

УДК 621.874.04:539.4.012.1

doi.org/10.31498/2522-9990242021248968

Іванов Є. І.

МОДЕРНІЗАЦІЯ АМОРТИЗУЮЧИХ ПРИСТРОЇВ РОЛИКІВ РОЛЬГАНГА

У даній статті викладені варіанти підвищення довговічності підшипників кочення за рахунок поліпшення розподілу контактних напружень. Аналіз роботи великих підшипників кочення роликів рольганга стану 3000 показав, що однією з причин виходу їх з ладу є високий рівень паразитних навантажень. На жаль, рольганги стану 3000 за проектом не мають амортизації. Наслідком цього є часті виходи з ладу підшипників і посадочних місць. Найбільш важкі умови роботи мають ролики станинної і конічної груп, на яких встановлені дворядні сферичні підшипники. Стійкість цих підшипників становить 2 ... 3 місяці. Гнізда їх розбиваються і вимагають періодичного і вельми трудомісткого відновлення. Зниження рівня динамічних навантажень досягнуто при їх амортизації. На підшипники станинної і конічної груп встановлено енергоємні амортизатори. Товщина амортизатора в більшості випадків повинна становити $\delta = 10 \dots 30$ мм., Тобто посадочне місце повинна бути більше зовнішнього діаметра підшипника на 20 ... 60 мм. Розглянуто два варіанти створення малогабаритних амортизаторів. Один з варіантів – це розточування подушки. Другий варіант пов'язаний із заміною існуючого підшипника, на підшипник легшою серії, який має менший зовнішній діаметр. Проведено дослідження з визначення технічних характеристик поліуретанових еластомерів. В результаті досліджень визначено оптимальну форму пружного елемента і марка енергоємного матеріалу.

Ключові слова: амортизація, підшипник енергоємні поліуретани, динамічні навантаження, довговічність, жорсткість, вантажопідйомність, пружна деформація, концентрація напружень.

Постановка проблеми. У конструкціях металургійних машин часто відсутні амортизатори. Удари і вібрації, що виникли в робочій зоні, передаються на всі деталі силового ланцюга, прискорюючи руйнування цих деталей. Включаючи активні пристрої в пружну систему, можна знижувати навантаження до безпечного рівня.

Аналіз роботи великих підшипників кочення роликів рольганга стану 3000 показав, що однією з причин передчасного виходу їх з ладу є високий рівень паразитних навантажень. На жаль, рольганги стану 3000 за проектом не мають амортизації. Наслідком цього є часті виходи з ладу підшипників і посадочних місць. Найбільш важкі умови роботи мають ролики станинної і конічної груп, на яких встановлені дворядні сферичні підшипники. Стійкість цих підшипників складає всього 2 ... 3 місяці. Гнізда їх розбиваються і вимагають періодичного і вельми трудомісткого відновлення.

Постановка задачі. При проектуванні амортизаторів необхідно вирішити два завдання:

- 1) зменшити рівень навантажень до прийняттого;
- 2) забезпечити міцність і довговічність пружного елемента амортизатора.

Для досягнення цих цілей необхідно досліджувати напружений стан пружного елемента і вибрати матеріал з необхідним комплексом механічних характеристик.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Великий внесок у розробку теорії амортизації виникають перевантажень в металургійних машинах внесли вчені ПДТУ доцент Г. В. Артюх і професор В. Г. Артюх [1-3].

Машинобудування і зварювальне виробництво

Досвід розробки та експлуатації кільцевих поліуретанових амортизаторів, розроблених співробітниками ПДТУ показав їх високу ефективність на роликах рольгангів і шарнірних опорах моталок ЛПЦ-1700. Так, довговічність підшипників кочення на рольгангах ЛПЦ 1700 зростає з 6 до 18 ... 24 місяців. Ці результати обнадіюють і в перспективі дозволяють сподіватися на отримання більш значного економічного ефекту.

Мета (завдання) дослідження. На основі аналізу роботи підшипникового вузла виявити фактори, що визначають недостатню стійкість і провести модернізацію даного вузла з метою підвищення його довговічності [4, 5].

Основний матеріал дослідження. Найбільш раціонально виготовити амортизатор у вигляді кільця, що одягається на зовнішнє кільце підшипника. При цьому треба визначитися з товщиною кільця і місцем для його установки. Для установки амортизаторів необхідно мати місце (вільний простір по діаметру підшипника). Товщина амортизатора в переважній більшості випадків повинна становити $\delta = 10 \dots 30$ мм.

