

УДК 621.9.014: 621.833.1

С. И. Тахман, Д. С. Евтодьев

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОБОБЩАЮЩИХ КОЭФФИЦИЕНТОВ ДЛЯ РАСЧЁТА СИЛ РЕЗАНИЯ ПРИ ЗУБОДОЛБЛЕНИИ ЭВОЛЬВЕНТНЫХ КОЛЁС С ПРОИЗВОЛЬНЫМ ЧИСЛОМ ЗУБЬЕВ ЛЮБОГО МОДУЛЯ

В настоящее время знание сил резания необходимо при решении многих технологических и конструкторских задач: определение необходимой мощности привода станка, прочностные расчёты при проектировании инструмента и отдельных деталей станка, определение точности обработки, расчёт режимов резания, применение адаптивных систем управления станком.

При решении этих задач необходимо знать не общую силу резания, а необходимые в каждом случае её технологические составляющие.

В процессе развития науки о резании металлов появилась возможность расчёта технологических составляющих силы резания по теоретическим формулам.

При расчёте по этим формулам действующая сила в интересующем направлении определяется суммой силы, действующей в этом направлении на передней поверхности, и сил, аналогично действующих на задних поверхностях инструмента [1]. Для определения этих сил необходимо знать как значения площадей сечений срезаемых слоёв, так и активных (рабочих) длин режущих кромок инструмента в каждый момент обработки.

При зубодолблении дополнительной сложностью является то, что при изменении положения зуба долбяка на линии зацепления в процессе огибания зуба нарезаемого колеса угловые параметры положения, площади сечения среза и активные длины режущих кромок закономерно изменяются.

Для их определения разработана методика графического нарезания впадин обрабатываемых колёс [2]. Данная методика позволяет определять значения площадей срезаемых слоёв и рабочих длин на режущих кромках зуба долбяка на каждом из угловых положений.

Недостатком является то, что при изменении одного из параметров обработки (модуля зацепления m , числа зубьев долбяка z_d или нарезаемого колеса z_k) необходимо заново проводить графическое нарезание, которое является трудоёмким процессом. Но так как при её разработке все расчёты проведены для конкретных условий, а расчетные зависимости должны быть пригодны для любых условий зубодолбления, то в параметрах расчётных моделей необходимо учесть масштабный фактор зубчатых колёс – модуль зацепления. В этом случае коэффициенты перед модулем будут представлять собой обобщающие коэффициенты как по площади, так и по длине, соотнесенные с модулем.

Данная статья посвящена получению зависимостей для определения таких обобщающих коэффициентов, необходимых для расчёта технологических составляющих силы резания P_z , действующих по направлению скорости резания, и равнодействующих сил R_{xy} , расположенных в основных плоскостях на зубьях долбяка, находящихся под стружкой.

Их распределения по угловому положению зуба долбяка в процессе обработки впадины, позволяют рассчитывать значения всех требуемых характеристик срезов на режущих кромках инструмента (площадей срезаемых слоёв и активных длин режущих кромок), а, с учетом удельных сил резания при заданной паре обрабатываемого и инструментального материалов, и технологических составляющих любых сил при любом значении m, z_d и z_k .

Силы $P_{zi,j}$, действующие на каждой из режущих кромок, совпадают с направлением вектора скорости резания, поэтому результирующая сила P_{zi} для каждого из угловых положений будет определяться алгебраической суммой этих сил:

$$\begin{aligned} P_{zi} &= \sum_{j=1}^m P_{zi,j} = \sum_{j=1}^m C_{nn} \cdot S_{i,j} + C_{zn} \cdot l_{i,j} = \\ &= C_{nn} \cdot \sum_{j=1}^m S_{i,j} + C_{zn} \cdot \sum_{j=1}^m l_{i,j}. \end{aligned} \quad (1)$$

Здесь $S_{i,j}$ - площадь срезаемого слоя j -той режущей кромкой на i -ом угловом положении; $l_{i,j}$ - активная длина j -той режущей кромки на i -том угловом положении; C_{nn} - удельная сила на передней поверхности; C_{zn} - удельная сила на задней поверхности; n - число изменений углового положения зуба долбяка в зоне обработки; m - количество режущих кромок.

