

УДК 621.9.02

Т.І. Четвержук, Р.М. Полінкевич, Н.Т. Зубовецька

Луцький національний технічний університет

**ДО ПИТАННЯ ВПЛИВУ ЯКОСТІ ПОВЕРХНЕВОГО ШАРУ НА ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ  
ХАРАКТЕРИСТИКИ ВУЗЛІВ ВЕРСТАТІВ**

*Якість поверхневого шару чинить істотний вплив на багато експлуатаційних властивостей деталей машин, їх з'єднань, а внаслідок цього на експлуатаційні властивості і надійність виробу. Формування мікрогеометрії поверхні і якості поверхневого шару є складним фізичним процесом з активною фізико-хімічною взаємодією усіх матеріалів, що знаходяться у зоні обробки.*

*Експлуатаційні характеристики деталей і вузлів верстатів залежать не стільки від якості металу всього перерізу, скільки від фізико-хімічних властивостей та стану поверхні виробів. Обумовлено це тим, що в поверхневих шарах при різних схемах навантаження виникають найбільші напруження. При виготовленні деталей машин необхідно забезпечити оптимальні показники якості поверхні, зокрема шорсткість, макро- і мікроструктуру матеріалу, твердість, величину і знак залишкових напружень.*

*Ключові слова:* коефіцієнт тертя, мікрогеометрія, жорсткість стиків, деформації, хвилястість, зношення.

Т.И. Четвержук, Р.М. Полинкевич, Н.Т. Зубовецькая

**К ВОПРОСУ ВЛИЯНИЯ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ НА  
ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ УЗЛОВ СТАНКА**

*Качество поверхностного слоя оказывает существенное влияние на многие эксплуатационные свойства деталей машин, их соединений, а вследствие этого на эксплуатационные свойства и надежность изделия. Формирование микрогеометрии поверхности и качества поверхностного слоя является сложным физическим процессом с активной физико-химическим взаимодействием всех материалов, находящихся в зоне обработки.*

*Эксплуатационные характеристики деталей станков зависят не столько от качества металла всего сечения, сколько от физико-химических свойств и состояния поверхности изделий. Обусловлено это тем, что в поверхностных слоях при различных схемах нагружения возникают наибольшие напряжения. При изготовлении деталей машин необходимо обеспечить оптимальные показатели качества поверхности, в частности шероховатость, макро- и микроструктуру материала, твердость, размер и знак остаточных напряжений.*

*Ключевые слова:* коэффициент трения, микрогеометрия, жесткость стыков, деформации, волнистость, износ.

T. Chetverzhuk, R. Polinkevich, N. Zubovetska

**THE QUESTION OF INFLUENCE AS SURFACE LAYER ON OPERATING  
CHARACTERISTICS MACHINE TOOLS**

*The quality of the surface layer has a significant impact on many performance properties of machine parts and their connections, and consequently the performance and reliability properties of the product. Formation of microgeometry and surface quality of the surface layer is a complex physical process with an active physical and chemical interaction of all materials found in the treatment zone.*

*Performance parts and components of machines depend not only on the quality of the metal section just as the physico-chemical properties and surface condition of products. This is due to the fact that in the surface layers at different load circuits having the greatest stress. In the manufacture of machine parts to ensure optimal performance surface quality, including roughness, macro-and microstructure of the material hardness, the magnitude and sign of the residual stresses.*

*Keywords:* friction, microgeometry, stiffness of joints, warping, waviness, wear.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Нижче приводиться короткий перелік властивостей, функціональних залежностей параметрів поверхневого шару, які встановлені експериментально: експлуатаційні властивості, пов'язані з процесами тертя (коефіцієнт тертя, зносостійкість, інтенсивність і час прироблення, схильність до схоплювання поверхонь при терті, гідравлічна підйомна сила в парах ковзання); властивості, обумовлені стиковими явищами (жорсткість стиків в нормальному напрямі, дотична жорсткість стиків, теплопровідність стиків, демпфуючі властивості стиків); властивості міцності (втомна, циклічна, статична, термічна втомна міцність, пластичність металу, ударна в'язкість, міцність клейових з'єднань, міцність пресових з'єднань; опір агресивним середовищам (корозійна, ерозійна і кавітаційна стійкість); оптичні властивості (відбивна здатність і прозорість); аеро - і гідравлічні властивості (опір потоку рідини або газу, зміна коефіцієнтів тепловіддачі і теплопередачі); точнісні показники деталей; інші властивості (електричні, електромагнітні, акустичні).

