

2. Комплексный подход к синтезу матмодели процесса штамповки обусловил возможность выбора целей управления из их множества для повышения качества автокузовных деталей. И это подтверждено изготовлением опытных партий деталей.

3. Установлено, что оптимизации процессов штамповки с разными цепями необходимо применение компьютерной техники со значительно более широкими техническими возможностями.

## Литература

1. Тараненко М. Е. Электрогидравлическая штамповка : теория, оборудование техпроцессы : монография в 2 ч. / М. Е. Тараненко. – Харьков : Нац. аэрокосм. ун-т им. Н. Е. Жуковского «ХАИ». 2011. – 272 с.

2. Тараненко М.Е. Моделирование процесса взаимодействия импульсной струи с заготовкой при электрогидравлическом нагружении / М. Е. Тараненко, А. Г. Нарыжный // Открытые информационные и компьютерные технологии : сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-т им. Н. Е. Жуковского «ХАИ». – Вып. 91. – Харьков, 2021. – С. 65 – 77.

Цибульський Вадим Анатолійович, к.т.н., доцент, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, [tsybulsky@ukr.net](mailto:tsybulsky@ukr.net)

## ЗМІНИ В ПОВЕРХНЕВИХ ШАРАХ ДЕТАЛЕЙ ПРИ ЦИКЛІЧНОМУ ДЕФОРМУВАННІ І ЇХ ВПЛИВ НА СПРОТИВ ЗНОШУВАННЮ

Стан зношеної поверхні деталі характеризується фізико-механічними властивостями і структурою, які значно відрізняються від властивостей нової деталі наявністю залишкових напруг, різним ступенем наклепу і його глибиною.

Так, структура зношених поверхневих шарів зубців відомого вала коробки передач автомобіля більш дисперсна, чим у серцевині. Це свідчить про інтенсивне пластичне деформування і подрібнення зерен. Структура поверхневого шару неоднорідна. Разом з ділянками відпущеного мартенситу мають місце поля троститу і фериту. Така неоднорідність структури не може забезпечити достатню довговічність. В тих місцях, де ділянки троститу і фериту близькі до поверхневого шару, останній буде продавлюватись, ініціюючи розвиток руйнівних процесів. І, від того наскільки далеко зайшли ці зміни, залежить спроможність поверхневого шару чинити опір руйнуванню, а звідси і залишковий ресурс деталі. Дослідження зношеного поверхневого шару дозволило встановити, що при пластичній деформації поверхневих шарів виникають тріщини на кінцях мартенситних голок, що створює концентрацію напруг, які проявляються адже на глибині 1-2 мм.

Поводження поверхневих шарів в процесі деформування і викликані в ньому зміни досліджені в роботах Б.Д. Грозіна, В.М. Кащеєва, Б.І. Костецького, І.В. Южакова і ін. Процеси, що відбуваються в поверхневих шарах при терті та зношуванні, умовно можна поділити на три етапи: а) деформування та активація; б) виникнення вторинних структур; в) руйнування вторинних структур в результаті багатократного навантаження і внутрішніх напруг.

Поверхневий шар є найбільш схильним до деформування, так як стан матеріалу в поверхневих шарах відрізняється від його стану у внутрішніх частинах металевих зерен. Поверхневий шар атомів більш рухомий. В поверхневому шарі деформація відбувається більш легко.

Виникнення залишкових напружень в поверхневих шарах може бути пов'язано і з технологією обробки, і з експлуатацією [1]. В обох випадках залишкові напруги виникають при пружньо-пластичних деформаціях металу внаслідок структурних і фазових перетворень.

Поверхневі шари під дією сил тертя наклепуються. Метал стає більш твердим і щільним, але менш пластичним. При подальшому деформуванні в результаті перенаклепу він руйнується [1].

Зносостійкість пластично деформованого шару збільшується тільки при невеликих величинах залишкової деформації, в усіх інших випадках вона зменшується у порівнянні зі зносостійкістю недеформованої сталі. Позитивний вплив поверхневого наклепу в зоні тертя відбувається для «свіжих» матеріалів, але збільшує знос для матеріалів вже наклепаних.

Зміцнення поверхневого шару металу при терті може відбутися не тільки за рахунок наклепу, але і в наслідок структурних перетворень. В результаті дії на деталь значних знакозмінних навантажень в ній відбувається локальне фазове перетворення ( $\alpha - \gamma - \alpha$ ). В невеликих обсягах під дією пластичної деформації виникає аустеніт. В залежності від швидкості охолодження цей аустеніт потім розпадається на мартенсит або тростит. Цей «новий» не відпущений мартенсит дуже крихкий і в ньому при подальших деформаціях розвиваються мікротріщини, по яким в подальшому і відбувається відділення часток металу.

Ступінь зміцнення поверхневого шару для різних сталей залежить від структурного стану. Спротив зношуванню деформованого поверхневого шару характеризується структурно-енергетичним станом.

При пластичній деформації сталі зі стабільною структурою, в основному, виникають три процеси: а) виникнення кристалітів, які є причиною значного зміцнення сплаву («чистий наклеп»); б) старіння, яке викликає додаткове зміцнення сплаву; в) нагрів, який сприяє зміцненню і знеміцненню сплаву.

При металографічних дослідженнях ділянок поверхні тертя вдається встановити зміни в структурі металу на глибину до кількох мікрометрів. Так, на зношеній поверхні шатунної шийки колінчастого валу двигуна можна побачити матові ділянки, які розповсюджені в місцях найбільшого зносу деталі. Глибина слабо травленого шару 15 мкм, мікротвердість зміненого шару 1100 кГс/мм<sup>2</sup>

( $\approx 11000$  МПа) при мікротвердості основного металу  $240 \text{ кгс/мм}^2$  ( $\approx 2400$  МПа). Аналогічний характер зміни твердості спостерігався і на інших деталях.