В этом случае обобщающие коэффициенты по площади KsP_{zi} и по длине KlP_{zi} для результирующей силы P_{zi} рассчитываются по формулам:

$$KsP_{zi} = \frac{\sum_{j=1}^m S_{i,j}}{m^2}, \quad (2)$$

$$KlP_{zi} = \frac{\sum_{j=1}^m l_{i,j}}{m}. \quad (3)$$

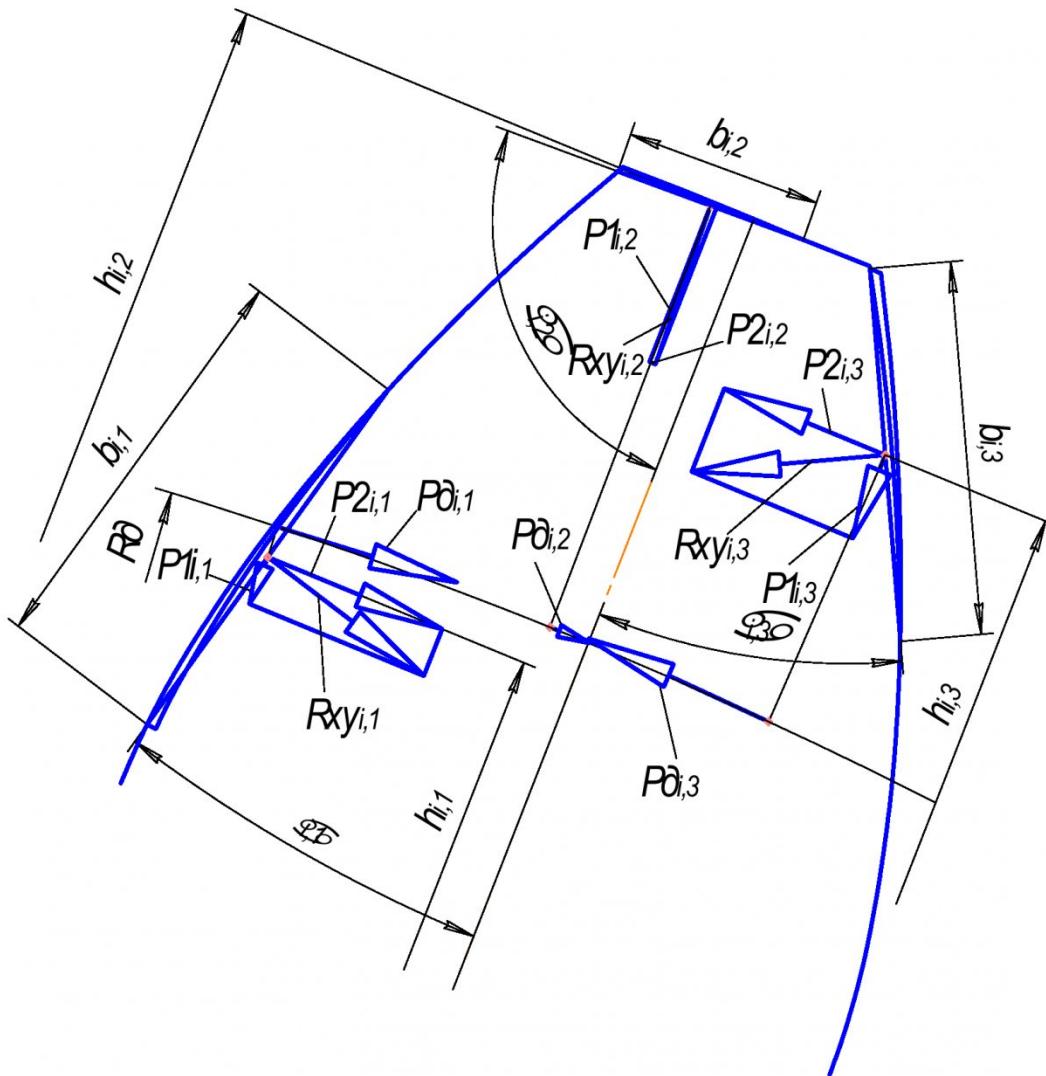


Рис.1. Схема силового нагружения зуба долбяка на i -том угловом положении

На рис.1 представлена схема силового нагружения зуба долбяка в основной плоскости в произвольном положении на линии зацепления. В процессе обработки нарезаемой впадины на зубе одновременно могут работать от одного до трёх отдельных участков режущих кромок со своими активными длинами. Поэтому технологические составляющие силы резания на этом зубе будут определяться всеми силами, действующими на каждой из его кромок.