Отже, подушка підшипника (його посадочне місце) повинна бути більше зовнішнього діаметра підшипника на 20 ... 60 мм. Один з варіантів підготовки такого вільного місця - це розточування подушки.

При цьому (крім того, що дана операція є дуже трудомісткою) не завжди розміри подушки допускають розточення на необхідну величину; найчастіше доводиться обмежитися розточкою по $\delta = 10$ мм на сторону. Такий амортизатор ($\delta = 10$ мм), звичайно, буде працювати, але жорсткість його буде значною і амортизуючі властивості знижені.

Збільшити осадку такого амортизатора за рахунок застосування більш м'якого матеріалу практично неможливо. Остання обставина пояснюється тим, що пружний елемент кільцевого амортизатора працює практично в умовах всебічного стиснення, коли жорсткість залежить від об'ємного модуля пружності матеріалу.

Досліди показують, що для всіх поліуретанових еластомерів об'ємний модуль пружності K залишається постійним і становить $D_0 = 3000 \dots 3200$ МПа незалежно від нормального модуля пружності еластомеру.

Другий варіант установки кільцевого амортизатора пов'язаний із заміною існуючого підшипника на підшипник легшої серії, який має менший зовнішній діаметр. У цьому випадку вибір нового підшипника також обмежений. З одного боку, він обмежений існуючими сортаменту, з іншого боку тим, що у підшипників легшої серії буде менша вантажопідйомність.

Зниження вантажопідйомності на 20 ... 30 % можна вважати допустимим, оскільки поява амортизатора знижує динамічні напруги на підшипник. Все це призводить до необхідності підвищення енергоємності амортизаторів при малих товщах, що може бути досягнуто збільшенням податливості амортизаторів.

Для кільцевих амортизаторів пружна деформація становить не більше 5 ... 8 %. Бажано збільшити цю деформацію до 10 ... 15 %. Найбільшою мірою це відноситься до амортизаторам, які відчувають підвищені ударні навантаження, наприклад, к амортизаторам, які призначені для установки на станини роликів.

Розглянемо варіанти підвищення податливості (вище зазначалося, що при існуючій формі амортизатора застосування більш м'яких матеріалів буде неефективним).

Варіант 1. Змінити форму пружного елемента (при незмінних габаритних розмірах) таким чином, щоб в пружному елементі з'явилися порожнини. Найпростіший варіант виконання порожнин – це перфорація по всій поверхні пружних кілець. Цей варіант легко реалізувати, причому порожнини (отвори) можуть бути розташовані як рівномірно по всій поверхні кільця, так і локально в окремих місцях. Однак, такий варіант має і недолік - це варіант трудомісткий і крім того в зоні отворів буде високою концентрація напружень, тому такий елемент буде мати обмежену довговічність.

Машинобудування і зварювальне виробництво

Варіант 2. Пружне кільце амортизатора виготовляється з поперечними ребрами, між якими є порожнечі (щілини). Такий пружний елемент допускає пружну амортизацію до 20 %. Недоліком є можливість втрати стійкості ребер і розрив пружного елемента, ці амортизатори пройшли випробування і в даний час не рекомендуються до широкого впровадження.

Варіант 3. Пружні кільця амортизаторів мають поздовжні канавки, отримані при литві або в готових кільцях на верстаті (рис. 1, 2). У цьому варіанті можна отримати пружну деформацію 10 ... 12 % при стійкій роботі амортизатора. При цьому варіанті можливе застосування різних матеріалів для отримання різних жорсткостей.

