

УДК 531.78

В.П. Квасніков, В.М. Селенков

Національний авіаційний університет, м. Київ, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ МІЦНОСНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЕТАЛЕЙ ВЕРСТАТУ ДЛЯ РІЗАННЯ КЕРАМІКИ

Досліджено проблему оптимізації конструкцій верстатів для різання кераміки і визначення міцності їх деталей. Наведено аналітичний огляд дослідження напружень в деталях з використанням різних способів. Виконано аналіз експериментального дослідження міцносних характеристик деталей дослідного зразка верстату для різання керамічного бруса пластичного формування. Відзначено, що більшість деталей працюють зі значним запасом міцності і є можливість оптимізувати параметри деталей. Зроблено аналіз результатів експерименту з застосуванням методів математичної статистики.

Ключові слова: міцність, напруження, різання, тензометри, тарування.

Постановка проблеми

З новими видами будівельних матеріалів продовжують конкурувати добре відомі керамічні камені та цегла. Це дозволяє економити дефіцитні метали. Попит на будівельні матеріали високий, а виробництво не може в повній мірі забезпечити потреби державного та приватного господарства в керамічних виробках

На сьогодні, внаслідок недоліків конструкції, більшість верстатів не забезпечує правильність геометричної форми виробу, має багато швидкозношуваних деталей, які входять до пар тертя. Тому будь-які роботи, спрямовані на поліпшення обладнання для різання пластичного бруса, на зменшення частки ручної праці при формуванні і відборі цегли-сирцю є актуальними. Тим більше, літературний огляд засвідчив, що всі конструкції цього обладнання виконані практично без достатньої глибокої теоретичної розробки особливостей кінематики та динаміки [1].

Вагомі спроби по оптимізації конструкцій верстатів зроблені Харківським заводом «Красный Октябрь» та Сімферопольським машзаводом.

Дослідженнями в цій області займалася група співробітників ЧІТІ. Серед них Л.В. Титаренко, А.І. Боркун, В.П. Криштопа, М.І. Турган.

Модернізація існуючого обладнання чи розробка нової конструкції повинні забезпечити збільшення продуктивності заводу, підвищення надійності технологічного обладнання і забезпечити точність та правильність геометричних форм виробів.

Важливим завданням інженерних розрахунків є оцінка міцності елементів машин за відомим напруженим станом. Під міцністю розуміють здатність конструкції, її частин та деталей витримувати певне навантаження не руйнуючись. Класичним критерієм міцності є механічні напруження, котрі можуть бути визначені безпосередньо експериментально [2].

Приладів, що безпосередньо дають напруження, немає. Тому вимірюється деформація на поверхні деталі, потім обчислюються напруження на підставі основних співвідношень між ними.

Основні методи визначення механічних напружень в деталях.

Мета дослідження

Так як деформації більшості матеріалів на етапі пружної роботи дуже малі, то їх вимірюють спеціальними приладами – тензометрами. По принципу дії розрізняють три основних види тензометрів: механічні з важільною системою; оптико-механічні; електричні [3].

Найпростіший механічний тензометр – шарнірно-важільний [3]. Прикріплений до деталі струбциною, тензометр вимірює зміну своєї бази і через систему важелів рухає стрілку відносно шкали, пропорційно подовженню бази. Шкала проградуєвана в міліметрах. Точність поділок шкали залежить від коефіцієнта збільшення k тензометра, який може дорівнювати 1000...1200.

$$k = \frac{b \cdot H}{a \cdot h}$$

де b , H , a та h – розміри плеч важелів (рис. 1).

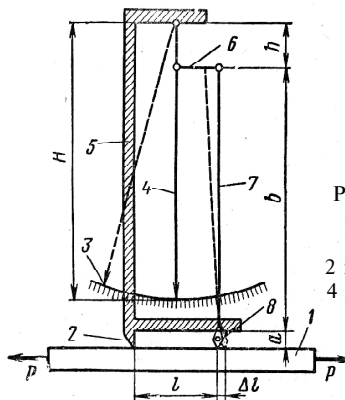


Рис. 1. Схема важільного тензометра:
1 – дослідний зразок;
2 і 8 – ніжки; 3 – шкала;
4 і 7 – важелі; 5 – рамка;
6 – тяга

В механічну систему тензометра можуть монтуватися, наприклад, дзеркала або індикатори годинникового типу.