Равнодействующая сила $Rxy_{i,j}$, действующая для каждой из режущих кромок может быть рассчитана по формуле:

$$Rxy_{i,j} = U_{nn} \cdot S_{i,j} + U_{zn} \cdot b_{i,j}, \quad (4)$$

где U_{nn} - удельная сила на передней поверхности; U_{zn} - удельная сила на задней поверхности; $S_{i,j}$ - площадь срезаемого слоя j -ой режущей кромкой на i -том угловом положении; $b_{i,j}$ - ширина слоя срезаемого j -ой режущей кромкой на i -том угловом положении.

Силы $Rxy_{i,j}$ на каждом участке раскладыва-

ются на составляющие $P1_{i,j}$, действующие вдоль линии симметрии зуба долбяка, и $P2_{i,j}$, перпендикулярные этой линии (рис.1). Силы $P1_{i,j}$ определяют отжатия инструмента от обрабатываемого колеса, а силы $P2_{i,j}$ создают общий крутящий момент на зубе. При этом крутящими моментами, создаваемыми силами $P1_{i,j}$, можно пренебречь, так как их плечи малы по величине, а сами силы направлены в противоположные стороны.

Результирующая сила $P1_i$ для каждого из угловых положений будет определяться алгебраической суммой сил $P1_{i,j}$:

$$\begin{aligned} P1_i &= \sum_{j=1}^m R_{xy_{i,j}} \cdot \sin(\alpha_{i,j}) = \\ &= U_{nn} \cdot \sum_{j=1}^m S_{i,j} \cdot \sin(\alpha_{i,j}) + U_{zn} \cdot \sum_{j=1}^m b_{i,j} \cdot \sin(\alpha_{i,j}) \end{aligned} \quad . \quad (5)$$

Обобщающие коэффициенты по площади $KsP1_i$ и длине $KbP1_i$ для силы $P1_i$:

