

УДК 621.941.1

Г. Ф. Шатуров

ОБОСНОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СОВМЕЩЕННОЙ ОБРАБОТКИ РЕЗАНИЕМ С ОПЕРЕЖАЮЩИМ ПЛАСТИЧЕСКИМ ДЕФОРМИРОВАНИЕМ

*Институт технологии металлов НАН Беларуси
Могилев, Беларусь*

В процессе резания отделяемый от основы слой металла (стружка) под-вергается интенсивному пластическому деформированию. Моменту стружкообразования предшествует процесс сжатия полоски металла со сдвигом вдоль условной плоскости сдвига по линии наибольших касательных напряжений и процесс ее отрыва от заготовки за счет растягивающих напряжений.

Известны различные способы обработки резанием металлов, позволяющие снизить термическую и силовую напряженность процесса резания путем изменения физико-механических свойств материала срезаемого слоя. Одним из таких методов является способ обработки резанием с опережающим пластическим деформированием (ОПД) (рис. 1) [1]. Пластическое деформирование по указанному способу осуществляется обкатыванием роликом поверхности резания. В работах [1, 2] подтверждена высокая эффективность применения опережающего пластического деформирования при обработке резанием труднообрабатываемых материалов. За счет предварительной пластической деформации металла, уменьшается запас его пластичности, что повышает его хрупкость и улучшает обрабатываемость. При резании с ОПД часть общей работы A_p , совершаемой резцом в процессе резания, принимает на себя ролик ($A_{p,r}$ – работа ролика), который предварительно сжимает и пластически деформи-

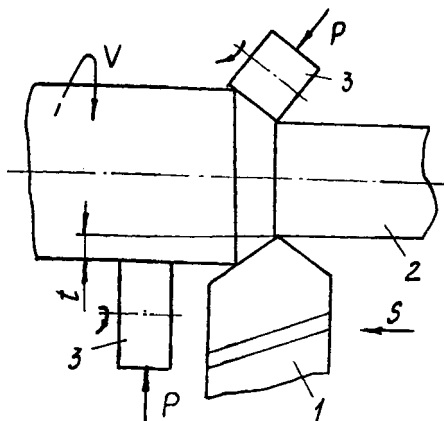


Рис. 1. Схема обработки резанием с опережающим пластическим деформированием: 1 – резец; 2 – обрабатываемая заготовка; 3 – ролик

рует часть снимаемого припуска, уменьшая тем самым работу A_{2p} по пластической деформации срезаемого слоя металла, приходящуюся на резец, $A_{2p} = A_p - A_{1p}$.

При ОПД необработанной поверхности или поверхности резания последние упрочняются и в них создаются остаточные сжимающие напряжения: осевые $\sigma_{ос}$, тангенциальные (окружные) σ_{τ} и растягивающие радиальные σ_r . Образованные сжимающие и растягивающие напряжения взаимодействуют с напряжениями, создаваемыми резцом, что при определенных условиях способствует переходу металла (при меньших усилиях) из напряженного состояния в пластическое.

Проведем анализ влияния остаточных тангенциальных сжимающих напряжений, созданных после ОПД роликом (рис. 1), например, поверхности резания, по отношению к действующей в том же направлении тангенциальной силе резания P_z . Для первоначального анализа возьмем эпюру распределения тангенциальных остаточных напряжений с расположением нулевого их значения на поверхности резания. Максимальное значение этих напряжений будет на некоторой глубине t_1 от поверхности резания или толщине слоя a_1 (рис. 2, а), что правомерно [3]. Примем закон изменения остаточных тангенциальных сжимающих напряжений σ_{τ} параболическим. Тогда

$$\sigma_{\tau} = \frac{\sigma_{\tau 0}}{t_1^2} t^2 - 2 \frac{\sigma_{\tau 0}}{t_1} t, \quad (1)$$

где t_1 – глубина расположения остаточных максимальных тангенциальных напряжений сжатия от поверхности; t – текущая глубина рассматриваемого слоя металла от поверхности; $\sigma_{\tau 0}$ – максимальная величина тангенциальных напряжений.

Поскольку в радиальном сечении детали действуют остаточные сжимающие напряжения, то, очевидно, при резании необходимо создать меньшие рабочие сжимающие напряжения, чтобы достигнуть напряжения равного местному пределу текучести σ'_{τ} , соответствующего наступлению пластического состояния металла.

Эффективность процесса обработки резанием с ОПД оценивается безразмерным параметром [1]

$$\eta_{PZ} = \frac{P_z - P_{z0}}{P_z}, \quad (2)$$

где P_z , P_{z0} – тангенциальные составляющие силы резания при обработке резанием без ОПД и с ОПД соответственно.

