



ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΕΥΦΥΩΝ ΜΗΧΑΝΩΝ:

ΕΡ ΡΕΥΣΤΑ ΚΑΙ ΜΡ ΥΛΙΚΑ – ΒΑΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ **ΚΑΙ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΜΕΡΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ**



Ομάδα εργασίας:

Αδαμόπουλος Διονύσιος	-	A.M.4509
Πέττας Γιάννης	-	A.M.4446

Καθηγητής: Χ. ΠΑΠΑΔΟΠΟΥΛΟΣ

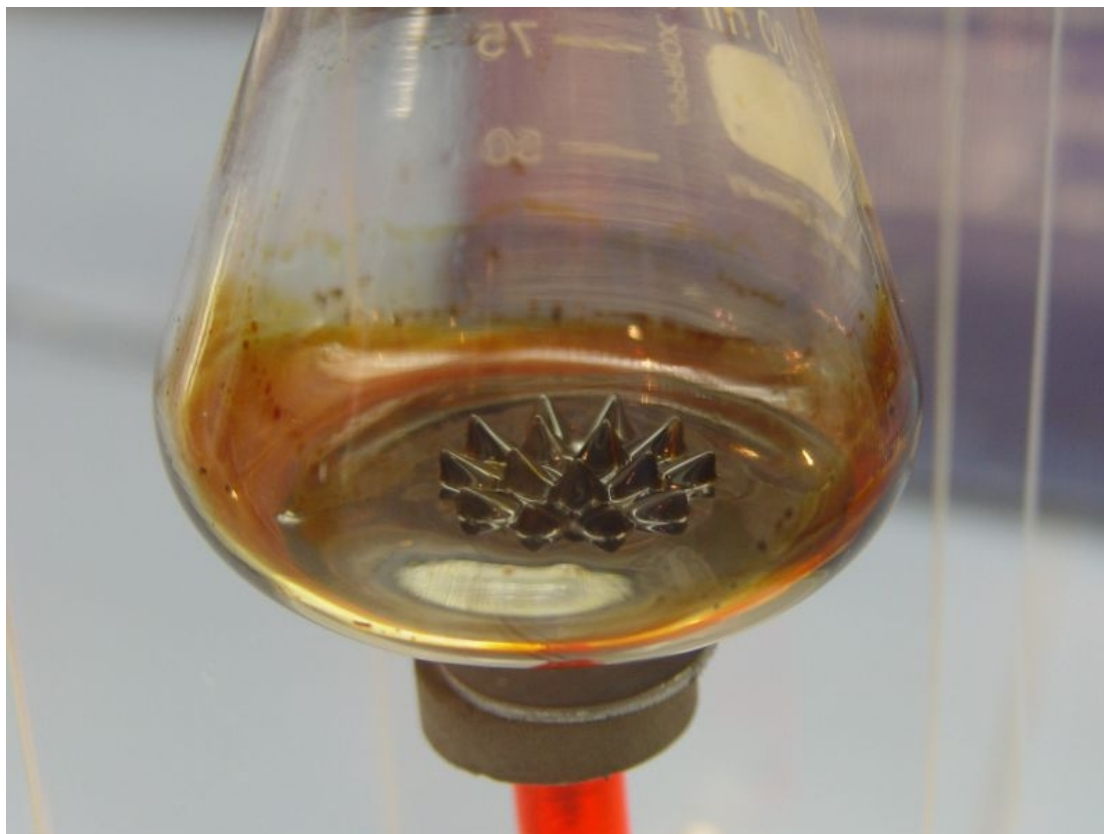
Μάιος 2006

Περιεχόμενα

Εισαγωγή.....	3
Δομή ER & MR ρευστών.....	6
Εφαρμογές των MR ρευστών	9
MR Ελαστομερή.....	16

Εισαγωγή

Τα μαγνητορεολογικά και ηλεκτρορεολογικά ρευστά ανήκουν σε μια οικογένεια ρευστών που έχουν την ικανότητα να ελέγχονται με την εφαρμογή ηλεκτρομαγνητικού πεδίου. Οι ρεολογικές ιδιότητες αυτών των ρευστών εξαρτώνται από την συγκέντρωση και την πυκνότητα των σωματιδίων, το μέγεθος των σωματιδίων, τις ιδιότητες του φέροντος ρευστού, το εφαρμοζόμενο πεδίο, την θερμοκρασία κ.α. Η αλληλεξάρτηση αυτών παραγόντων είναι πολύπλοκη και για αυτό τον λόγο πρέπει να εφαρμοστούν μεθοδολογίες για την βελτιστοποίηση της απόδοσης αυτών των ρευστών σε συγκεκριμένες εφαρμογές. Τελευταία υπάρχει ενδιαφέρον στην δημιουργία ρυθμιζόμενων υλικών βασισμένα στα ελαστομερή τα οποία φέρουν ηλεκτρικά αγωγά σωματίδια. Επίσης έχει αναπτυχθεί μια νέα μέθοδος χρήσης των MR ρευστών στην οποία το ρευστό εσωκλείεται σε μια μήτρα απορρόφησης.



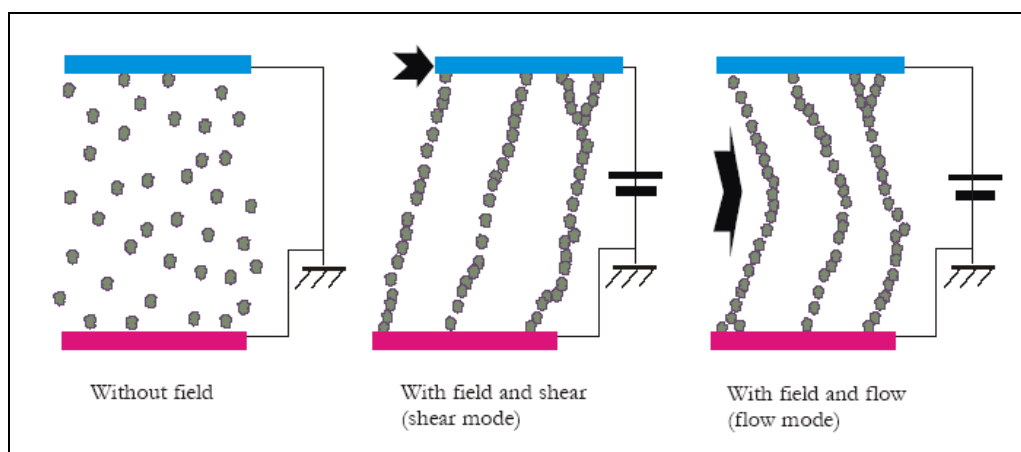
Εικόνα 1. FF Ρευστό υπό την παρουσία μαγνητικού πεδίου δημιουργεί το τρισδιάστατο σχήμα που παρατηρούμε

Ως ευφύες ρευστό ορίζεται ένα ρευστό στο οποίο η ροή μπορεί να ελεγχθεί διαμέσου της εφαρμογής ηλεκτρικού ή μαγνητικού πεδίου. Οι ρεολογικές ιδιότητες όπως το ιξώδες ή ελαστικότητα και η πλαστικότητα αλλάζουν σε πολύ μικρό χρόνο της κλίμακας των ms ως αντίδραση στα

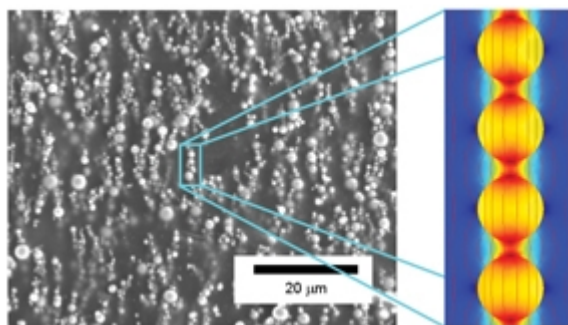
εφαρμοζόμενα ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία. Η μεγάλη αλλαγή στις ιδιότητες του ρευστού συμβαίνει όταν η διεύθυνση της ροής είναι παράλληλη σε συσχέτιση με την διεύθυνση του μαγνητικού πεδίου.