З фізико-механічних властивостей на якість поверхні надає вплив структура металу поверхневого шару деталі. В процесі обробки під впливом високого тиску інструменту і високого нагрівання, структура поверхневого шару змінюється, і значно відрізняється від структури

основного металу. Поверхневий шар отримує підвищену твердість в наслідок наклепу, в ньому виникають внутрішні напруження. Глибина і ступінь наклепу залежать від властивостей металу деталей, способів і режимів обробки. Після механічної обробки в поверхневому шарі виникають внутрішні напруження, величина і знак залежить від методів і режимів обробки. Внутрішні напруження виникають під сумісною дією силових і теплових факторів. Силкові фактори (пластичні деформації) викликають утворення стискаючих напружень, теплові – розширюючих.

З приведенного переліку видно, що якість поверхневого шару чинить вплив на багато властивостей деталей і їх з'єднань. Проте об'єм теоретичних і експериментальних досліджень по встановленню конкретних залежностей не однорідний.

**Метою дослідження** є визначення впливу якості поверхневого шару на різні експлуатаційні та деформаційні властивості при металообробці.

Деформації стиків грають значну роль в загальному балансі жорсткості металоріжучих верстатів і їх вузлів, що вперше було відмічено ще К.В. Вотіновим. Як показали численні досліди, стикова деформація  $\Delta$  може бути підрахована по формулі  $\Delta = c \cdot p^x$ , де  $c$  і  $x$  – коефіцієнти;  $p$  – нормальний контактний тиск.

Великий вплив на стикову деформацію роблять мікрогеометрія, хвилястість і макрогеометрія. У загальному вигляді великим нерівностям відповідають великі деформації. Проте тільки одна висота нерівностей не визначає величину деформації. Великий вплив на деформацію здійснює також форма вершин нерівностей, яка в першому наближенні може бути оцінена усередненою формою опорної кривої  $\eta = b \cdot e^v$ . Докладні експериментальні дані по впливу режимів і методів обробки на коефіцієнти  $b$ ,  $v$ , а також на величини радіусів закруглень вершин мікронерівностей отримані Е.В. Рижовим.

Аналіз процесів, що відбуваються при стикових деформаціях, дозволив дати ряд аналітичних формул за їх розрахунком (рис. 1).

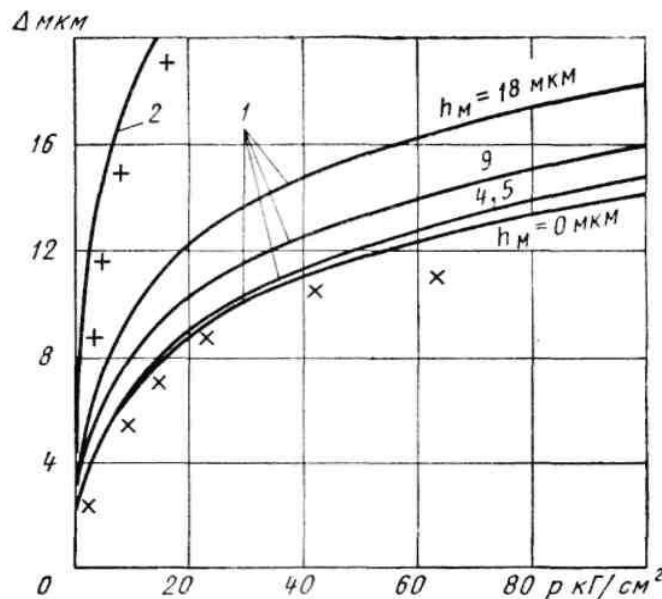


Рис. 1. Розрахункові криві впливу контактної сили на стикові деформації струганих поверхонь при: 1 -  $s = 0,28$ ; 2 -  $s = 0,56$  мм/дв.хід

Для випадку контакту двох однакових шорстких поверхонь була отримана формула

$$p = \frac{12\sigma_0\sigma^4}{S^2h^2} \left( \frac{S}{4H_m} - \frac{H_m}{S} \right) \cdot I^5 \phi \left( \frac{z}{\sqrt{2}} \right) \quad (1)$$

де  $\sigma_0$  — середній тиск на майданчику контакту;

$\sigma$  — середнє квадратичне відхилення для розподілу висот вершин мікронерівностей;

$S$  — середній крок мікронерівностей;

$I^5$  — спеціальна табульована функція, що є кратним інтегралом 5-го порядку від функції нормального розподілу;

$\frac{2b-x}{\sigma\sqrt{2}}$  ( $b$  — відстань між медіаною кривої розподіли висот вершин мікронерівностей і середньою лінією профілю,  $x$  — деформація).

