

CONDITIONS OF MATERIALS CHOICE IN MODERN MANUFACTURING OF MECHANICAL ENGINEERING AND MACHINERY

MATERIĀLU IZVĒLES NOSACĪJUMI MŪSDIENU MAŠĪNU UN APARĀTU BŪVĒ

G.Muižnieks Mg.sc.ing., Ē.Geriņš prof., Dr.Sc.ing.

Atslēgvārdi: Materiāli, īpašības izvēle, nosacījumi, rotoru, uzlabošana

Kopsavilkums: Šodien materiāli attīstās daudz ātrāk nekā tas ir bijis iepriekš. Mūsdienās attīstoties teknikai un tehnoloģijai ievērojami paplašinās pielietojamo materiālu klāsts, tiek radīti arvien jauni materiāli ar daudz labākām mehāniskām un tehnoloģiskām īpašībām. Šobrīd plaši lieto tādus materiālus, kurus vēl nesen uzskatīja par nākotnes materiāliem.

Materiālu izvēle ir ļoti svarīga dažādās mašīnbūves, celtniecības un aparātubūves nozarēs. Tādēļ lai racionāli izmantotu materiālus, jāzina ne tikai to īpašības, bet jāsaprot tos faktorus, kas nodrošina šīs īpašības.

Rakstā tiek aplūkoti skrūves tipa kompresoru detaļu materiālu izvēles nosacījumu priekšrocības un to trūkumi. Doti visracionālākie materiālu izvēles nosacījumi, veidi kā izvairīties no izvēles kļūdām, kuras var novest pie dažādiem sarežģījumiem noteiktas detaļu grupas izgatavošanai. Piemēra veidā ir aplūkots eļļas plūsmas skrūves tipa kompresoru rotoru materiālu izvēles nosacījumi.

Darba beigās ieskicētas materiālu uzlabošanas iespējas. Materiālu uzlabošanu mēs varam panākt ar dažādām materiāla apstrādes metodēm, piemēram, veicot mehānisko, termisko, termo - ķīmisko apstrādi vai izmantojot dažādus pārklājumus. Šīs materiāla apstrādes metodes palielina materiāla fizikālās un mehāniskās īpašības.

Prasmīgi izmantot, izvēlēties atbildīgu konstrukciju izgatavošanā dažādās mašīnbūves nozarēs izmantojamais jaunais materiāls, kuri attīstās daudz ātrāk nekā tas ir bijis iepriekš, bieži vien uzskata par inženierijas jauninājumu. Mūsdienās attīstoties teknikai un tehnoloģijai, ievērojami paplašinās piedāvāto materiālu klāsts, tiek radīti arvien jauni materiāli ar daudz labākām mehāniskām un tehnoloģiskām īpašībām. Katra inženiera pienākums ir prast tajos orientēties tik pat labi, kā savā piezīmju grāmatiņā. Inženierim, mehāniķim jābūt tikpat labam konstruktoram, kā technologam.

Konstruktoram jāprot pareizi izvēlēties materiālus, lai to īpašības atbilstu tehniskajām prasībām, ko uzstāda konstruējamai detaļai. Bieži vien inženierijā sastopamies ar nepareizu

materiālu lietošanu. Materiālu izvēle ir ļoti svarīga daudzās mašīnbūves, aparātubūves nozarēs. Nepareiza materiālu izvēle var novest pie iekārtu darbības traucējumiem. Tādēļ, lai racionāli izmantotu materiālus, jāzina ne tikai to īpašības, bet jāsaprot tie faktori, kas nodrošina šīs īpašības. Tātad labam inženierim ir jāprot izvēlēties piemērotāko materiālu, kas būtu atbilstošs konstruējamai detaļai, ievērojot izturības, ilgturības, drošības kritērijus, kā arī estētiskās un ekonomiskās prasības.