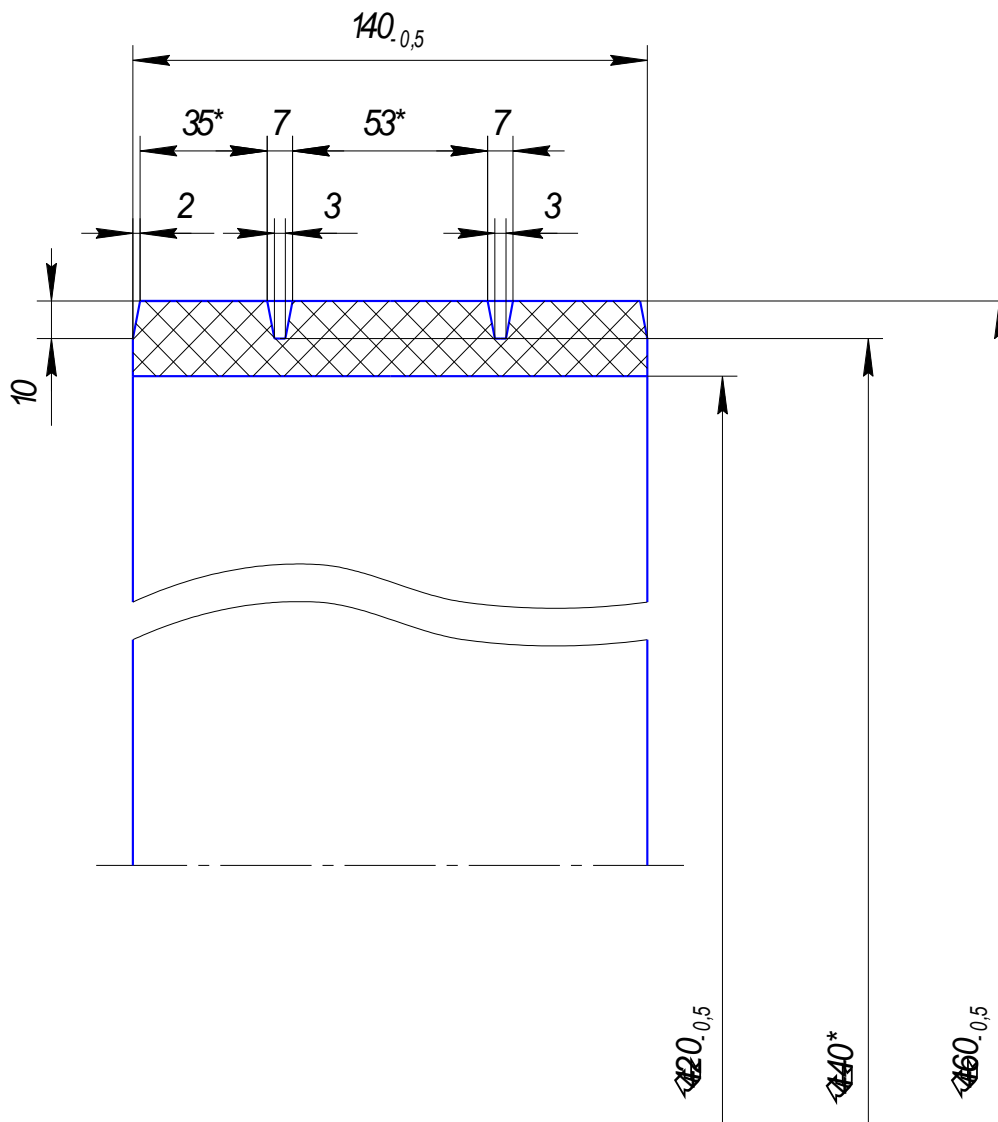


Рисунок 1 – Амортизатор підшипника станини ролика

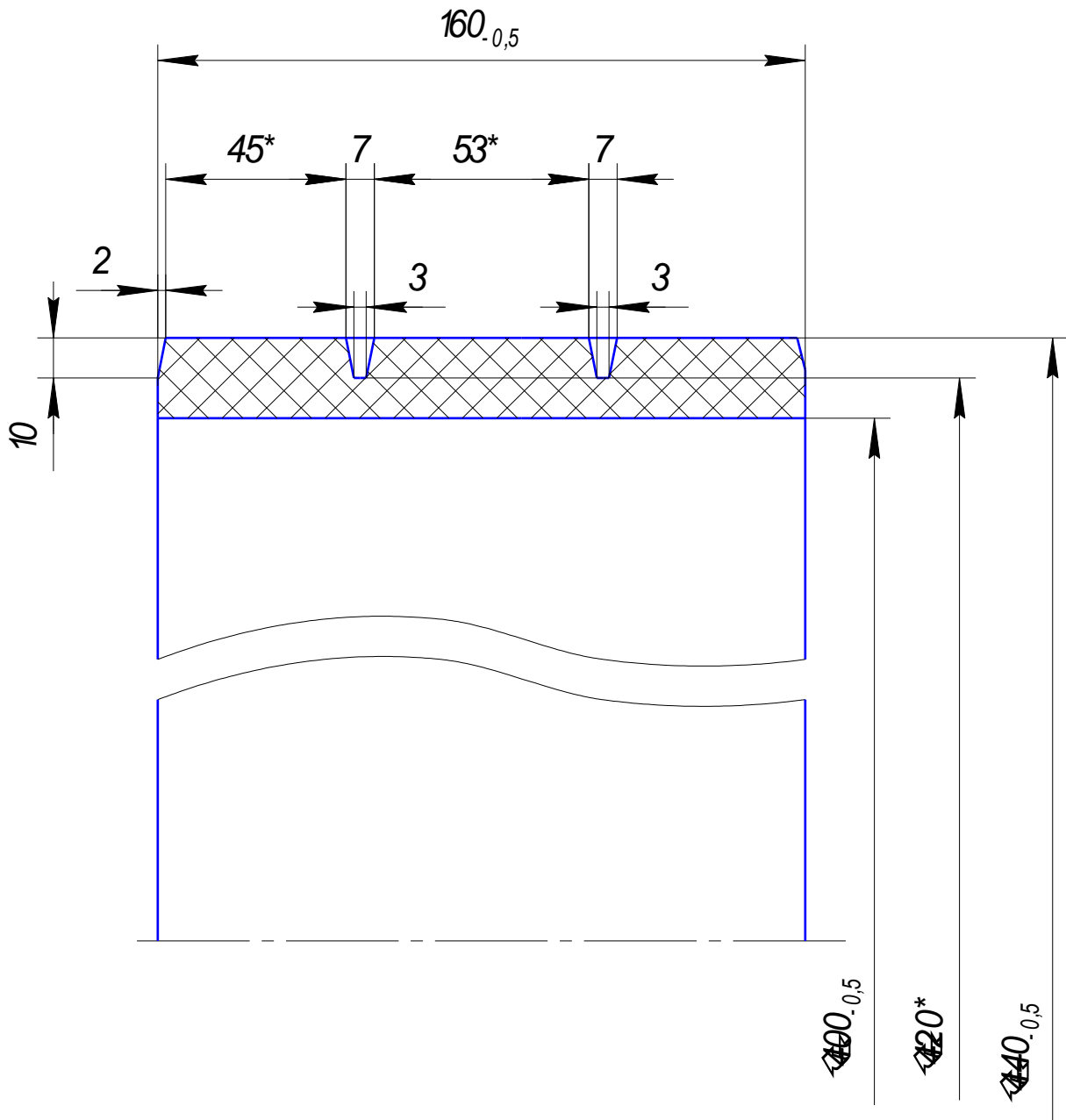


Рисунок 2 – Амортизатор підшипника конічного ролінга

Варіант 4. Пружні кільця амортизаторів виконані складовими з вузьких кілець, що мають фаски (рис. 3). Характеристики таких амортизаторів аналогічні характеристикам за варіантом 3. Пружна деформація може становити 10 ... 15 %. Амортизатори зручні в монтажі і демонтажі.

У цьому варіанті амортизатори можуть виготовлятися на місці з заготовок-труб на токарних верстатах. При цьому можна вносити поправки по всім розмірам кілець.

Поява поліуретанових елементів в практиці проектування і модернізації підприємств металургійної промисловості підтверджує висновок про перспективність застосування еластомерів для амортизації динамічних навантажень.

Машинобудування і зварювальне виробництво

Після установки кілець $b = 160$ мм на підшипниках конічних роликів від заготовок $B_0 = 220$ мм залишаються кільця-обрізки $b_{об} = 55$ мм. На цих кільцях необхідно зняти фаски. Установка трьох кілець дає потрібну ширину підшипника $3b_{об} \approx 160$ мм. Відзначимо, що при відсутності пружних кілець потрібного діаметру можна скористатися розрізними поліуретановими кільцями (при цьому повинні збігатися необхідна і фактична товщина кілець δ).

Наприклад, на підшипники станини роликів $D = 460$ мм можуть бути встановлені кільця з підшипників конічних роликів $D = 440$ мм, які попередньо слід розрізати.

