

ЗАВИСИМОСТЬ УСИЛИЯ, ФОРМИРУЮЩЕГОСЯ НА РАБОЧЕЙ БОКОВОЙ ГРАНИ РЕЗЦА, ОТ ЕЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ И РЕЖИМА РАЗРУШЕНИЯ

Бойко Н.Г., докт. тех. наук., проф.,
Бойко Е.Н., канд. техн. наук, Федоров О.В., инж.,
Донецкий национальный технический университет

Исследовано влияние геометрических параметров резца с рабочей боковой гранью и параметров сечения стружки на величину усилия, формирующегося на рабочей боковой грани резца.

The influence of geometrical parameters of a cutter with a working lateral face and parameters of cutting on force formed on a working lateral face of cutter is investigated.

В кусочно-линейной математической модели мгновенных усилий на резце с рабочей боковой гранью [1, 2] влияние параметров резца и режима разрушения на величину усилия на рабочей боковой грани резца учитывается введением соответствующих коэффициентов. Специальные экспериментальные исследования, проведенные с целью изучения влияния вышеперечисленных факторов работу резца, показали:

1. Эффективное разрушение массива рабочей боковой гранью возможно при условии формирования межщелевого целика значительных размеров. Установлено, что для заданной толщины срезаемой стружки h_i существует некоторая минимальная ширина стружки $t_{\min i}$, при которой усилие скалывания целика рабочей боковой гранью стремится к нулю. Эта величина составляет

$$t_{\min i} = b_{\Pi i} + k_h \cdot h_i, \quad (1)$$

где $b_{\Pi i}$ — ширина передней грани резца, k_h — коэффициент влияния толщины срезаемой стружки на формирование межщелевого целика, значение которого, определенное экспериментально, составляет 1,4.

Это обусловлено тем, что при $t_i \leq t_{\min i}$ разрушение массива по всему сечению среза происходит за счет воздействия на него передней грани резца, и формирования межщелевого целика не происходит. Условием, определяющим возможность взаимодействия рабочей боковой грани с массивом, согласно (1), является выполнение неравенства:

