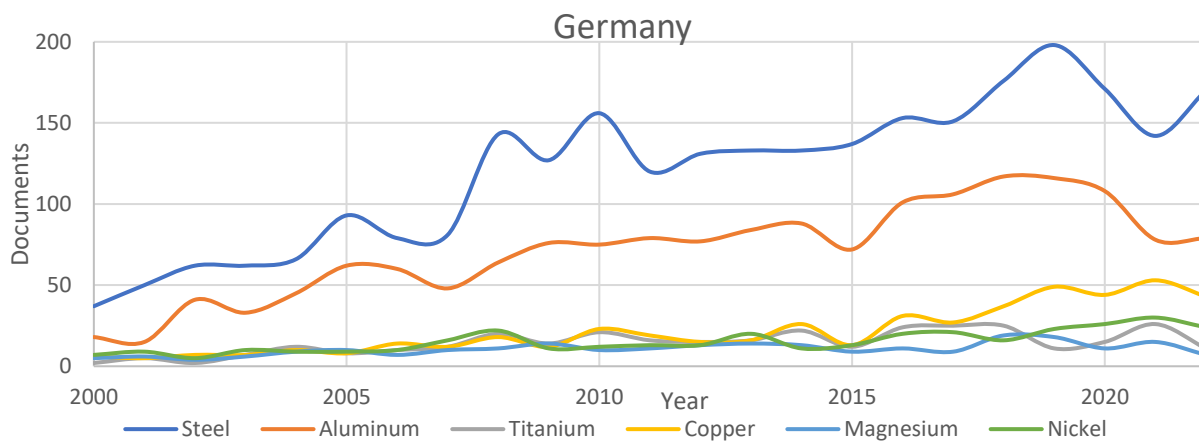
Διάγραμμα 6.32. Δημοσιευμένα Άρθρα Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής για υλικά συγκόλλησης 2000-2022



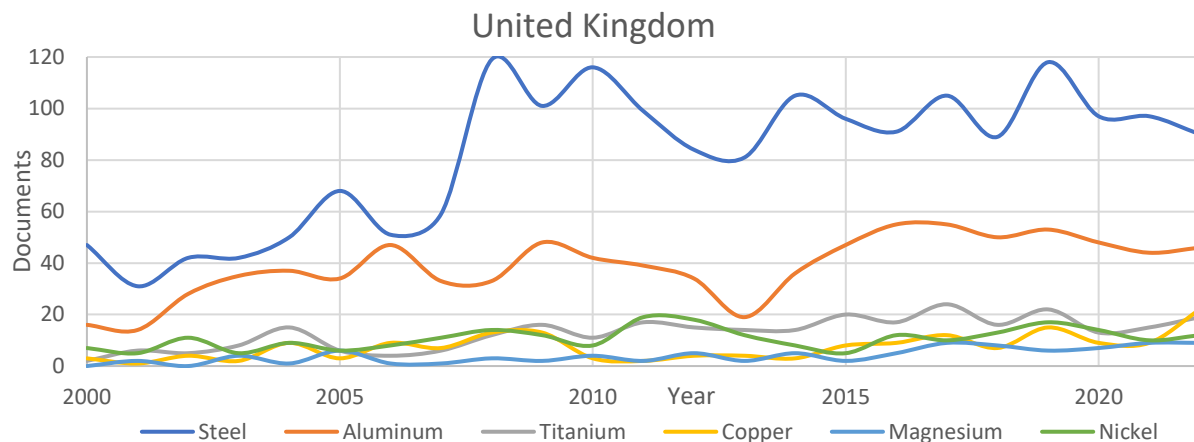
Διάγραμμα 6.33. Δημοσιευμένα Άρθρα Ιαπωνίας για υλικά συγκόλλησης 2000-2022



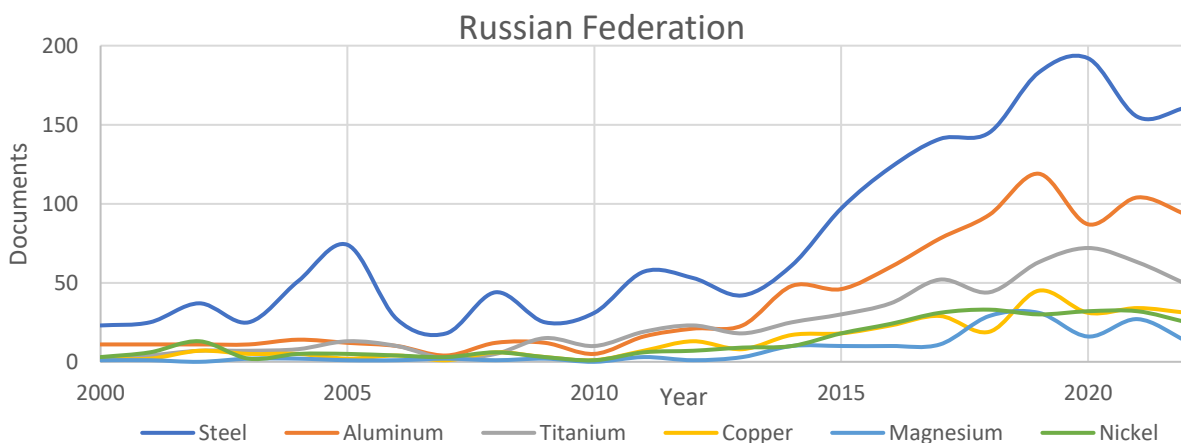
Διάγραμμα 6.34. Δημοσιευμένα Άρθρα Ινδίας για υλικά συγκόλλησης 2000-2022