Το κυριότερο πλεονέκτημα των ρυθμιζόμενων ρευστών είναι το ότι προσφέρουν απλή, αθόρυβη και άμεση απόκριση μεταξύ ηλεκτρονικού ελέγχου και μηχανικών συστημάτων. Η ικανότητα αυτών των ρευστών στο να χρησιμοποιούνται άμεσα σαν βαλβίδες ταχείας αντίδρασης, χωρίς την χρήση μετακινούμενων μερών, στον έλεγχο των ταλαντώσεων είναι το κύριο κίνητρο στην ανάπτυξη τέτοιων ρευστών.

Τα μαγνητορεολογικά ρευστά περιλαμβάνουν σωματίδια ευαίσθητα στον μαγνητισμό ενώ τα ηλεκτρορεολογικά ρευστά περιλαμβάνουν σωματίδια που αντιδρούν στο ηλεκτρικό πεδίο. Η αλληλεπίδραση μεταξύ των δίπολων που προκύπτουν αναγκάζει τα σωματίδια να παραταχθούν σε στήλες, παράλληλα με το εφαρμοζόμενο πεδίο. Αυτές οι δομές αλυσίδας που δημιουργούνται περιορίζουν την κίνηση του ρευστού με αποτέλεσμα την αύξηση των ιξωδών χαρακτηριστικών του. Η μηχανική ενέργεια που απαιτείται για να υπερνικήσουμε της δυνάμεις συνοχής αυτής της αλυσίδας αυξάνεται με την εφαρμογή ισχυρότερου πεδίου.



Εικόνα 2α. Δημιουργία αλυσίδων στα MR ρευστά



Εικόνα 2b. Μικρογραφία αλυσίδων παρμένες από ηλεκτρονικό μικροσκόπιο

Τα MR ελαστομερή είναι στερεά μαστιχοειδή υλικά των οποίων η δυσκαμγία μπορεί να ρυθμιστεί έτσι ώστε να χρησιμοποιηθούν ως ρυθμιζόμενες βάσεις και ως μηχανισμοί απόσβεσης.

Το ηλεκτρορεολογικό φαινόμενο ανακαλύφθηκε από τον Winslow και το μαγνητορεολογικό φαινόμενο από τον Rabinow στην δεκαετία του 40.

Η αρχική ερευνά γύρω από τα ρυθμιζόμενα ρευστά επικεντρώθηκε στα ηλεκτρορεολογικά. Παρόλα αυτά τελευταία γίνεται ερευνά στα μαγνητορεολογικά τα οποία προσφέρουν μεγαλύτερη ποικιλία στα ρεολογικά χαρακτηριστικά, μικρότερη ευαισθησία σε ακαθαρσίες και απαιτούν μικρότερη κατανάλωση ενεργείας. Το κυριότερο πρόβλημα στην εφαρμογή τους είναι η δυσκολία εφαρμογής ισχυρών μαγνητικών πεδίων σε μεγάλη επιφάνεια.

Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται οι κυριότερες ιδιότητες των ER, MR υλικών.

Max. Yield Stress	50 - 100 kPa	2 - 5 kPa
Max. Field	~ 250 kA/m (limited by saturation)	~ 4kV/mm (limited by breakdown)
Viscosity	0.1 - 1.0 Pa-s	0.1 - 1.0 Pa-s
Operable Temp. Range	-40 to +150 °C (limited by carrier fluid)	+10 to +90 °C (ionic, DC) -25 to +125 °C (non-ionic, AC)
Stability	Unaffected by most impurities	Cannot tolerate impurities
Response Time	< milliseconds	< milliseconds
Density	3 - 4 g/cm ³	1 - 2 g/cm ³
$\eta_p/\tau_{y(field)}^2$	10 ⁻¹⁰ to 10 ⁻¹¹ s/Pa	10 ⁻⁷ to 10 ⁻⁸ s/Pa
Max. Energy Density	0.1 Joule/cm ³	0.001 Joule/cm ³
Power Supply (typical)	2 - 25 V @ 1 - 2 A (2 - 50 watts)	2 - 5 kV @ 1 - 10 mA (2-50 watts)

Εικόνα 3. Σύγκριση ER-MR ιδιοτήτων

Δομή ER και MR υλικών

Και τα ER και τα MR ρευστά περιλαμβάνουν ένα φέρον ρευστό, σωματίδια και προσθετικά . Για την επιλογή του καταλλήλου ρευστού

για μια συγκεκριμένη εφαρμογή θα πρέπει να λάβουμε υπόψη μας χαρακτηριστικά όπως :

1. Η θερμοκρασία λειτουργίας
2. Το μέγεθος και το βάρος της κατασκευής
3. Τη τάση λειτουργίας εξαιτίας της στατικής και δυναμικής καταπόνησης .

Αυτές οι απαιτήσεις θα προσδιορίσουν το μέγεθος των σωματιδίων και την ανάγκη χρήσης προσθετικών.

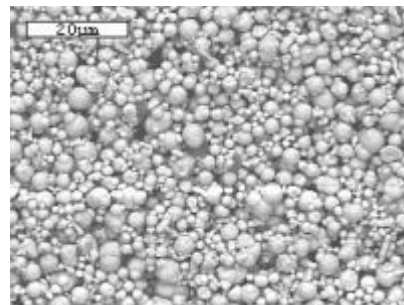
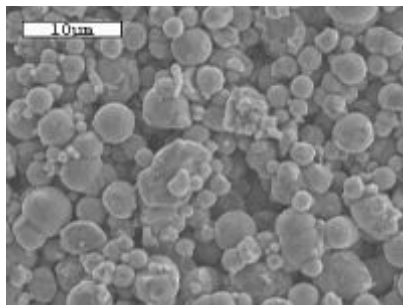
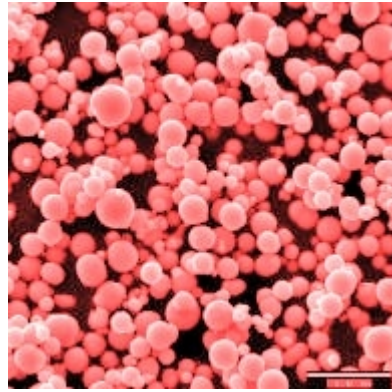
Συστατικά MR ρευστών

Στα MR ρευστά τα διασκορπισμένα φερρομαγνητικά σωματίδια χάλυβα είναι σφαιρικά με διαμέτρους από 0.1 έως 10 μ m. Η πυκνότητα αυτών των σωματιδίων είναι επίσης υψηλή (7-8g/cm) όπως επίσης και η ογκομετρική συγκέντρωση.