Протяжність періоду від початку роботи до того часу, коли відбудеться втомне руйнування поверхневого шару, яке призведе до зносу, залежить від ряду факторів, в тому числі від початкової субструктури. Руйнування поверхневого шару при цьому настає тоді, коли матеріал в локальних мікрооб'ємах досягає деякої критичної величини зміцнення. Такий момент відповідає стану, коли в даному мікрооб'ємі в результаті граничного зміцнення вичерпується «запас пластичності». По мірі збільшення кількості циклів, досліджуючи мікротвердість деформованих мікрооб'ємів, виявлено явища зміцнення, знеміцнення, розрихлення і в кінці кінців – різке падіння мікротвердості. Втомний характер зносу при багатократній взаємодії контактуючих поверхонь спостерігається при всіх видах зношування [2].

При встановленні зв'язку між механічними властивостями і величиною зносу велике значення має дослідження змін в поверхневому шарі. Особливо це відноситься до деталей, які працюють при складному навантаженні. Розрахунки, які засновано тільки на попередньому стані, призводять до розходження з результатами, які отримано в процесі експлуатації.

Інтенсивність зміни фізико-механічних властивостей і структури поверхневого шару залежить від величини, виду і протяжності деформування. Деформування поверхневого шару металу деталей машин є основним процесом, який обумовлює протікання процесу зовнішнього тертя. Тому вивчення впливу деформаційного старіння матеріалу деталей при експлуатації автомобілів, будь-яких машин взагалі, на їх зносостійкість при подальшому використанні, виявлення його критичної величини викликає значний інтерес при визначенні можливості повторного використання деталей, їх залишкового ресурсу, а також при призначенні ремонтних розмірів [3].

Умови експлуатації впливають на термін служби агрегатів автомобіля не тільки напряму, прискорюючи або уповільнюючи руйнування, але і опосередковано, визначаючи ту або іншу величину граничного стану поверхневого шару металу, по досягненні котрого неможливе повторне використання деталей у зв'язку зі зниженням спротиву руйнуванню. Мабуть, для автомобіля, який працює в тяжких умовах, процент таких деталей буде більшим, ніж в легких умовах. Ігнорування цього факту буде призводити до зниження надійності відремонтованого автомобіля.

Отже можна зробити такі попередні висновки:

1. В процесі експлуатації автомобілів в важких умовах накопичення деформаційних змін призводить до зниження фізико-механічних властивостей (зміни структури поверхневого шару) більшості деталей. Це викликає необхідність врахування деформаційного старіння матеріалу деталей.

2. Встановлено, що деформаційне старіння поверхневого шару метала, яке відбувається при об'ємному і поверхневому деформуванні напругами  $\sigma_d = (0,7-1,1) \sigma_{-1}$ , впливає на спротив зношуванню.

3. В поверхневому шарі відбуваються незворотні зміни структури і міцнісних властивостей, в результаті чого формується залишковий стан поверхневого шару, який визначає його зносостійкість. Так, в умовах експерименту зміцнення поверхневого шару на 15%, яке викликано деформаційним старінням, підвищує його спротив зношуванню на 15-20%. Навпаки, знеміцнення шару на 10-16% знижує його здатність чинити опір зношуванню в 1,5-2,0 рази.

4. Підвищену зносостійкість будуть мати ті поверхні, в яких накопичення деформаційних змін призводить до збільшення втомної міцності, границі міцності, твердості (на 10-25 %) при незначному зниженні пластичності. Значне зниження пластичності (до  $\delta = 0,5$  %) підвищує схильність до окрихчення і руйнування поверхневого шару.

### Література

1. Гольд Б.В. Прочность и долговечность деталей автомобилей / Б.В. Гольд. – М.: Машиностроение, 1974. – 237 с.
2. Костецкий Б.И. Трение, смазка и износ в машинах / Б.И. Костецкий – К.: Техника, 1970. – 396 с.
3. Цибульський В.А. Дослідження щодо подальшого використання деталей у зв'язку з їх деформаційним старінням / В.А. Цибульський, О.І. Назаров, О.М. Леоненко / XVI Міжнародна наукова конференція ХНУПС імені Івана Кожедуба «Новітні технології – для захисту повітряного простору»: тези доповідей. – 15-16 квітня 2020 р. – м. Харків. – С. 500-502.

Абрамчук Федір Іванович, д.т.н., проф. Кафедра двигунів внутрішнього згорання, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, [fedor.abramchuk@gmail.com](mailto:fedor.abramchuk@gmail.com), (057) 707-37-25

Авраменко Андрій Миколайович, д.т.н., завідувач відділу водневої енергетики, Інститут проблем машинобудування ім. А.М. Підгорного НАН України, [an0100@ukr.net](mailto:an0100@ukr.net), (057) 349-47-54

Кузьменко Анатолій Петрович, к.т.н., доц. Кафедра двигунів внутрішнього згорання, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, [kuzmatolja@gmail.com](mailto:kuzmatolja@gmail.com), (057) 707-37-25

### ДЕКАРБОНІЗАЦІЯ АВТОМОБІЛІВ ШЛЯХОМ КОНВЕРТАЦІЇ ДИЗЕЛІВ І БЕНЗИНОВИХ ДВИГУНІВ В ГАЗОВІ

Одним з ефективних шляхів зменшення викидів сполук вуглецю CO, CO<sub>2</sub>, незгорілих вуглеводнів СН є конвертація дизелів і бензинових двигунів в газові. Завдяки своєму складу природний газ забезпечує нульовий рівень викидів твердих частинок, канцерогенних та інших неметанових вуглеводнів. Нижня