Форма розрахункових кривих «тиск — стикова деформація», їх відповідність експериментальним даним для струганих поверхонь і вплив макронерівностей представлені на рис. 2.

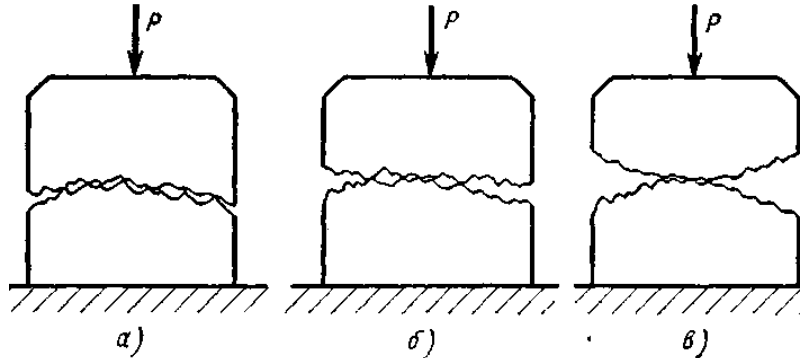


Рис 2. До аналізу впливу форми і взаємного розташування макронерівностей на жорсткість стику

Ряд формул аналогічного призначення були отримані Н. Б. Демкиним, Е. В. Рижовим.

Окрім мікрогеометрії, на стикові деформації великий вплив роблять макронерівності, причому в загальному вигляді збільшення макронерівностей також призводить до зниження жорсткості.

Проте на практиці облік їх впливу важчий. Умови контакту двох поверхонь можуть бути різними залежно від взаємного розташування і форми макронерівностей. Розрахувати заздалегідь взаємне розташування хвиль макронерівностей для конкретних деталей можна лише з певним ступенем вірогідності. Цей момент обумовлює значне розсіювання результатів вимірів жорсткості стиків за наявності нерівностей макрогеометричного порядку.

Залежно від умов контакту розрізняють три основні види тертя: сухе, граничне і рідинне. Найпомітніше вплив геометрії поверхні на коефіцієнт тертя для перших двох випадків. Як показують аналітичні формули, дана залежність визначається, в першу чергу, висотою мікронерівностей  $h_M$ , формою опорної кривої (коефіцієнти  $b$ ,  $\nu$ ), радіусом закруглення вершин мікронерівностей.

На коефіцієнт сухого тертя, окрім параметрів мікрогеометрії, впливає і величина макронерівностей, що визначає контурний тиск  $q_c$ . Аналіз теоретичних формул показує, що поліпшення чистоти поверхонь підвищує величину коефіцієнта тертя. Проте для порівняно грубо оброблених поверхонь стає помітним механічне зачеплення вершин мікронерівностей, що приводить до збільшення коефіцієнта тертя, що у формулах не враховується. Тому в загальному вигляді залежність від висоти мікронерівностей має екстремальний характер. Певний вплив на коефіцієнт тертя надає і взаємне розташування рисок, отриманих при обробці на поверхнях ковзання. Висоти мікронерівностей роблять вплив на коефіцієнт тертя і за наявності мастила. Ця залежність зазвичай також має екстремальний характер.

Зношення, що відбувається в процесі тертя, викликає зміна мікро- і макрогеометрія поверхонь, що труться, що обумовлює зміну і коефіцієнта тертя. Тому в кінці періоду прироблення поверхні з різною початковою мікро- і макрогеометрією можуть мати приблизно однакові значення коефіцієнтів тертя.

Зношення є складним процесом, на інтенсивність зносу впливає велике число чинників. В даний час найбільш вивчені наступні види зносу: абразивний, окислюваний, зношення схоплюванням 1-го і 2-го роду, дифузійний і втомний.

В процесі зносу відбувається безперервна зміна параметрів поверхневого шару. Тому найпомітніше їх вплив в період прироблення. Проте є приклади, коли параметри початкової поверхні впливають на процес зношення і після його прироблення.

Таким чином, що на інтенсивність зносу роблять вплив висота мікро- і макронерівностей, форма опорної кривої, радіус закруглення вершин мікронерівностей, механічні характеристики матеріалу мікронерівностей. Залежність інтенсивності зносу від висоти мікронерівностей в умовах

граничного і гідродинамічного тертя зазвичай носить екстремальний характер, причому мінімальному значенню відповідає їх висота, яка виходить в процесі прироблення.

