

АБРАЗИВНАЯ ОБРАБОТКА И МЕТОДЫ ЕЕ УЛУЧШЕНИЯ

Ф.П.Урвский, Н.В.Дилигенский, Г.М.Синяев, В.А.Барвинок

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ЯВЛЕНИЙ ПРИ ШЛИФОВАНИИ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОМОДЕЛИРОВАНИЯ

Титановые сплавы используются преимущественно для изготовления весьма ответственных деталей, работающих в сложных эксплуатационных условиях. При шлифовании титановых сплавов ввиду их низкой теплопроводности в поверхностном слое возникают достаточно большие температуры, которые оказывают решающее влияние на качество обработанной поверхности. Поэтому для определения рациональных условий шлифования и получения требуемого качества обработанной поверхности необходимо знать эти температуры.

Данная работа посвящена определению температур и теплового баланса (круг-изделие) при круглом шлифовании титановых сплавов методом электро моделирования.

В установленном режиме задачу о теплообмене при шлифовании можно свести к следующей модели. Два тонких быстровращающихся диска (круг и изделие) соприкасаются своими периферийными поверхностями на участке контакта, длину которого вследствие местной деформации считаем конечной. Круг в общем случае принимается составным из алмазного слоя и корпуса. На участке контакта равномерно выделяется тепло, соответствующее тепловыделению при шлифовании. Тела охлаждаются внешней средой по закону Ньютона.

Эта задача в критериальной форме и в системе координат, связанной с источником тепла, математически может быть сформулирована следующим образом:

$$Pe_1 \frac{\partial \theta_1}{\partial \varphi_1} = \frac{\partial^2 \theta_1}{\partial r_1^2} + \frac{1}{r_2} \frac{\partial \theta_1}{\partial r_2} + \frac{1}{r_2^2} \frac{\partial^2 \theta_1}{\partial \varphi_2^2} - Bi_1 \theta_1, \quad 0 \leq r_2 \leq r_1;$$

$$\rho_{e_2} \frac{\partial \vartheta_2}{\partial \varphi_1} = \frac{\partial^2 \vartheta_2}{\partial \rho_2^2} + \frac{1}{\rho_2} \frac{\partial \vartheta_2}{\partial \rho_2} + \frac{1}{\rho_2^2} \frac{\partial^2 \vartheta_2}{\partial \varphi_1^2} - B_{i_2} \vartheta_2; \quad \rho_1 \leq \rho_2 \leq 1;$$

$$\rho_{e_3} \frac{\partial \vartheta_3}{\partial \varphi_2} = \frac{\partial^2 \vartheta_3}{\partial \rho_3^2} + \frac{1}{\rho_3} \frac{\partial \vartheta_3}{\partial \rho_3} + \frac{1}{\rho_3^2} \frac{\partial^2 \vartheta_3}{\partial \varphi_2^2}; \quad 0 \leq \rho_3 \leq 1;$$

$$-\beta \Lambda \frac{\partial \theta_2}{\partial \rho_2} \Big|_{\substack{\rho_2=1 \\ \varphi_1 \in [0, \rho_1]}} - \beta_3 \Lambda_3 \frac{\partial \theta_3}{\partial \rho_3} \Big|_{\substack{\rho_3=1 \\ \varphi_2 \in [0, \beta_3]}} = K_i;$$

$$\theta_2 \left(1, \frac{\varphi_1}{\rho_1} \right) \Big|_{\varphi_1 \in [0, \beta_2]} = \theta_3 \left(1, \frac{\varphi_2}{\rho_2} \right) \Big|_{\varphi_2 \in [0, \beta_3]};$$

$$\frac{\partial \theta_2}{\partial \rho_2} = -B_{i_2} \theta_2; \quad \rho_2=1, \quad \varphi_1 \in [\rho_2, 2\pi];$$

$$\frac{\partial \theta_3}{\partial \rho_3} = -B_{i_3} \theta_3; \quad \rho_3=1, \quad \varphi_2 \in [\beta_3, 2\pi];$$

$$\Lambda_1 \frac{\partial \theta_1}{\partial \rho_2} \Big|_{\rho_2=\rho_1} = \Lambda_1' \frac{\partial \theta_2}{\partial \rho_2} \Big|_{\rho_2=\rho_1};$$

$$\theta_1 \Big|_{\rho_2=\rho_1} = \theta_2 \Big|_{\rho_2=\rho_1};$$

$$\frac{\partial \theta_1}{\partial \rho_2} \Big|_{\rho_2=0} = 0; \quad \frac{\partial \theta_3}{\partial \rho_3} \Big|_{\rho_3=0} = 0;$$

$$\theta_i \Big|_{\varphi_i=\varphi} = \theta_i \Big|_{\varphi_i=\varphi+2\pi};$$

$$\theta_i(\varphi) \Big|_{\rho_i=1} = \theta_i(\varphi+2\pi) \Big|_{\rho_i=1}.$$