Διάγραμμα 6.35. Δημοσιευμένα Άρθρα Γερμανίας για υλικά συγκόλλησης 2000-2022



Διάγραμμα 6.36. Δημοσιευμένα Άρθρα Ηνωμένου Βασιλείου για υλικά συγκόλλησης 2000-2022



Διάγραμμα 6.37. Δημοσιευμένα Άρθρα Ρωσίας για υλικά συγκόλλησης 2000-2022

Στα συγκεντρωτικά διαγράμματα από 6.31 μέχρι 6.37 της κάθε χώρας, παρατηρείται πως το περισσότερο ενδιαφέρον από το 2000 και μετά, είναι στον χάλυβα για σχεδόν όλες τις χώρες. Η μόνη χώρα που παρεκκλίνει από αυτό το μοτίβο είναι η Ινδία, που ενώ έχει πολλά δημοσιοποιημένα άρθρα για τον χάλυβα, έχει επίσης πολλά και για το αλουμίνιο, ξεπερνώντας μάλιστα το πρώτο υλικό για τα έτη 2019 και 2022. Η Κίνα, η Ινδία και η Ρωσία δείχνουν τη μεγαλύτερη άνοδο στην έρευνα των υλικών, με την τελευταία βέβαια μετά το 2020 να έχει μία μικρή πτώση. Η Γερμανία και το Ηνωμένο Βασίλειο δείχνουν να μένουν σε σταθερά επίπεδα δημοσίευσης άρθρων, ενώ η Ιαπωνία και οι Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής παρουσιάζουν και μία μικρή πτώση στο ενδιαφέρον τους για τα υλικά συγκολλήσεως.

## 7. Συμπεράσματα

Στη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία, εξηγήθηκαν κάποια γενικά χαρακτηριστικά όσον αφορά τις τεχνολογίες συγκόλλησης, τα υλικά που χρησιμοποιούνται για τις συγκολλήσεις αλλά και τις χώρες που δημοσιεύουν τα περισσότερα άρθρα, ώστε συλλέγοντας τα δεδομένα από το Scopus, να μπορεί να εξηγηθεί η διακύμανση της δημοσίευσης ανά τα χρόνια και που φαίνεται να κυμαίνεται το ενδιαφέρον.

Το μεγαλύτερο ενδιαφέρον για τις τεχνολογίες συγκολλήσεων καθ' όλη τη διάρκεια των τελευταίων πενήντα χρόνων το συγκεντρώνει η τεχνολογία GMAW-MIG-MAG. Αυτό μπορεί να εξηγηθεί καθώς είναι και η πιο γνωστή διαδικασία συγκόλλησης, ενδείκνυται για ένα μεγάλο εύρος υλικών, μπορεί να αυτοματοποιηθεί για γρήγορη μαζική παραγωγή και παρουσιάζει ένα φθηνό αλλά όμορφο αποτέλεσμα. Τα τελευταία περίπου δέκα χρόνια, η τεχνολογία FSW ξεπέρασε την LBW δείχνοντας μία προτίμηση προς την έρευνα για τεχνολογίες συγκόλλησης με τριβή. Οι έρευνες έρχονται κυρίως από χώρες της Ασίας, με την Κίνα και την Ιαπωνία να ξεχωρίζουν.

Το υλικό συγκόλλησης που συγκεντρώνει το μέγιστο ενδιαφέρον είναι ο χάλυβας, επιβεβαιώνοντας τη μεγάλη συγκολλητότητά του και το γεγονός πως αποτελεί το πιο διαδεδομένο κατασκευαστικό υλικό. Ακολουθεί το αλουμίνιο με τα περισσότερα δημοσιευμένα άρθρα, καθώς η χαμηλότερη πυκνότητά του από τα υπόλοιπα υλικά, κεντρίζει το ενδιαφέρον σε πολλούς τομείς της βιομηχανίας.