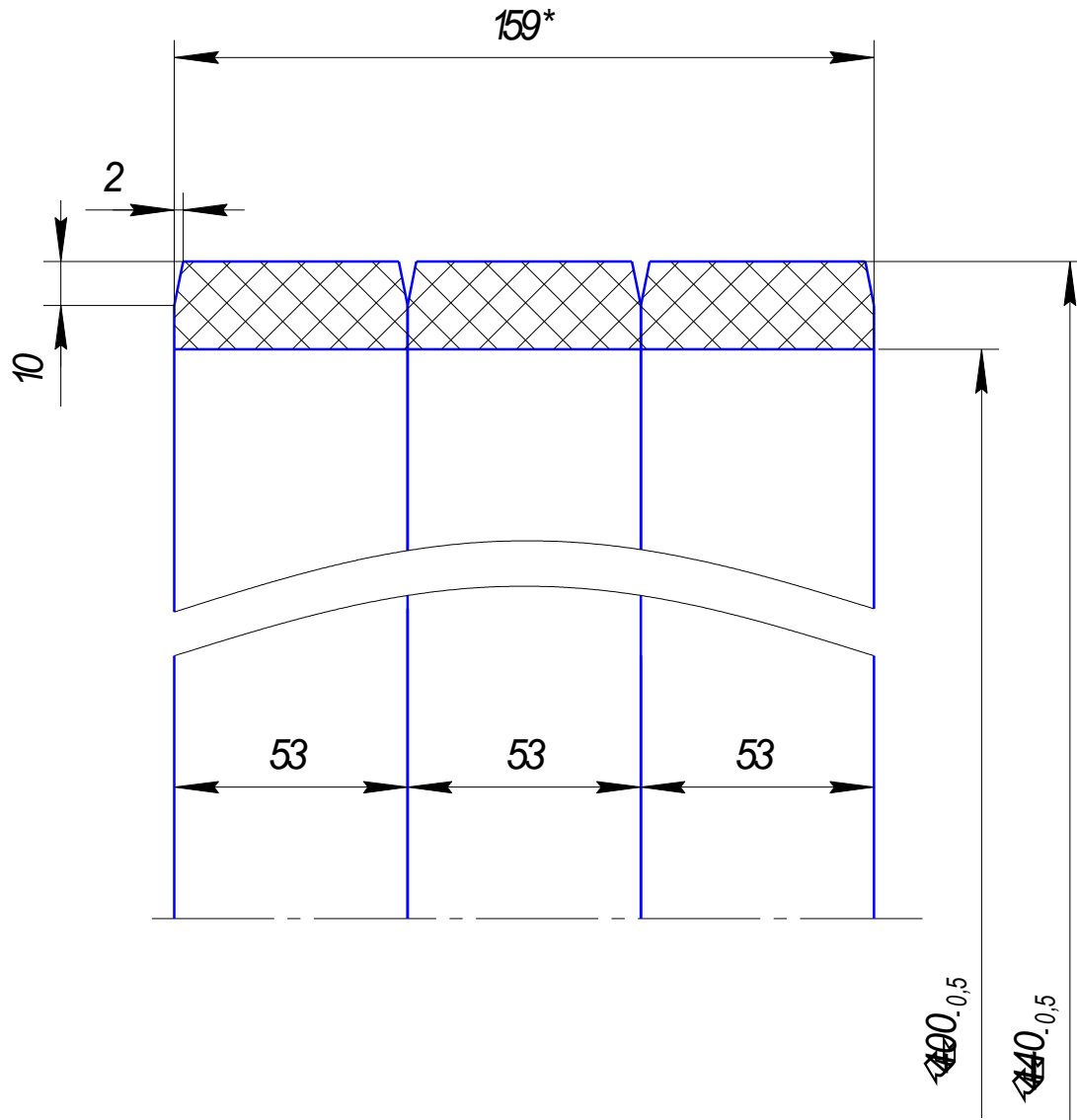


Рисунок 3 – Складова кільцевої амортизатора ролика конічного роликів

Незважаючи на переваги застосування поліуретанів обмежується через низьку релаксаційної стійкості.

У загальному вигляді релаксацією називається процес переходу системи з нерівноважного стану в рівноважний. У матеріалі це мимовільне зменшення напружень при незмінному значенні величини його загальної деформації. Якщо в металах релаксація

Машинобудування і зварювальне виробництво

відбувається, в основному, тільки при високих температурах, то в полімерах це явище спостерігається і при кімнатних температурах. Часто це явище є недоліком.

У деяких випадках релаксація напружень в полімерах порушує нормальну роботу виробів при експлуатації. Так, в прокладках, деформованих при складанні з певним зусиллям, внаслідок релаксації напружень зусилля зтяжки слабшає з часом, що може привести до порушення герметичності з'єднання. У деяких випадках релаксація напружень, навпаки, приносить істотну користь, оскільки концентрації напруги в навантажених деталях зменшується з часом. Це призводить до вирівнювання напружень по всьому небезпечного перерізу виробу, що сприятливо відбивається на його експлуатації.

