

навичок, пов'язаних з функціонуванням устаткування. Використовувати тільки симуляції або комбінації з реальним обладнання можна в залежності від мети вашої роботи.

Більшість учнів не мають необхідних навичок і мотивації, щоб навчатися самостійно, граючи з науковими симуляціями (їм весело, але це не є цікавим навчанням), якщо немає прямого стимулювання, такого, як створює учитель в класі. Це одна з причин, чому проводяться спеціальні дослідження того, як найкраще інтегрувати симуляції в домашню роботу.

Висновок. Phet-симуляції можуть бути дуже ефективними під час демонстраційної лекції, в класній дослідницькій роботі, при виконанні лабораторних робіт і для домашніх завдань. Вони розроблені з мінімальним використанням текстів, так що можуть бути легко інтегровані в кожен аспект курсу.

#### Список використаних джерел

1. PhET: Interactive Simulations for Teaching and Learning Physics, Katherine Perkins, Wendy Adams, Michael Dubson, Noah Finkelstein, Sam Reid, Carl Wieman, Ron LeMaster, The Physics Teacher, 44(1), 18, 2006.
2. Доросевич С. О роли решения экспериментальных задач в активизации учебно-познавательной деятельности школьников / Сергей Доросевич // Научные записки. – РВЦ КДПУ. – 2006. – Вып 66. – С. 56-61.
3. Електронний ресурс <https://phet.colorado.edu/uk/research>

#### USING PHET SIMULATIONS IN THE EDUCATIONAL PROCESS OF PHYSICS

**Abstract.** *The use of PHET simulations is relevant, because any student activity is impossible without his cognitive activity and internal motivation. Improving the ways of independent work is to improve the quality of knowledge of students, develop the ability to independently acquire and deepen their knowledge, in finding rational ways to solve the problem.*

**Keywords:** *informatization, computer simulation, educational experiment, virtual model, educational research, physical concepts, physical laws.*

Ольга Герасимова, Олександр Мозговий, Андрій Тітов

#### ОСОБЛИВОСТІ ПРОЦЕСУ ВИГЛАДЖУВАННЯ ЗА НАЯВНОСТІ ПРОМІЖНОГО ШАРУ НА ПОВЕРХНІ ДЕТАЛІ

**Анотація.** *Виконано моделювання пружно-пластичного процесу алмазного вигладжування за наявності проміжного шару на поверхні деталі з використанням методу скінченних елементів. На основі отриманої моделі проаналізовано напружено-деформований стан процесу та розподіл залишкових напружень. Проведені експериментальні дослідження для підтвердження розробленої моделі.*

**Ключові слова:** *алмазне вигладжування, залишкові напруження, поверхневе пластичне деформування.*

**Постановка проблеми.** Для забезпечення максимальної ефективності експлуатації сучасних конструкцій виробів машинобудування все більш жорсткими стають вимоги до умов роботи і режимам експлуатаційної надійності, особливо це стосується виробів авіаційної техніки.

Досвід показує, що в разі відмов, більшість пошкоджень носить втомний характер. У структурі створення виробів найбільш істотним фактором, що визначає втомні характеристики деталей є технологічний фактор, який визначає зміну властивостей початкового стану матеріалу заготовки в процесі виконання операцій її виготовлення. В результаті виконання технологічної обробки формується мікроструктура матеріалу,

досягається певний рівень механічних властивостей, їх розподіл по товщині деталі та інші характеристики.

Кінцеві структурні і фізико-механічні властивості матеріалу деталей, а в підсумку й її несуча здатність, залежать від виду операцій обробки, їх послідовності, режимів виконання, обладнання, інструменту та інших технологічних факторів.

Визначальним технологічним фактором, що впливає на втомні характеристики є фінішна обробка, що формує стан поверхневого шару матеріалу виробу. Це пов'язано з тим, що зазвичай зародження втомної тріщини починається з поверхні заготовки або в при поверхневому шарі [1, 2] в силу наявності поверхневих дефектів, концентраторів напружень та інших факторів. Регулювання властивостей поверхневого шару деталей дозволяють ефективно забезпечувати методи поверхневого пластичного деформування (ППД). Змінюючи режими ППД, можливо ефективно управляти параметрами шорсткості, зміцнення, розподілу залишкових напружень з урахуванням структури матеріалу. Тому ППД, як правило, є заключною (фінішною) операцією технологічного процесу виготовлення деталей [3]. Найбільш ефективним способом ППД є алмазне вигладжування.

Поряд з цим підвищення ефективності експлуатації конструкцій пов'язано з застосуванням матеріалів з високою питомою міцністю і жорсткістю таких як, титанові сплави в заміні традиційних конструкційних сталей. Застосування методів ППД, в процесі використання яких виникають високі контактні напруження, при обробці деталей з титанових сплавів має свої особливості (труднощі). Причиною тому є підвищена схильність титанових сплавів до холодного зварювання з іншими матеріалами. Дане явище являє собою серйозну проблему, оскільки для її усунення необхідна додаткова обробка поверхні заготовки або використання розділяючих покриттів.

У роботі виконане моделювання процесу алмазного вигладжування за наявності проміжного шару на поверхні деталі з використанням методу скінченних елементів у пружно-пластичній постановці. Розроблена й обґрунтована модель, дозволяє визначати всі компоненти тензора діючих і залишкових напружень різних кратностях обробки вигладжуванням за різних механічних властивостях шару матеріалу на поверхні деталі.