Το δεύτερο συστατικό του MR ρευστού είναι το φέρον ρευστό, το οποίο δρα ως μονωτικό μέσο. Μερικά από τα φέροντα ρευστά είναι έλαια σιλικόνης, κηροζίνη, και συνθετικά έλαια. Το τρίτο συστατικό των MR ρευστών είναι ο σταθεροποιητής(υλικό αναστολής , ο οποίος έχει ως σκοπό να συγκρατεί τα σωματίδια ακινητοποιημένα στο ρευστό. Υπάρχουν δυο είδη σταθεροποιητών:

- συσσωρευμένοι οι οποίοι αποτρέπουν την συγκόλληση και
- ιζηματογενής που αποτρέπουν την καθίζηση των σωματιδίων με τον χρόνο.

Δεδομένου ότι ο αριθμός των στοιχείων που μπορούν να μαγνητισθούν είναι μικρός οι επιλογές των MR υλικών είναι περιορισμένες σε σχέση με τα ER ρευστά. Παρόλα αυτά πολύ μεγαλύτερη ελευθερία είναι δυνατή στην επιλογή υγρών αναστολής και προσθετικών μιας και τα διηλεκτρικά χαρακτηριστικά του υγρού αναστολής δεν επηρεάζουν το μαγνητορεολογικό φαινόμενο. Επειδή ο μηχανισμός μαγνητικής πόλωσης δεν επηρεάζεται από την επιφανειακή χημεία των προσθετικών, είναι σημαντικά εύκολο να σταθεροποιήσουμε τα MR ρευστά ώστε να μην γίνεται ο διαχωρισμός μεταξύ σωματιδίων και ρευστού παρόλο την μεγάλη πυκνότητα που έχουν. Για υψηλής αντοχής MR ρευστά ο carbonyl χάλυβας είναι μια τυπική επιλογή μιας και κατέχει μεγάλο μαγνητικό κορεσμό, είναι φθινό και διαθέσιμο σε μεγάλες ποσότητες .



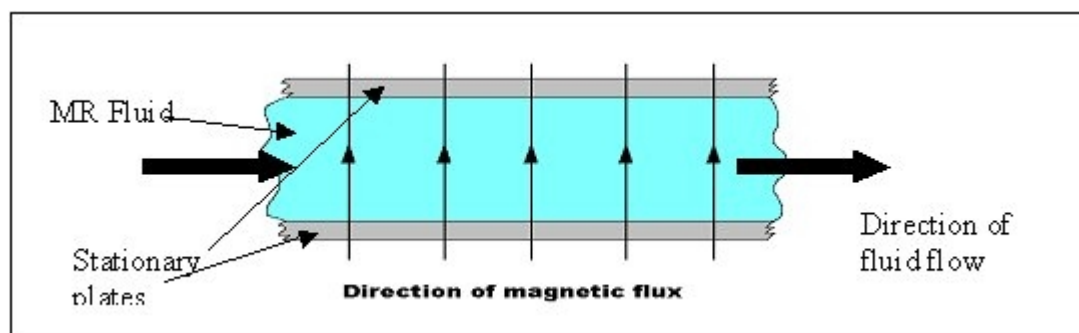
Εικόνα 4. 1-10μm μικροσωματίδια MR

Τρόποι λειτουργίας MR ρευστών

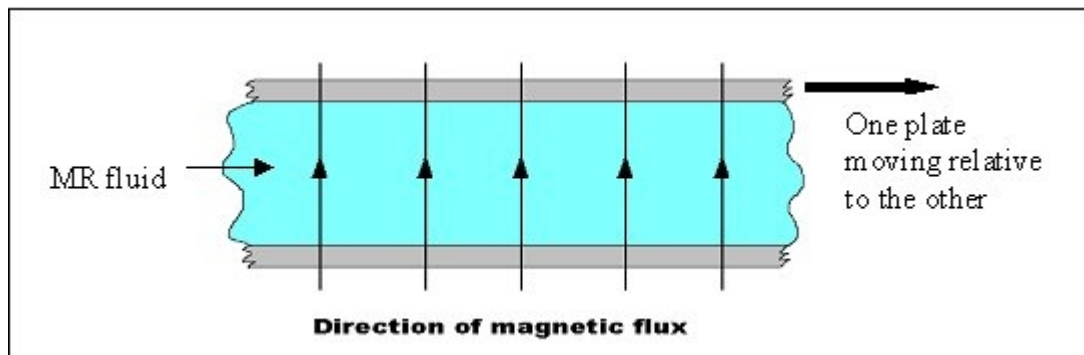
Τα MR ρευστά έχουν 3 τρόπους λειτουργίας:

- Εμπλοκή ροής
- Διάτμηση
- Συμπύεση

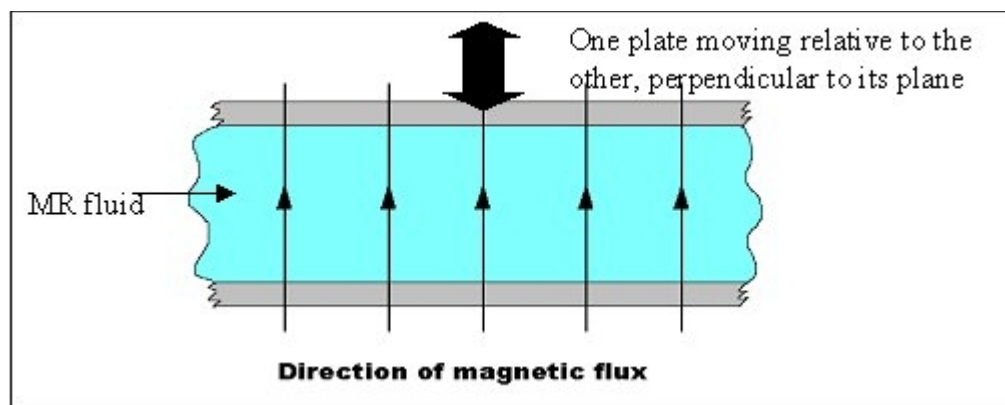
Όλες αυτές οι καταστάσεις περιγράφουν τον τρόπο με τον οποίο συμπεριφέρεται το ρευστό ανάλογο με τι είδους δύναμη εφαρμόζουμε μεταξύ δύο πλακών που εσωκλείουν MR ρευστό ανάμεσά τους. Στην επόμενη σειρά εικόνων περιγράφονται σχηματικά οι 3 καταστάσεις λειτουργίας όπως αναφέρθηκαν με την σειρά πιο πάνω. Σε όλες τις περιπτώσεις το μαγνητικό πεδίο είναι κάθετο σε σχέση με τις πλάκες.



