

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

**Національний комітет України з теоретичної і прикладної механіки
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
Інститут проблем машинобудування ім. А.Н. Підгорного НАН України
Національний аерокосмічний університет імені Жуковського (ХАІ)**

**Одеський національний політехнічний університет
International Centre of Modern Education, (Prague, Czech Republic)**

Wydział Mechaniczny Uniwersytet Morski w Gdyni (Poland)

ЗМКБ «Прогрес» імені академіка А.Г. Івченко

**Державне підприємство Науково-виробничий комплекс газотурбобудування
«Зоря»-«Машпроект»**

АКТУАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ ІНЖЕНЕРНОЇ МЕХАНІКИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ МАШИНОБУДУВАННЯ

МАТЕРІАЛИ

**VIII Міжнародної науково-технічної конференції, присвяченої
100-річчю Машинобудівного навчально-наукового інститута
НУК імені адмірала Макарова**

23-24 жовтня 2024 року

**Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова
Машинобудівний навчально-науковий інститут
вул. Кузнецька 5**

**Миколаїв
«Ілліон»
2024**

УДК 539.3:621.822

М90

ОРГАНІЗАТОРИ

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний комітет України з теоретичної і прикладної механіки

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

Національний аерокосмічний університет імені Жуковського (ХАІ)

Одеський національний політехнічний університет

International Centre of Modern Education, (Prague, Czech Republic)

Wydział Mechaniczny Uniwersytet Morski w Gdyni (Poland)

Державне підприємство Науково-виробничий комплекс газотурбобудування
«Зоря»—«Машпроект»

ЗМКБ «Прогрес» імені академіка А.Г. Івченко

Матеріали публікуються за оригіналами, поданими авторами. Претензії до організаторів не приймаються.

Відповідальні за випуск: М. Р. Ткач, С. О. Моргун

М90 Актуальні проблеми інженерної механіки та технології машинобудування: Матеріали VIII Міжнародної науково-технічної конференції, присвяченої 100-річчю Машинобудівного навчально-наукового інституту НУК імені адмірала Макарова. – Миколаїв: Ілліон, 2024. – 110с.

ISBN

У збірнику наведені матеріали міжнародної науково-технічної конференції, яка відбулась у Національному університеті кораблебудування імені адмірала Макарова (м. Миколаїв) 23 жовтня 2024 року.

Метою конференції є обмін науково-технічною інформацією і визначення перспективних напрямків фундаментальних і практичних досліджень та розв'язування прикладних задач в галузі інженерної механіки з питань проектування, математичного моделювання та дослідження технічних систем, міцності та надійності інженерних конструкцій, використання прогресивних технологій виробництва складних механічних систем.

Матеріали збірника можуть бути корисними для науковців, інженерно-технічних працівників, викладачів, аспірантів, студентів.

УДК 539.3:621.822

ISBN

Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова, 2024

ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ

Голова:

- **Є.І. Трушляков** - д.т.н., професор, ректор Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова (м. Миколаїв);

Заступники голови:

- **С. І.Сербін** - д.т.н., професор, директор Машинобудівного навчально-наукового інститута НУК (м. Миколаїв);
- **М.Р. Ткач**, - д.т.н., професор, завідувач кафедри інженерної механіки та технології машинобудування НУК, д-р техн наук, професор (м. Миколаїв);
- **С.В. Драган** – к.т.н., професор, завідувач кафедри зварювального виробництва НУК (м. Миколаїв);
- **О.С. Митрофанов**, доцент кафедри Двигунів внутрішнього згоряння, установок та технічної експлуатації НУК, д-р. техн. наук, доцент.