Здесь для шлифовального круга

$$\rho_{e_i} = \frac{V_i R_2}{\alpha_i}; \quad B_{i_1} = \frac{2\alpha_i R_2^2}{\lambda_i \delta}; \quad \rho_2 = \frac{z}{R_2}; \quad \rho_1 = \frac{R_1}{R_2};$$

$$\beta_2 = \frac{\delta}{R_2}; \quad \theta_i = \frac{t_i}{t_M - t_0}; \quad B_{i_2} = \frac{\alpha_i' R_2}{\lambda_2}; \quad i = 1, 2.$$

Для изделия

$$Pe_3 = \frac{V_2 R_3}{\alpha_3}; \quad Bi_3 = \frac{2\alpha_3 R_3^2}{\lambda_3 \delta}; \quad \rho_3 = \frac{z}{R_3}; \quad \beta_3 = \frac{b}{R_3}; \quad \theta_3 = \frac{t_3}{t_m - t_0}$$

$$Ki = \frac{q b}{(\lambda_1 + \lambda_2)(t_m - t_0)}; \quad \Lambda_1 = \frac{\lambda_1}{\lambda_1 + \lambda_2}; \quad \Lambda_2 = \frac{\lambda_2}{\lambda_2 + \lambda_3}; \quad \Lambda_3 = \frac{\lambda_3}{\lambda_2 + \lambda_3}$$

V_1, V_2 - окружные скорости круга и изделия;

$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ - коэффициенты теплоотдачи с торцевых поверхностей круга (1 - корпуса, 2 - алмазного слоя и 3 - изделия);

α'_2, α'_3 - коэффициенты теплоотдачи с цилиндрических поверхностей; алмазосносного слоя круга и изделия;

λ_i, a_i - коэффициенты теплопроводности и температуропроводности материалов корпуса, алмазосносного слоя круга и изделия, $i = 1, 2, 3$;

b - линейная длина контактной площадки;

δ - толщина круга и изделия.

Метод автономного электро моделирования постоянной и переменной составляющих периодических температурных полей, представленный в работе (1), позволяет моделировать задачу в данной постановке. Под постоянной составляющей понимается среднеинтегральное по 2π значение температуры

$$\bar{\theta}(p) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \theta(p, \varphi) d\varphi,$$

под переменной - разница между решением и постоянной составляющей

$$\bar{\theta}(p, \varphi) = \theta(p, \varphi) - \bar{\theta}(p).$$

Решение получается суммированием постоянной и переменной составляющих:

$$\theta(p, \varphi) = \bar{\theta}(p) + \bar{\theta}(p, \varphi).$$

Моделирование проводилось по схеме, представленной на рис.1, где R_{A1} и R_{A2} - модели постоянных составляющих, реализуемые квазианалоговым методом (2);

R_{B1} и R_{B2} - итерационные сопротивления.

Расчет температур по данным электро моделирования производился по формуле

$$t = \frac{2R_u \theta \Delta u}{\lambda \delta R_m (1 - \Delta u)} + t_0.$$

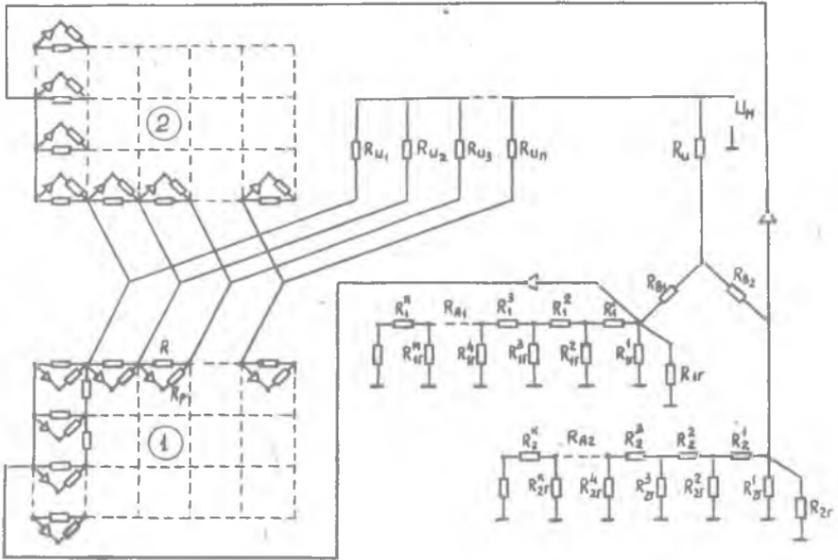


Рис.1. Электросхема моделирования
 R_{A1}, R_{A2} - модели постоянных составляющих;
 R_{B1}, R_{B2} - итерационные сопротивления