1. Ροή



2. Διάτμηση



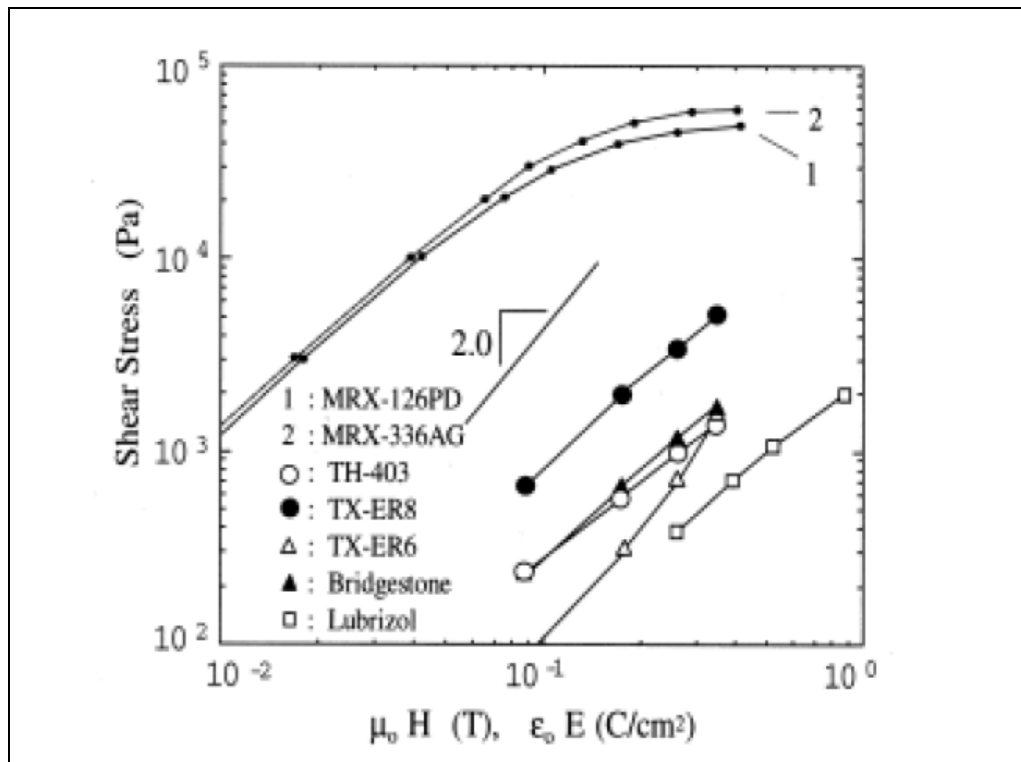
3. Συμπίεση

Σαφώς, οι εφαρμογές αυτών των διάφορων καταστάσεων είναι πολυάριθμες. Η κατάσταση ροής μπορεί να χρησιμοποιηθεί στις διατάξεις απόσβεσης και τους απορροφητές κραδασμών. Η διάτμηση είναι ιδιαίτερα χρήσιμη στους συμπλέκτες και τα φρένα – εκεί όπου η περιστροφική κίνηση πρέπει να ελεγχθεί. Η κατάσταση συμπίεσης αφ' ενός, είναι ο καταλληλότερη για τον έλεγχο εφαρμογών που περιλαμβάνουν μικρές, μετακινήσεις (χιλιοστόμετρα) με ταυτόχρονη εφαρμογή ισχυρών δυνάμεων.

Ρεολογικά Χαρακτηριστικά

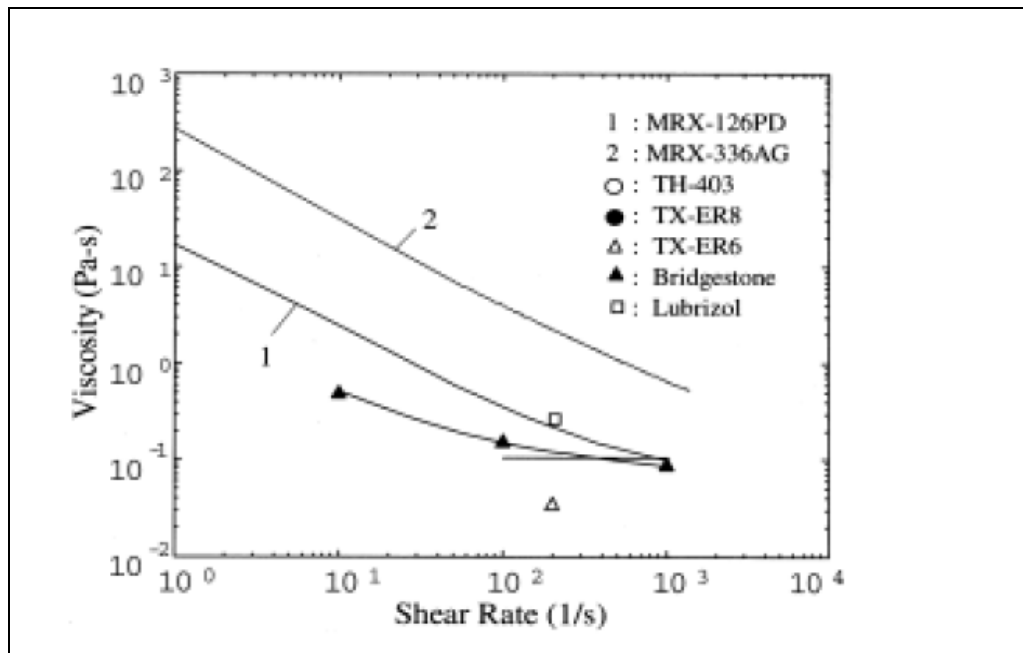
Τα ρεολογικά χαρακτηριστικά των ρυθμιζόμενων ρευστών εξαρτώνται από την συγκέντρωση και την πυκνότητα των σωματιδίων, το μέγεθος και το σχήμα των σωματιδίων, τις ιδιότητες του φέροντος ρευστού, πρόσθετα ,εφαρμοζόμενο πεδίο ,θερμοκρασία και από άλλους παράγοντες.

Η εξάρτηση της διατμητικής τάσης σε σχέση με το μαγνητικό πεδίο φαίνεται στο σχήμα:



Εικόνα 5.

Στα ασθενή πεδία και τα MR και τα ER ρευστά παρουσιάζουν γραμμική συσχέτιση μεταξύ πεδίου και τάσης. Η γραμμική αυτή συμπεριφορά οφείλεται στον σταδιακό κορεσμό σωματιδίων στα MR ρευστά. Στα άνω του 0.1 Tesla πεδία η κλίση στο πιο πάνω διάγραμμα μειώνεται μιας και το MR ρευστό αγγίζει τον πλήρη μαγνητικό κορεσμό. Όσο μεγαλύτερη συγκέντρωση χάλυβα έχουμε τόσο πιο εύκολα επιτυγχάνεται μαγνητικός κορεσμός. Τα ER ρευστά από την άλλη παρουσιάζουν διηλεκτρική κατάρρευση πριν επιτευχθούν πεδία στα οποία αυξάνεται ο μαγνητικός κορεσμός. Εξαιτίας αυτής της διηλεκτρικής κατάρρευσης τα επίπεδα της τάσης που τα ER ρευστά μπορούν να φέρουν είναι δυο τάξεις μικρότερη από την τάση που μπορούν να φέρουν τα MR ρευστά.

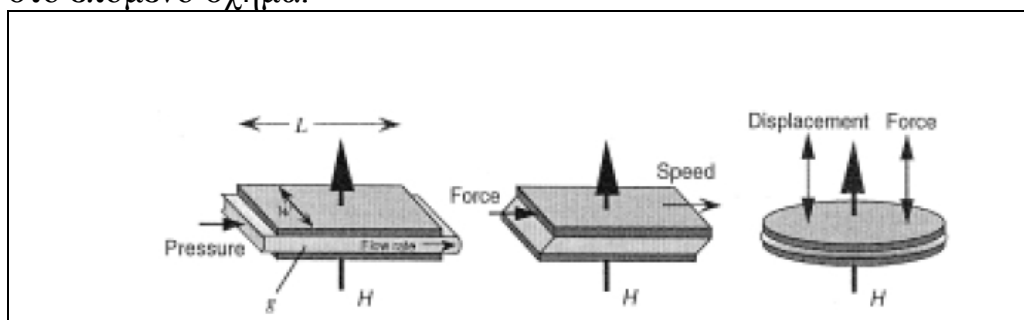


Εικόνα 6.

