

Л и т е р а т у р а

1. Касимов Л.Н., Мухин В.С. Прибор для измерения тангенциальных остаточных напряжений. "Заводская лаборатория", 1967, № 1.
2. Касимов Л.Н. Износ инструмента и качество обработанной поверхности при чистовом точении титановых сплавов. Автореферат диссертации, Одесса, 1968.
3. Алексеев Н.Г. Экспериментальное исследование влияния процесса резания на качество и износостойкость поверхностного слоя деталей машин. - В сб.: Высокопроизводительная обработка металлов. - М.: Машиностроение, 1966, с. 248-255.
4. Макаров А.Д. Износ и стойкость режущих инструментов. - М.: Машиностроение, 1966.
5. Крагельский И.В. Трение и износ. - М.: Машиностроение, 1968.

УДК 621.941.1.015

В.Г.Круцило, Л.Я.Чертов, А.Б.Кравченко

ФОРМИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ПРИ ТОЧЕНИИ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ РЕЗЦАМИ ИЗ КАРБОНАДО

Надежность и долговечность авиационных двигателей существенным образом зависит от состояния поверхностного слоя ответственных деталей после механической обработки. Одним из методов повышения качества обработанной поверхности деталей из титановых сплавов является тонкое точение резцами из карбонадо, которое позволяет обеспечивать точность в пределах 6-го квалитета и шероховатость обработанной поверхности с параметром $R_a = 0,40 \dots 0,70 \text{ мкм}$. При тонком точении резцами из карбонадо в поверхностном слое формируются благоприятные сжимающие остаточные напряжения, равные $-180 \dots 520 \text{ МПа}$, а степень деформационного упрочнения составляет 16...28%.

Такие параметры качества поверхностного слоя удовлетворяют требованиям, предъявляемым к широкой номенклатуре деталей авиационных двигателей, изготовленных из титановых сплавов. В связи с этим представляет большой интерес изучение механизма формирования поверхности

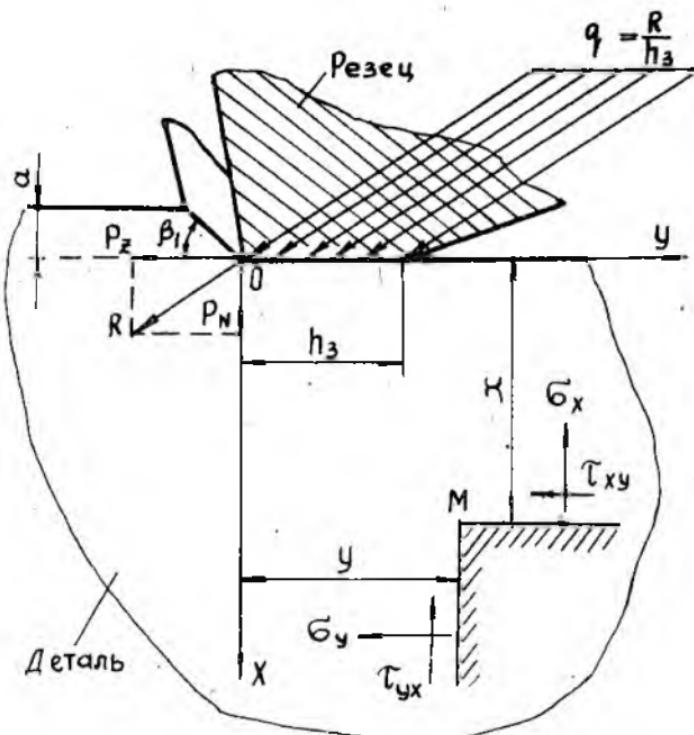
ного слоя и выявление закономерностей с целью возможного прогнозирования параметров качества в зависимости от условий обработки.

В работах [1,2] показано, что при резании малопластичных материалов превалирующим фактором при формировании остаточных напряжений и деформационного упрочнения поверхностного слоя является силовой. Наши исследования показали, что при тонком точении титановых сплавов уровень температур резания невелик и составляет $220 \dots 480^{\circ}\text{C}$, что, по нашему мнению, позволяет не учитывать влияние теплового поля.

