

4. Динамічні перевантаження в передачі збільшуються із зростанням її кутової швидкості, що призводить до збільшення прискорення під час зіткнення зубців.

1. Комаров М.С. Динамика механизмов и машин. М., 1969. 2. Кузьо И.В., Кичма А.А., Микольский Ю.Н. Динамические нагрузки в зацеплении открытой зубчатой передачи привода вращающейся печи // Вест. Львов. политехн. ин-та. 1979. № 134. С. 23-25.

УДК 621.787-19+6217.789-1

Кукляк М.Л.

ДУ “Львівська політехніка”, кафедра “Технологія машинобудування”

ТЕХНОЛОГІЧНЕ ЗМІЦНЕННЯ ПРУЖНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ТРАНСПОРТНИХ МАШИН

© Кукляк М.Л., 2000

Розглядаються й узагальнюються технологічні методи підвищення витривалості пружних елементів транспортних машин – торсіонів – із застосуванням термомеханічного зміцнення, пластичного нагартовування та деформаційного старіння мартенситу.

The technological methods of longevity increasing of transport machines elastic elements – torsion bars – are created and generalized with the application of the thermomechanical hardening, plastic volume and surface cold working, and strain ageing of martensite.

Торсійні вали, працюючи в умовах циклічних крутильних навантажень, повинні мати високу границю втомлюваності та пропорційності.

Забезпечення високої міцності та збереження необхідної пластичності можна досягнути використанням різновидів термомеханічного оброблювання, зокрема, високотемпературного термомеханічного зміцнення (ВТМО) з використанням деформування крученням [1], яке дозволяє вирішити проблему комплексного покращання властивостей: міцності й пластичності, опору руйнуванню втомленням, в'язкості руйнування, ударної витривалості та опору поширенню тріщин. Проте впровадження його у виробництво здійснюється ще незадовільно, оскільки вимагає зміни серійної технології, оригінального технологічного устаткування.

Вибрати оптимальну технологічну схему ВТМО для конкретних виробів неможливо без всебічних досліджень, пов'язаних з відпрацюванням деформаційно-термічних режимів зміцнення, з необхідністю застосування нових методів і їх поєднання під час холодного нагартовування.

Підвищення тривкої здатності торсійних валів часто досягають їх заневолюванням. Для виробів, виготовлених із низько-відпущених сталей, холодне заневолювання набуває додаткового змісту як основна операція оброблення типу "марформінг". Припускають, що після холодного наскрізного деформування в таких сталях відбуваються додаткові

субструктурні перетворення, пов'язані з перерозподілом вуглецю у твердому розчині та карбідній фазі.

Досліди над натурними валами підтвердили можливу реалізацію ефекту ВТМО. Практичне використання зміцнювального ефекту ВТМО торсіонів вирішували комплексно з подальшим орієнтованим заневолюванням, поверхневим обкатуванням роликками.

Температуру аустенізації та гарячого деформування валів брали за результатами цих параметрів під час ВТМО дослідних зразків (сталь 45ХН2МФА-Ш) [2]. Статичні властивості оцінювали на основі діаграм "Крутний момент – кут закручування".

На підставі розрахунків границь пропорційності ($\tau_{\text{пц}}$), текучості ($\tau_{0,3}$), умовних границь пропорційності після першого та другого заневолювання ($\tau_{\text{пц}}^{\text{1зан.}}$, $\tau_{\text{пц}}^{\text{2зан.}}$) отримали рівняння регресії для визначення статичних властивостей валів у довільній точці досліджуваних інтервалів залежно від деформаційно-термічних параметрів процесу ВТМО (табл. 1).

