

ВЛИЯНИЕ УГЛА РЕЗАНИЯ НА ХАРАКТЕР РАЗРУШЕНИЯ МЕРЗЛОГО ГРУНТА

И. Г. БАСОВ, Ю. Н. ЛУЗГИН

(Представлена кафедрой горных машин, рудничного транспорта и горной механики)

В большинстве случаев грунт — рыхлая горная порода. Для изучения законов механики такой породы многие исследователи используют структурную схему замещения, представляющую собой набор отдельных частиц правильной формы (чаще шарообразных). С геометрической точки зрения для плоской задачи наиболее вероятной считается [1] структура с укладкой частиц, обеспечивающей четыре точки касания.

При промерзании грунта вода, имеющаяся в его порах, кристаллизуется. Между минеральными частицами появляются соизмеримые с ними частицы льда. В таком случае грунт можно представить структурой с более плотной укладкой частиц, обеспечивающей шесть точек касания для плоской задачи. Прочность грунта при этом резко возрастает.

Однако и в таком состоянии грунт обладает способностью уплотняться при соответствующих нагрузках, поскольку даже при плотной укладке равновеликих шарообразных частиц объем пор достигает 26% [2].

При разрушении мерзлого грунта инструментом с углом резания $\alpha = 90^\circ$ в начальный момент происходит сжатие грунта на величину, соответствующую максимальной упругой и остаточной деформациям грунта для данных условий (температуре, влажности и т. д.). В результате произойдет перегруппировка твердых частиц грунта до более плотной упаковки за счет реализации пор. Деформация находящегося перед резцом объема грунта происходит под действием силы резания и силы трения на передней грани резца, которые пропорциональны механическим характеристикам горной породы. Сила трения препятствует перемещению формируемого элемента стружки вверх, а массив горной породы — его перемещению в стороны. В результате происходит объемное напряженное состояние элемента стружки с концентрацией касательных напряжений по плоскостям, проходящим по граням резца в направлении его движения.

Напряжения в формирующемся элементе стружки будут большими вблизи поверхности передней грани резца и на глубине, составляющей 0,75 от толщины стружки [3].

Дальнейшее увеличение силы резания вызовет в формирующемся элементе стружки предельно напряженное состояние прежде всего в зоне максимальных давлений, откуда и начнут развиваться трещины отделения основного элемента стружки. Вслед за распространением трещин

от зоны максимальных давлений в сторону дневной поверхности по плоскости, расположенной под углом φ (равным углу внутреннего трения грунта), и по боковым плоскостям максимальных касательных напряжений произойдет сдвиг основного элемента стружки.

В связи с тем, что сдвиг элемента стружки в плоскости резания происходит под углом к горизонту, перед резцом всегда имеется некоторый переменный объем грунта, и поэтому усилия резания, падая в момент отделения элемента стружки, никогда не достигают нуля. Дальнейшее продвижение резца вызывает ряд небольших сколов, увеличивает площадь контакта с грунтом, которая, кроме всего прочего, зависит от пластичности мерзлого грунта, и процесс резания повторяется в описанном выше порядке.

Происходящие при резании под углом $\alpha=90^\circ$ процессы свидетельствуют о том, что профиль борозды в своем поперечном сечении не должен иметь развала, и экспериментальные исследования это подтверждают.

При разрушении мерзлого грунта резцом-клином в момент его соприкосновения с грунтом происходит вдавливание острого штампа вблизи открытой поверхности. Усилия для этого требуются небольшие. Увеличение поверхности соприкосновения передней грани с грунтом происходит за счет уплотнения объема грунта, находящегося перед резцом-клином. По мере дальнейшего его продвижения уплотняется все больший объем и таким образом формируется элемент стружки. При этом усилия вдавливания возрастают. При продвижении резца в грунте ему, кроме сил сопротивления уплотнению, приходится преодолевать силы адгезии между перемещающимися частичками формируемого элемента стружки и остающимся в массиве грунтом.

Указанные процессы продолжаются до тех пор, пока деформируемый объем грунта не достигнет предельно напряженного состояния. Только после этого произойдет скол основного элемента стружки с реализацией поверхности наименьшего сопротивления. Эта поверхность зависит, помимо угла резания, и от плотности мерзлого грунта.

В том случае, когда плотность грунта невелика, а следовательно, и силы адгезии между частицами также невелики, происходит отделение элемента стружки аналогично отделению при резании резцом с углом, близким к 90° . При этом развала борозды не наблюдается. В мерзлом грунте сопротивления по плоскостям среза становятся большими по сравнению с сопротивлениями в направлении действия отрывающей силы. Резец-клин, действуя на распорную среду частиц, связанных льдом-цементом, вызывает в плоскости поперечного сечения реза вертикальные растягивающие нагрузки. При достижении предельно напряженного состояния образуется выкол элемента стружки в поперечном сечении, имеющем форму, приближающуюся к форме трапеции.