Вчений секретар:

- **С.О. Моргун** -к.т.н., доцент, доцент кафедри інженерної механіки та технології машинобудування НУК (м. Миколаїв)

Члени організаційного комітету:

- **М. Р. Ткач** - д.т.н., професор, завідувач кафедри інженерної механіки та технології машинобудування НУК, (м. Миколаїв);
- **С. М. Доценко** - к.т.н., доцент, директор Первомайської філії НУК (м. Миколаїв);
- **Л. І. Коростильов** - д.т.н., професор, професор кафедри будівельної механіки судна (м. Миколаїв);
- **С. Б. Кулішов** - к.т.н., заступник головного конструктора ДП НВКГ «Зоря»-«Машпроект» (м. Миколаїв);
- **О. А. Оргіян** – д.т.н., професор, завідувач кафедри технології машинобудування ОНПУ (м. Одеса);
- **М. Г. Тройніч** – директор з виробництва ДП НВКГ «Зоря»-«Машпроект» (м. Миколаїв);

інноваціям і вдосконаленням, метод лиття за газифікованими моделями продовжує займати провідні позиції серед сучасних ливарних технологій.

Література

1. Шуляк В.С. Лиття по газифікованим моделям. — К : НВО «Професіонал», 2007. — 408 с. І
2. Дорошенко В.С. Лиття по газифікованим моделям з кристалізацією металу під тиском. *Ливарне виробництво*. 2016. № 1. С. 25–28.
3. Патент 67906 Україна, МПКВ22С9/04. Спосіб лиття за моделями, що газифікуються / О.Й. Шинський, В.Т. Шульга, Л.П. Вишнякова та ін. Опубл. 10.09.2007, Бюл. № 14.
4. Патент 147217 Україна, МПКВ22С7/07, В22С9/04. Спосіб лиття металу за моделями, що газифікуються, з окисленням продуктів газифікації / О.Й. Шинський, В.С. Дорошенко. Опубл. 21.04.2021, Бюл. № 16.
5. Основиметалургійноговиробництваметалівісплавів: підручн. / Д. Ф. Чернегатаін.; заред. Д. Ф. Чернеги, Ю. Я. Готвянського. Київ : Вищашкола, 2006. 503 с.

УДК 621.74

ВПЛИВ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ НА НЕСУЧУ ЗДАТНІСТЬ І ДОВГОВІЧНІСТЬ ЗУБЧАСТИХ ПЕРЕДАЧ

С.Ж. Боду

*старший викладач кафедри інженерної механіки та технології
машинобудування*

*Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м.
Миколаїв, Україна*

О.В. Григор'єв

*магістрант Національного університету кораблебудування імені адмірала
Макарова, м. Миколаїв, Україна*

Несуча здатність і довговічність зубчастих коліс залежать від комплексу операцій, починаючи з формування заготовок і закінчуючи остаточною обробкою [1]. Критично важливим етапом є термічна або хіміко-термічна обробка, що зміцнює матеріал і знижує ризик виникнення тріщин та інших дефектів. Особливу увагу слід приділяти правильній орієнтації волокон матеріалу в заготовці. Дослідження показують, що зубці, розташовані проти кутів початкової відливки, мають мінімальну міцність на вигин, тоді як зубці, орієнтовані вздовж боків відливки, демонструють максимальну міцність.

При виготовленні зубчастих коліс використовують різні методи формування зубців, зокрема нарізання та накатку. Нарізання є основним методом, при цьому важливу роль відіграє точність нарізання та усунення дефектів на робочій поверхні зубців. Накатка, на відміну від нарізання, не розрізає волокна матеріалу, а ущільнює їх, що збільшує контактну міцність і стійкість до зносу. Експерименти показали, що зубці, сформовані методом накатки, мають на 15-20% більшу контактну міцність порівняно з фрезерованими.

Для підвищення точності та довговічності зубчастих коліс застосовують шліфування, притирку та хонінгування [2]. Шліфування усуває неточності, що виникають під час термічної обробки, але може знижувати міцність зубців через видалення поверхневого шару. Притирка підвищує чистоту обробки, а хонінгування забезпечує гладкість і покращує зачеплення. Шліфування малопродуктивне та дороге, особливо для загартованих і цементованих коліс, оскільки видаляє шар з високою міцністю. Збільшення глибини шліфування і подачі підвищує продуктивність, але погіршує чистоту поверхні.