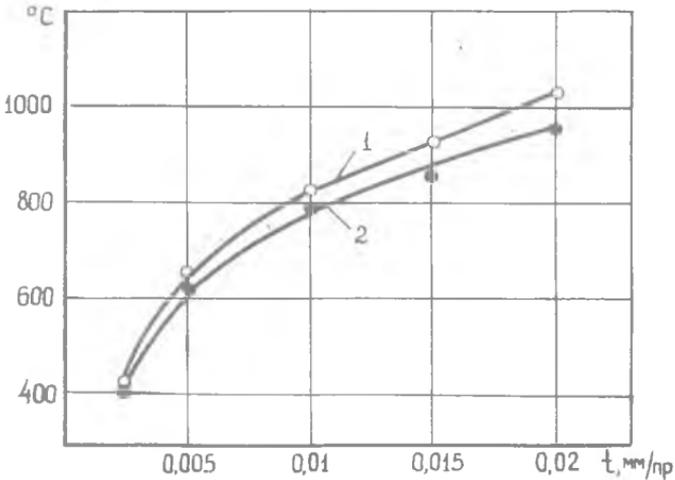


Рис.2. Влияние глубины резания на максимальную температуру в зоне шлифования:
 $V_{кр} = 20,4$; $V_{изд} = 46$ м/мин; $S_{пр} = 1,5$ м/мин

Здесь: R_u, R_m - сопротивления модели истоков и масштабное;
 ΔU - разность потенциалов на модели;
 t_0 - температура окружающей среды.

Суммарная мощность тепловыделения Θ определялась через силы резания P_z , полученные экспериментально. Тепловой поток рассчитывался с учетом фактической площадки контакта круга и изделия. При расчете сопротивлений, имитирующих теплоотдачу, коэффициент теплоотдачи по поверхностям принимался по данным А.В.Подзее (3) и рассчитывался по методике П.А.Дорффмана (4).

На рис. 2 представлены рассчитанные максимальные температуры на контактной поверхности, а на рис.3а, б, в приведены относительные тепловые потоки (отнесенные к суммарному тепловому потоку ($\omega_k + \omega_u = 1$) в зависимости от технологических параметров при шлифовании титанового сплава ВТ3-1 алмазными кругами АСП160/125-К1-100. Здесь индекс 1 относится к случаю вращения круга и изделия в разные стороны, относительно соответствующей оси, индекс 2 - в одну сторону.

Результаты моделирования показали, что во всех случаях вращения круга и изделия в одну сторону максимальные температуры примерно на 11% ниже, чем при вращении в разные стороны.

Наибольшее влияние на максимальную температуру детали в зоне шлифования оказывает глубина резания (рис.2). С ее изменением от 0,005 до 0,2 максимальная температура увеличивается в 2,5 раза.

Исследованиями установлено, что распределение тепла между кругом и изделием практически не зависит от направления их вращения и опре-

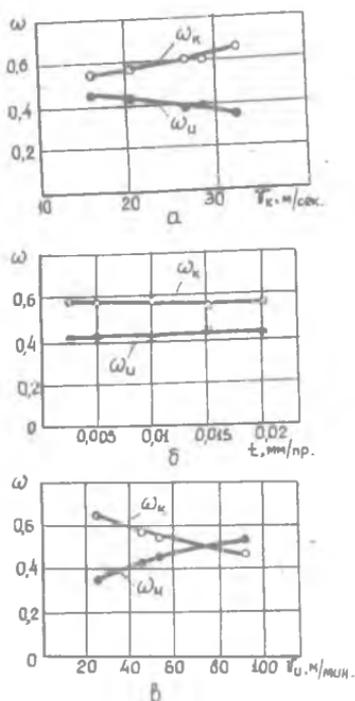


Рис.3. Влияние режимов шлифования на распределение тепловых потоков в круг и деталь:

а-влияние скорости вращения круга $V_{кр} = 46$ м/мин;

$S_{пр} = 1$ м/мин; $t = 0,01$ мм/прох;