Преобразуем параметр η_{PZ} с учетом тангенциального напряжения σ_{τ} . Из рис. 2 имеем

$$\eta_{PZ} = \frac{F_{1\sigma}}{F_{\sigma}} = \frac{t_X}{t_1} - \frac{t_X^2}{3t_1^2}, \quad (3)$$

где

$$F_{1\sigma} = - \int_0^{t_x} \sigma_t dt = \frac{\sigma_{\tau 0}}{t_1} t_x^2 - \frac{\sigma_{\tau 0}}{3t_1^2} t_x^3 ;$$

$$F_{\sigma} = \sigma_{\tau 0} t_x .$$

Величина η_{PZ} изменяется по параболическому закону с максимальным значением равным 0,75 при $t_x^2 = 1,5t_1$. При $t_x = t_1$ и $t_x = t_0 = 2t_1$ имеем $\eta_{PZ} = 0,67$. В действительности максимальная величина η_{PZ} значительно меньше 0,75, так как площадь F_{σ} должна быть увеличена до значения $F_{\sigma} = t_x \cdot \sigma_x'$, соответствующего напряжению пластического состояния металла. Истинная зависимость η_{PZ} (рис. 2, а) будет расположена ниже расчетной и показана пунктиром. При увеличении глубины резания t_x или толщины срезаемого слоя металла a_x , при обработке резанием с ОПД поверхности резания $t_x > t_0$ ($a_x > a_0$), параметр η_{PZ} будет уменьшаться за счет значительного увеличения значения F_{σ} .

На основании проведенных теоретических исследований можно сделать заключение, что при обработке резанием с ОПД поверхности резания может иметь место только один максимум параметра h_{PZ} , расположенный на расстоянии от наружной поверхности, превышающем примерно в 1,5 раза глубину залегания максимальных тангенциальных остаточных сжимающих напряжений. Поэтому максимальная эффективность процесса резания с ОПД для указанных выше условий обработки достигается при ОПД необработанной поверхности вала при глубине резания $t_x = 1,5t_1$, и при ОПД по-

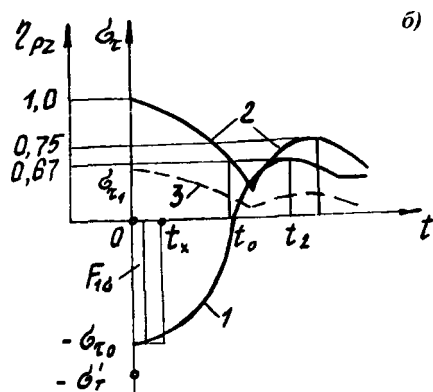
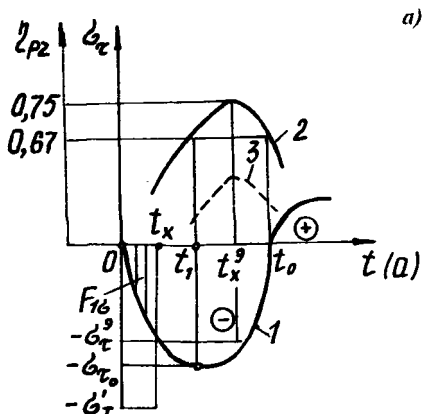


Рис. 2. Варианты эпюр распределения тангенциальных остаточных напряжений (1) и изменение параметра η_{PZ} эффективности процесса резания с ОПД (2) ($a - \sigma_{\tau 0} = 0$, $b - \sigma_{\tau 0} = \sigma_{\tau 0}'$; $\sigma_{\tau 0}$ — тангенциальное сжимающее напряжение на поверхности; $\sigma_{\tau 0}'$, t_1 — максимальное тангенциальное сжимающее напряжение и глубина его залегания; 3 — фактическое значение параметра η_{PZ}).

верхности резания при толщине снимаемого припуска $a_x = 1,5a_1$. В этом случае t_1 и a_1 – глубина расположения максимальных остаточных тангенциальных напряжений сжатия от наружной поверхности.

Рассмотрим случай обработки резцом с расположением после ОПД максимальных остаточных тангенциальных напряжений на обработанной поверхности (рис. 2, б).