Оптико-механічний тензометр Мартенса (рис.2) широко використовують в лабораторній практиці, так як він дозволяє вимірювати деформації з високою точністю [3]. Коефіцієнт збільшення приладу

$$k = \frac{h}{\Delta l} = \frac{L \cdot \operatorname{tg} 2\alpha}{d \cdot \sin \alpha},$$

де h – переміщення променя по шкалі;
 Δl – зміна довжини зразка;
 L – відстань від зразка до планки з міліметровою шкалою;
 d – більша діагональ призми, за звичай 4 мм;
 α – кут повороту дзеркала.

Внаслідок малих значень кута повороту дзеркала α вважають значення $\operatorname{tg} 2\alpha = 2\alpha$ та $\sin \alpha = \alpha$ і використовують формулу

$$k = \frac{2L}{d}.$$

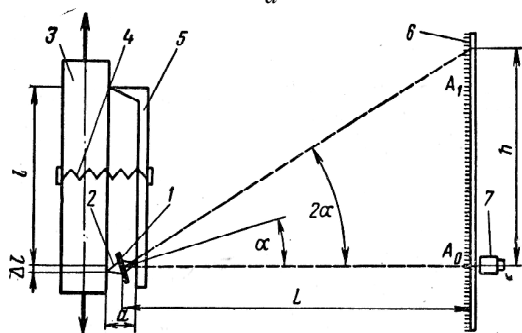


Рис. 2. Дзеркальний тензометр Мартенса
 1 – дзеркало; 2 – призма; 3 – деталь; 4 – струбцина;
 5 – скоба; 6 – шкала; 7 – зорова труба

На практиці коефіцієнт збільшення приймають рівним 500 і визначають відстань L . Відлік ведеться по положенню візирного волоска відносно шкали, котру видно в зорову трубу.

Індикаторний тензометр використовують для визначення лінійних переміщень при розтягу [3]. Подовження зразка 1 на довжині l передається стійкою 2 на вимірювальний стрижень індикатору 3. Відстань між кільцями 4 і 5 є базою тензометра (рис. 3).

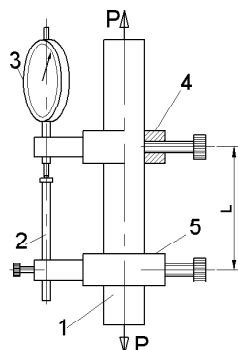


Рис. 3. Індикаторний тензометр

Задовільні результати також можна отримати застосувавши електротензометрію. Вимірювання деформації електричним методом можливе завдяки тому, що деформація викликає зміну деяких електричних параметрів (опору, індуктивності, ємності). Коефіцієнт тензочутливості таких датчиків можна обчислити теоретично або визначити шляхом тарування датчиків. Різні схеми включення датчиків дозволяють не лише підвищити точність вимірювань, але й компенсувати, наприклад, дію навколишнього середовища. Найбільше використовуються дрові тензодатчики опору, які застосовують для вимірювання і динамічних навантажень. Набули поширення фольгові, напівпровідникові та інші датчики [3].

Зафіксувати елементарні переміщення можливо з використанням, наприклад, інтерферометра Фабро-Перо з решіткою Брега. Такі прилади мають високу точність і динамічний діапазон може бути підвищений до 10^{-5} , але їх вартість, в більшості випадків, значна і недоступна для більшості споживачів [4].

З метою визначення оптимальних розмірів деталей і вузлів верстата, були проведені експериментальні дослідження їх міцності в технологічній лінії Васильківського цегельного заводу.

Обговорення результатів експерименту

Визначення напружень деталей (деформацій) проводилося так званим електротензометричним методом.

Вимірювання деформацій в деталях верстата виконувались з допомогою омичних тензодатчиків і комплекту приладів (блока живлення «Агат», тензопідсилювача «Топаз» і світлопроменевого осцилографа НО 44.1) (рис. 4). Окрім приладів необхідні були дроти, припій, паяльник, реактиви, кювети, бачки, фотоплівки, касети тощо.