Στο πιο πάνω διάγραμμα παρουσιάζεται η συσχέτιση του ιξώδους και του ρυθμού διάτμησης. Ένα “καλό” MR ρευστό χαρακτηρίζεται από το χαμηλό αρχικό ιξώδες, υψηλές τιμές διατμητικής τάσης αμελητέα εξάρτηση από την θερμοκρασία, υψηλή σταθερότητα. Στα MR ρευστά το ιξώδες απουσία πεδίου αποδίδεται κυρίως στο φέρον έλαιο, και στα σωματίδια. Οι συσκευές που χρησιμοποιηθούν ρυθμιζόμενα ρευστά χωρίζονται σε δυο κατηγορίες :

- Συσκευές που δουλεύουν με την πίεση του ρευστού (βαλβίδες, αποσβεστήρες ,αποσβεστήρες κραδασμών)
- Συσκευές που χρησιμοποιηθούν την διατμητική δύναμη του ρευστού (συμπλέκτες, φρένα κλπ)

Διαγράμματα των δυο αυτών βασικών τρόπων λειτουργίας φαίνονται στο επόμενο σχήμα:



Εικόνα 7. 3 τρόποι λειτουργίας

Περιορισμοί MR ρευστών

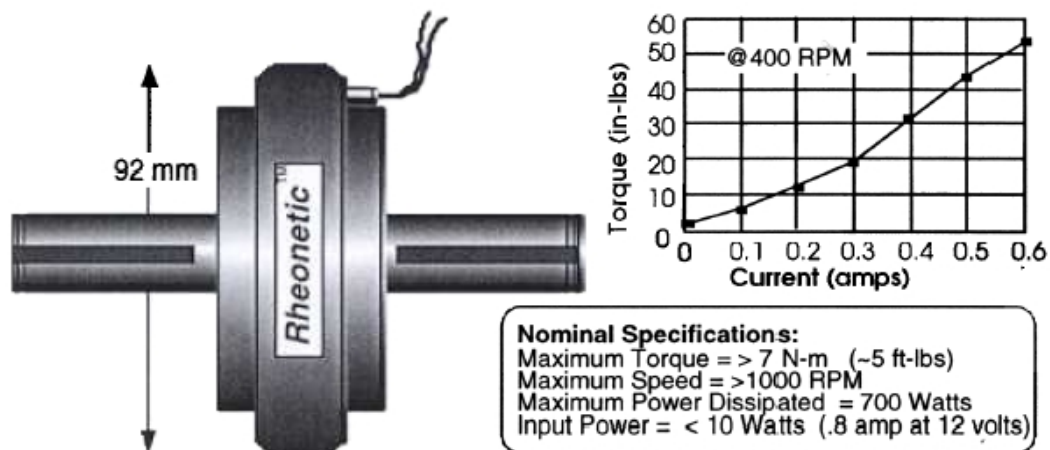
Αν και τα ευφυή ρευστά θεωρούνται πολλά υποσχόμενα, εμπεριέχουν περιορισμούς στην εμπορική δυνατότητα πραγματοποίησης για τους ακόλουθους λόγους:

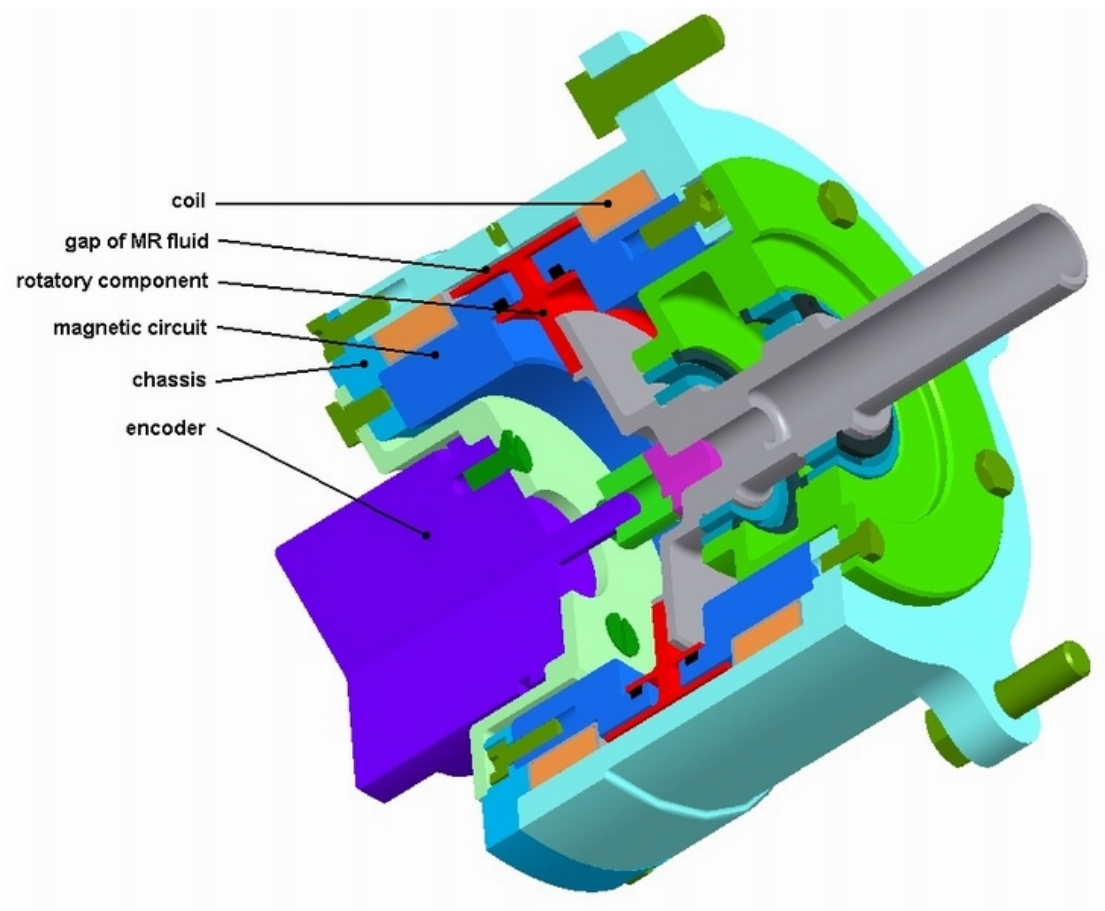
- Η υψηλή πυκνότητα, λόγω της παρουσίας σιδήρου, τους καθιστά βαριούς, εντούτοις οι όγκοι λειτουργίας είναι μικροί.
- Τα υψηλής ποιότητας ευφυή ρευστά είναι ακριβά.
- Η παρατεταμένη χρήση τους προκαλεί αύξηση της πυκνότητας του ρευστού με αποτέλεσμα την ανάγκη άμεσης αντικατάστασης.

Εφαρμογές των MR ρευστών

MR περιστροφικό φρένο

Από το 1995 έχει αρχίσει η μαζική παραγωγή και χρήση περιστροφικών φρενών σε όργανα γυμναστικής .