Напряженно-деформированное состояние поверхностного слоя в процессе резания и после него можно определить в первом приближении, решая упругую задачу, а затем упруго-пластическую с использованием метода переменных параметров упругости, предложенного И.А.Биргером. Так как толщины сечения среза при тонком точении невелики ($a = 0,01 \dots 0,04$ мм), а износ резца по задней поверхности после периода приработки уже составляет примерно $h_3 \approx 0,1$ мм и к концу периода стойкости доходит до $h_3 = 0,4$ мм, т.е. на порядок больше толщины среза, то схему нагружения поверхностного слоя при свободном резании титановых сплавов резцами из карбонада можно принять такой, как показано на рис. I. Используя зависимости теории упругости [3], напряжения в поверхностном слое в процессе резания можно определить по формулам:

$$\left. \begin{aligned}
 \sigma_x &= -\frac{P_N}{\pi h_3 \cdot b} \left[\arctg \frac{y}{x} - \arctg \frac{y-h_3}{x} + \frac{xy}{x^2+y^2} - \frac{x(y-h_3)}{x^2+(y-h_3)^2} \right] + \\
 &+ \frac{P_z}{\pi h_3 \cdot b} \left[\frac{y^2}{x^2+y^2} - \frac{(y-h_3)^2}{x^2+(y-h_3)^2} \right]; \\
 \sigma_y &= -\frac{P_N}{\pi h_3 \cdot b} \left[\arctg \frac{y}{x} - \arctg \frac{y-h_3}{x} - \frac{xy}{x^2+y^2} + \frac{x(y-h_3)}{x^2+(y-h_3)^2} \right] - \\
 &- \frac{P_z}{\pi h_3 \cdot b} \left[2 \ell_n \sqrt{\frac{x^2+(y-h_3)^2}{x^2+y^2}} + \frac{y^2}{x^2+y^2} - \frac{(y-h_3)^2}{x^2+(y-h_3)^2} \right]; \\
 \tau_{xy} &= -\frac{P_N}{\pi h_3 \cdot b} \left[\frac{y^2}{x^2+y^2} - \frac{(y-h_3)^2}{x^2+(y-h_3)^2} \right] + \frac{P_z}{\pi h_3 \cdot b} \left[\arctg \frac{y}{x} - \right. \\
 &\left. - \arctg \frac{y-h_3}{x} - \frac{xy}{x^2+y^2} + \frac{x(y-h_3)}{x^2+(y-h_3)^2} \right],
 \end{aligned} \right\} \quad (I)$$

где P_N - радиальная составляющая силы резания, Н ;
 P_z - тангенциальная составляющая силы резания, Н ;
 h_3 - износ резца по задней поверхности, мм ;
 b - ширина среза, мм ;
 x, y - координаты точки поверхностного слоя, в которой определяется напряжение, мм.



Р и с. I. Схема нагружения поверхностного слоя при свободном резании

Интенсивность напряжения σ_i и угол наклона главных площадок α , в любой точке поверхностного слоя определяются по известным формулам теории упругости:

$$\sigma_i = \sqrt{\sigma_x^2 - \sigma_x \sigma_y + \sigma_y^2 + 3 \tau_{xy}^2} ; \quad (2)$$

$$\operatorname{tg} 2\alpha_1 = \frac{2\tau_{xy}}{\sigma_x - \sigma_y} . \quad (3)$$

Строго говоря, нагружение поверхностного слоя в процессе резания не является простым. Однако анализ напряженного состояния, проведенный по формулам (1), (3), показывает, что поворот осей главных площадок в пластической зоне незначителен и характер изменения компонент напряжений позволяет в первом приближении принять нагружение простым. При простом нагружении максимальная интенсивность деформаций соответствует максимальной интенсивности напряжений [4]. В каждом слое, параллельном обработанной поверхности и расположенному от нее на расстоянии X , существует некая точка M , в которой интенсивность напряжения является максимальной. Для нахождения координаты Y этой точки следует взять первое производное уравнения (2), предварительно подставив в него выражения компонент напряжений из формул (1). Приравняв полученное выражение к нулю и решив его относительно Y , получим искомую координату.

Зная в каждом слое координаты точек, в которых интенсивность напряжений максимальна, мы можем определить для них компоненты напряжения, углы наклона главных площадок и интенсивность напряжений. Решение этой упругой задачи является первым приближением. Используя метод переменных параметров упругости, мы можем определить интенсивность истинных максимальных напряжений в каждом слое σ_i^* . По напряжениям σ_i^* , зная кривую деформирования обрабатываемого материала, определяем интенсивность деформаций в процессе резания ϵ_i^* и интенсивность остаточных деформаций $\epsilon_{i, \text{ост}}$ (рис. 2).