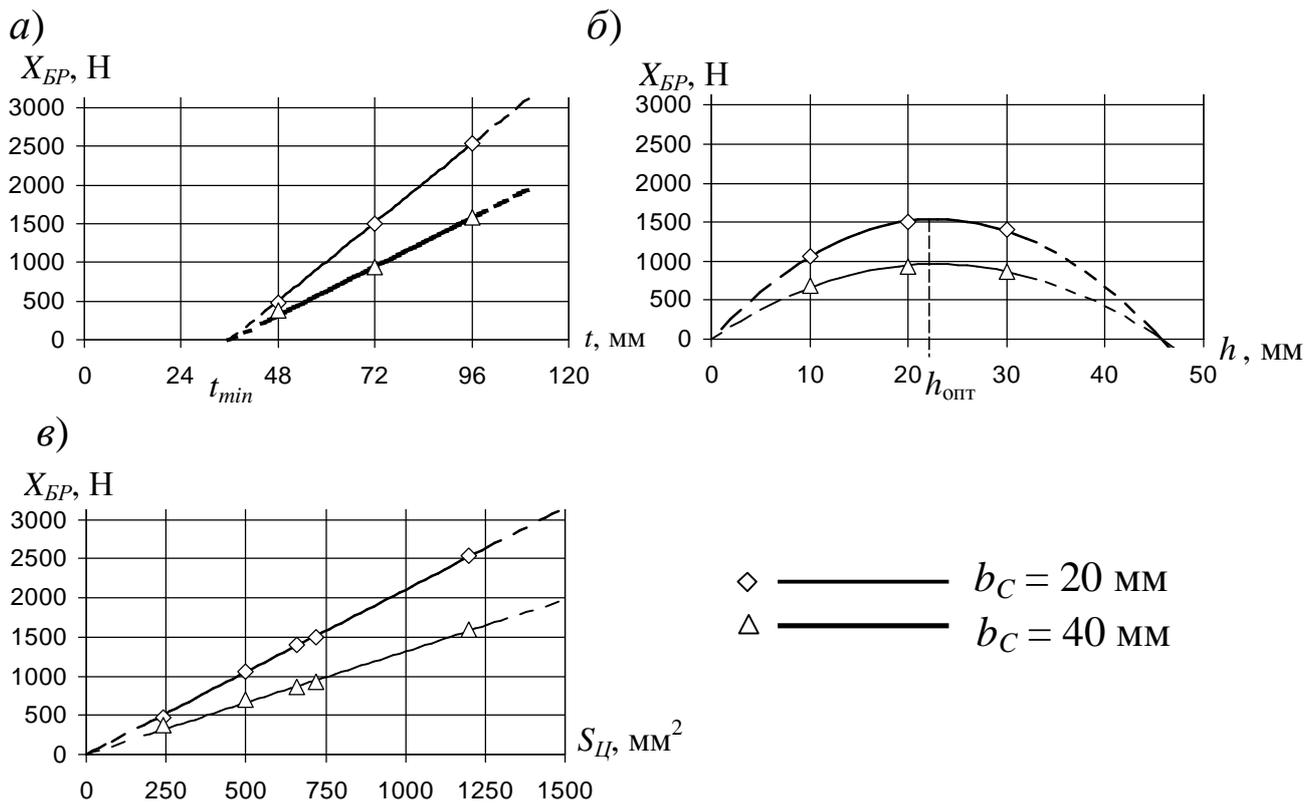


Рисунок 1 — Зависимость составляющей X_{BP} силы скалывания от ширины (а), толщины (б) срезаемой стружки и от эффективной площади сечения межщелевого целика (в)

$$t_{Цi} = t_i - b_{Пi} - k_h \cdot h_i > 0, \quad (2)$$

где $t_{Цi}$ — условная ширина межщелевого целика, формирующегося в процессе разрушения массива передней гранью.

При невыполнении этого неравенства рабочая боковая грань выводится из контакта с массивом.

2. Изменение ширины среза при $t_i > t_{min i}$ влияет на усилие скалывания целика рабочей боковой гранью линейно, рис. 1 а. При невыполнении неравенства (2) усилие разрушения массива рабочей боковой гранью равно нулю. Очевидно, что линейный рост усилия скалывания обусловлен тем, что увеличение ширины среза свыше $t_{min i}$ приводит к пропорциональному росту сечения разрушаемого рабочей боковой гранью межщелевого целика:

$$S_{Цi} = h_i t_{Цi} = h_i (t_i - b_{Пi} - k_h \cdot h_i). \quad (3)$$

Следует отметить, что площадь, определяемую зависимостью (3), по видимому, необходимо рассматривать не как истинную площадь разрушаемого межщелевого целика, которая является случай-

ной величиной, изменяющейся в процессе резания, а как некоторую величину, характеризующую влияние режимных параметров разрушения на усилие разрушения целика рабочей боковой гранью. В дальнейшем будем величину $S_{цi}$ называть “эффективной” площадью сечения межщелевого целика.

3. Исследование влияния толщины срезаемой стружки на усилие разрушения межщелевого целика рабочей боковой гранью показало наличие квадратичной зависимости, рис. 1 б. Это обусловлено неоднозначным влиянием толщины стружки на эффективную площадь сечения межщелевого целика, отраженным в зависимости (3): увеличение толщины стружки приводит не только к росту высоты сечения межщелевого целика, но и к уменьшению его ширины (2). При небольших толщинах стружки преобладает первый процесс и эффективная площадь сечения целика увеличивается, а при значительных толщинах стружки — второй, и эффективная площадь сечения целика уменьшается. Усилие скалывания межщелевого целика рабочей боковой гранью изменяется прямо пропорционально изменению эффективной площади сечения целика, рис. 1 в, что дает основание использовать выражение (3) для описания влияния параметров сечения среза на усилие скалывания массива рабочей боковой гранью.