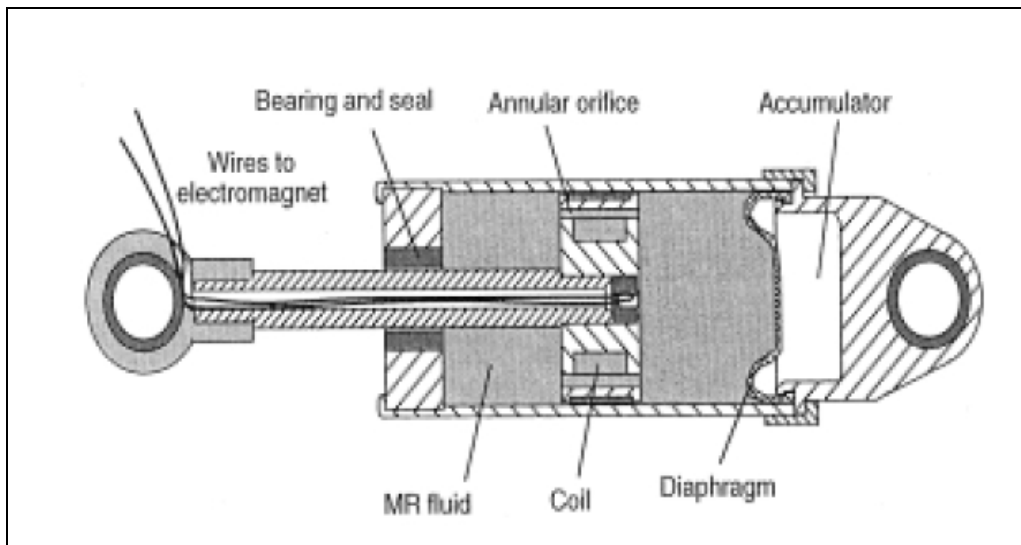




Εικόνα 8. MR φρένο

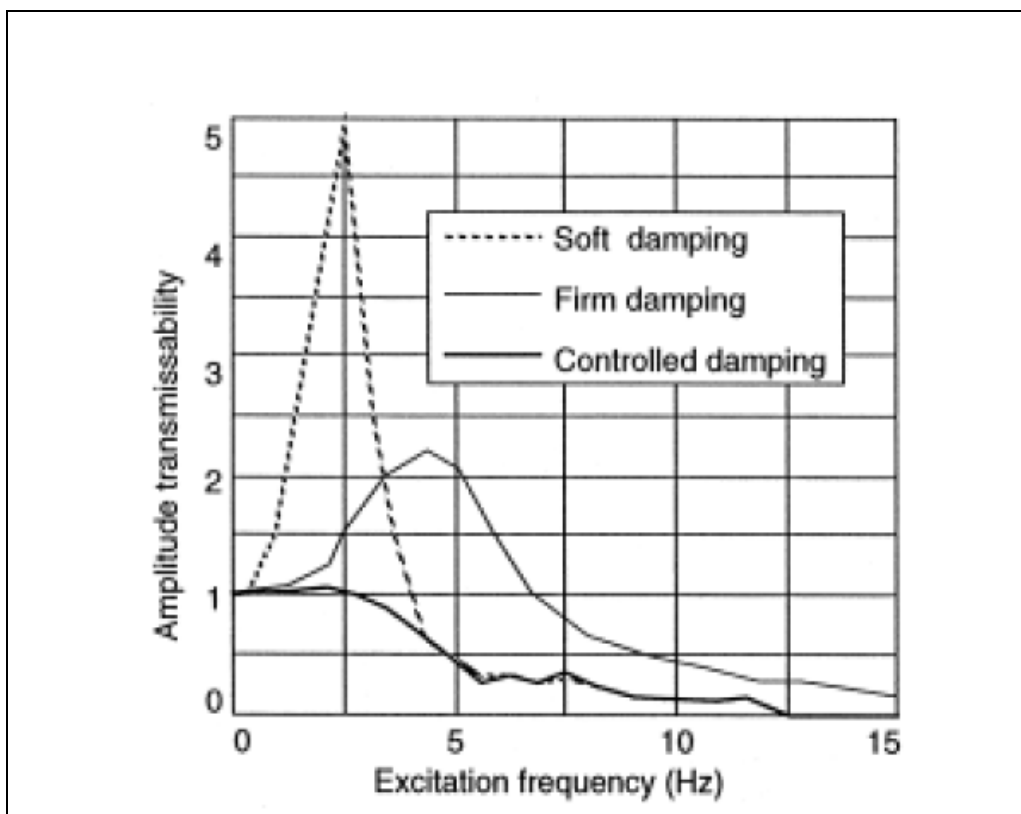
Ημιενεργός αποσβεστήρας καθισμάτων

Από το 1998 ξεκίνησε μηχανισμών MR σε καθίσματα φορτηγών. Στο επόμενο σχήμα φαίνεται ένας αποσβεστήρας που χρησιμοποιείται σε οχήματα.



Εικόνα 9. MR ημιενεργός αποσβεστήρας κραδασμών

Ο αποσβεστήρας MR είναι ικανός στο να επιτρέπει έναν ευρύ δυναμικό έλεγχο στα επίπεδα ισχύος λειτουργίας .



Εικόνα 10.

Μια είσοδος 5watt είναι αναγκαία για να λειτουργήσει ο αποσβεστήρας στο ονομαστικό ρεύμα 1A.

MR αποσβεστήρας κραδασμών για αυτοκίνητα

Το 1998 πρωτοχρησιμοποιήθηκαν για πρώτη φορά ρυθμιζόμενες αναρτήσεις MR σε αγωνιστικά αυτοκίνητα. Ένα σετ τεσσάρων από αυτές μπορεί να εξαλείψει την ανάγκη χρήσης πολλών διαφορετικών παθητικών υδραυλικών αποσβεστήρων. Οι χειριστές των αυτοκινήτων δεν θα έχουν την ανάγκη πλέον να αλλάζουν τις αναρτήσεις έτσι ώστε να βελτιστοποιήσουν τα οχήματα τους ανάλογα με τις συνθήκες του οδοστρώματος, του καιρού και της κατάστασης των ελαστικών.



MR Αποσβεστήρας κραδασμών

Ηλεκτρικό σύστημα διεύθυνσης

Ένα MR περιστροφικό φρένο χρησιμοποιείται στο να παρέχει σε πραγματικό χρόνο αίσθηση στον χειριστή ενός βιομηχανικού περνοφόρου οχήματος το οποίο λειτουργεί με βάση αυτό το σύστημα. Δεν υπάρχει καμιά μηχανική σύνδεση μεταξύ του τιμονιού και των τροχών. Ένα τέτοιο σύστημα είναι κατάλληλο στο να κινούνται τέτοια οχήματα σε κλειστούς χώρους. Η οδήγηση επιτυγχάνεται με ηλεκτρικό ρεύμα. Το πλεονέκτημα τέτοιων συστημάτων είναι ότι επιτυγχάνεται καλύτερη αίσθηση στον δρόμο σε σχέση με τα ήδη υπάρχοντα συστήματα ηλεκτρικής διεύθυνσης.