В этом случае имеем:

$$\sigma_r = \frac{\sigma_{r0}}{t_0^2} t_x^2 - \sigma_{r0}; \quad (4)$$

$$F_{r0} = \sigma_{r0} t_x - \frac{\sigma_{r0} t_x^3}{3t_0^2};$$

$$\eta_{PZ} = \frac{F_{r0}}{F_{r0}} = 1 - \frac{t_x^2}{3t_0^2}, \quad 0 \leq t_x \leq t_0. \quad (5)$$

Тогда параметр η_{PZ} с учетом сжимающих тангенциальных напряжений для разных глубин t_x будет равным: $t_x = 0$, $\eta_{PZ} = 1,0$; $t_x = t_0$, $\eta_{PZ} = 2/3$, т. е. с увеличением глубины резания, параметр η_{PZ} уменьшается по параболической зависимости. Однако, с увеличением $t_x > t_0$ в радиальном сечении детали действуют положительные тангенциальные напряжения. Поскольку процесс резания – это процесс отрыва слоя металла с поверхности заготовки, который происходит под действием растягивающих напряжений, то наличие последних уменьшает необходимую величину рабочих растягивающих напряжений, создаваемых резцом, достаточных для пластической деформации этого слоя.

Параметр η_{PZ} (тангенциальные растягивающие напряжения) при $t_x > t_0$ увеличивается по параболическому закону и равен

$$\eta_{PZ1} = \frac{t_x - t_0}{t_2 - t_0} - \frac{(t_x - t_0)^2}{3(t_2 - t_0)^2}. \quad (6)$$

Он принимает максимальное значение $\eta_{PZ}^{\max} = 0,75$ при $t_x = 1,5(t_2 - t_0)$, а при $t_x = t_2$ равен $\eta_{PZ} = 0,67$.

Таким образом, с увеличением $t_x > t_0$ имеем второй максимум по параметру η_{PZ} . Поскольку величина σ_{r1} значительно меньше σ_{r0} , то и $\eta_{PZ1}^{\max} < \eta_{PZ}^{\max}$. На рис. 2, б предполагаемое изменение параметра η_{PZ} для обоих участков показано пунктиром.

Исследования по влиянию глубины резания на параметр η_{PZ} при обработке резанием с ОПД необработанной поверхности подтвердит правильность теоретических предпосылок о возможности наличия двух оптимальных интервалов глубины резания при расположении максимальных тангенциальных сжимающих напряжений после

ОПД на обрабатываемой поверхности и выявили снижение тангенциальной силы резания на 15...26% (рис. 3).

Таким образом, предложенный механизм взаимодействия остаточных напряжений после ОПД поверхности с напряжениями, возникающими в процессе резания вдоль условной плоскости сдвига при образовании стружки, следует рассматривать как приближенную схему их взаимодействия, подлежащую дальнейшему изучению с учетом специфических условий обработки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Подураев В.Н., Ярославцев В.М., Ярославцева Н.А. Эффективность обработки резанием с опережающим пластическим деформированием // Вестник машиностроения. – 1972. – № 12. – С. 58–61.
2. Подураев В.Н., Шатуров Г.Ф., Войтов В.В. К вопросу обработки резанием с опережающим пластическим деформированием поверхности / Ред. журн. «Известия АН Беларуси. Сер. физ.-техн. наук». – Мн., 1990. – 18 с. Деп. в ВИНТИ 24.05.90. № 2849.
3. Папшев Д.Д. Отделочно-упрочняющая обработка поверхностным пластическим деформированием. – М.: Машиностроение, 1978. – 152 с.

УДК 621.941.1

Г.Ф.ШАТУРОВ

МЕХАНИКА ПРОЦЕССА РОТАЦИОННОГО РЕЗАНИЯ

*Институт технологии металлов НАН Беларуси
Могилев, Беларусь*

Наличие вращательного движения режущей кромки в процессе обработки ротационным резцом ведет к изменению динамических показателей процесса, т. е. к изменению направления и величин сил резания.

Для установления всех сил, действующих на рабочих поверхностях ротационного резца, рассмотрим прямую схему резания при первой схеме установки резца (рис. 1).

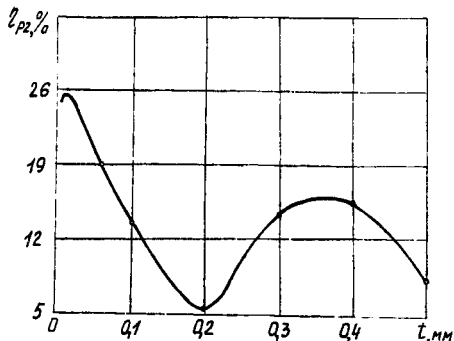


Рис. 3. Зависимость параметра η_{PZ} от глубины резания t при обработке заготовки вала с ОПД необработанной поверхности (материал заготовки – сталь 12Х18Н9Т; $S = 0,43$ мм/об; $V = 35$ м/мин; $P = 700$ Н)