

## Το αύριο των ρουλεμαν στα χαρτιά του Νεύτωνα

Γύρω στα 1700 κάποιος υποστήριζε πως ο νους μπορεί να φαντάζεται πράγματα μη αληθή αλλά αδυνατεί και θα αδυνατεί πάντα να τα καταλάβει, γιατί η λογική είναι μια ουσία φτιαγμένη για την αλήθεια. Τρεις και κάτι αιώνες μετά, η πολυπλοκότητα δίνει τη θέση της στην αλήθεια της απλότητας και μια επιστήμη που πολλοί την αποκαλούν «τελειωμένη τεχνολογικά» δείχνει τα δόντια της στέλνοντας μηνύματα απλότητας από το χθες. Πόσα άραγε ακόμη να έχουμε ξεχάσει στο δρόμο προς την πρόοδο;...

Με το πέρασμα των χρόνων, η κλασική - σχεδιαστική τεχνογνωσία των στοιχείων μηχανών, η οποία κινεί τα νήματα της ενέργειας από την εποχή της δεύτερης βιομηχανικής επανάστασης, δε θα μπορούσε να μένει – ούτως ή άλλως – αμέτοχη στην αντιμετώπιση της ενεργειακής κρίσης. Με την πάροδο των ετών και περνώντας από τα εργαστήρια των Πολυτεχνικών Σχολών στα Εργαστήρια των μεγάλων κατασκευαστών, αναπτύχθηκαν τεχνολογίες και φιλοσοφίες οι οποίες βοηθούν θεωρητικά (έως ότου αποδειχθεί το αληθές ή όχι) στην μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης.

Λέγοντας ενεργειακή απόδοση των στοιχείων μηχανών δεν εννοούμε τίποτα άλλο από τη συμπεριφορά των απωλειών τους (θερμικές και μηχανικές) οι οποίες με τη σειρά τους επιμερίζονται σε πολλές υπό-κατηγορίες.

Και ιδού ο μεγάλος αντίπαλος της ενεργειοβόρας λειτουργίας και της συμπεριφοράς των θερμικών απωλειών...η τριβή! Η δύναμη που μπήκε στο στόχαστρο της κλασικής μηχανικής ξανά, με τους μεγάλους κατασκευαστικούς οίκους να οπισθοδρομούν βαδίζοντας εμπρός, με τους νόμους του Νεύτωνα ανά χείρας και τις best seller σειρές τους έτοιμες για πειράματα!!

Προς το παρόν και όσον αφορά τα ρουλεμαν, οι νέες τεχνολογίες βασίζονται στην ανάπτυξη και την ενεργειακή βελτίωση, όπως προαναφερθηκε, των δύο best sellers της οικογένειας των «σωματοφόρων», των βαθείας αύλακος (deep groove ball bearings) και των κωνικών ρουλεμαν (tapered roller bearings). Το μεγάλο ζήτημα το οποίο προέκυψε κατά τις μελέτες ήταν το ποια κατασκευαστική παράμετρος θα πρέπει να θυσιαστεί στο βωμό του χαμηλότερου ενεργειακού κόστους. Θα ήταν η ικανότητα του μέγιστου φορτίου μεταφοράς, θα ήταν η διάρκεια ζωής (βάσει ποιότητας κατασκευής) ή μήπως θα ήταν ο συνδυασμός τους σε ένα καλά «κρυμμένο» κατασκευαστικό προφίλ; Ας δούμε περιληπτικά τι συνέβη με τα κωνικά ρουλεμαν...