RD-2085-01

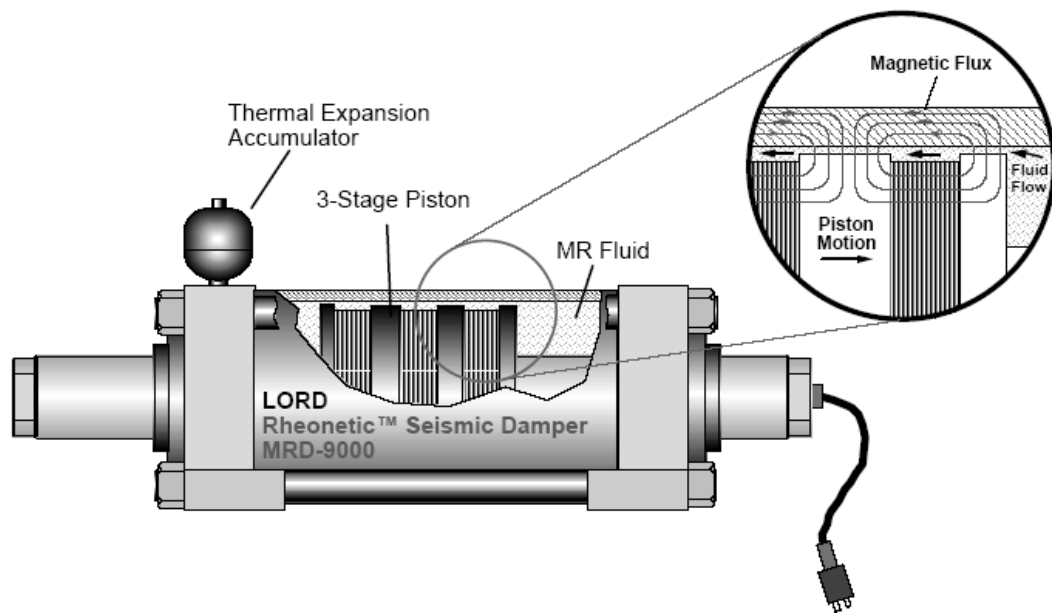
Εικόνα 11. MR drive-by-wire σύστημα



Εικόνα 12. MR drive-by-wire σύστημα

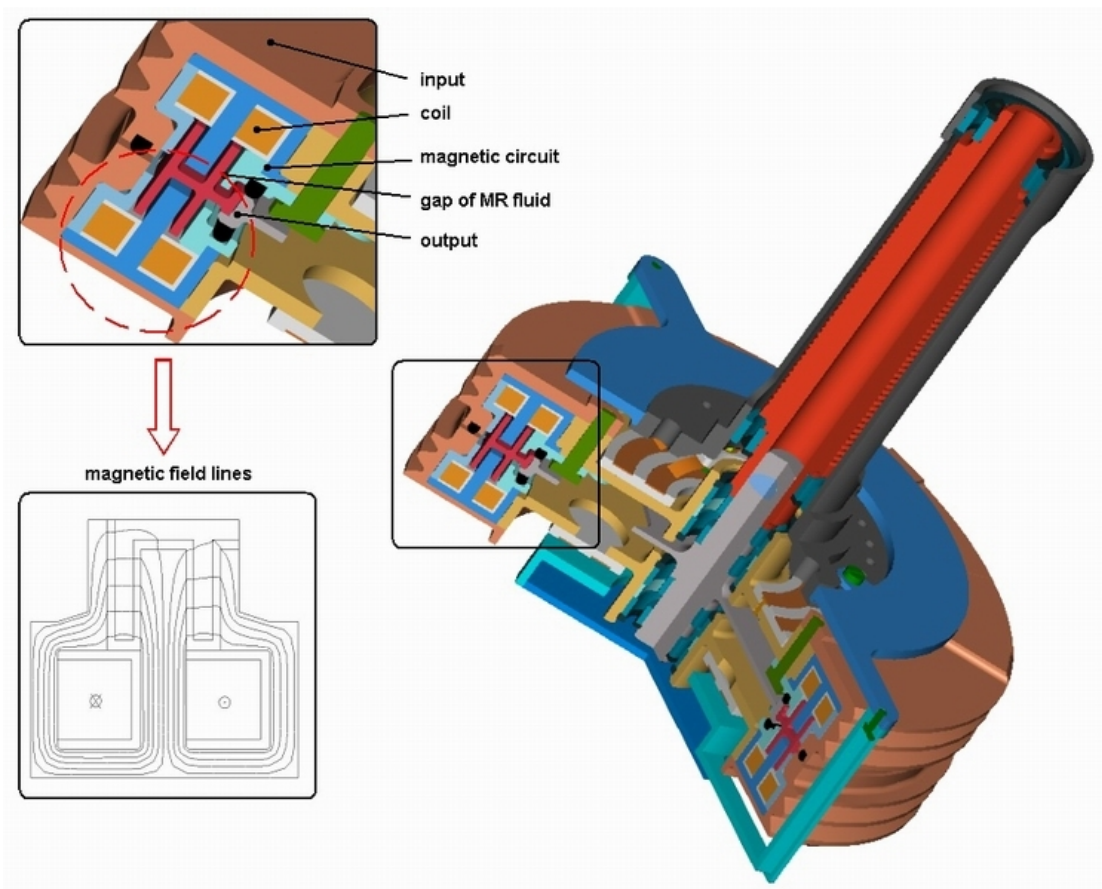
Έλεγχος ταλαντώσεων λόγω του σεισμού

Οι πολιτικοί μηχανικοί σήμερα στο κατασκευαστικό κλάδο έχουν εισαγάγει τεχνολογία απόσβεσης MR. Στην κατασκευή κτιρίων και γεφυρών. Το σύστημα αυτό απαιτεί λιγότερη συντήρηση και χρειάζεται πολύ χαμηλή ισχύ για να δουλέψει. Αυτό το σύστημα απόσβεσης λειτουργεί παρόμοια με τις αναρτήσεις του αυτοκινήτου, προστατεύοντας την κατασκευή από σεισμούς και θύελλες.