Как видно из рис. 1 б, кривая зависимости усилия скалывания массива рабочей боковой гранью имеет максимум. Продифференцировав выражение (3), найдем толщину стружки, соответствующую максимуму эффективного сечения целика, а следовательно, и максимуму усилия скалывания:

$$h_{onmi} = \frac{t_i - b_{цi}}{2k_h}. \quad (4)$$

Поскольку при резании в режиме, отвечающем равенству (4), сечение межщелевого целика, разрушаемого за счет создаваемых в нем напряжений сдвига, максимально, следует признать, что такой режим является наиболее эффективным.

Экспериментальные исследования влияния на усилие разрушения межщелевого целика геометрических параметров рабочей боковой грани — ширины и угла наклона, показали:

1. Направление действия вектора усилия \bar{R}_{BPi} , формирующегося на рабочей боковой грани в процессе разрушения ею межщелевого целика, (угол θ , [2]) остается практически неизменным в процессе его работы и зависит только от угла наклона рабочей боковой грани

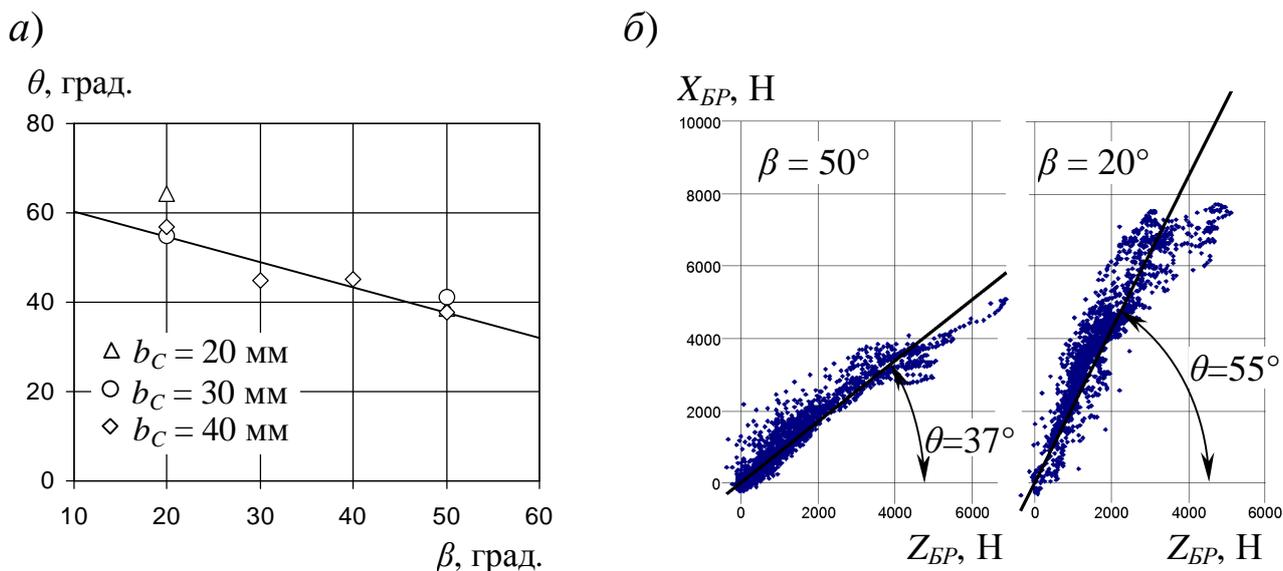


Рисунок 2 — Зависимость угла действия θ_i силы скалывания от угла наклона боковой грани β_i при различной ширине b_{Ci} последней (а) и мгновенные местоположения конца вектора \bar{R}_{BP} усилия скалывания при углах наклона боковой грани 20° и 50°

β_i . Зависимость эта в пределах $20^\circ \leq \beta_i \leq 50^\circ$ носит линейный характер и может быть описана выражением

$$\theta_i = \theta_0 - k_\beta \beta_i, \quad (5)$$

где θ_0 и k_β — коэффициенты регрессии, согласно данным эксперимента имеющие значения: $\theta_0 = 66^\circ$ и $k_\beta = 0,57$.

