

УДК 536.241

С.Н. СОЛОВЬЕВ

Национальный университет кораблестроения им. адм. Макарова, Николаев, Украина

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ ПРИ УПРОЧНЕНИИ И ВЫГЛАЖИВАНИИ ПОВЕРХНОСТЕЙ ТРЕНИЕМ ВЕРЧЕНИЯ

В практике газотурбостроения встречается класс задач, связанных с обработкой нежестких конструкций. Повышенная деформируемость таких деталей вносит существенную неопределенность в достижение необходимых точностных параметров и исключает применение многих технологических методов. Решена частная задача определения температуры на поверхности контакта вращающегося цилиндрического тела с перемещающимся вдоль от этого тела и вращающимся индентором. Полученный результат используется при расчетах и проектировании профиля индентора, используемого при упрочнении и выглаживании нежестких оболочек. Изменение конфигурации индентора дает возможность наряду с режимами, влияющими на показатели упрочнения и выглаживания.

упрочнение, шероховатость, выглаживание, трение верчения, пластическая деформация, температура контакта

Введение

Проблема создания нужной для эксплуатации шероховатости рабочих поверхностей во многих случаях решена. Тем не менее, постоянно возникают частные инженерные задачи этого класса, требующие индивидуального подхода.

Одной из таких задач является управление упрочнением шероховатостью наружных поверхностей нежестких тонкостенных оболочек [1]. Повышенная деформируемость заготовки исключает многие технологические методы, которые традиционно используют для повышения качества поверхности, практически все, связанные с пластическим деформированием.

1. Формулирование проблемы

Решение задачи оказалось возможным при реализации А.С. № 272342 "Способ упрочнения и выглаживания поверхностного слоя деталей" [2]. Задав индентору кроме перемещения вдоль оси поверхности вращательные движения, авторы, на счет локального повышения температуры, смогли существенно снизить усилие упрочнителя – гладилки на обрабатываемую поверхность.

При расширении возможностей метода [3] возникла необходимость определения профиля упрочнителя, разная форма которого приводит к различным температурным полям. Последнее прямо влияет на степень упрочнения, шероховатость производительности процесса.

Целью настоящей работы является создание теоретического аппарата по определению температуры на поверхности контакта трущихся тел согласно схеме, приведенной на рис. 1.

2. Решение проблемы

Решается частный случай распределения температур в области контакта, когда по поверхности вращающегося тела цилиндрической формы под постоянной нагрузкой перемещается другое тело, имеющее в области контакта сферическую форму и вращающееся с большой скоростью (рис. 1).

Воспользуемся формулой Коровчинского [4], применимой при распределении давления на контакте по Герцу (эллипсоидальное распределение давления и достаточно малые скорости перемещения контакта относительно трущихся тел):

$$T_{cp} = \frac{3\theta}{4\pi} \frac{1}{\lambda_1 + \lambda_2} f \frac{VP}{Ia}, \quad (1)$$

где θ – средняя безразмерная интегральная температура на контакте, для определения которой построена таблица в функции отношения b/a [4];

f – коэффициент трения;

V – скорость относительного скольжения;

P – нагрузка;

I – механический эквивалент тепла;

λ_1, λ_2 – коэффициенты теплопроводности тел;

a – большая полуось эллипса давления по Герцу;

b – малая полуось эллипса давления по Герцу.

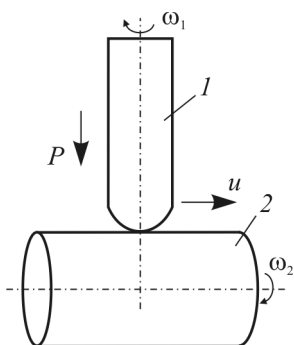


Рис. 1. Схема контакта двух трущихся тел: 1 – индентор, имеющий в области контакта сферическую форму; вращающийся с угловой скоростью ω_1 и перемещающийся со скоростью; 2 – цилиндрическое тело, вращающееся с угловой скоростью ω_2 ; P – постоянная нагрузка

Анализируя решение Коровчинского, для получения искомой температуры имеем

$$T(x, y, z) = T_n \bar{T}(\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}),$$

где T_n – характерная температура;

$\bar{T}(\bar{x}, \bar{y}, \bar{z})$ – безразмерная температура в пределах контакта ($\bar{z} = 0, t = 0$) равна $\bar{T}_0(\bar{x}, \bar{y}, 0) = Tm - Ta \cdot \bar{x}^2 - Tb \bar{y}^2$;

Tm, Ta, Tb – находим из таблиц Эмде и Янке.

В данной работе V – скорость относительного перемещения (рис. 2)

$$\bar{V} = u\bar{i} + \omega_2 R \bar{j} + [\omega_1 \bar{k} + (x\bar{i} + y\bar{j})] = (u - \omega_1 y)\bar{i} + (\omega_2 R + \omega_1 x)\bar{j};$$

$$V = \sqrt{(u - \omega_1 y)^2 + (\omega_2 R + \omega_1 x)^2},$$

где R – радиус тела цилиндрической формы.