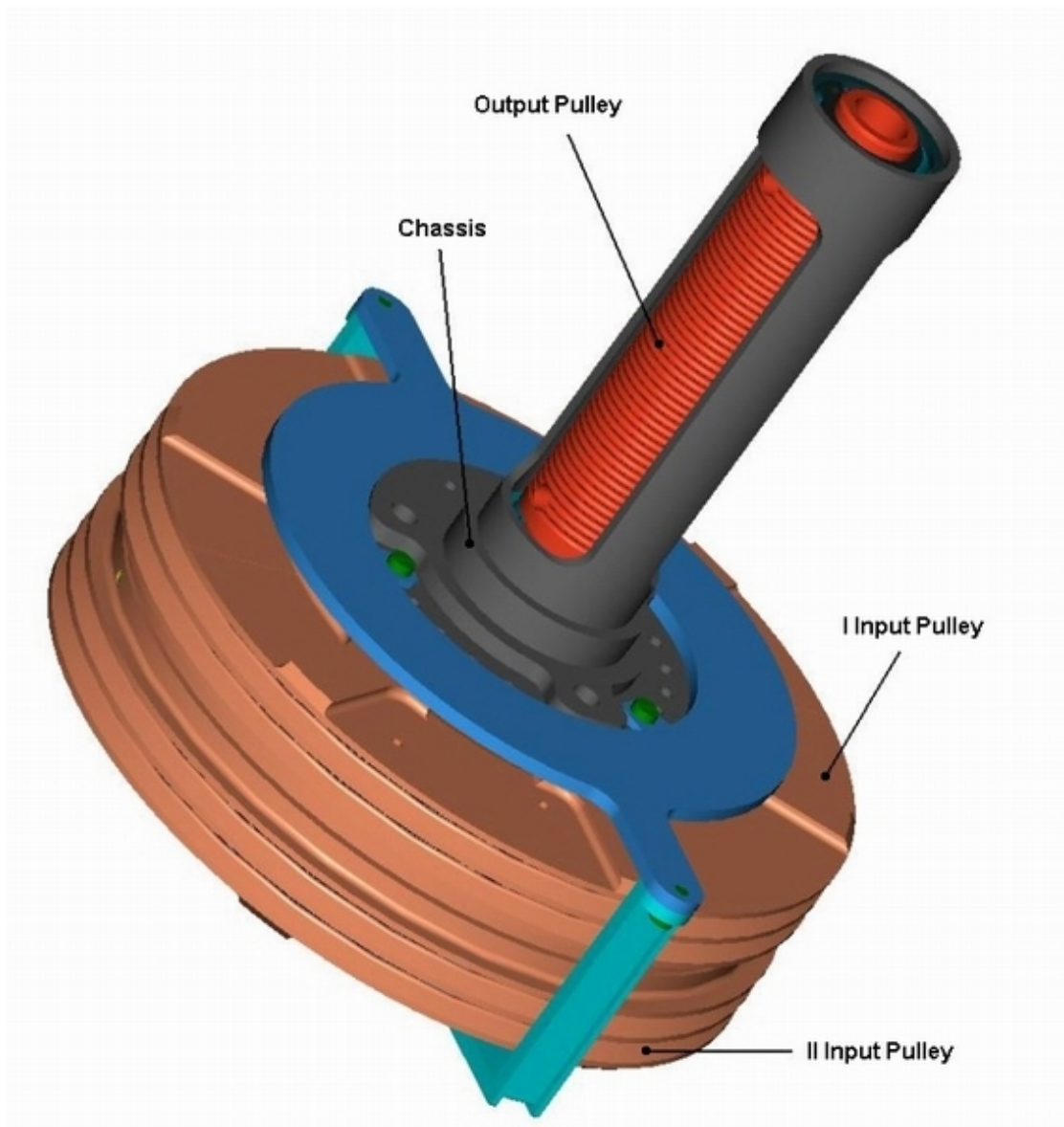


Συμπλέκτες

Μια πολύ κοινή εφαρμογή των MR ρευστών είναι οι συμπλέκτες.



Εικόνα 13. MR Συμπλέκτης



Εικόνα 14. MR Συμπλέκτης

Τέλος επιπλέον εφαρμογές των MR υγρών έχουμε στα τεχνητά ανθρώπινα μέλη και στους ρομποτικούς βραχίονες (πνευματικά συστήματα)

MR Ελαστομερή

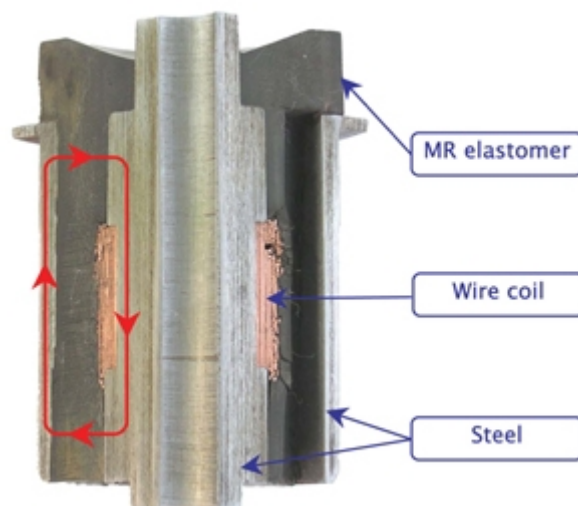
Παρά τις συνεχείς προσπάθειες που γίνονται στην κατεύθυνση του περιορισμού του θορύβου και των ταλαντώσεων στα οχήματα, τραίνα κ.λ.π. οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται στα κλασικά ελαστομερή έχουν αρχίσει να φτάνουν στα όρια τους. Αν και τελευταία έχουν αρχίσει να χρησιμοποιούνται μέθοδοι ενεργού ελέγχου, παρ' όλα αυτά επιτρέπουν ένα περιορισμένο έλεγχο και συχνά πολύ αυξημένου κόστους.

Μετά το 1990 άρχισε να υπάρχει σημαντικό ενδιαφέρον στην εισαγωγή MR σωματιδίων στα ελαστομερή. Η ιδέα της άμεσης σύνδεσης της τεχνολογίας των μαγνητορεολογικών ρευστών, των σύγχρονων τεχνολογιών ελέγχου, και των ευφών κατασκευών μπορούν να φέρουν σημαντικά πλεονεκτήματα στο χώρο της βιομηχανίας.

Ιδιότητες MR ελαστομερών υλικών

Carbonyl χάλυβας ή άλλα μαγνητιζόμενα σωματίδια τα οποία προστίθενται στο πολυμερές υλικό πριν την διασύνδεση με το ελαστομερές. Πριν και μετά την διασύνδεση με το ελαστομερές ένα ισχυρό μαγνητικό πεδίο εφαρμόζεται στο σύνθετο υλικό. Αυτό το πεδίο προκαλεί μια διπολική ορμή σε κάθε σωματίδιο. Τα σωματίδια αντιδρούν προσπαθώντας να μετακινηθούν σε μία κατάσταση ελάχιστης ενέργειας, στην οποία αυτή κατάσταση είναι αλυσίδες σωματιδίων με γραμμικές διπολικές ορμές παράλληλες με το εφαρμοζόμενο πεδίο. Η διάτμηση του σύνθετου υλικού στην παρουσία μαγνητικού πεδίου αναγκάζει τα σωματίδια να μετακινηθούν από την κατάσταση ελάχιστης ενέργειας απαιτώντας επιπλέον ενέργεια. Έτσι βασικά, η απαίτηση για επιπλέον έργο αυξάνει με την εφαρμογή μεγαλύτερου πεδίου, με αποτέλεσμα να εξαρτάται το μέτρο ελαστικότητας από το πεδίο.

Έχει αποδειχθεί ότι για ελαστομερή που περιλαμβάνουν μαγνητικά ευαίσθητα σωματίδια διασκορπισμένα στο ελαστικό, παρατηρείται 30% με 40% μέγιστη αλλαγή στο όριο διαρροής με κορεσμένο μαγνητικό πεδίο. Αυτή η προκαλούμενη αύξηση στο όριο διαρροής είναι σημαντική ακόμη και σε μηχανικές συχνότητες kHz.



Εικόνα 15. Διατομή MR ελαστομερούς. Είναι εμφανές το πηνίο που δημιουργεί το μαγνητικό πεδίο, το μαγνητικό κύκλωμα που μεταφέρει το πεδίο και το MR ελαστομερές το οποίο αντιδρά υπό την παρουσία μαγνητικού πεδίου.

Εφαρμογές MR ελαστομερών

Αυτή η τεχνολογία μπορεί να βρει ευρεία εφαρμογή σε συσκευές απόσβεσης κραδασμών σε τρένα και οχήματα. Τέτοιοι μηχανισμοί θα είναι σημαντικά ευπροσάρμοστοι και εύκολα ρυθμιζόμενοι. Μια τέτοια εφαρμογή που βασίζεται στα MR ελαστομερή είναι από την εταιρία Ford που μόλις τελευταία πατενταρίστηκε. Σίγουρα υπάρχει σημαντικό μέλλον από αυτή την τεχνολογία.

Επιλόγος

Μέχρι σήμερα τα MR & ER ρευστά βρισκόντουσαν σε βρεφικό επίπεδο. Η χαμηλή αντοχή, η υψηλή ευαισθησία στην θερμοκρασία και στην εισδοχή ακαθαρσιών και η ανάγκη εφαρμογής ηλεκτρικών πεδίων υψηλής τάσης έχουν εμποδίσει την διάδοση και την εξέλιξη των ER ρευστών. Από την άλλη τα MR υπερέχουν σημαντικά εκεί που τα ER μειονεκτούν. Για αυτό τον λόγο τα MR, σήμερα, έχουν βρει ευρεία εφαρμογή στην βιομηχανία.