Притирка застосовується, коли шліфування неможливе, проте її ефективність знижується при похибках понад 0,03 мм. Хонінгування продуктивніше притирки, оскільки виправляє похибки та не призводить до в'їдання абразивних зерен.

Гідроабразивна обробка підвищує чистоту поверхні за рахунок дрібних зерен, надає їй матовий вигляд. Електролітичне полірування підвищує чистоту на 1 клас, видаляє ушкоджений шар і покращує зачеплення. Після полірування утомна міцність деталей зростає на 35%.

Методи зміцнення пластичним деформуванням включають обкатку роликami, дробострумінну обробку, чеканку та пластичну обкатку [3]. Їх ефективність залежить від початкових характеристик матеріалу, форми деталі і режимів обробки. Зменшення швидкості деформування і підвищення вмісту вуглецю підвищують міцність поверхні. Залишкові напруги знижуються під впливом зовнішніх навантажень, але зміцнення не впливає на зносостійкість, якщо структура матеріалу залишається незмінною.

Похибки виготовлення та складання зубчастих передач викликають динамічні навантаження, вібрації і знос, що може призвести до передчасних поломок.

У передачах з прямозубими колесами порушення плавності роботи може призвести до серединного або кромочного удару, залежно від різниці основних кроків зубців. З підвищенням навантаження тривалість кромочних контактів зростає, а точки переспряження зміщуються до полюса або за нього, що підвищує коефіцієнт перекриття понад 2. У передачах 7-го та вищих ступенів точності деформація зубців зазвичай перевищує різницю кроків.

Експерименти показують, що зі зростанням окружної швидкості та питомого зусилля нормальне навантаження і напруга згину зростають при більшій різниці кроків. При заданому зусиллі в зупиненій передачі нормальне навантаження не залежить від різниці, але напруга згину збільшується, оскільки точка максимального навантаження зміщується до вершини зубця. Зі збільшенням різниці основних кроків і швидкості довговічність зубців знижується, особливо у коліс з м'якої сталі та чавуну.

Різні похибки, накопичені в основному кроці, поступово зменшуються, але можуть знову зрости при низькому початковому значенні. Динамічні

навантаження при резонансі можуть вивести передачу з ладу навіть при малих похибках.

Щоб підвищити надійність зубчастих коліс, слід уникати зняття лисок на валах у місцях шпонкових пазів, притуплювати кромки шпонок фасками і уникати перевертання коліс при ремонті, оскільки це знижує їх міцність.

Циліндричні шпонки можуть створювати підвищене радіальне навантаження, особливо у блоках з малою товщиною, що призводить до радіального биття і розтягуючих напруг у матеріалі. Великий натяг шпонок може призвести до тріщин, які слід контролювати фізичними методами.

Для зубчастих коліс з малою товщиною ободу велика фаска знижує міцність. Зменшення діаметрів вершин зубців також знижує коефіцієнт перекриття.

Дослідження показують, що перехід від фрезерованих до шліфованих зубців збільшує навантажувальну здатність у 3-10 разів, проте ці дані можуть бути завищеними. Контактний тиск змінюється відповідно до зусилля та швидкості коліс, що може призвести до руйнування зубців при надмірному зближенні коліс під час зборки.

Експерименти на цементованих і загартованих колесах тракторів показали, що при перекосі до 0,005 рад можливе припрацювання робочих поверхонь через знос. При перекосі понад 0,005 рад спостерігається прогресуюче відшарування матеріалу.