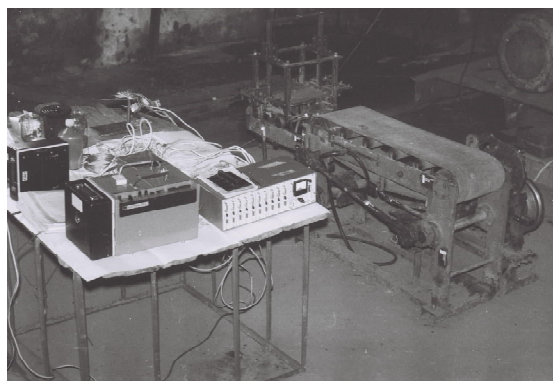


Рис. 4. Стенд для проведення випробувань

Експериментальне дослідження передбачало: приклеювання датчиків та контактних колодок; добова сушка клейових з'єднань; налаштування комплекту приладдя; монтаж верстата в діючу

технологічну лінію; монтаж дровових з'єднань датчиків з підсилювачем; запуск верстата на робочий режим; тарування датчиків на «нуль»; запис параметрів на фотоплівку; проявлення фотоплівки на місті проведення експерименту; обробка осцилограм; аналіз отриманих результатів.

Використавши знання з теоретичної механіки та опору матеріалів, а також практичний досвід учасників експерименту, були вибрані для контролю 22 найбільш ймовірно навантажених точки верстату. В цих точках були наклеєні тензодатчики, з однорідної партії, та контактні планки з застосуванням бакелітно-фенольного клею. Недоліком застосування тензодатчиків є те, що їх не можна переклеїти з однієї деталі на іншу і виникає деяка неоднозначність функцій перетворення.

Тому датчики базою 20 і 50 мм і опором 200 Ом, наклеювалися на поверхні деталей у двох взаємноперпендикулярних напрямках у кожній точці (рис. 5). Сушка клею велася протягом доби. Основна похибка дровотяних тензорезисторів може бути, як свідчить досвід, меншою 1,5%. Врахувавши дію зовнішніх факторів на метрологічні характеристики наклеєних тензорезисторів, можна досягти похибки до 0,5...1,0% [5].

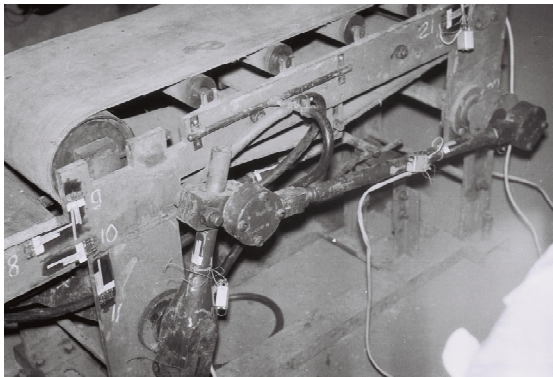


Рис. 5. Схеми та місця наклеювання і підключення тензодатчиків

Тензорезистори приєднувалися до підсилювача за мостовою схемою. Для максимальної компенсації дії зовнішніх та внутрішніх збурювачів, одне плече було максимально наближене до місця розташування робочого датчика і використана тридротова схема включення елементів.

Зміни напружень у деталях під час робочого і зворотного руху ріжучого органа фіксувалися осцилографом на світлочутливу плівку. Світлопроменевий осцилограф НО44.1 дозволяє реєструвати зміни по часу дванадцять різноманітних механічних процесів, що отримані від датчиків електричних сигналів. Точку променя можна візуально спостерігати на матовому екрані, що дозволяє економити фотоматеріали не запи-

суючи параметри, амплітуда котрих виходить за межі екрану.

Проявлені фотоплівки на місці перевірялись на якісне зображення осцилограм і взагалі на засвічування променем.

Тарування датчиків виконувалося на спеціально для цього розрахованій і виготовленій пластині рівного опору – балці, зафіксованій одним кінцем в опорі (рис. 6) [2].