Mašīnbūvniecībā lieto galvenokārt metālu sakausējumus, bet daudz retāk tehniski tīrus metālus. Sakausējumu mehāniskās īpašības parasti ir labākas par tīro metālu mehāniskajām īpašībām. Sakausējuma īpašības ietekmē tā ķīmiskais sastāvs un struktūra. Katrs materiāls tiek raksturots ar to mehāniskām, fizikālām, termiskām, ķīmiskām, kā arī tehnoloģiskām, nolietojuma un citām īpašībām. No plašā piedāvāto materiālu klāsta mums jāizvēlas atbilstoši mūsu prasībām vispiemērotākais materiāls. Izvēloties materiālus mašīnu elementiem, konstruktoram jāanalizē visas šī materiāla īpašības.

Materiāla mehāniskās īpašības ir vienas no materiālu svarīgākajām īpašībām. Šīs īpašības raksturo materiāla spēju pretoties ārēja spēka iedarbībai. Iztirzājot materiāla mehāniskās īpašības, mēs analizējam to plastiskumu, elastības robežspriegumu, stiprību, cietību, trauslumu, triecienstīgrību, šļūdes izturību, ilgizturību, kā arī slāpēšanas spēju. Materiāla elastības robežspriegums un stiprība ir vieni no galvenajiem parametriem, ar kuriem tiek raksturoti materiāli. Par materiāla izturību spriež pēc mehānisko īpašību raksturlielumiem, kurus iegūst mehāniskajās pārbaudēs.

Konstruētās iekārtas aizvien vairāk strādā nelabvēlīgākos apstākļos, ko ietekmē dažādas dinamiskas slodzes, temperatūras, kā arī tas, ka

konstrukcijas tiek pakļautas aizvien lielākām slodzēm, materiālu raksturošanai tiek ieviests tāds jēdziens - triecienstīgrība. Triecienstīgrība ir materiāla raksturlielums, kas raksturo materiāla spēju pretoties dažādām triecienveida slodzēm dažādās temperatūrās.

Analizējot konstrukcijas ekspluatācijas nosacījumus, mūs interesē arī materiāla termiskās īpašības. Zinot materiāla termiskās īpašības - siltumvadāmību, siltumietilpību, īpatnējo siltumu, termiskās izplešanās koeficientus, kā arī kušanas temperatūru, varam noteikt konstrukcijas darbības efektivitāti dažādos temperatūru intervālos. Materiāla termiskās īpašības ļauj mums pareizi izvēlēties termiskās apstrādes režīmus, ja nepieciešams materiālu termiskā ceļā uzlabot.

Daudzās inženierkonstrukcijās svarīgas ir virsmas īpašības. Zinot virsmas īpašības, mēs varam spriest par materiāla oksidēšanās spēju, spēju pretoties korozijai, kā arī varam spriest par nodiluma izturību. Metālu korozija nodara rūpniecībai milzīgus zaudējumus. Lai novērstu lielos zaudējumus, mašīnbūvniecībā un citās ražošanas nozarēs, detaļas pārklāj ar lakām, krāsām, ķīmiski izturīgiem metāliem vai oksīdu kārtiņu. Dažos gadījumos lieto īpašus sakausējumus ar labu ķīmisko noturību.

Pastāv virkne operāciju veidu, ar kuru palīdzību mēs varam uzlabot virsmas nodilumizturību - mehāniskā, termiskā, termokīmiskā, kā arī izmantojot virsmas pārklājumus.

Metālu un citu materiālu tehnoloģiskās īpašības raksturo apstrādājamība ar dažādām karstās un aukstās apstrādes metodēm, t.i. apstrādājamība lejojot, kaļot, metinot, griežot u.c..

Konstruējot jebkuru iekārtu mēs arī pieskaramies tādu jautājumu risināšanā kā materiālu izstrādes, estētiskām, kā arī ekoloģiskām īpašībām un reciklēšanas iespējām.

Šobrīd vairums ražotāju un patērētāju ļoti lielu uzmanību pievērš materiālu cenai. Patērētāji sākotnēji materiālu izvēlē pieļauj kļūdu, jo viņi materiālu izvēlas atkarībā no cenas. Mūsdienās katra projektētāja galvenais uzdevums ir neklūdīties savos aprēķinos un izvēlē.