На рис. 2 а эта зависимость представлена графически. Следует отметить, что эта зависимость справедлива как для усредненных по времени, так и для мгновенных значений усилий, формирующихся на рабочей боковой грани в процессе работы резца. На рис. 2 б изображены мгновенные местоположения вершины вектора усилия R_{BPi} , при разрушении межщелевого целика резцами с углом наклона рабочей боковой грани 20° и 50° . Как видим, отклонения действительных мгновенных значений угла действия вектора усилия \bar{R}_{BPi} от значений, рассчитанных по зависимости (5), незначительны при существенных усилиях ($|\bar{R}_{BPi}| \geq 0,1 |\bar{R}_{BPi \max}|$). Этот факт позволяет использовать при моделировании как усредненных по времени, так и мгновенных усилий, действующих на резец с рабочей боковой гранью, зависимость

$$Z_{BPi} = X_{BPi} \cdot ctg(\theta_0 - k_\beta \beta_i). \quad (6)$$

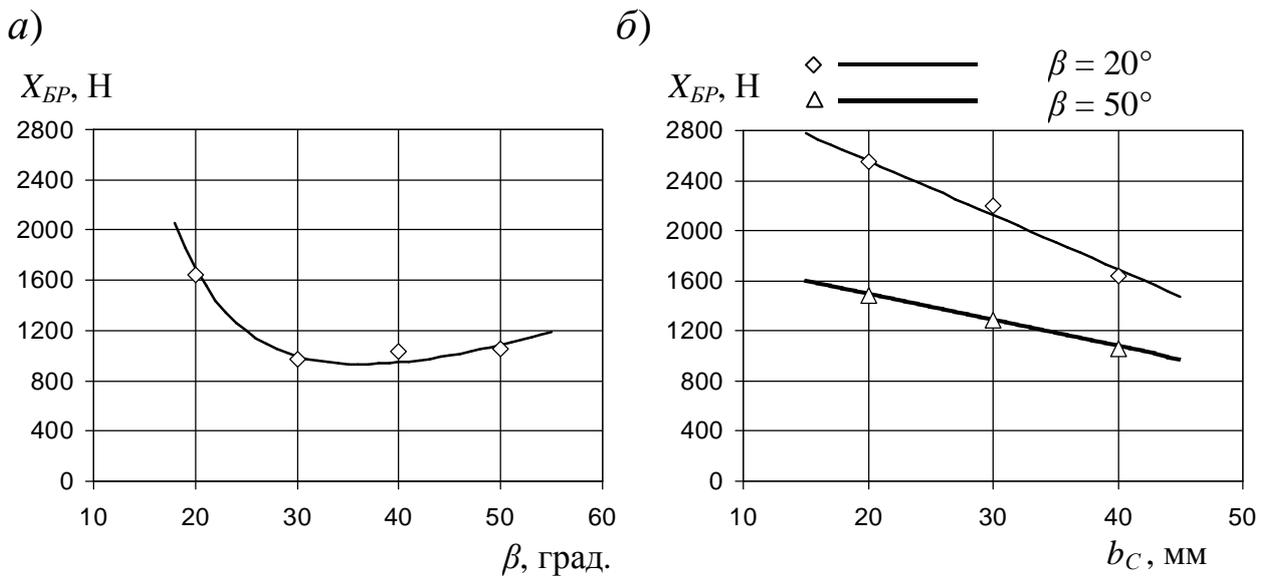


Рисунок 3 — Зависимость составляющей X_{BR} силы скалывания от угла наклона (а) и ширины (б) рабочей боковой грани