Παρατηρώντας όλα τα Διαγράμματα και τους Πίνακες που δημιουργήθηκαν, φαίνεται να υπάρχει πολύ χαμηλή βάση δεδομένων για άρθρα πριν το 2000. Αυτό μπορεί να αποδοθεί στη μειωμένη ανάρτηση αρχείων που υπήρχε τον προηγούμενο αιώνα, καθώς οι περισσότερες έρευνες και άρθρα υπάρχουν σε χειρόγραφο μορφή. Μεγάλη αύξηση φάνηκε τη χρονολογία 2008, αλλά υπήρξε μία παύση για πέντε χρόνια, πιθανότατα οφειλόμενη στην παγκόσμια οικονομική κρίση. Οι έρευνες άρχισαν να ακμάζουν ξανά από το 2017 και μετά, κρατώντας συνεχώς εκθετικά νούμερα μέχρι και το 2020, όπου υπήρξε η πανδημία του COVID-19. Το έτος με τα περισσότερα δημοσιευμένα άρθρα για τις συγκολλήσεις γενικότερα φαίνεται να είναι το 2019.

Η χώρα που ξεχωρίζει με τα περισσότερα δημοσιευμένα άρθρα από περίπου το 2000 και μετά, και για τις τεχνολογίες αλλά και για τα υλικά συγκόλλησης, είναι η Κίνα. Αυτό μπορεί να συγκριθεί και με το Κεφάλαιο 3, που δείχνει την Κίνα να ηγείται στην παραγωγή των περισσότερων υλικών που ερευνώνται. Διαθέτοντας το μεγαλύτερο ΑΕΠ και αποτελώντας τη δεύτερη πολυπληθέστερη χώρα, η έρευνα των τεχνολογιών και των συγκολλήσεων την κάνουν να ξεχωρίζει από όλες τις υπόλοιπες χώρες. Πολύ σημαντική φαίνεται να είναι η εξέλιξη της Ινδίας, καθώς ως η πολυπληθέστερη χώρα και με το τρίτο μεγαλύτερο ΑΕΠ, τα τελευταία πέντε χρόνια κάνει τεράστια άλματα στη δημοσιοποίηση άρθρων. Το ενδιαφέρον της βέβαια φαίνεται να στρέφεται κυρίως στις τεχνολογίες συγκόλλησης παρά στα υλικά. Η Γερμανία και η Ιαπωνία, παρ' ότι ήταν οι κυρίαρχες χώρες μέχρι το 2005, έπειτα δείχνουν μία πτώση, που τις φέρνει να δημοσιεύουν άρθρα αντίστοιχα με την Γερμανία, το Ηνωμένο Βασίλειο και τη Ρωσία.

Συνυπολογίζοντας πλέον όλα τα δεδομένα που έχουμε διαθέσιμα, οι περισσότερες δημοσιεύσεις συγκεντρώνονται στην Κίνα, με την Ινδία να δίνει την εντύπωση πως την επόμενη δεκαετία θα έχει καταφέρει να περάσει στην 1<sup>η</sup> θέση. Μία μελλοντική έρευνα θα μας έδειχνε αν θα ακολουθηθεί η πορεία που προβλέπουμε αυτή τη στιγμή με τα διαθέσιμα επιστημονικά άρθρα, ή αν κάποια άλλη χώρα θα κάνει την έκπληξη τα επόμενα χρόνια, μεγαλύτερη αυτής της Ινδίας.

## 8. Βιβλιογραφία

- Afolalu, S. A., Soetan, S. B., Ongbali, S. O., Abioye, A. A., & Oni, A. S. (2019). Impact of activated-flux tungsten inert gas (a-tig) welding on weld joint of a metal - Review. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 640(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/640/1/012064>
- American Welding Society. (2019). *Welding Journal* / October 2019. <https://doi.org/10.29391/2019.98.025>
- Emil Schubert. (2021). *Cause of weld spatter: GMAW welding and electric arc*.
- Gadewar, S. P., Swaminadhan, P., Harkare, M. G., & Gawande, S. H. (2010). Experimental Investigations of Weld Characteristics for a Single Pass TIG Welding With SS304. *Article in International Journal of Engineering Science and Technology*, 3676–3686. <https://www.researchgate.net/publication/50346010>
- Garg, R. K. (2012). *Parametric Effect on Mechanical Properties in Submerged arc welding process-A review*. <https://www.researchgate.net/publication/265009620>
- George, R. (2009). Laser in dentistry-Review. In *INTERNATIONAL JOURNAL OF DENTAL CLINICS* (Vol. 1, Issue 1). <https://www.researchgate.net/publication/265145915>
- Halvor Kvande. (2008). *Two Hundred Years of Aluminum... or Is It Aluminium?*
- International Monetary Fund. (2023). *World Economic Outlook Database: April 2023*.
- ISO4063. (1998). *Welding and allied processes - Nomenclature of processes and reference numbers*.
- ISO6848. (2015). *Nonconsumable tungsten electrodes*.
- ISO14172. (2015). *Welding consumables — Covered electrodes for manual metal arc welding of nickel and nickel alloys — Classification*.
- Iyaka, Y. A. (2011). Nickel in soils: A review of its distribution and impacts. In *Scientific Research and Essays* (Vol. 6, Issue 33, pp. 6774–6777). <https://doi.org/10.5897/SREX11.035>
- Iyibilgin, O., Findik, F., & Oz, C. (2011). Determination of welding parameters for shielded metal arc welding Tribology of AISI 316L SS View project Composite Patch View project. *Article in Scientific Research and Essays*. <https://doi.org/10.5897/SRE10.1073>
- Joseph S. Spoerl. (2004). *A Brief History of Iron and Steel Production*.
- Kammer Catrin. (2000). *Magnesium Taschenbuch*.
- Klimenko Yu. (1965). *Method of Welding Metal by Friction* (Patent SU195846).