### Κωνικά Ρουλεμαν Βελτιωμένης Ενεργειακής Αποδοτικότητας

Βασικός κανόνας που πρέπει να αναφέρουμε είναι ο λεγόμενος κανόνας της διαμέτρου του άξονα. Κατά γενικό κανόνα, μεγάλα ρουλεμαν θεωρούμε τα ρουλεμαν εξωτερικής διαμέτρου 200-600mm. Τα ρουλεμαν αυτά συνήθως λειτουργούν σε μεσόστροφες και χαμηλόστροφες εφαρμογές και καταναλώνουν τόση περισσότερη ενέργεια όσο μεγαλύτερο είναι το μέγεθός τους. Επομένως, πηγαίνοντας αντίστροφα, τη λύση για τη βελτίωση του βαθμού απόδοσης των μικρών ρουλεμαν αποτελούσε και αποτελεί η βελτίωση του βαθμού απόδοσης των μεγαλύτερων ρουλεμαν, πιθανώς και σε ποσοστό ως και 50%.

## Θέμα Σχεδίασης

Επί τάπητος και επί χάρτου, τέθηκαν τα ζητήματα της αλλαγής γεωμετρίας των φλαντζών των ρουλεμαν, με ταυτόχρονη μείωση της κοιλότητας και επέκταση των εσωτερικών διαδρόμων κύλισης του εσωτερικού δακτυλίου. Σχεδιάστηκαν εκ νέου οι τομές των διαδρόμων κύλισης με μικρο-τοπογραφικές αριθμητικές μεθόδους με σκοπό την μείωση τραχύτητας επιφανείας των διαδρόμων κύλισης και της φλάντζας των δακτυλίων. Μια ακόμη μετατροπή που επιχειρήθηκε είναι η μείωση της εσωτερικής διαμέτρου του κλωβού και ο οποίος κατασκευάζεται πλέον από PEEK (κετόνη αιθέρα πολυαιθέρα), ένα βιομημητικό υλικό το οποίο έχει πολύ χαμηλό συντελεστή τριβής, χρησιμοποιείται στην κατασκευή μοσχευμάτων και έχει ομοιόμορφη συμπεριφορά φθοράς στις υψηλές θερμοκρασίες, με τις θερμοελαστικές του ιδιότητες να προσεγγίζουν σε πολύ καλό βαθμό τα ως τώρα υλικά κατασκευής των κλωβών. Το PEEK δύναται να παραλαμβάνει θερμοκρασίες ευρέως φάσματος υπό κατάσταση πλήρους φορτίσεως, οι οποίες κυμαίνονται από τους -30 βαθμούς ως και τους +160 C. Παρόλα αυτά, σε εφαρμογές ειδικών απαιτήσεων, γίνεται κατασκευή του κλωβού από φύλλα χάλυβα, τη σίγουρη και δοκιμασμένη λύση.

Για περαιτέρω μείωση των απωλειών δοκιμάστηκε μείωση στον αριθμό των σωμάτων κύλισης. Επί παραδείγματι, σε ένα ρουλεμαν 32230 (εσωτερικής διαμέτρου 150mm, εξωτερικής διαμέτρου 270mm), μειώνοντας τον αριθμό των σωμάτων κύλισης και αντικαθιστώντας τον χαλύβδινο κλωβό με κλωβό από PEEK, επιτυγχάνεται μείωση της περιστρεφόμενης μάζας κατά 10%, γεγονός το οποίο μειώνει και τις απώλειες ανά περιστροφή. Αυτό σημαίνει ελαφρύτερο ρουλεμαν και κατ' επέκταση μικρότερη κατανάλωση ισχύος για να επιτευχθεί η περιστροφή των σωμάτων κύλισης. Κατά την περιστροφική και μεταφορική κίνηση των σωμάτων κύλισης, ας μην ξεχνάμε, υπάρχει πλέον χαμηλότερη αδράνεια. Αυτό συνεπάγεται πως η πιθανότητα ολίσθησης (αντί κύλισης) των σωμάτων και του τραυματισμού τους λόγω ολίσθησης, ώστε να επηρεάζεται η διάρκεια ζωής τους, μειώνεται. Αυτό, είναι επιστημονικά ένα γεγονός αδιαμφισβήτητο, στηριγμένο στην απλότητα της φυσικής. Σαν τέτοια λύση και μόνο κρίνεται εξ' αρχής, ιδιαίτερος άξια προσοχής.