Релаксація в полімерах, тобто перехід з нерівноважного стану в рівноважний, пов'язана з тепловим рухом структурних елементів, з яких складається дана система, і обумовлена термодинамічними причинами. Температура визначає кінетичну енергію елементів структури, а отже, і швидкість переходу з одного стану в інший. З підвищенням температури збільшується рухливість елементів структури і швидкість їх переходу з нерівноважного стану в рівноважний, тобто з ростом температури релаксаційні процеси протікають швидше.

Рухливість структурних елементів залежить також і від величини енергії міжмолекулярних взаємодій між ними.

Підвищення температури і зменшення енергії міжмолекулярних взаємодій і розмірів елементів структури призводить до прискорення протікання релаксаційного процесу.

Механічні властивості змінюються при протіканні в системі релаксаційних процесів. Якщо процес релаксації відбувається швидко в порівнянні з часом спостереження або часом експлуатації виробу, то його можна не враховувати при оцінці зміни властивостей системи при переході з одного стану в інший. Якщо швидкість протікання процесу релаксації порівнянна з часом експлуатації виробу, то необхідно знати закономірності релаксації, щоб правильно прогнозувати зміну властивостей матеріалів і виробів, а отже, і правильно направляти їх властивості при створенні виробів.

Різні системи характеризуються різним часом релаксації. Час релаксації для еластомерів значно більше і складає $10^{-4} \div 10^{-6}$ с.

Якщо швидкість деформування зразка або виробу з полімеру менше швидкості протікання релаксаційних процесів в ньому, то останні встигають завершитися за час випробування або впливу зовнішньої сили. В цьому випадку можна виміряти величину рівноважної деформації полімеру, так як час спостереження або дії сили більше часу релаксації. Якщо ж швидкість деформування більше швидкості релаксації, тобто час дії сили менше часу релаксації, то рівноважна деформація не досягається, і необхідно враховувати протікання релаксаційних явищ, які будуть впливати на зміну форми зразка або виробу з полімеру з плином часу.

Величина релаксації залежить також від швидкості прикладання навантаження, а для змінних навантажень - і від частоти зміни навантаження.

Крім механічної релаксації існує температурна релаксація, яка полягає в перегрупуванні молекул і переході їх в новий стан рівноваги при зміні температури. З релаксацією напружень пов'язана схильність полімерів до механічного гістерезису (розбіжність кривих деформації при додатку і зняття навантаження). При повільному підвищенні або зменшенні навантаження, а також при відсутності в'язкої течії (просторовий полімер) гістерезис не утворюється [6-9].

Машинобудування і зварювальне виробництво

Таблиця 1 – Релаксація зусиль в зразках

t, хв	Навантаження, Н				
	Adipren 85	Adipren 90	Adipren 95	Vibratan	Elast
	2	3	4	5	6
0	4500	9520	12800	10350	5950
1	3690	7800	10600	9650	5590
2	3480	7470	10190	9530	5520
3	3370	7270	9970	9470	5490
4	3300	7150	9830	9420	5460
5	3240	7040	9740	9380	5440
10	3090	6780	9470	9250	5390
15	3020	6650	9330	9170	5350
20	2970	6560	9230	9110	5330
30	2900	6450	9110	9040	5300
40	2860	6370	9030	8990	5280
50	2830	6310	8980	8950	5260
60	2800	6270	8930	8920	5250

Таблиця 2 – Релаксація зусиль в зразках

t, година	Навантаження, Н				
	Adipren 85	Adipren 90	Adipren 95	Vibratan	Elast
0	5340	10510	12780	10420	6030
1	3030	6470	8950	8860	5190
4	2760	6140	8660	8650	5130
24	2520	5790	8200	8260	4950

