

**Брадулов П.Р.** науч. рук. Ивченко Т.Г. (Украина, г. Донецк, ДонНТУ)

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ ПРИ КОМБИНИРОВАННОЙ ОБРАБОТКЕ**

*Установлены закономерностей формирования остаточных напряжений в поверхностном слое деталей машин при комбинированной совместной обработке точением и обкатыванием. Представлены распределения остаточных напряжений по глубине поверхностного слоя при совместном точении и обкатывании для различных режимов обработки: скоростей и подач.*

Эксплуатационные свойства деталей машин в значительной мере зависят от остаточных напряжений в поверхностном слое деталей машин, в связи с чем, исследование закономерностей их формирования для различных методов обработки весьма актуальны.

В настоящее время для обработки наружных и внутренних поверхностей вращения достаточно широкое распространение получили комбинированные методы обработки, одним из вариантов которых является совместное точение и обкатывание, осуществляемое с применением комбинированных инструментов, сочетающих в себе режущие и деформирующие элементы. Для каждого из этих методов хорошо известны основные закономерности протекания процесса обработки и формирования поверхностного слоя деталей [1, 2], однако сведения об особенностях комбинированного совместного точения и обкатывания практически отсутствуют.

Целью представленной работы является исследование закономерностей формирования остаточных напряжений в поверхностном слое детали при комбинированном совместном точении и обкатывании в зависимости от параметров обработки.

Поверхностный слой деталей машин при механической обработке формируется под влиянием силовых и температурных воздействий. В разработанной методике остаточные напряжения в поверхностном слое детали при совместной обработке точением и обкатыванием определяются как алгебраическая сумма температурных  $\sigma_T$  и механических  $\sigma_M$  остаточных напряжений, формирующихся при точении и обкатывании:

$$\sigma_o = (\sigma_T + \sigma_M)_{точ} + (\sigma_T + \sigma_M)_{обк} \quad (1)$$

Механические остаточные напряжения распределяются по глубине поверхностного слоя  $z$  следующим образом [1]:

$$\sigma_M(z) = \frac{P}{\pi} \left[ \frac{3}{2(r^2 + z^2)} + \frac{1.2}{r^2} \ln\left(\frac{z}{2r}\right) - \frac{3}{10r^2} \right] \quad (2)$$

где  $P$  сила в зоне обработки;  $r$  – радиус кругового поля контакта.

Вводя безразмерную координату  $v_M = z/r$ , выделяем безразмерную часть механических остаточных напряжений  $\sigma_{MB}$  :

$$\sigma_M(z) = \frac{P}{\pi r^2} \sigma_{MB}(v_M) = \frac{P}{S_K} \left[ \frac{3}{2(1+v_M^2)} + 1.2 \ln\left(\frac{v_M}{2}\right) - 0.3 \right], \quad (3)$$

где  $S_K$  – площадь контакта инструмента с заготовкой.

Температурные остаточные напряжения определяются с учетом распределения температур по глубине поверхностного слоя  $\Theta(z)$  [1]:

$$\sigma_T(z) = \alpha E \Theta(z) \quad (4)$$

где  $\alpha$  - коэффициент линейного расширения материала детали;  $E$  – модуль упругости материала;  $z$  – текущая координата, определяющая глубину поверхностного слоя.

На основании анализа температурного поля в поверхностном слое заготовки, возникающего в результате взаимодействия с инструментом под воздействием быстродвижущегося полосового источника теплоты, для определения распределения температур по глубине поверхностного слоя получена следующая зависимость [2]:

$$\Theta(z) = \frac{PV\beta l}{2S_K \lambda_\delta \sqrt{\pi}} \frac{1}{\sqrt{Pe}} \int_0^1 \frac{f(\psi_u) d\psi_u}{\sqrt{1-\psi_u}} \exp\left(-\frac{Pe}{4} \cdot \frac{v^2}{1-\psi_u}\right) \quad (5)$$

где  $V$  скорость перемещения источника;  $\beta$  - доля теплоты, поступающая в деталь;  $l$  – размер полосового источника теплоты;  $\lambda$ ,  $\omega_\delta$  – коэффициенты теплопроводности и температуропроводности детали;  $v$  - безразмерная координата, характеризующая глубину поверхностного слоя  $v = z/l$ ;  $\psi_u$  – безразмерная координата, характеризующая положение полосового источника теплоты  $\psi_u = x_u/l$ ;  $Pe = Vl/\omega_\delta$  - критерий Пекле;  $f(\psi_u)$  - закон распределения плотности тепловыделения.