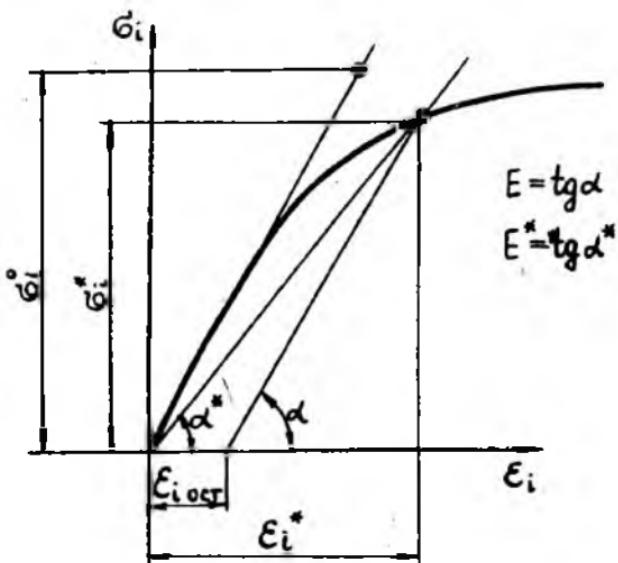
Из рис. 2 видно, что интенсивность остаточных деформаций

$$\epsilon_{i, \text{ост}} = \frac{\sigma_i^*}{E^*} - \frac{\sigma_i^*}{E} ,$$

где E - модуль упругости I рода, МПа;

E^* - секущий модуль упругости, МПа.

По интенсивности напряжений в каждом слое можно определить степень деформационного упрочнения. Для этого необходимо иметь зависимость между действующими напряжениями и микротвердостью обрабатываемого материала [5]. По остаточным деформациям находятся упругие остаточные напряжения в радиальном и осевом направлениях [2].



Р и с. 2. Определение интенсивности остаточных деформаций по кривой деформирования

Таким образом, по силам, действующим в процессе резания, кривой деформирования и по зависимости между интенсивностью напряжений и микротвердостью обрабатываемого материала можно рассчитать параметры эпюры остаточных напряжений и кривую деформационного упрочнения поверхностного слоя. Такое прогнозирование позволит оптимизировать процесс резания с целью повышения качества поверхностного слоя обработанных деталей.

Л и т е р а т у р а

1. Кравченко Б.А. Формирование остаточных напряжений при шлифовании. Вестник машиностроения, 1978, № 6, с. 22-26.
2. Кравченко Б.А., Круцило В.Г. Механизм формирования остаточных напряжений при свободном резании закаленных сталей. - В сб.: Обработка высокоточных сталей и сплавов инструментами из сверхтвёрдых синтетических материалов. Вып. 2.-Куйбышев; КУИ, 1980, с.91-97.

3. Киселев В.А. Плоская задача теории упругости. - М.: Высшая школа, 1976.-152с.
4. Ильинин А.А. Механика сплошной среды. - М.: МГУ, 1978.-287с.
5. Дель Г.Д. Технологическая механика. - М.: Машиностроение, 1978.-174с.

УДК 621.9.06

А.П.Котельников

ВЗАИМОСВЯЗЬ КАЧЕСТВА ОБРАБОТАННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ С ВЕЛИЧИНОЙ ИХ ФАКТИЧЕСКОЙ ПЛОЩАДИ КОНТАКТА

Дискретный характер контактирования сопряженных поверхностей деталей машин указывает на то, что площадь истинного соприкосновения тел составляет незначительную часть номинальной площади касания.

Величина фактической площади контакта изменяется в зависимости от качества обработанных поверхностей и усилия их сжатия.

В процессе эксплуатации деталей фактическая площадь контакта оказывает влияние на изменение силы трения, износа, температуры, контактной жесткости и других явлений в зоне контакта.

Исследования зависимости фактической площади контакта от качества обработки стыкуемых поверхностей проводились на образцах из сплава ЭИ-437Б.

Плоские стыкуемые поверхности образцов обрабатывались шлифованием на станке ЗГ 74 кругом К 340С12К с продольной подачей 0,05мм/об и точением с одновременным алмазным выглаживанием. Точение, совмещенное с выглаживанием [1], производилось на станке 1А616П при глубине резания 0,5 мм, продольной подаче 0,052 мм/об и числе оборотов шпинделя 90 об/мин, выглаживателем с радиусом 1,5 мм.

Перед снятием профилограмм поверхности шлифованные образцы подвергались предварительному обкатке нагрузкой 1500 кгс с доведенной чугунной плитой в целях устранения остаточных отжимов, возникающих за счет пластической деформации отдельных случайных наиболее высоких выступов поверхности.