Piemēra veidā aplūkosim skrūves tipa kompresoru rotoru materiālu izvēles nosacījumus. Lai pareizi un neklūdīgi izvēlētos materiālu rotoru izgatavošanai, mums ir jānosaka visi iespējamie izejas dati par rotoriem, piemēram, to mehāniskās, tehnoloģiskās, kā arī virsmas īpašības, ekspluatācijas apstākļi u.c..

Skrūves rotorus plaši lieto saspiesta gaisa ražošanai un dzesēšanas iekārtās. Rotors ir pakļauts mainīgu spēku ietekmei, ko rada saspiestās gāzes, inerces spēki, griezes momenti, dažādas rezonanses un berzes procesi. Rezonanses gadījumā papildus veidojas ārējie un iekšējie spriegumi [4]. Dīlšanas procesi var tikt aprakstīti ar vairākām hipotēzēm – abrazīvā, difundējošā, oksidēšanas un reducēšanās dīlšanas procesos utt..

Ievērojot to, ka skrūveida rotoru sūkņi var darboties dažādas vides apstākļos tai skaitā ķīmiski agresīvās vidēs, izvēloties skrūves kompresoru rotoru materiālus jāievēro, lai tie nodrošinātu teicamus statistiskos un dinamiskos, mehāniskās pretestības rādītājus, ilgnoturību, kā arī tiem jābūt ar teicamām tehnoloģiskām īpašībām, karstumnoturīgiem u.t.t. Eļļas tipa skrūves tipa kompresoru rotoru darba temperatūra darba zonā var sasniegt vidēji 100°C, bet ja rotorī strādā sausā vidē, tad darba temperatūra var pārsniegt 100°C. Rotoru izgatavošanā var izmantot ļoti plašu spektru materiālu gan kvalitātes konstrukcijas, gan legētos konstrukcijas tēraudus. Liela nozīme ir materiālu struktūrai, iespējai to mainīt gan deformēšanas, gan termiskās apstrādes ceļā. Būtiski materiālu mehāniskās īpašības iespaido leģējošie elementi – hroms, niķelis, molibdēns, vanādijs u.c.

Materiālus no kā varam izgatavot spiedienradošas detaļas skrūves tipa kompresoriem kļūst arvien vairāk, tad pievērsīsimies tikai vienai materiālu grupai – metāliem un to sakausējumiem.

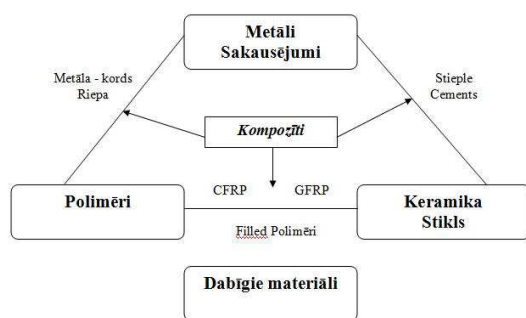
Izanalizējot visu iepriekš aplūkoto, secinām, ka rotoru izgatavošanai nepieciešami materiāli ar labām mehāniskām īpašībām – lielu izturības robežu $R_m=850\text{N/mm}^2$, augstu elastības robežu $R_e=650\text{N/mm}^2$ un augstu plastiskuma robežu $A=12\%$. Lai nodrošinātu rotoriem samērā lielu nodilumizturību un darba mūžu, nepieciešams izvēlēties materiālu ar tā cietību robežās $HRC=25-32$. Zinot rotoru izgatavošanas tehnoloģiju nepieciešams pievērst uzmanību materiāla tehnoloģiskām īpašībām. Tā kā rotorī strādā salīdzinoši skarbos darba apstākļos, jāpievērš uzmanība arī materiāla virsmas īpašībām. Eļļas plūsmas tipa kompresoriem kontaktvirsmu berzi samazina starp rotoriem plūstošā eļļa, bet nevar izslēgt varbūtību, ka eļļas plūsmā var būt dažādi piemaisījumi, piemēram, dažādas abrazīvas daļiņas, kas radušās no

kontakta darba virsmu diluma, apkārtējās vides utt.. Tādēļ rotoru darba virsmām jābūt izturīgām pret nodilumu.