Переходим к характерному размеру:

$$x = a\bar{x}; \quad y = a\bar{y}.$$

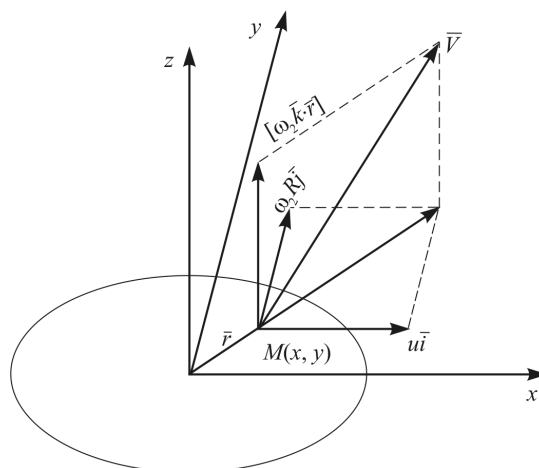


Рис. 2. Сложение скоростей на плоскости контакта трущихся тел:

\bar{V} – скорость относительного перемещения $M(x, y)$;

\bar{r} – радиус-вектор точки $M(x, y)$

Тогда для нашего случая:

$$T(x, y) = \frac{3}{4\pi} \frac{1}{\lambda_1 + \lambda_2} \frac{fP}{I} \times \sqrt{(u - \omega_1 y)^2 + (\omega_2 R + \omega_1 x)^2} \times (Tm - Ta \bar{x}^2 - Tb \bar{y}^2). \quad (2)$$

Исходя из уравнения (2), найдем распределение температур вдоль большой полуоси эллипса, где $y = 0$ (табл. 1).

Таблица 1

Распределение температур вдоль большой полуоси эллипса

\bar{x}	$T^\circ\text{C}$
0	498
0,1	542
0,2	578
0,3	602
0,4	614
0,5	612
0,6	592
0,7	554
0,8	496
0,9	415
1,0	310

Из графика (рис. 3) и таблицы видно, что максимальная температура возникает в средних точках контактной площадки $T_{\max} = 615^\circ$ в точке $\bar{x} = 0,4333$.

На рис. 4 приведена структура контакта сферического индентора, которая подтверждает расчетные данные о распределении температур.

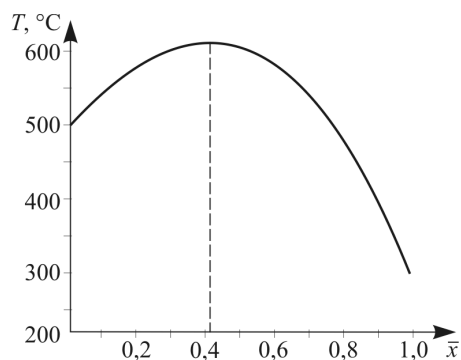


Рис. 3. График распределения температур вдоль большой полуоси эллипса
 $T_{\max} = 615^\circ$ в точке $\bar{x} = 0,4333$

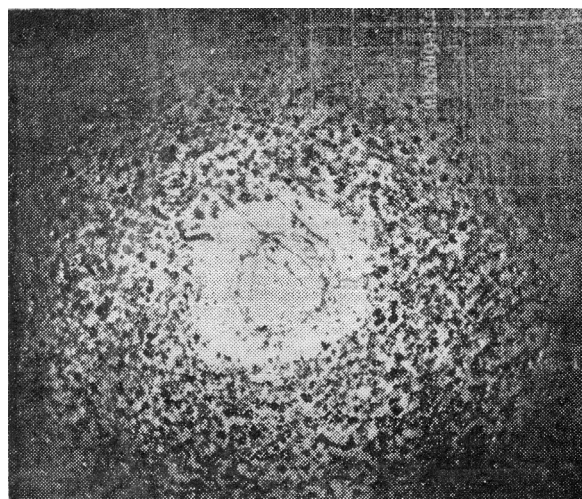


Рис. 4. Распределение температур на контакте вдоль большой полуоси эллипса

Основная повреждаемость индентора – схватывание второго рода – происходит в средних точках площадки контакта. Сближение ювенильных поверхностей, под действием внешней нагрузки, на расстояние действия межатомных сил и пластическая деформация в местах фактического контакта, что вызывают возникновение активных центров с резко повышенной концентрацией вакансий и дислоцированных атомов.

На периферии сферического индентора силы трения возрастают, но, несмотря на это температура падает (см. таблицу). Отсюда можно сделать два важных практических вывода. Пластическая дефор-

мация, вызываемая усилием прижима и перемещением индентора, оказывает большее значение на температурное поле, нежели трение верчения. Выровнять температурный градиент вдоль оси контакта возможно путем увеличения кривизны индентора с одновременным уменьшением силы прижима. Последнее обстоятельство важно при обработке тонкостенных изделий.

Заключение

При определении формы упрочняющего индентора следует учитывать жесткость оболочки, способную без видимых деформаций выдерживать нагрузку прижима упрочнителя и температурное поле. В дальнейшем необходимо формульно связать жесткость изделия, нагрузку, температурное поле с возможными профилями индентора.

Литература

1. Триботехнология / С.Н. Соловьев, Л.П. Клименко, С.Ж. Боду, Е.В. Трофимова; Под общ. ред. С.Н. Соловьева. – Николаев: НГТУ им. П. Могилы, 2003. – 384 с.
2. Соловьев С.Н., Сереженко М.Ф. Способ упрочнения и выглаживания поверхностного слоя деталей // Изобретения. Промышленные образцы. Товарные знаки. – 1970. – № 19. – С. 34-38.
3. Соловьев С.Н., Сереженко М.Ф. Выглаживание трением верчения в присутствии дисульфида молибдена // Судостроение и морские сооружения. – Х.: ХГУ, 1973. – Вып. 21. – С. 71-75.
4. Коровчинский М.В. Локальный термический контакт при квазистационарном тепловыделении в процессе трения // Теория трения и износа. – М.: Наука. – 1985. – С. 41-45.

Поступила в редакцию 19.05.2008

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Л.П. Клименко, Николаевский государственный гуманитарный университет имени Петра Могилы, Николаев.