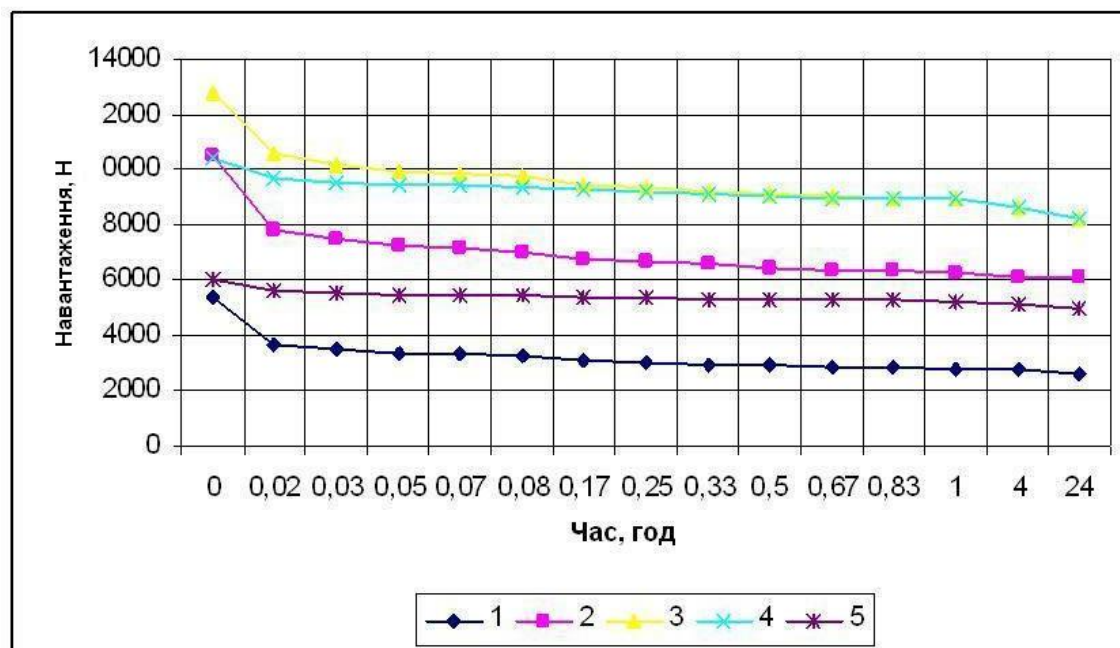


Рисунок 4 – Релаксація зусиль в зразках:
 1 – adipren ShA 85; 2 – adipren ShA 90; 3 – adipren ShA 95;
 4 – vibrotan ShA 85; 5 – elast ShA 85

Машинобудування і зварювальне виробництво

Як матеріал для енергоємних пружних елементів типу амортизаторів металургійних машин можна рекомендувати поліуретанові еластomers типу vibrotan і elast.

Поліуретани vibrotan і elast володіють граничною швидкістю навантаження, причому для vibrotana $V^* = 40$ мм / хв, а для elasta $V^* = 10$ мм / хв.

Для буфера і демпфера (поглинача і розсіювача енергії) велике значення внутрішнього тертя ψ є корисним, так як спрощує конструкцію пристрою, якому стає непотрібним зовнішній елемент тертя. У той же час, при циклічних вимушених коливаннях велике значення ψ при малій теплопровідності швидко призведе до перегріву і теплового руйнування пружного елемента. У цьому випадку більш ефективним буде матеріал з малим внутрішнім тертям, тобто поліуретан марки vibrotan або elast.

Найкращі показники по релаксації має elast – матеріал, який має стабільні механічні характеристики.

ВИСНОВКИ

У даній роботі розглянуті результати досліджень по створенню амортизатора для підшипникового вузла роликів рольганга стану 3000. Виявлено несприятливі фактори, що визначають недостатню стійкість підшипникових вузлів. Запропоновано варіанти модернізації даного вузла з метою підвищення його довговічності. Зроблено розрахунок амортизатора, що дозволяє зменшити рівень навантажень до прийняттого і забезпечити міцність і довговічність впровадженого амортизатора.

Вдосконалені амортизатори підшипників можуть бути встановлені на роликах конічних рольгангів і станиною роликах стану 3000.

Список використаних джерел:

1. *Артюх, Г. В.* Энергоёмкость полиуретановых амортизаторов / *Г. В. Артюх* // Захист металургійних машин від поломок : міжвуз. темат. зб. наук. праць / ПДТУ. – Маріуполь, 1999. – Вип. 4. – С. 166–172.
2. *Артюх, Г. В.* Выбор полимерных материалов для активных деталей металлургических машин / *Г. В. Артюх, А. Н. Беляев* // Захист металургійних машин від поломок : міжвуз. темат. зб. наук. праць / ПДТУ. – Маріуполь, 2003. – Вип. 7. – С. 139–141.
3. *Артюх, В. Г.* Основы защиты металлургических машин от поломок / *В. Г. Артюх.* – Мариуполь : Изд. группа «Университет», 2015. – 288 с.
4. *Артюх, Г. В.* Особенности применения эластомеров для снижения динамических нагрузок в металлургических машинах / *Г. В. Артюх* // Защита металлургических машин от поломок : межвуз. темат. сб. науч. тр. – Мариуполь, 1997. – Вып.2. – С. 155–158.
5. Опыт эксплуатации амортизаторов сжатия с упругими элементами из полиуретанов / *Г. В. Артюх [и др.]* // Защита металлургических машин от поломок : межвуз. темат. сб. науч. тр. – Мариуполь, 1997. – Вып. 2. – С. 173–179.
6. Особенности механических характеристик современных эластомеров / *В. Г. Артюх, С. Ю. Карлушин, Г. В. Самохвалов, Н. А. Савенко* // Захист металургійних машин від поломок : міжвуз. темат. зб. наук. праць / ПДТУ. – Маріуполь, 2007. – Вип. 9. – С. 68–74.
7. *Булатов, Г. А.* Полиуретаны в современной технике / *Г. А. Булатов.* – М. : Машиностроение, 1983. – 272 с.
8. Композиционные материалы на основе полиуретанов / *под ред. Дж. М. Бюиста.* – М. : Химия, 1982. – 240 с.
9. *Роганов, Л. Л.* Исследование энергетических возможностей некоторых материалов / *Л. Л. Роганов* // Защита металлургических машин от поломок : межвуз. темат. сб. науч. тр. / ПДТУ. – Мариуполь, 1997. – Вып. 4. – С. 173–175.

Иванов Е. И.

МОДЕРНИЗАЦИЯ АМОРТИЗИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ РОЛИКОВ РОЛЬГАНГА

В данной статье изложены варианты повышения долговечности подшипников качения за счет улучшения распределения контактных напряжений. Анализ работы крупных подшипников качения роликов рольганга стана 3000 показал, что одной из причин выхода их из строя является высокий уровень паразитных нагрузок. К сожалению, рольганги стана 3000 по проекту не имеют амортизации. Следствием этого являются частые выходы из строя подшипников и посадочных мест. Наиболее тяжелые условия работы имеют ролики станинной и конической групп, на которых установлены двухрядные сферические подшипники. Стойкость этих подшипников составляет 2...3 месяца. Гнезда их разбиваются и требуют периодического и весьма трудоемкого восстановления. Снижение уровня динамических нагрузок достигнуто при их амортизации. На подшипники станинной и конической групп установлены энергоемкие амортизаторы. Толщина амортизатора в большинстве случаев должна составлять $\delta = 10...30$ мм, то есть посадочное место должна быть больше наружного диаметра подшипника на 20...60 мм. Рассмотрены два варианта создания малогабаритных амортизаторов. Один из вариантов – это расточка подушки. Второй вариант связан с заменой существующего подшипника, на подшипник более легкой серии, который имеет меньший наружный диаметр. Проведены исследования по определению технических характеристик полиуретановых эластомеров. В результате исследований определена оптимальная форма упругого элемента и марка энергоемкого материала.

Ключевые слова: амортизация, подшипник энергоемкие полиуретаны, динамические нагрузки, долговечность, жесткость, грузоподъемность, упругая деформация, концентрация напряжений.

Ivanov E. I.

MODERNIZATION OF CUSHIONING DEVICES OF ROLLERS ROLLERS

This article describes options for increasing the durability of rolling bearings by improving the distribution of contact stresses. An analysis of the operation of large rolling bearings of roller table rollers of mill 3000 showed that one of the reasons for their recovery from standing is a high level of parasitic loads. Unfortunately, the roller tables of the 3000 mill are not depreciated according to the project. This results in frequent bearing and seat failures. The most difficult working conditions have rollers of the bed and tapered groups, on which double-row spherical bearings are installed. The service life of these bearings is 2 ... 3 months. Their nests break and require periodic and very laborious restoration. A decrease in the level of dynamic loads was achieved during their amortization. Energy-intensive shock absorbers are installed on the bearings of the frame and tapered groups. The thickness of the shock absorber in most cases should be $\delta = 10 ... 30$ mm, that is, the seat should be 20 ... 60 mm larger than the outer diameter of the bearing. Two options for creating small-sized shock absorbers are considered. One option is to bore the pillow. The second option involves replacing the existing bearing with a lighter series bearing with a smaller outer diameter. Research has been carried out to determine the technical characteristics of polyurethane elastomers. As a result of the research, the optimal shape of the elastic element and the grade of the energy-intensive material have been determined.

Keywords: depreciation, bearing energy-intensive polyurethanes, dynamic loads, durability, stiffness, load-carrying capacity, elastic deformation, stress concentration.

Стаття надійшла 07.01.2021 р.