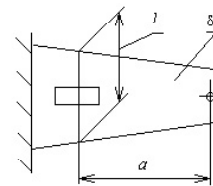


Рис. 6. Схема балки рівного опору

Для проведення тарування пластини використані маси (0,126 кг; 0,376 кг; 0,626 кг; 0,876кг). Амплітуди було записано на плівку осцилографа і побудовано тарувальний графік, з якого видно, що при таких навантаженнях залежність напружень розтягу (стиску) є лінійною (рис. 7).

Розрахунок напружень розтягу і стиску σ в пластині проводився за формулою

$$\sigma = \frac{6M}{\delta^2 \cdot l},$$

де M - момент згинання (стиску), який розраховуємо за формулою $M = G a$;

δ - товщина пластини, мм;

l - ширина пластини в зоні датчика, мм;

G - сила ваги, Н;

a - віддаль від точки прикладання сили ваги на пластині до середньої лінії датчика, мм.

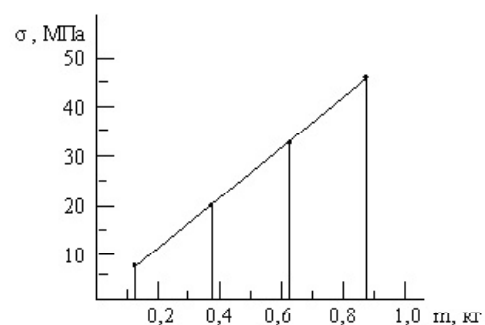


Рис. 7. Тарувальний графік

Тарування датчиків виконувалося на початку і в кінці заміру напружень в кожній точці з наступною побудовою тарувальних графіків. Напру-

ження в кожній точці записувались мінімум три рази. Обчислене середнє арифметичне значення приймалося для подальших розрахунків. Розрахунки показали, що максимальні напруження склали: на стиск - 53,50 МПа, на розтяг - 51,80 МПа. В деяких точках деформації були не-

значні, в деяких – майже не фіксувались і їх можна прийняти рівними нулю [6].

Результати масштабів напружень для кожного датчика обчислювались з точністю до трьох знаків, тобто до 10^{-3} МПа, а результати напружень – з достатньою точністю до 10^{-2} МПа.

$$\sigma = \sqrt{\frac{(29,30 - 30,55)^2 + (30,50 - 30,55)^2 + (31,85 - 30,55)^2}{3-1}} = 1,2757$$

$$30,55 - 2,92 \frac{1,2757}{\sqrt{3}} < a < 30,55 + 2,92 \frac{1,2757}{\sqrt{3}}$$

$$27,967 < a < 33,1328$$

Отриманий шуканий довірчий інтервал $27,967 < a < 33,1328$ покриває невідоме математичне очікування a з імовірністю 0,90.

Точність оцінки математичного сподівання генеральної сукупності за вибірковим середнім $\delta = 2,5828$.

Виконаємо ймовірно-статистичну оцінку дослідження. Для оцінки результату експерименту були вибрані значення напружень в точці 5, котрі мали найбільші показники як на розтяг так і на стиск. В точці 5 маємо по три значення напружень: на розтяг 29,30; 30,50; 31,85 МПа і на стиск 10,55; 11,50; 12,30 МПа [7].

Перевірка нульової гіпотези про рівність генеральних дисперсій σ^2 більшої і меншої нормальних сукупностей, проведена обчисленням значення критерію спостережень F_{cn}

$$F_{cn} = \frac{s_B^2}{s_M^2}; \\ F_{cn} = 1,627 / 0,484 = 3,362$$

і за таблицею критичних точок розподілу Фішера-Снедекора, за заданим рівнем значимості α та числом степенів свободи $k_1 = n_1 - 1$, $k_2 = n_2 - 1$ (k_1 – число степенів свободи більшої виправленої дисперсії) знайдено критичну точку $F_{кр}(\alpha; k_1, k_2)$ [6]. Якщо $F_{cn} < F_{кр}$ то результат задовільний.