Встановлено, що при повторному проході інструменту збільшується величина залишкових напружень на 10-15%. При подальших проходах збільшення залишкових напружень не перевершує 4-6%. Використання розробленої моделі дозволяє прогнозувати властивості поверхневого шару опрацьованих матеріалів і технологічні параметри різних кратностях обробки вигладжуванням деталей.

Для підтвердження розробленої моделі проведені експериментальні дослідження вигладжування титанового сплаву з полімерним та металевим покриттям. Показано, що застосування твердих мастил не знижує ефективності алмазного вигладжування, в поверхневому шарі внаслідок деформації відбувається дроблення зерен і їх витягування в напрямку руху інструменту. Результати металографічних досліджень показують, що зі збільшенням зусилля вигладжування при незмінних інших умовах обробки величина зерна в при поверхневому шарі зменшується. Найбільше подрібнення зерен спостерігається в зонах дії максимальних дотичних напружень. При збільшенні кількості проходів і незмінних інших умовах обробки величина зерна також зменшується в при поверхневому шарі.

#### Список використаних джерел

1. Иванова В. С. Природа усталости металлов / В. С. Иванова, В. Ф. Терентьев. – М.: Металлургия, 1975. – 456 с.
2. Богуслаев В. А., Яценко В. К., Притченко В. Ф. Технологическое обеспечение и прогнозирование несущей способности деталей ГТД / В. А. Богуслаев, В. К. Яценко, В. Ф. Притченко. – К.: Манускрипт, 1993. – 333 с.

3. Мозговой В.Ф., Титов В.А., Качан А.Я. Особенности комплексной оценки деформированных параметров поверхностного слоя при изготовлении тонкостенных валов ГТД / В. Ф. Мозговой, В. А. Титов, А. Я. Качан // Технологические системы, 2000. – № 2(4). – С. 56 – 65.

## FEATURES OF BURNISHING OF A DETAIL WITH INTERMEDIATE LAYER ON A SURFACE

**Abstract.** *The modeling of elastoplastic process of diamond burnishing of layered billet by finite element method is carrying out. On the base of received model the tensely-deformed conditions and residual stress is analyzed. Experimental studies have been carried out to confirm the developed model.*

**Keywords.** *Diamond burnishing, residual stresses, surface plastic deformation.*

Наталія Кравчук

## ФІЗИЧНІ ОСНОВИ ТЕМПЕРАТУРНИХ ДАТЧИКІВ

**Анотація.** *У статті розглянуто основні типи датчиків температури. Особливу увагу приділено фізичним основам їх функціонування. Зазначено їх основні параметри та характеристики, а також їх переваги та недоліки. Розглянуто області застосування та перспективи розвитку температурної сенсоріки.*

**Ключові слова:** *датчики, сенсори, первинні вимірювальні перетворювачі, терморезистивні, термоелектричні, термістори, термомпари, пірометри, флуоресцентні, інтерферометричні, напівпровідникові, п'єзоелектричні, акустичні, мікроелектронні, оптоелектронні, волоконнооптичні, твердотільні, плівкові, технології.*

**Постановка проблеми.** Будь-яке з науково-технічних досягнень базується на знаннях фізики - її явищ та законів. Розгляд питань сенсоріки на заняттях зі спецкурсу для студентів, майбутніх учителів фізики, - це чудова можливість ознайомитись із застосуванням фізичних явищ та ефектів у технічних пристроях і системах, а також закріпити свої знання з фізики.

На сучасному етапі більшість технологічних процесів йде шляхом автоматизації. Поряд із цим, керування численними механізмами, агрегатами, а часто і машинами, не можна уявити без точних вимірювань різних фізичних величин. Важливим є вимірювання температури, тиску, вологості, кутової та лінійної швидкостей тощо. Позаяк, найпоширенішими (близько 50%) є температурні вимірювання. Наприклад, середня за величиною атомна станція нараховує приблизно 1500 контрольних (вимірювальних) точок, а велике хімічне виробництво, - вже близько 20 тисяч таких точок.

Як діапазон, так і умови вимірювань можуть сильно відрізнятись для кожного конкретного випадку, тому розроблені різні за точністю, стійкістю, швидкодією типи датчиків і первинних вимірювальних перетворювачів. Проте, до якого б типу не належав температурний датчик, загальним для всіх є принцип перетворення. А саме: вимірювана температура перетворюється в електричну величину, за що, власне, і відповідає первинний вимірювальний перетворювач. Таке перетворення обумовлено тим, що електричний сигнал просто передавати на великі відстані (висока швидкість прийому-передачі), легко обробляти (висока точність вимірів) і, нарешті, достатньо висока швидкодія[1].

**Метою** даної роботи є: розглянути основні типи датчиків температури за їх фізичним принципом дії, зазначити їх основні параметри, переваги та недоліки, області застосування та перспективи розвитку.

**Аналіз попередніх досліджень.** На сьогодні не існує єдиної класифікації датчиків(сенсорів) загалом і температурних зокрема. Однією з найважливіших ознак є поділ датчиків на типи за фізичним принципом їх дії [1]. Найпоширенішими датчиками