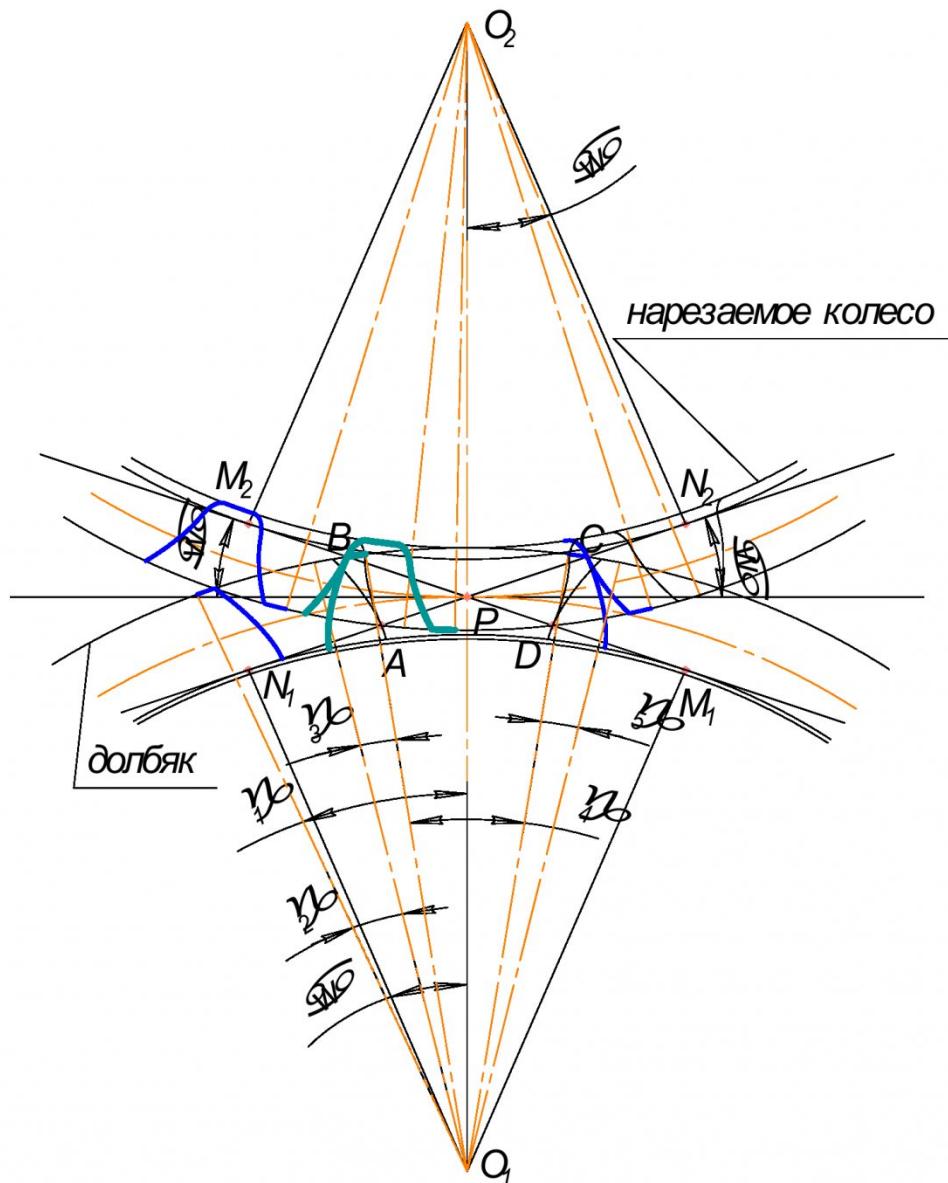


Рис.2. Элементы участков профилирования нарезаемой впадины в зоне резания

$$KsP1_i = \frac{\sum_{j=1}^m S_{i,j} \cdot \sin(\alpha_{i,j})}{m^2}, \quad (6)$$

$$KbP1_i = \frac{\sum_{j=1}^m b_{i,j} \cdot \sin(\alpha_{i,j})}{m}. \quad (7)$$

Общий крутящий момент Mkr_i на зубе долбяка определяется алгебраической суммой крутящих моментов $Mkr_{i,j}$, создаваемых силами $P2_{i,j}$:

$$Mkr_i = \sum_{j=1}^m Mkr_{i,j} = \sum_{j=1}^m P2_{i,j} \cdot h_{i,j}, \quad (8)$$

где $h_{i,j}$ - плечи для сил $P2_{i,j}$. Положительным

считаем направление крутящего момента против часовой стрелки.

Значения $h_{i,j}$ изменяются при смене угловых положений зуба. Их численные значения меняются в пределах высоты нарезаемого зуба, поэтому общий крутящий момент Mkr_i на зубе удобнее определять через силы $Pd_{i,j}$, приведённые к делительной окружности долбяка (рис.1):

$$\begin{aligned} Mkr_i &= \sum_{j=1}^m P2_{i,j} \cdot h_{i,j} = \\ &= \sum_{j=1}^m Rxy_{i,j} \cdot \cos(\alpha_{i,j}) \cdot h_{i,j} = \sum_{j=1}^m Pd_{i,j} \cdot R\delta \end{aligned} \quad (9)$$

где $R\delta$ - радиус делительной окружности долбяка.

Значениями крутящего момента, создаваемого силами $P2_{i,2}$ на вершинных кромках зуба (рис.1),

можно пренебречь, так как при разложении сил равнодействующая практически целиком вкладывается в силу $P\delta_{i,2}$.