$$F_{кр}(\alpha = 0,05; k_1 = 2, k_2 = 2) = 19,0; 3,362 < 19,0.$$

Знайдемо довірчий інтервал для оцінки з надійністю $\gamma = 0,90$ невідомого математичного очікування a нормально розподіленої ознаки X генеральної сукупності, якщо генеральне середнє квадратичне відхилення не відоме, вибіркове середнє $\bar{x}_g = 30,55$ та об'єм вибірки $n = 3$.

$$\bar{x}_g - t_\gamma \frac{s}{\sqrt{n}} < a < \bar{x}_g + t_\gamma \frac{s}{\sqrt{n}}$$

де s – «виправлене» вибіркове середнє квадратичне відхилення; t_γ – знаходять за таблицями по заданих n і γ .

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x}_g)^2}{n-1}}$$

Висновки

Аналіз результатів показує, що більшість деталей верстата мають завищений запас міцності й працюють із значним недовантаженням. Розміри і маси були значно зменшені в результаті доробки конструкцій деталей верстата. Верстат вмонтований в виробничу лінію Жаботинського цегельного заводу, про що є акт впровадження.

Застосувавши методи статистичного аналізу можна спробувати спрогнозувати розміри деталей, а в подальшому можливо й створити параметричний ряд верстатів на замовлення споживача за видом і кількістю виробів, врахувати їх фінансові можливості.

Перечень ссылок

1. Комар А.Г. Строительные материалы и изделия. – М.: Высш. шк., 1983. – 487 с., ил.
2. Писаренко Г.С. Опір матеріалів: Підручник / Г.С. Писаренко, О.Л. Квітка, Е.С. Уманський; за ред. Г.С. Писаренка. – 2-ге вид., допов. і переробл. – К.: Вища шк., 2004. – 665 с.: іл.
3. Рубашкин А.Г. Лабораторные работы по сопротивлению материалов Учебное пособие. Изд. 3-е. М., «Высшая школа», 1971.
4. Измерение абсолютной деформации с помощью интерферометра Фабро-Перо со световой решеткой Брэгга./Elektron. Lett. 2000. 36, №8, с. 708-709, 2 ил.
5. Электрические измерения электрических и неэлектрических величин / Под ред. Е.С. Полищука. – К.: Вища школа, 1984. – 360 с.
6. Експериментальні дослідження міцності деталей верстата для різання цегли / В.М. Селінков // Вісник ЧІТІ. Всеукраїнський шоквартальний науково-технічний журнал, Черкаси, ЧІТІ, 1998. - №1. - с. 51-52.
7. Селенков В.М. Метрологічна атестація станду для вимірювання напружень верстату для різання цегли // Інтегровані інтелектуальні робототехнічні комплекси. ІІРТК'2011 : Четверта міжнар. наук.-практ. конф. : тези доп. / М-во освіти і науки, молоді та спорту України, Нац. авіаційний ун-т. – К., 2011. – с. 212-214.

Поступила до редакції 31.05.2011

В.П. Квасников, В.Н. Селенков. Исследование прочностных характеристик деталей станка для резания керамики

Исследована проблема оптимизации конструкций станков для резания керамики и определения прочности их узлов. Приведен аналитический обзор исследования напряжений в деталях с использованием различных способов. Сделан анализ прочностных характеристик деталей экспериментального образца станка для резания керамического бруса пластического формования. Отмечено, что большинство деталей работают со значительным запасом прочности и есть возможность оптимизировать параметры деталей. Сделан анализ результатов эксперимента с использованием методов математической статистики.

Ключевые слова: прочность, напряжения, резанье, тензометры, тарирование.

V.P. Kvasnikov, V.M. Selenkov. Research on strength characteristics of details of machine for cutting ceramic

Research on optimization of design of machines for cutting ceramic and determining the strength of their parts was conducted. Analytical review of research of details' stress using different methods is provided. Analysis of experimental research of the strength characteristics of parts of prototype machine for cutting a ceramic timber of plastic formation was conducted. Pointed out that most parts work with considerable reserve of strength and there is a possibility to optimize parameters of parts. The analysis of results of experiment using the methods of mathematical statistics was conducted.

Key words: strength, stress, cutting, strain gauges, calibration.