Kā jau iepriekš tika minēts, materiālus visbiežāk raksturo ar to mehāniskajām īpašībām. Savulaik Latvijā materiālus parasti raksturoja ar vienu no raksturīgākām īpašībām materiālu izturību – spēja pretoties deformācijām vai sagraušanai, ko cenšas izraisīt statiska vai dinamiska slodze. Šobrīd pieskaņojoties Eiropas normām, materiāli aizvien biežāk tiek raksturoti ar elastības robežu. Vairākums agregātu un konstrukciju darbojas elastīgās deformācijas robežās.

Mums ir jāizvēlas tāds materiāls, kas ir spējīgs strādāt noteiktajos darba režīmos, izturēt ārējo spēku ietekmi, būt salīdzinoši viegli pieejamam un lētam.

Pirmajā attēlā (1.att.) uzskatāmi parādītas materiālu grupas [1].



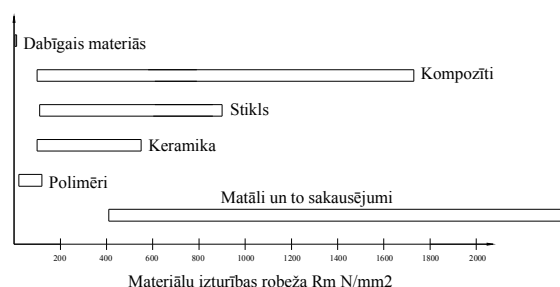
1.att. Materiālu iedalījums

Fig.1. The classes of engineering materials

Pastāv vairāki varianti kā izvēlēties materiālu skrūves tipa kompresora rotoru izgatavošanai. Viens no tiem ir, zinot nepieciešamos detaļas mehānisko, fizikālo, tehnoloģisko īpašību parametrus, kā arī ekspluatācijas nosacījumus, varam ņemt visus materiālus pēc kārtas un veikt eksperimentus, līdz atrodam piemērotāko, atbilstošāko šīm īpašībām. Šis izvēles princips ir salīdzinoši dārgs un darbietilpīgs.

Otrs no variantiem ir nedaudz savādāks. Eksperimenti nav jāveic, bet jau no dotajiem raksturlielumiem datiem izvēlamies sev piemērotāko materiālu. Materiālu raksturot var pēc daudz un dažādākām īpašībām, tāpēc mums ir jāizvērtē svarīgākās īpašības no tām, piemēram, materiāla izturības robeža, elastības robeža, plastiskums, triecienstīgrība, cietība, stīgrība utt.. Izvērtējot visas materiālu īpašības, mēs materiālu eļļas plūsmas skrūves tipa

kompresoru rotoru izgatavošanai izvēlamies pēc izturības robežas. Sekojošā attēlā (2.att.) varam redzēt galveno materiālu grupu klāstu un vienu no to raksturojošiem parametriem izturības robežu. No šī grafika varam noteikt vēlamo materiālu grupu spiedienradošu detaļu izgatavošanai. Tik pat labi mēs varējām izvēlēties materiālu grupu pēc plastiskuma vai elastības robežas. Tā, ka daudzas materiālu grupas vairāk vai mazāk atbilst uzstādītām prasībām, tad izvēlamies vienu no izplatītākajām materiālu grupām metālus un to sakausējumus.