б-влияние глубины шлифования. $V_{кр} = 20,4$ м/сек; $V_{изд} = 46$ м/мин;

в-влияние скорости вращения изделия. $V_{кр} = 20,4$ м/сек;

$S_{пр} = 1$ м/мин; $t = 0,01$ мм/прох

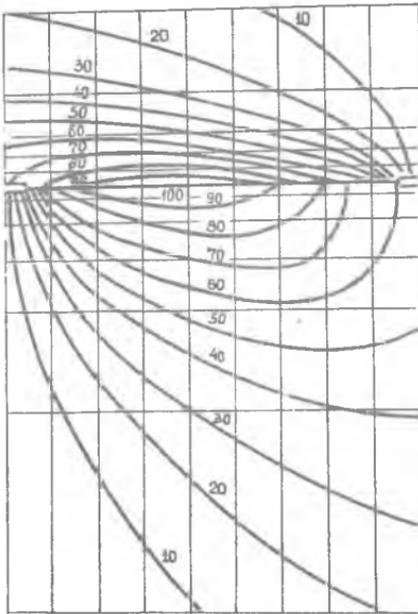


Рис.4. Температурное поле в изделии и круге:

Обрабатываемый материал ВТЗ-1, круг АСП160/125-К1-100, режим шлифования: $V_{кр} = 20,4$ м/сек, $V_{изд} = 26$ м/мин; $S_{пр} = 0,5$ м/мин; $t = 0,005$ мм/проход. Круг и изделие вращаются в разные стороны

деляется отношением скоростей и теплофизических свойств материалов тел, а также условиями охлаждения (рис.3). Увеличение скорости вращения одного из тел (круга или изделия) увеличивает долю тепла, идущего в это тело. Для некоторых условий шлифования доля тепла, идущая в круг, может превосходить долю тепла, идущего в изделие, и достигать 63%.

На рис. 4 показано безразмерное температурное поле в приконтактной зоне при вращении круга и изделия в разные стороны для следующих условий шлифования: обрабатываемый материал ВТЗ-1, круг АСП160/125-К1-100; $V_{кр} = 20,4$ м/сек, $V_{изд} = 26$ м/мин; $S_{пр} = 0,5$ м/мин, $t = 0,005$ мм/прох. Так как глубина проникновения перемешанной составляющей температурного поля небольшая, масштаб по глубине изделия (нижнее тело) взят в 5 раз больше, а по глубине круга (верхнее тело) - в 30 раз больше, чем длина дуги контакта круга с изделием.

Исследованиями установлено, что при вращении круга и изделия в одну сторону градиент температур в 2-3 раза больше чем при вращении их в разные стороны.

Для проверки результатов моделирования было проведено экспериментальное исследование температур с помощью полудикуссионной термодпары, приваренной конденсаторной сваркой к изделию. Расхождение между расчетными и замеренными температурами на рабочих режимах составило не более 12-18%.

Таким образом, предложенная методика расчета температурных полей дает возможность с достаточной точностью провести моделирование процесса шлифования и выяснить влияние теплового фактора на качество обработанной поверхности.

Л и т е р а т у р а

1. Синяев Г.М. Электрическое моделирование задач теплообмена во вращающихся цилиндрических телах, находящихся в тепловом контакте. Сб. "Моделирование задач теплофизики". Институт математики АН УССР, Киев, 1973.
2. Темников А.В., Гаврилов Б.М., Дилигенский Н.В. Квазианалоговые методы электромоделирования краевых задач теплообмена при относительном перемещении тел, находящихся в тепловом контакте. Сб. "Расчет физических полей методами электромоделирования". М., 1968.
3. Подзей А.В., Новиков Н.Н., Логинов В.Е. Исследование температурного поля при шлифовании "Станки и инструмент", 1957, № 1,8,10.
4. Дорфман П.А. Гидродинамическое сопротивление и теплоотдача вращающихся тел. М., Физматгиз, 1960.

Ф.П.Урвский, Н.В. Дилигенский, Г.М.Синяев, В.А.Барвинок,
И.А.Швидак

АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУР В ДЕТАЛЯХ ПРИ ПАЗОВОМ ВРЕЗНОМ ШЛИФОВАНИИ

Известно, что качество обработанной поверхности в значительной степени зависит от температуры в зоне шлифования и ее распределения по поверхности и глубине детали. Появление вредных остаточных напряжений, прижогов и микротрещин неразрывно связано с теплонпряженностью процесса. Поэтому определение температур в зависимости от условий шлифования представляет практический интерес.