Таблиця 1

Рівняння регресії для оцінки статичних властивостей торсіонів

Вихідне рівняння	Статистична незначимість коефіцієнтів	Позначення вихідного рівняння
$Y_1(\tau_{\text{пц}}) = 878 - x_1 - 3x_2 + 5x_3$	$b_1 = \pm 25$	(1)
$Y_2(\tau_{0,3}) = 1216 - 10x_1 - 4x_2 - x_3$	$b_2 = \pm 9$	(2)
$Y_3(\tau_{\text{пц}}^{\text{1зан.}}) = 1405 - 11x_1 + 3x_2 - 4x_3$	$b_3 = \pm 7$	(3)
$Y_4(\tau_{\text{пц}}^{\text{2зан.}}) = 1416 - 9x_1 - 2x_2 - 7x_3$	$b_4 = \pm 12$	(4)

Розрахунок коефіцієнтів вагомості показав, що в цих рівняннях важливими є коефіцієнти біля x_1 в рівняннях (2)–(3), тобто найбільший вплив на рівень значень границі текучості та умовної границі пропорційності після першого заневолювання має ступінь деформації. Збільшення його у діапазоні $\theta = 65...115$ % призводить до зменшення параметрів $\tau_{0,3}$, $\tau_{\text{пц}}^{\text{1зан.}}$. Для підвищення значень цих характеристик доцільно здійснювати ВТМО валів за значенням деформацій на нижньому рівні, що відповідає 65 %. За цих обставин границя текучості дорівнює 1230 МПа і умовна границя пропорційності після першого заневолювання 1420 МПа порівняно з $\tau_{0,3} = 1200$ МПа, $\tau_{\text{пц}}^{\text{1зан.}} = 1390$ МПа за ступеня деформації $\theta = 115$ % (табл. 2).

Таблиця 2

Механічні властивості валів після ВТМО з різними ступенями деформацій

Режим оброблювання	Границя, МПа		Умовна границя пропорційності, після:	
	пропорційності, $\tau_{\text{пц}}$	текучості, $\tau_{0,3}$	1-го занев. $K^1=0,40$; $\tau_{\text{пц}}$, МПа	2-го занев. $K^2=0,56$; $\tau_{\text{пц}}$, МПа
ВТМО, $\theta=65\%$	880	1230	1420	1425
ВТМО, $\theta=115\%$	880	1200	1390	1405

Коефіцієнти біля факторів x_1 – ступінь деформації в рівнянні (1); x_2 – час вичікування після деформування; x_3 – температура відпуску у рівняннях (1)-(4) не є важливими, тобто зміна величини часу після деформаційної витримки в інтервалі 10...40 с і температури відпуску від 180 до 220 °С, практично не впливає на значення границі пропорційності. Границя текучості також не залежить від зміни факторів часу витримки і температури відпуску в досліджуваних інтервалах.

Статистична незначимість коефіцієнтів " b_i " чи їх мале абсолютне значення зумовлені тим, що основний рівень режиму близький до номінального.

Оцінка довговічності торсійних валів. Порівняльну оцінку довговічності виконали на одному рівні робочих напружень, зокрема, $\tau_{\max} = 1325$ МПа, $\tau_{\min} = 380$ МПа. Крім зазначених дослідів за методикою планування включно з дослідом на верхньому й нижньому рівнях, оцінювали довговічність на основному рівні: значення деформації – 90 %, час після-деформаційної витримки – 25 с, температура відпуску – 200°С. Комплексне зміцнення валів виконували у часі, прийнятому для валів після гартування з низьким відпуском; заневолювання ($K_1 = 0,4$), обкатування ($P = 1000$ Н), заневолювання ($K_2 = 0,55$).

Результати випробовування валів після ВТМО з одним ступенем деформації, але зі змінними параметрами часу після-деформаційної витримки та температури відпуску показали, що головним фактором, який впливає на довговічність, є величина деформації. При однаковому значенні деформації вплив інших досліджуваних параметрів ВТМО, зокрема часу після-деформаційної витримки в досліджуваному інтервалі (10...40 с), несуттєвий.