2.att. Materiālu grupu izturības robežas

Fig.2. Tensile strength of materials groups

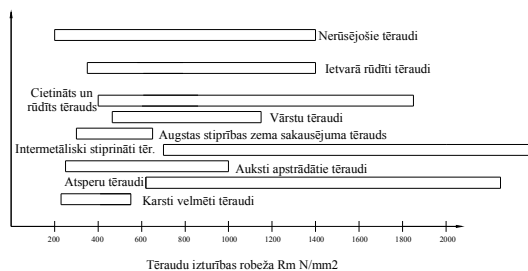
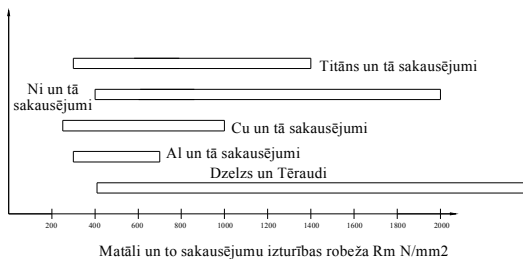
Tā kā metālu un to sakausējumu klāsts ir ļoti plašs, tad analizējot pēc līdzvērtīga grafika mēs izvēlamies metālu grupu (tēraudi), no kura tiks izgatavots skrūves rotors. Mazo eļļas plūsmas kompresoru rotoru darbojas salīdzinoši vieglos apstākļos, tad jāizvēlas parastas kvalitātes tēraudus. Vadošie skrūves kompresoru ražotāji vārpstām rekomendē kvalitātes konstrukciju tēraudus (C22), lielākiem kompresoriem iesaka leģētos konstrukciju materiālus (15Cr3). Sausā tipa skrūves kompresori darbojas pie salīdzinoši lielākām temperatūrām, tāpēc rekomendē leģētos tēraudus ar lielāku siltumnoturību (30CrMoV, 35CrNi5). Pieaugot materiālu temperatūrām, tēraudu mehāniskā noturība samazinās. Kompresori, kuri strādā agresīvās vidēs, izmanto korozijnoturīgos leģētos tēraudus (X10Cr13, X7Cr13). Lai aizsargātu rotorus no nelabvēlīgas ārējās vides ietekmes, lieto dažādu veidu termodifūzīvos virsmas pārklājumus. Tabulā 1. atspoguļoti galvenie metālu raksturlielumi, pēc kuriem izvēlas materiālus [3].

1.tabula
Table 1

Galvenie rakstulielumi
Main characteristics

Marka	Re, (N/mm ²)	Rm, (N/mm ²)	A, (%)	HRC
C22	35	46	23	22
15Cr	34	50	18	23
30CrMoV	60	85	12	31
X10Cr13	42	60	20	24

Attēlā (3.att.) var aplūkot dažādu metālu grupu raksturojošā parametra maksimālās robežizturības sprieguma R_m salīdzinājumu [3].



3.att. Metālu grupu izturības robeža
Fig3. Tensile strength of metals and steel

Neskatoties uz plašo metālu un to sakausējumu materiālu klāstu, mēs varam gandrīz jebkurai materiālam uzlabot mehāniskās īpašības. Varam iegādāties materiālus ar zemākām mehāniskām un fizikālām īpašībām, bet apstrādājot tos, iegūstam materiāla īpašības atbilstošas konstruējamai detaļai. Šāda materiāla izvēles pieeja ir salīdzinoši lētāka nekā iegādāties jau piemērotos materiālus.

Tā kā skrūves tipa kompresora rotoru darbojas salīdzinoši skarbos darba apstākļos un materiālu prasības to izgatavošanā ir augstas un materiāli ir dārgi, tad materiāla ekonomijas dēļ varam piedāvāt rotorus izgatavot no vairākām daļām. Rotoru kontakta virsmas izgatavot no materiāla ar labākām mehāniskām īpašībām, bet rotoru asi

izgatavot no lētāka materiāla ar ne tik labām mehāniskām īpašībām. Rezultātā ietaupām materiālu, kā arī iegūstam rotorus ar samazinātu svaru.

Ne vienmēr ir iespējams iegūt tādas materiālus ar tādām mehāniskām, tehnoloģiskām un virsmas īpašībām, kādas nepieciešamas sūkņu rotoriem. Bieži vien tie nav pieejami vai samērā dārgi. Nākas izlīdzēties ar materiāliem, kuriem ir sliktākas šīs īpašības, līdz ar to rotoru ir ar mazāku izturību, mazu nodilumizturību neelastīgi utt. Izmantojot mūsdienu modernās tehnoloģijas un zināšanas, pastāv daudz variantu, kā uzlabot rotoru materiālu mehāniskās īpašības, lai ievērotu šīs iepriekšminētās prasības.