На тривалість прироблення великий вплив роблять макрогеометрія поверхні. Як показано Прониковим А.С., що відбуваються при цьому перерозподіл і зміна епюр контактної тиску істотно позначаються на працездатності і надійності даних вузлів машин.

Тривалість процесу прироблення залежить від інтенсивності зносу і погіршностей макрогеометричного порядку. У реальних умовах нерідкі випадки, коли період прироблення займає істотну частку часу від загального часу роботи з'єднання. У цих випадках вплив якості поверхневого шару на довговічність і надійність особливо великий.

Істотний вплив робить величина мікронерівностей на пластичні властивості металу. Численні досліді різних вчених показали, що збільшення мікронерівностей призводить до різкого зниження пластичності.

Дослідження С.С.Кедрова, Д.Н. Кудінова та ін. присвячені вивченню впливу характеристик стиків на вібростійкість верстатів. Особливо показано суттєвий вплив демпфуючої здатності стиків.

У контактній деталі машин дійсна площа дуже мала. При стисненні куль і циліндрів це пов'язано з формою деталей. В умовах контакту по площини або по циліндровій поверхні це пов'язано з мікро- і макронерівностями, внаслідок чого при малих навантаженнях дійсна площа складає долі відсотка від номінальної. Тому в прецизійних машинах контактні деформації превалюють над власними. Це особливо відноситься до металорізальних верстатів, які характеризуються: великою кількістю рухомих сполучень деталей, малими навантаженнями при остаточних точних операціях і особливо високими вимогами до точності. Роль контактних деформацій ілюструється наступним прикладом: контактні деформації в направляючих верстатів, що мають величини порядку 1 мкм на кожен 0,1 МПа тиску, в середньому рівні деформації чавунного стрижня довжиною 1 м під дією стискуючої напруги, рівної тиску в направляючих.

Контактні деформації при ідеальній площинній стиків або досконалому макроприляганні деталей невеликі. Спостережувані великі зближення в контактах деталей машин відбуваються внаслідок збільшених контактних деформацій на контактуючих вершинах макрохвиль, розпрямлення хвиль і загальних пружних деформацій деталей в зоні контакту. Контактні деформації знижують точність роботи приладів, верстатів і інших прецизійних машин, а також впливають на працездатність деталей і вузлів машин: на коливання і динамічні навантаження, на концентрацію і розподіл тиску в контактній деталі машин, а отже, на їх зносостійкість і довговічність. Ефект контактних деформацій не завжди негативний. Вони вирівнюють розподіл тиску між деформується поверхнями, що контактують пружно.

**Висновки.** Значний інтерес представляє вивчення жорсткості стиків безпосередньо у вузлах машин і жорсткості всієї машини, коли враховується реальний стан поверхневого шару, розміри його номінальної і фактичної площі, напрям дії навантаження, наявність мастила і тому подібне.

При великих номінальних площах контакту пружні зближення значно більше і вони ближче слідує закону Гука. Це пов'язано з великими відхиленнями поверхонь, що сполучаються, від площини, великими власними деформаціями контактуючих деталей і більшою їх роллю в балансі переміщень, а також великим місцевим тиском на макроплямах контакту.

Контактуючі поверхневі шари володіють не тільки нормальною, але і дотичною податливістю. Для особливо точних розрахунків переміщення (переважно в умовах пружного повороту), а також для розрахунків міцності фрикційних зчеплень і демпфування коливань представляє інтерес знання дотичної контактної податливості.

#### Список використаних джерел:

1. Шевелева Т.Н. Теория формообразования и контакта движущихся тел, –М.: Изд-во "Станкин", 1999. – 494 с.
2. Демкин Н.Б. Фактическая площадь касания твердых поверхностей. М.: Изд-во АН СССР, 1962. - 110 с
3. Струтинський С.В., Кропивна А. Аналіз процесів технологічних систем: навч. посібник / С.В. Струтинський, А. Кропивна. – Кіровоград: КОД, 2010. – 428 с.
4. Проников А.С. Параметрическая надежность машин. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2002. - 560 с.
5. Yoshimura M. Design optimisation of machine tool structure with respect to dynamic characteristics // Trans. of the ASME. – 1983, – V. 105, –№ 1, – P. 88-96.

Стаття надійшла до редакції 10.05.2017