- Kumar, R., Ramesh Mevada, N., Rathore, S., Agarwal, N., Rajput, V., & Barad, A. S. (2017). Experimental Investigation and Optimization of TIG Welding Parameters on Aluminum 6061 Alloy Using Firefly Algorithm. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 225, 012153. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/225/1/012153>
- Kumar, S., Roy, D. N., & Dey, V. (2021). A comprehensive review on techniques to create the anti-microbial surface of biomaterials to intervene in biofouling. In *Colloids and Interface Science Communications* (Vol. 43). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.colcom.2021.100464>
- Marshall G. Jones, & Gregory Georgalas. (1985). *Apparatus and method for performing laser material processing through a fiber optic* (Patent US4676586A).
- Metal Supermarkets. (2020). *The Melting Points of Metals*.
- Michael J. Troughton. (2008). *Handbook of Plastics Joining : A Practical Guide*.
- Miller Electric Mfg. LLC. (2020). *The History of Welding*. <https://www.millerwelds.com/resources/article-library/the-history-of-welding>
- Nadzam Jeff, Arnai Frank, Byall Lisa, Kotecki Damian, & Miller Duane. (1997). *Gas Metal Arc Welding Product and Procedure Selection*. [www.lincolnelectric.com](http://www.lincolnelectric.com)
- Norrish, J., & Cuiuri, D. (2014). The controlled short circuit GMAW process: A tutorial. *Journal of Manufacturing Processes*, 16(1). <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2013.08.006>
- Parkinson, R. (2001). *Plating and Electroforming - Essential Industries for today and the future*.
- Pocica, A. (2019). The Development of TIG Welding. *Biuletyn Instytutu Spawalnictwa*, 2019(3), 61–68. <https://doi.org/10.17729/ebis.2019.3/7>
- Robert M. Gage. (1957). *Arc torch and process* (Patent US2806124).
- Shanghai Domu Industrial Co. (2022). *PTA Hardfacing Technology and Application Introduction*.
- Taheri, H., Kilpatrick, M., Norvalls, M., Harper, W. J., Koester, L. W., Bigelow, T., & Bond, L. J. (2019). Investigation of nondestructive testing methods for friction stirwelding. In *Metals* (Vol. 9, Issue 6). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/met9060624>
- The Welding Institute. (1995). *Plasma Arc Welding*.
- Thomas W.M., Nicholas E.D., Needham J.C., Murch M.G., Temple-Smith P., & Dawes C.J. (1991). *Friction Welding Sheet Material* (Patent GB9125978 US5460317).
- United States Geological Survey. (2023a). *Aluminum Statistics and Information*.
- United States Geological Survey. (2023b). *Copper Statistics and Information*.
- United States Geological Survey. (2023c). *Iron and Steel Statistics and Information*.
- United States Geological Survey. (2023d). *Magnesium Statistics and Information*.



United States Geological Survey. (2023e). *Nickel Statistics and Information*.

United States Geological Survey. (2023f). *Titanium Statistics and Information*.

World Bank, W. D. Indicators. (2022). *Surface area (sq. km), Population, total*.

Yuvraj Gosavi, S., Krishna Alla, R., Gosavi, S., Gosavi, S., & Alla, R. (2013). Titanium-A Miracle Metal in Dentistry Fibre-reinforced composites View project Augmenting the properties of Dental Biomaterials View project Titanium: A Miracle Metal in Dentistry. In *Trends Biomater. Artif. Organs* (Vol. 27, Issue 1). <http://www.sbaoi.org/tibao>

Αλεξίου Γ. Καρμίρη. (1997). *Τεχνολογία Συγκολλήσεων*.