Таким образом, общая сила $P\delta_i$ на i -ом угловом положении зуба определяется разностью сил $P\delta_{i,3}$ и $P\delta_{i,1}$:

$$\begin{aligned} P\delta_i = & U_{nn} \cdot \left(\frac{S_{i,3} \cos(\alpha_{i,3}) h_{i,3}}{R\delta} - \frac{S_{i,1} \cos(\alpha_{i,1}) h_{i,1}}{R\delta} \right) + \\ & + U_{zn} \cdot \left(\frac{b_{i,3} \cos(\alpha_{i,3}) h_{i,3}}{R\delta} - \frac{b_{i,1} \cos(\alpha_{i,1}) h_{i,1}}{R\delta} \right) \end{aligned} \quad (10)$$

Для удобства силовых расчётов в зависимости (10) приходится вводить обобщающие коэффициенты по длине плеча, необходимые для отдельной оценки положительного и отрицательного направлений моментов сил $P\delta_i$.

Обобщающие коэффициенты по площади $KsP\delta_{i,1}$ и по длине $KbP\delta_{i,1}$, а также коэффициент по длине плеча $KhP\delta_{i,1}$ для силы $P\delta_{i,1}$ определяются по формулам:

$$KsP\delta_{i,1} = \frac{S_{i,1} \cos(\alpha_{i,1})}{m^2}, \quad (11)$$

$$KbP\delta_{i,1} = \frac{b_{i,1} \cos(\alpha_{i,1})}{m}, \quad (12)$$

$$KhP\delta_{i,1} = \frac{h_{i,1}}{R\delta} = \frac{2 \cdot h_{i,1}}{m \cdot z\delta} \quad (13)$$

Обобщающие коэффициенты по площади $KsP\delta_{i,3}$ и по длине $KbP\delta_{i,3}$, а также коэффициент по длине плеча $KhP\delta_{i,3}$ для силы $P\delta_{i,3}$ рассчитываются по формуле:

$$KsP\delta_{i,3} = \frac{S_{i,3} \cos(\alpha_{i,3})}{m^2}, \quad (14)$$

$$KbP\delta_{i,3} = \frac{b_{i,3} \cos(\alpha_{i,3})}{m}, \quad (15)$$

$$KhP\delta_{i,3} = \frac{h_{i,3}}{R\delta} = \frac{2 \cdot h_{i,3}}{m \cdot z\delta}. \quad (16)$$

При нарезании впадины долбяк работает двумя режущими кромками (левая сторона впадины профиiliруется правой режущей кромкой, правая сторона впадины профиiliруется левой режущей кромкой долбяка). В связи с этим, проанализировав рис.2, можно сделать следующие выводы:

1. Если значение угла положения зуба долбяка в процессе нарезания впадины меньше значения $\gamma_2 + \gamma_3$, то сила $P\delta_i$ будет определяться силой $P\delta_{i,3}$.

2. Если значение угла положения зуба долбяка в процессе нарезания впадины больше значения $\gamma_2 + \gamma_3$, но меньше значения $\gamma_2 + \gamma_3 + \gamma_4$, то сила $P\delta_i$ будет определяться разностью сил $P\delta_{i,3}$ и $P\delta_{i,1}$.

3. Если значение угла положения зуба долбяка в процессе нарезания впадины больше значения $\gamma_2 + \gamma_3 + \gamma_4$, но меньше значения $\gamma_2 + \gamma_3 + \gamma_4 + \gamma_5$, то сила $P\delta_i$ будет определяться силой $P\delta_{i,1}$.

Заключение

Математическое описание предложенных обобщающих коэффициентов по площади и ширине среза, активной длине кромок и длине плеча совместно с силовыми константами обрабатываемого материала, его и инструментального материала физическими свойствами и геометрическими параметрами зуборезного долбяка позволит прогнозировать силовую нагрузку в технологических системах при зубодолблении.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Розенберг Ю. А., Тахман С. И. Силы резания и методы их определения/ Учебное пособие: Ч.1. Общие положения – Курган, 1995.-130 с.
2. Тахман С. И., Евтодьев Д. С. Метод расчёта главной составляющей силы резания при зубодолблении / Вестн. Кузбасского гос. тех. унив., 2009.- №4 (74).- С. 21-23.

□ Авторы статьи:

Тахман
Симон Иосифович
- канд.техн.наук, доц. каф. "Металлорежущие станки и инструменты"
Курганского государственного университета
Тел. 8-(3522) 23-04-05

Евтодьев
Денис Сергеевич
- аспирант каф. "Металлорежущие
станки и инструменты" Курганского
государственного университета
e-mail: ems130190@rambler.ru