Температурные остаточные напряжения могут быть также представлены через безразмерную часть  $\sigma_{TB}$  :

$$\sigma_T(z) = \frac{P}{S_K} \sigma_{TB}(v) = \frac{P}{S_K} \frac{V\beta l}{2\lambda_\delta \sqrt{\pi Pe}} \int_0^1 \frac{f(\psi_u) d\psi_u}{\sqrt{1-\psi_u}} \exp\left(-\frac{Pe}{4} \cdot \frac{v^2}{1-\psi_u}\right) \quad (6)$$

Тогда остаточные напряжения в поверхностном слое детали при совместной обработке точением и обкатыванием могут быть представлены через безразмерные составляющие следующим образом:

$$\sigma_O(z) = \frac{P_{точ}}{S_{Kточ}} (\sigma_{ТБ}(v) + \sigma_{МБ}(v_M))_{точ} + \frac{P_{обк}}{S_{Kобк}} (\sigma_{ТБ}(v) + \sigma_{МБ}(v_M))_{обк}. \quad (7)$$

С использованием полученных зависимостей проведены исследования безразмерных остаточных напряжений в поверхностном слое при отдельных видах обработки – точении и обкатывании, представленные на рис.1.

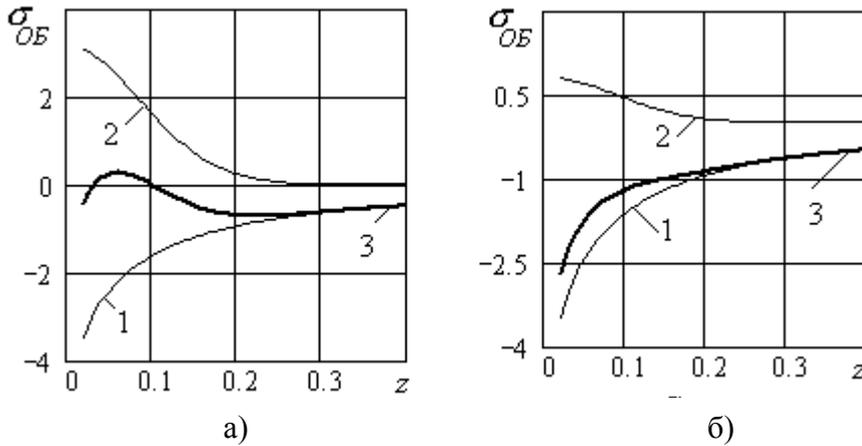


Рис.1. Распределение безразмерных остаточных напряжений по глубине поверхностного слоя при точении – а), обкатывании – б).

На формирование безразмерных суммарных остаточных напряжений (кривая 3) оказывают влияние безразмерные температурные (кривая 2) и механические (кривая 1) остаточные напряжения. Скорости перемещения теплового источника, соответствующие скорости резания при точении и скорости детали при обкатывании, приняты следующими:  $V_{точ} = V_{обк} = 2$  м/с. При точении и обкатывании плотность распределения теплового потока имеет нормальный закон распределения с функцией  $f(\psi_u) = \exp[-k_0(1-\psi_u)]$ .

Выполненные расчеты и представленные графики свидетельствуют о том, что механические остаточные напряжения являются сжимающими, а температурные – растягивающими. При различных сочетаниях уровней температурных и механических составляющих суммарные остаточные напряжения могут быть растягивающими или сжимающими.