Мастильна плівка між сталевими роликами при пульсуючих навантаженнях може витримувати в 6 разів більше, ніж при постійному навантаженні, через підвищення опору мастила [4]. Проте недостатня в'язкість мастила і високі температури можуть руйнувати плівку, погіршуючи умови роботи зубців. Віб्राції також сприяють зносу тертьових пар. Перекіс зубців погіршує змащування, що призводить до перенавантаження і зниження зносостійкості.

Вібрації і шум передач спричинені похибками виготовлення і складання. Найбільше механічні коливання виникають через циклічні похибки зачеплення у передачах з прямозубими колесами. Інтенсивність коливань зростає з невідповідністю кроків зубців, а надмірне зближення коліс підвищує шум.

Для зниження вібрацій і шуму рекомендується:

- проектувати передачі з мінімальним резонансним ефектом,
- виготовляти зубчасті колеса з максимальною точністю,
- уникати граненості поверхонь зубців,
- не використовувати прямозубі і вузькі косозубі колеса,
- забезпечувати достатні бічні і радіальні зазори,
- застосовувати поздовжньо-випуклі і бочкоподібні зубці,
- своєчасно замінювати зношені деталі.

Висновки:

Технологія виготовлення зубчастих передач значно впливає на їх експлуатаційні характеристики. Вибір правильних методів формування і обробки зубців дозволяє суттєво збільшити несучу здатність і довговічність зубчастих коліс, що особливо важливо для високонавантажених механізмів. Впровадження передових методів обробки, таких як накатка і хонінгування, відкриває нові можливості для підвищення надійності і ефективності зубчастих передач.

Література

1. Колодяжний П.В. Підвищення зносостійкості зубчастих коліс локомотивів шляхом вибору технологічних способів зміцнювальної обробки / Вісник Східноукраїнського Національного Університету імені Володимира Даля № 1 (218) 2015, С. 33-37
2. D. Mallipeddi, M. Norell a, M. Sosa b, L. Nyborg. The effect of manufacturing method and running-in load on the surface integrity of efficiency

tested ground, honed and superfinished gears / Tribology International. Volume 131, March 2019, Pages 277-287. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2018.10.051>

3. Postolachi, Anatol&Gavril, Sergiu. (2006). The method of finishing of the bevel cog-wheels via plastic deformation. https://www.researchgate.net/publication/344413197_THE_METHOD_OF_FINISHING_OF_THE_BEVEL_COG-WHEELS_VIA_PLASTIC_DEFORMATION

4. Кузьменко А.Г. Дослідження взаємодії змащених поверхонь тертя. Монографія. / А.Г.Кузьменко, О.В. Диха. – Хмельницький: ХНУ, 2005. – 183 с.

УДК 621.89: 621.9.014

ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ІНСТРУМЕНТАЛЬНОГО МАТЕРІАЛУ ДЛЯ ОБРОБКИ ЛЕГОВАНИХ СТАЛЕЙ

С.Ж. Боду

*старший викладач кафедри інженерної механіки та технології
машинобудування*

*Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м.
Миколаїв, Україна*

Є.В. Лебедєв

*магістрант Національного університету кораблебудування імені адмірала
Макарова, м. Миколаїв, Україна*

Обробка високолегованих сталей і сплавів – складний технологічний процес, оскільки вони відрізняються високою твердістю і термостійкістю, що створює підвищені навантаження на інструмент і потребує використання матеріалів з покращеними експлуатаційними характеристиками [1].

Довгий час для обробки таких матеріалів використовувалися наступні види інструментів:

- **Швидкоріжучі сталі.** Ці матеріали мають високу червонокрихкість, що дозволяє їм зберігати свої властивості при високих

98

ЗМІСТ

ПЛЕНАРНЕ ЗАСІДАННЯ

<i>Харитонов Ю.М.</i> РОЗВИТОК АДИТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У КНР	4	ПЛ1
<i>Баланюк Г.В., Оргіян О.А., Колесник В.М.</i> ЗАДАЧІ ДИНАМІКИ У ТЕХНОЛОГІЇ МАШИНОБУДУВАННЯ	6	ПЛ2
<i>Ткач М.Р., Золотий Ю.Г., Костріков О.А.</i> ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ТА РОЗРАХУНКОВЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ДИСКУ	9	ПЛ3