Χωρίς να αναφερθούμε καν στο δεύτερο, μεγάλο είδος – τα ρουλεμαν βαθείας αύλακος – θα επισημάνουμε απλά πως η λογική της μορφολογικής διαφοροποίησης και η φιλοσοφία των αλλαγών τους σχεδιαστικά είναι ακριβώς ίδια. Οι χαλύβδινοι κλωβοί αντικαταστάθηκαν από πολυμερή και αναπτύχθηκε συνδυαστικά μια νέα γενιά υβριδικών λιπαντικών, ώστε να ελαχιστοποιηθεί η παραγόμενη από τη σημειακή επαφή των σφαιρών με τους διαδρόμους κύλισης τριβή.

## Εφαρμογές και Πλεονεκτήματα

Συγκρίνοντας την απλοϊκότητα της φυσικής φιλοσοφίας με την κατασκευαστική δυσκολία της εφαρμογής, ανατρέξαμε στις δοκιμές που έγιναν από διάφορα ευρωπαϊκά πολυτεχνεία την τελευταία διετία.

Τα αποτελέσματα, σε κινητήρες χωρίς φορτίο, έδειξαν πτώση του καταναλωθέντος ρεύματος κατά 10% (μετρούμενου από ενεργειακούς αναλυτές) στις ίδιες στροφές και διατήρηση των παλαιών τιμών απωλειών σε υψηλότερες πλέον στροφές. Τα αντίστοιχα πειράματα σε διατάξεις πλήρους φορτίου (αντλίες, φυσητήρες, ανεμιστήρες και συμπιεστές) έδειξαν μείωση μέσου όρου κατανάλωσης ισχύος

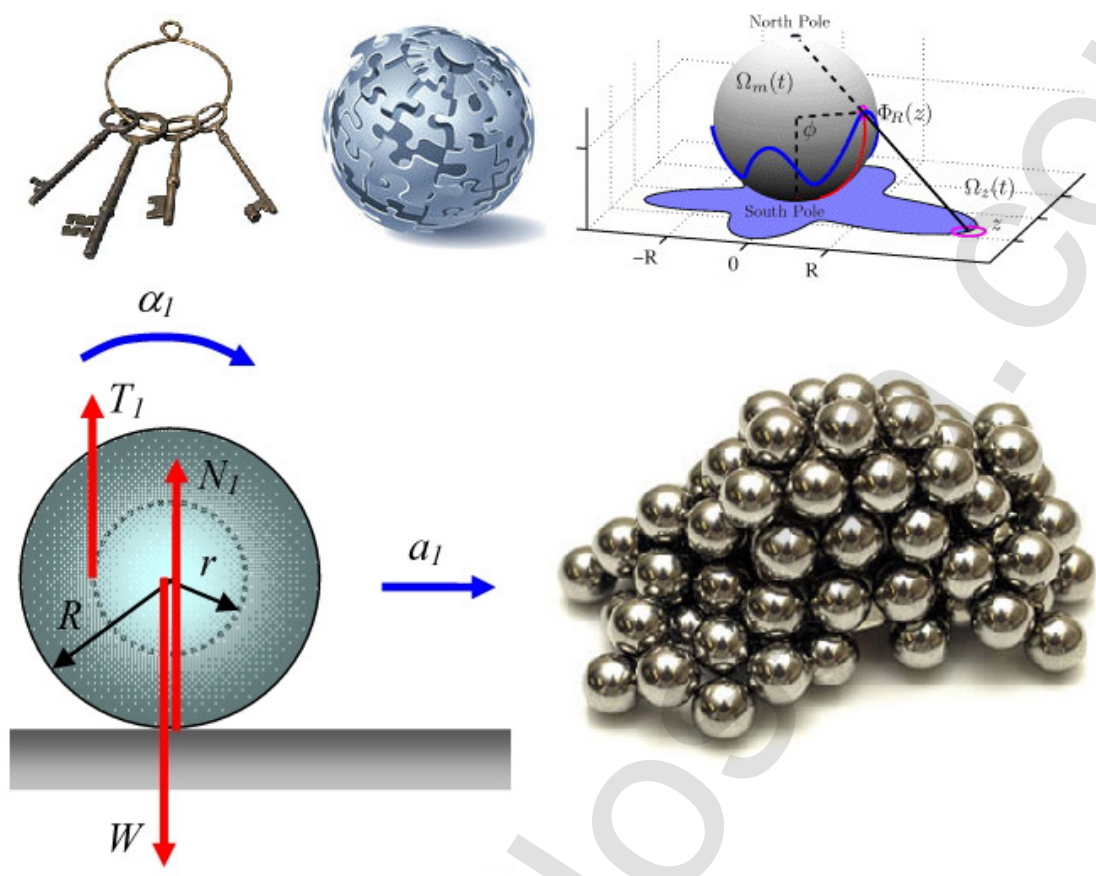
περίπου 16%. Γεγονός το οποίο επαληθεύει το αληθές! Επίσης καταγράφηκαν μικρότερες αναπτυσσόμενες θερμοκρασίες των ρουλεμάν στις θέσεις εργασίας τους κατά 7%, πράγμα το οποίο οδηγεί αυτόματα και στο συμπέρασμα ότι επιτυγχάνεται και διατηρείται πλέον περισσότερο χρόνο (και ο χρόνος αυτός είναι ικανοποιητικά μεγάλος –περίπου 1000 ώρες λειτουργίας–) το απαιτούμενο λιπαντικό φιλμ του γράσου (ας μην ξεχνάμε πως η σχέση διάρκειας ζωής λιπαντικού και αναπτυσσόμενης θερμοκρασίας δεν είναι γραμμική).