2. Зависимость усилия X_{BRi} от угла наклона скалывающей грани в пределах $20^\circ \leq \beta_i \leq 50^\circ$ носит нелинейный характер и имеет минимум в области $30^\circ \leq \beta_i \leq 40^\circ$. Снижение угла наклона скалывающей грани за границами указанного интервала приводит к резкому нарастанию усилия X_{BRi} . Причина этого, видимо, заключается как в увеличении угла действия вектора суммарного усилия на рабочей боковой грани, так и в чрезмерном увеличении длины, а следовательно, и площади грани. При увеличении указанного угла свыше 40° происходит постепенное нарастание усилия скалывания, рис. 3 а, объяснить которое можно переходом от сдвигового разрушения межщелевого целика к разрушению за счет формирования в нем напряжений сжатия.

3. Зависимость усилия X_{BRi} от ширины скалывающей грани b_{Ci} в пределах $20\text{мм} \leq b_{Ci} \leq 40\text{мм}$ носит линейный характер, причем с увеличением ширины скалывающей грани в указанных пределах усилие X_{BRi} снижается; более интенсивное снижение наблюдается при малых значениях угла наклона рабочей боковой грани, рис. 3 б.

Анализ результатов лабораторных исследований зависимостей усилия от вышеперечисленных факторов показал возможность их аппроксимации зависимостью вида

$$\bar{X}_{BRi} = \bar{A}_P k_{OTi} h_i (t_i - b_{\Pi i} - k_h h_i) \left(\frac{a}{\beta_i^2} + c(\beta_0 - \beta_i) b_{Ci} + d \right), \quad (7)$$

где \bar{A}_p — расчетная средняя сопротивляемость пласта резанию в неотжатой зоне забоя; k_{OTi} — коэффициент отжима для i -го резца; a , c , d , β_0 — коэффициенты регрессии.

Выражение (7) отражает зависимость усредненного по времени усилия разрушения массива боковой рабочей гранью от режимных и геометрических параметров соответственно вышеописанным эмпирически установленным фактам. Коэффициенты, входящие в выражение (7) (при $20^\circ \leq \beta_i \leq 50^\circ$ и $20\text{мм} \leq b_{Ci} \leq 40\text{мм}$), найденные методом наименьших квадратов, приведены в табл. 1.

Таблица 1 — Значения коэффициентов, входящих в выражение для определения силы на рабочей боковой грани резца

k_h	a , град. 2 мм $^{-1}$	c , град $^{-1}$ ·мм $^{-2}$	d , мм $^{-1}$	β_0 , град.
1,4	11,7	— $1,22 \cdot 10^{-5}$	$2,67 \cdot 10^{-2}$	78

Полученное уравнение адекватно экспериментальному материалу с уровнем значимости $\alpha = 0,05$ (расчетное значение критерия Фишера $F = 0,022$, что значительно меньше табличного $F_{табл} = 2,55$). На рис. 1 и 3 расчетные значения усилия скалывания, полученные по зависимости (7), представлены линиями, а значения, полученные экспериментально — точками.

Список источников

1. Бойко Н.Г., Марков Н.А., Бойко Е.Н., Федоров О.В. Характер и параметры разрушения пласта резцами с рабочей боковой гранью // Наукові праці Донецького державного технічного університету. Випуск 16, серія гірничо-електромеханічна. — Донецьк: ДонДТУ, 2000, с. 21-27.
2. Бойко Н.Г., Бойко Е.Н., Федоров О.В. Математическое моделирование мгновенных усилий, формирующихся на резце с рабочей боковой гранью. // Наукові праці Донецького державного технічного університету. Випуск 35, серія гірничо-електромеханічна. — Донецьк: ДонДТУ, 2001, с. 21-27.