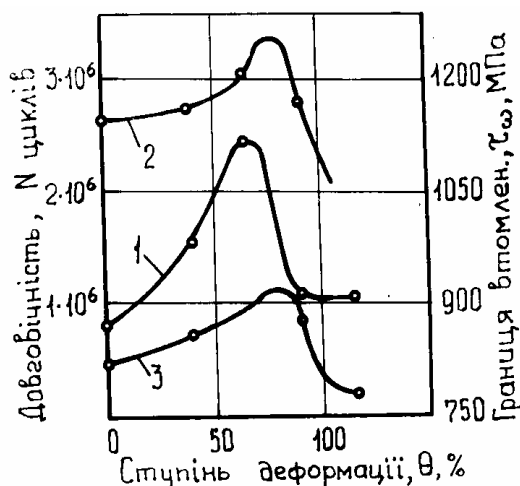


Рис. 1. Зміна довговічності валів (1) та границі витривалості зразків (2 і 3) із сталі 45ХН2МФА –Ш залежно від значення деформації під час ВТМО, зміцнених за схемами:

1.– ВТМО+3+О+3; 2. – ВТМО+3; 3.– ВТМО+О+3.

У підписі використано такі скорочення: 3 – заневолювання з $K=0,40$; О – обкатування роликками. Операції записані послідовно в порядку їх виконання і об'єднані знаком "+".

Деталі, оброблені в режимі ВТМО, мають вищу довговічність при всіх значеннях деформацій (рис. 1). Крива довговічності, залежно від значення деформації, має екстремальний характер. Найвищу довговічність отримали при $\theta = 65$ %. Кількість циклів до руйнування становить в середньому $\sigma_x = 2.200.000$, середньоквадратичне значення $\sigma_x = 900.000$ циклів (рис. 2).

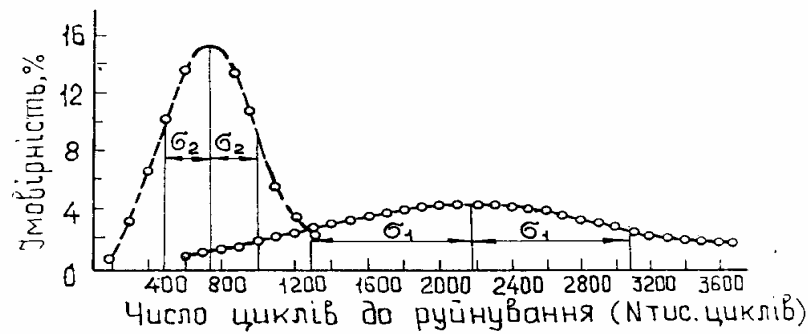


Рис. 2. Густина розподілу довговічності валів.

Після звичайного гартування і відповідного відпуску за однакових умов і таких самих напружень випробування, середня довговічність валів не перевищує $\sigma_x = 735.000$ циклів, середньоквадратичне відхилення становить $\sigma_x = 25.000$ циклів.

Більша дисперсія довговічності валів після ВТМО пояснюється підвищеним опором поширенню тріщин. Певний внесок зробило розсіювання значень довговічності до утворення тріщин, зокрема зміна деяких факторів, неминучих під час оброблювання натурних деталей: якість обробленої поверхні, можливі відхилення режимів технології холодного комплексного зміцнення, температура випробувань тощо, які змінюють напруженість та розсіювання характеристик витривалості.

Отже, стан сталі 45ХН2МФА-Ш після гарячого деформування крученням внаслідок структурних змін у металі, дає змогу використати ефект підвищеної пластичності для збільшення пружних властивостей в заневоленому стані із збереженням високих показників довговічності. Комплексно зміцнені вали у цьому випадку мають підвищений опір крихкому руйнуванню, непрямым доказом чого є показники витривалості.

Під час випробування валів траплялись три типи зламів: в'язкі – руйнування від дії дотичних напружень, крихкі – по гвинтовій лінії під кутом 45° від нормальних напружень і комбіновані – крихко-в'язкі, де початкове руйнування протікало зрізом, а подальше доламування - по гвинтовій лінії (рис. 3)