Όλα τα παραπάνω συνάδουν σε μεγαλύτερη διάρκεια ζωής, δεδομένου ότι τα εργαστήρια δοκιμάζουν τις νέες αυτές κατασκευές και την αντοχή του PEEK για πάνω από πέντε χρόνια συνεχούς λειτουργίας και διαδοχικών αντικαταστάσεων, ώστε το εξαγόμενο αποτέλεσμα και το ποσοτικό δείγμα να είναι αναλόγως κατάλληλα για δημοσιεύσιμα συμπεράσματα και παράλληλα στατιστικά ορθά.

Η εποχή προσπερνά όχι μόνο τα νέα προβλήματα αλλά και τις νέες λύσεις. Ίσως έφτασε ο καιρός ακόμη και οι πιο βασικές σχεδιαστικές γνώσεις, όπως αυτές των κλασσικών στοιχείων μηχανών, να αλλάξουν και να πορευθούν προς μια εναλλακτική και βελτιωμένη εποχή. Το θέμα είναι κάποια στιγμή να δούμε το μάτι των μηχανικών να βαδίζει χωρίς αναστολές προς το αιώνιο σωστό συμπέρασμα, που δεν είναι άλλο από τη δοκιμή του καινούριου και την αποδοχή ή την απόρριψη του. Ποτέ όμως apriori...

Κόης Βασίλειος  
Μηχανολόγος Μηχανικός ΕΜΠ  
Υποψήφιος Διδάκτορας ΕΜΠ, Εργαστήριο Στοιχείων Μηχανών

Θέση Εργασίας: Ο Κόης Βασίλειος εργάζεται ως Μηχανολόγος Μηχανικός στην εταιρεία I. & E. Παπαδοπουλος Α.Ε.Β.Ε.



SKF Knowledge Database Publications  
 Kinematic Models for Design – “Geometry of Pure Motion”, Cornell University  
 “Design News Magazine” - July 1995  
 Bearing Industry Timeline, retrieved 2009-11-17  
 Guran, Ardéshir; Rand, Richard H. (1997), *Nonlinear dynamics*, World Scientific,  
 p. 178, ISBN 9789810229825.