СЕКЦІЯ №1

Новітні досягнення у галузі прикладної механіки

<i>Ткач М.Р., Шинкаренко А.А.</i> ТЕХНОЛОГІЇ СТВОРЕННЯ ПОЛІМЕРНИХ ВИРОБІВ МЕТОДАМИ 3D ДРУКУ	13	C101
<i>Гладченко Д.С., Драган С.В., Сімутенков І.В.</i> УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ОЦІНКИ ЯКОСТІ ЗВАРЮВАЛЬНИХ РОБІТ ПРИ ВИГОТОВЛЕННІ МЕТАЛОКОНСТРУКЦІЙ МОСТОВИХ ПЕРЕХОДІВ	21	C102
<i>Morhun S., Melnychenko O., Shmakov D., Kachmar A., Zeinalov T., Marynych M.</i> DETERMINATION OF THE GAS TURBINE DISKS THERMAL STATE	23	C103
<i>Smetankina N., Morhun S.</i> DETERMINATION OF THE SINGLE SHAFT GAS TURBINE ROTORS STRESS-STRAIN STATE	26	C104
<i>Костін О.М., Шаблій Т.Ю.</i> СПОСОБИ АКТИВАЦІЇ ГАЗОВОГО СЕРЕДОВИЩА ДЛЯ ЗВАРЮВАННЯ ТА СПОРІДНЕНИХ ПРОЦЕСІВ	29	C105
<i>Галинкін Ю.М., Бедринець Т.М., Дроздова О.А., Жур О.О., Злоба Т.В.</i> ТЕХНОЛОГІЯ ВИКОРИСТАННЯ АЛЬТЕРНАТИВНОГО ПАЛИВА В ДИЗЕЛЬНИХ ДВИГУНАХ	37	C106
<i>Галинкін Ю.М., Чабанов Б.В., Скопа В.Ю., Ненько А.А., Пасечнюк М.В.</i>	41	C107

ТЕХНОЛОГІЯ УТИЛІЗАЦІЇ ТЕПЛОТИ СУДНОВИХ ДИЗЕЛІВ УСТАНОВКАМИ З НИЗЬКОКИПЛЯЧИМ РОБОЧИМ ТІЛОМ

Познанський А.С., Митрофанов О.С. ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ
АНТИФРИКЦІЙНОЇ ПРИСАДКИ НА ПОТУЖНІСТЬ МЕХАНІЧНИХ
ВТРАТ РОТОРНО-ПОРШНЕВОГО ДВИГУНА 44 C108

Tarasenko O.I, Lytosh O.V., Tarasenko A.O. FEATURES OF THE
ANALYTICAL SOLUTION OF THE EULER EQUATIONS FOR THE
FREE MOTION OF AN ASYMMETRIC TOP (DZHANIBEKOV'S
EFFECT). 50 C109

Ткач М.Р., Семенов М.М., Моргун С.О. ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ
ДЛЯ РОЗРОБКА МЕТОДИКИ РОЗРАХУНКУ НАПРУЖЕНО-
ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ЖАРОВИХ ТРУБ КАМЕР ЗГОРАННЯ
СТАЦІОНАРНИХ ГАЗОТУРБІННИХ ДВИГУНІВ 54 C110

СЕКЦІЯ №2

Спеціальні питання технології машинобудування

Баланюк Г.В., Оргіян А.О., Бадовський О.Б. НОВІ ТЕХНОЛОГІЇ
РОЗВИТКУ СУЧАСНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ МАШИНОБУДУВАННЯ 59 C201

Ошовський В.Я. АНАЛІЗ СУЧАСНИХ МЕТОДІВ СТИКОВОГО
ЕЛЕКТРОЗВАРЮВАННЯ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ СТАЛЬНИХ
ЗАГОТОВОК СКЛАДНОЇ ФОРМИ 62 C202