Izmantojot dažādas materiālu apstrādes tehnoloģijas varam katram materiālam mainīt mehāniskās, tehnoloģiskās īpašības. Zinot to, ka galvenokārt materiāla struktūra ietekmē materiāla īpašības. Mūsdienās plaši lieto materiāla virskārtas mehānisko nostiprināšanu, kā arī plaši izmanto termiskās apstrādes ar kuru palīdzību varam pilnvērtīgāk izmainīt materiāla īpašības, piemēram, atkvēlinot, rūdot, atlaidinot.

Izejot no situācijas mēs piedāvājam rotoru izgatavošanā izmantot parasto konstrukcijas tēraudu C45, kas ir lētāks un ar zemākām mehāniskām īpašībām. Izmantojot modernās apstrādes tehnoloģijas panāksim īpašību izmaiņu atbilstošu rotoru prasībām. Izgatavojot sūkņu rotorus no parastā konstrukciju tērauda C45, šo tēraudu pakļaujam rūdīšanai 820 - 840°C temperatūrā, kā rezultātā iegūstam tēraudu ar elastības robežu $Re=580\text{N/mm}^2$, maksimālo izturības robežu $Rm=850\text{N/mm}^2$, plastiskumu 13% un materiāla virskārtas cietību HRC 24-31. Pēc rūdīšanas materiālos rodas iekšējie spriegumi un detaļas serde kļūst cietāka par vismaz 8 vienībā, jo nevaram nodrošināt visā rotora šķērsgriezumā vienmērīgu ātru atdzišanu, kas nav labvēlīgi rotoru ekspluatācijas apstākļos. Zinot to, ka rotoru strādā smagos darba apstākļos, pakļauti mainīgai dinamiskai slodzei, līdz ar to pēc rūdīšanas mums nepieciešams šos rotorus pakļaut atlaidināšanai, kas likvidētu iekšējos spriegumus un padarītu šos rotorus nedaudz stigrākus, kas varētu izturēt lielākas dinamiskās slodzes. Izvēloties atbilstošo atlaidināšanas temperatūru, kas atkarīga pēc iegūstamās materiāla struktūras, pēc rūdīšanas, iegūstam tēraudu ar teicamām mehāniskām, tehnoloģiskām īpašībām.

No visa iepriekš aplūkotā izriet, ka materiālu klāsts mūsdienās ir ļoti plašs un to nozīme ir ļoti

liela daudzās industrijas nozarēs. Lai nekļūdīgi izvēlētos pareizo materiālu ir jāzina konstrukciju galvenie izejas dati, piemēram, to mehāniskās, tehnoloģiskās, kā arī virsmas īpašības, ekspluatācijas apstākļi u.c. Materiālu mehāniskās īpašības, kas ir diezgan svarīgas, detaļas ekspluatācijas laikā, var samērā viegli izmainīt ar materiālu termisko apstrādi. Mūsdienās ražošanas metodes un līdzekļi ir tik daudzveidīgi, ka vienu un to pašu rezultātu iespējams iegūt ar dažādiem tehnoloģiskajiem procesiem. Termiskā, termiski-ķīmiskā apstrādes metode lielā mērā nosaka dažādu detaļu, instrumentu un citu izstrādājumu kvalitāti. Ar termisko apstrādi izstrādājumiem piešķir vajadzīgās mehāniskās īpašības un nodrošina tiem teicamu darbmūžu, zinot materiāla veidošanās nosacījumus. Iztirzājot šīs detaļu stiprības paaugstināšanas īpašās metodes secināju, ar termisko apstrādes metožu palīdzību varam iegūt materiālam daudz labākas mehāniskās, fizikālās un tehnoloģiskās īpašības nekā izmantojot vienkāršās materiāla nostiprinošās metodes. Lietojot termiskās apstrādes varam pilnvērtīgāk izmantot materiāla īpašības. Mēs varam iegūt, izmantojot īpašās materiāla stiprības paaugstināšanas metodes, no plastiska materiāla daudz izturīgāku materiālu, ko nevar panākt ar parastajām metodēm.