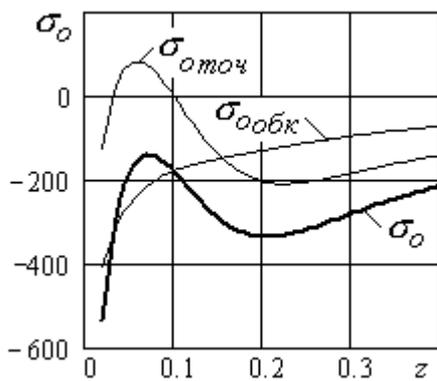


Рис.2. Распределение остаточных напряжений по глубине поверхностного слоя при совместном точении и обкатывании

Определяя для конкретных условий механообработки действующие силы и размеры площадки контакта, от безразмерного распределения остаточных напряжений легко перейти к их фактическому распределению. На рис. 2 представлены графики распределения остаточных напряжений по глубине поверхностного слоя при совместном точении и обкатывании.

Расчеты остаточных напряжений выполнялись для следующих режимов обработки: глубина резания при точении  $t = 1\text{ мм}$ ; подача  $s = 0,2\text{ мм/об.}$ ; скорость  $V_{\text{точ}} = V_{\text{обк}} = 2\text{ м/с}$ . Принято: сила резания при точении  $P_{\text{точ}} = 400\text{ Н}$ ; при обкатывании сила  $P_{\text{обк}} = 500\text{ Н}$ . Из графиков следует, что для указанных режимов обработки имеют место сжимающие остаточные напряжения.

С использованием разработанной методики выполнен анализ остаточных напряжений, возникающих в поверхностном слое детали при различных режимах обработки, представленных на рис.3.

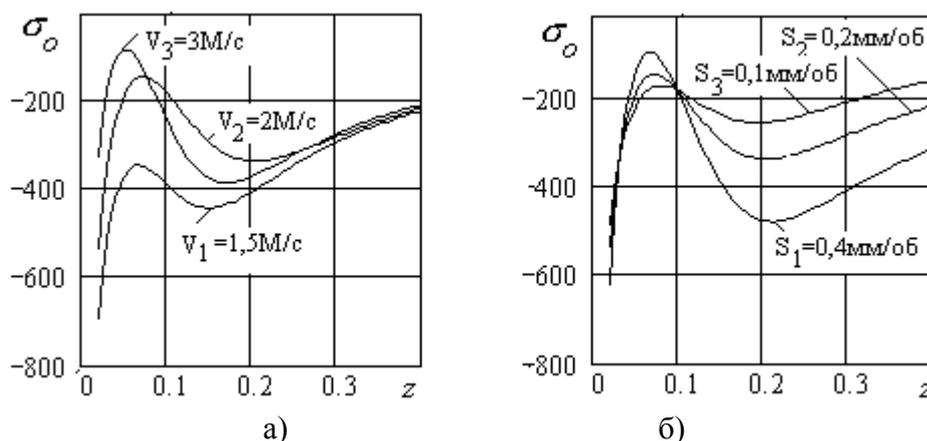


Рис.3. Распределение остаточных напряжений по глубине поверхностного слоя при совместном точении и обкатывании для различных режимов обработки: скоростей – а) и подач - б)

Установлено, что с увеличением скорости и подачи остаточные напряжения возрастают, изменяется характер их распределения и глубина залегания, однако во всем диапазоне изменения режимов для комбинированной обработки имеют место сжимающие остаточные напряжения.

## ВЫВОДЫ

В результате исследований закономерностей формирования остаточных напряжений в поверхностном слое деталей машин установлены характер и степень влияния режимов обработки при комбинированном совместном точении и обкатывании.

На основании разработанной методики определения остаточных напряжений в поверхностном слое детали при совместной обработке точением и обкатыванием могут быть регламентированы рациональные режимы обработки, обеспечивающие заданный уровень остаточных напряжений.

## ЛИТЕРАТУРА.

1. Безъязычный В.Ф. Назначение режимов резания по заданным параметрам качества поверхностного слоя / В.Ф. Безъязычный. - Ярославль: ЯПИ, 1978. - 86с.
2. Резников А.Н. Теплофизика процессов механической обработки материалов / А.Н. Резников. - М.: Машиностроение, 1981. - 279с.