Lysykh A.Yu. STUDY OF CHANGES IN EMISSIONS OF TOXIC DIESEL
ENGINE COMPONENTS WHEN USING SOY OIL 65 C203

Новошицький А.В., Фабріциєв Д.В. УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ
ВИГОТОВЛЕННЯ ТОНКОСТІННИХ ПРОФІЛЬОВАНИХ ДЕТАЛЕЙ
ТЕПЛООБМІННИХ АПАРАТІВ 67 C204

Новошицький А.В., Хань Лянлян, Александров В.М. ЗАСТОСУВАННЯ
МОРФОЛОГІЧНОГО АНАЛІЗУ ПРИ СТРУКТУРНОМУ
ПРОЕКТУВАННІ КОМПАКТНИХ ТОКАРНИХ ВЕРСТАТІВ З ЧПК 72 C205

Новошицький А.В., Богатко Д.О., Маляренко В.В. ВИКОРИСТАННЯ
CAD СИСТЕМ ПРИ РОЗРОБЦІ НОВИХ КОНСТРУКЦІЙ 76 C206

КОМПАКТНИХ ТОКАРНИХ ТА ФРЕЗЕРНИХ ВЕРСТАТІВ З ЧПК

<i>Ніколаєв О.Л., Поліщук В.А., Марупов Д.Р., Нагорна В.А.</i>		
ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ГЛИБОКОГО СВЕРДЛІННЯ ТА РОЗРОБКА ОСНАСТКИ З МЕТОЮ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДРОБЛЕННЯ СТРУЖКИ ПРИ ВІБРАЦІЙНОМУ СВЕРДЛІННІ ОТВОРІВ	79	C207
<i>Ніколаєв О.Л., Поліщук В.А., Ситніков О.О., Крепняк В.В.</i>		
УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ОБРОБКИ ОТВОРІВ ЗБІРНИМИ СВЕРДЛАМИ В ДЕТАЛЯХ З ЛЕГОВАНИХ СТАЛЕЙ	83	C208
<i>Polishchuk V.A., Li Yonghong, Nikolaev O.L.</i>		
PROVIDING THE RIGIDITY AND VIBRATION RESISTANCE INDICATORS OF THE UNIVERSAL ASSEMBLY TOOLS CONSTRUCTIONS FOR PARTS MACHINING	86	C209
<i>Боду С.Ж., Бабійчук О.В.</i>		
ЛИТТЯ ПО ГАЗІФІКОВАНИМ МОДЕЛЯМ – ОСОБЛИВОСТІ МЕТОДУ, ПРОБЛЕМИ ТА ПЕРЕВАГИ	90	C210
<i>Боду С.Ж., Григорєв О.В.</i>		
ВПЛИВ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ НА НЕСУЧУ ЗДАТНІСТЬ І ДОВГОВІЧНІСТЬ ЗУБЧАСТИХ ПЕРЕДАЧ	93	C211
<i>Боду С.Ж., Лебедєв Є. В.</i>		
ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ІНСТРУМЕНТАЛЬНОГО МАТЕРІАЛУ ДЛЯ ОБРОБКИ ЛЕГОВАНИХ СТАЛЕЙ	98	C212
<i>Шумілов О.П., Урусов А.М.</i>		
ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ОБРОБКИ МАТЕРІАЛІВ ЗА РАХУНОК ВІБРАЦІЙ РІЖУЧОГО ІНСТРУМЕНТУ	102	C213
<i>Шумілов О.П., Венц Т.Ф.</i>		
ВДОСКОНАЛЕННЯ СПЕЦІАЛЬНОГО РІЖУЧОГО ІНСТРУМЕНТУ ДЛЯ ОБРОБКИ ГЛИБОКИХ ОТВОРІВ	104	C214