Literatūra

1. Ashby M.F., Jones D.R.H. (2005), Engineering Materials I – An Introduction to Properties, Applications and Design, Third edition, Oksford, 424.
2. Ashby M.F., Jones D.R.H. (2006), Engineering Materials II – An Introduction to Microstructures, Processing and Design, Third edition, Oksford, 451.
3. Waterman N. A., Ashby M. F. (1997), The Materials Selector, Second edition, Vol. I. UK, 912.
4. Сакун И.А. (1970) Винтовые Компрессоры, Ленинград Машиностроение, 400.

Gatis Muiznieks, Mg.Sc.ing.

Riga Technical University, Institute of Mechanical Engineering

Address: Ezermalas str.6, LV – 1006, Riga, Latvia

Phone: +371 28380277, +371 7089713, Fax: +371 7089731

e-mail: Gatis.Muiznieks_TMF@rtu.lv

Ēriks Geriņš, prof., Dr.Sc.Ing.

Riga Technical University, Institute of Mechanical Engineering

Address: Ezermalas str.6, LV – 1006, Riga, Latvia

Phone: +371 28386525, +371 7089713, Fax: +371 7089731

e-mail: gerins@inbox.lv

G.Muiznieks, E.Gerins CONDITIONS OF MATERIALS CHOICE IN MODERN MANUFACTURING OF MECHANICAL ENGINEERING AND MACHINERY

Materials are evolving today faster than at any time in history. In nowadays developing a technique and technology considerably enlarge the exposure of the applicable materials, new materials are created still with much better mechanical and technological properties. Today wide use such materials that still recently call by future materials.

Choosing of materials is very important in several engineering industries, construction and instrument engineering industries. Therefore for rational utilization materials, we need to know not only their properties, but also need understand factors, which provides this properties.

Article shows advantages and disadvantages of the conditions of materials choice of screw type compressors details in. The most rational conditions of materials choice, way how to eliminate possibility mistakes, which can lead down to different difficulties are given for the manufacturing of the definite group of details. There is an example which describes conditions of materials choice for oil flooded screw compressors.

At the end of the article are given possibilities of the improving of materials. We can achieve improving of materials with different materials processing methods for example, using mechanical, thermal, thermal-chemical processing or using different surfaces covering. These processing methods improve physical and mechanical properties of materials.

G.Muiznieks, E.Gerins УСЛОВИЯ ВЫБОРА МАТЕРИАЛОВ В СОВРЕМЕННОЙ МАШИНО И АППАРАТ СТРОЕНИЕ

Сегодня материалы развиваются намного быстрее чем это было заранее. В наши дни развиваясь техники и технологии значительно расширяется выбор применимых материалов, созданы все еще новые материалы с улучшенными механическими и технологическими достоинствами. Сейчас широко используют такие материалы, которые еще недавно считали материалами будущего.

Выбор материалов очень важен в отраслях машиностроения, аппаратостроение и в строительстве.

Поэтому чтобы рационально использовать материалы, нужно знать не только их свойства, но и понять эти факторы, что обеспечивает эти свойства.

В статье рассмотрены условия выбора материала в винтовых компрессора, преимущества деталей и их недостатки. Даны самые рациональные условия выбора материалов, способы как уклониться из ошибок выбора, которые могут свести к всевозможным осложнениям для изготовления определенных группы деталей. В виде примера рассмотрены условия выбора материалов роторов винтовых компрессоров.

В конце работы зарисованы возможности улучшения материалов. Улучшение материалов мы можем достичь со всевозможными для обрабатывающих методов материала, например, выполняя механический, термический, термо - химическую обработку или используя всевозможные покрытия. Обрабатывающие методы этого материала увеличивают физические и механические свойства материала.