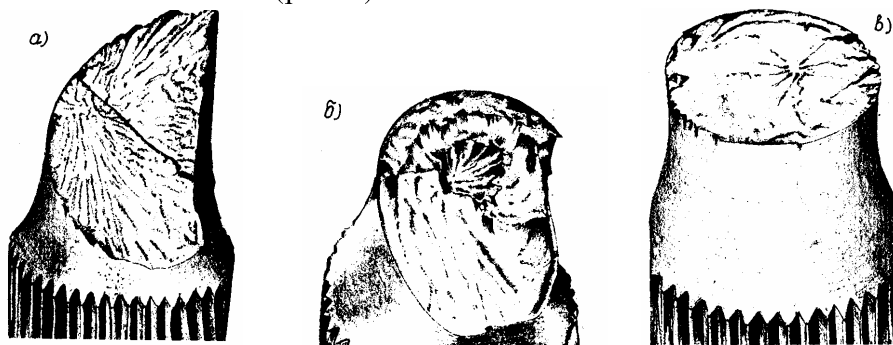


Рис. 3. Типи зламів торсіонів під час випробувань: а – крихкий, б – крихко-в'язкий, в – в'язкий.

В усіх випадках вогнище руйнування знаходилось на поверхні або на малій глибині відразу під поверхнею (менше 1 мм) під кутом 45° до осі вала, тобто початкове руйнування протікало від дії нормальних напружень, а подальший розвиток тріщини, залежно від стану матеріалу та умов навантаження, відбувався по-різному. Проте, переважали зрізові злами, які трапляються також внаслідок перевантажень. Це ще раз свідчить про підвищену пластичність матеріалу після ВТМО й реалізацію в цих умовах в'язкого руйнування,

оскільки в стані гартування з низьким відпуском переважають злами іншого типу – від дії нормальних напружень.

Проведені експерименти над торсійними валами підтвердили ефективність ВТМО з деформуванням крученням і подальшими операціями холодного поверхневого та об'ємного нагартування.

1. Кукляк Н.Л., Романив О.Н., Черепанова Г.И, Астафьева Е.В., Цыпкина Е.Д.. Влияние высокотемпературной термомеханической обработки на механические свойства стали 45ХНМФА при кручении // Физико-химическая механика материалов 1968. № 2. С.128-132. 2. Кукляк М.Л. Про вибір параметрів технологічного процесу ВТМО сталі 45ХН2МФА-Ш // Вісн. ДУ "Львівська політехніка». Львів. 1996. № 303. С.55-62.

УДК 539.3

Малащенко В.О., Божкова Л.В. *, Рябов В.Г. **

***ДУ “Львівська політехніка”, кафедра “Деталі машин”;**

****Московський Державний технічний університет “МАМІ”**

КОНТАКТНА ЗАДАЧА ДЛЯ ТРИШАРОВОГО ПРУЖНОГО ПОКРИТТЯ ТВЕРДОГО ТІЛА

© Малащенко В.О., Божкова Л.В. *, Рябов В.Г. **, 2000

Зроблено спробу розв’язати контактну задачу для багатошарового пружного покриття внутрішнього отвору циліндра та твердого тіла. Одержані рівняння, що описують напружено-деформований стан переміщень елементів з’єднання та інших основних його характеристик. Проведено кількісний аналіз впливу силових чинників на величину зони доторкання.

The attempt of the decision of a contact problem for many layers of elastic cover internal hole of a cylinder and solid body is made. The equations describing strength-deferrable condition of moving of elements of connection and othermain its characteristics are received. The quantitative analysis of influence of power parameters on size of a zone of contact is conducted.

З метою покращання амортизаційних властивостей контактуючих поверхонь підшипників ковзання різних машин і механізмів останнім часом використовують багатошарові пружні покриття робочих частин цих пристроїв. Це вимагає розв’язання контактної задачі взаємодії пружного покриття циліндричного отвору з жорстким валом, який розміщений з деяким зазором всередині нього (рис.1).

Під час дії сили Q , внаслідок деформації пружних шарів, існує доторкання цапфи жорсткого вала, що має радіус r_0 , з внутрішнім пружним шаром на дузі, яка вимірюється кутом 2θ (рис. 1).

Спираючись на умову плоскої деформації та нехтуючи силами тертя в зоні контакту, визначимо значення цієї зони (2θ), а також закон розподілення контактного тиску $p(\theta)$ у