Экспериментальные исследования показывают, что при углах резания в пределах $90^\circ > \alpha > 60^\circ$ линия отделения основного элемента стружки проходит в плоскости резания под углом, примерно равным углу φ внутреннего трения. Однако усилия резания при этом резко отличаются [4]. Происходит это потому, что изменение угла α вызывает изменение значений нормальных и касательных составляющих сил резания. При действии резца с $\alpha=90^\circ$ на мерзлый грунт как распорную среду с углом $\varphi \approx 30^\circ$ составляющая силы резания, действующая по линии отделения элемента стружки, будет равна

$$P'_{90^\circ} = P_{90^\circ} \operatorname{tg} \varphi = 0,577 P_{90^\circ}.$$

При $\alpha=60^\circ$ усилие, расходуемое на отделение элемента стружки,

$$P'_{60^\circ} = P_{60^\circ} \sin \alpha \cos \varphi = 0,75 P_{60^\circ}.$$

Усилия, необходимые на образование двух одинаковых, вновь образованных площадей, в равных условиях разрушения должны быть равны между собой, т. е. $P'_{60^\circ} = P'_{90^\circ}$.

Тогда

$$P_{60^\circ} = 0,77 P_{90^\circ}.$$

Эксперименты показали, что усилия резания при $\alpha=60^\circ$ составляют 75% от усилий резания при $\alpha=90^\circ$ для глины, 77% для песка и 73% [5] для суглинка.

Т а б л и ц а

Угол резания, α , град	Усилие $P_{\text{п}}$ резания по плоской поверхности, кг	Усилие $P_{\text{с}}$ резания по свободной поверхности, кг	$P_{\text{п}} - P_{\text{с}}$, кг	$\frac{P_{\text{п}} - P_{\text{с}}}{P_{\text{с}}}$, %
Песок $t = -15^\circ\text{C}$				
90	73,4	40,0	33,4	83,4
60	55,2	30,8	22,4	79,3
45	47,8	28,3	19,5	69,0
30	41,7	23,2	18,5	79,7
Глина $t = -15^\circ\text{C}$				
90	158	73,4	84,6	115
60	119,8	55,2	64,6	117
45	103,7	50,8	52,9	104
30	88,8	42,4	46,4	109,5

При резании по свободной технологии с углом $\alpha=30^\circ \div 60^\circ$, как показывают экспериментальные данные, усилия резания изменяются пропорционально изменению площадей скола. Так, площадь скола при $\alpha=45^\circ$ составляет 70,8% от площади скола при $\alpha=90^\circ$, а усилия резания, по данным экспериментальных исследований, составляют 69,2% для мерзлой глины, 70,8% для мерзлого песка и 65% для суглинка [5] от усилий резания при $\alpha=90^\circ$. При угле резания $\alpha=30^\circ$ площадь скола составляет 57,8% от площади скола при $\alpha=90^\circ$; а усилия резания составляют 57,7% для глины, 58% для песка и 55% для суглинка [5] от усилий резания при $\alpha=90^\circ$.

При резании по плоской поверхности появляются боковые поверхности прорези. В тех случаях, когда не происходит развала прорези, искомая площадь может быть найдена из выражения

$$F_6 = \frac{0,5h^2}{\sin \alpha \cos \alpha}.$$

Боковые площади скола при $\alpha=30^\circ$, $\alpha=60^\circ$ и $\alpha=90^\circ$ равны между собой и составляют 115,5% от боковой площади при $\alpha=45^\circ$.

Усилия резания, идущие на образование одинаковых площадей прорези, изменяются пропорционально усилию резания при резании по свободной технологии (табл. 1). Так, для песка оно составляет в среднем 80,8%, а для глины 114%.

Сопоставление относительных величин усилия резания, идущих на образование боковых площадей прямоугольной прорези при $\alpha=45^\circ$, с

аналогичными величинами при других углах резания показывает, что рассматриваемые усилия изменяются примерно пропорционально изменению боковых площадей прорези. Так, для песка эти усилия составляют 117%, а для глины 109,5 от аналогичных усилий резания при $\alpha=45^\circ$.

При резании по плоской поверхности происходит развал площади поперечного сечения, но развал начинается не со дна прорези, а в нижней ее части. Объясняется это тем, что отрыв элемента стружки запаздывает от деформации вдавливания острого штампа и происходит уже после внедрения острия резца на некоторую величину.

Таким образом, угол резания определяет характер разрушения грунта. Если при $\alpha=90^\circ$ разрушение происходит в основном за счет деформаций сжатия и сдвига, то при меньших углах резания разрушение идет в результате развития деформаций сжатия и отрыва.

ЛИТЕРАТУРА

1. И. И. К а н д а у р о в. Механика зернистых сред и ее применение в строительстве. Издательство литературы по строительству. Л.-М., 1966.
 2. М. К. К а п п к о. Песчаные породы. Справочное руководство по петрографии осадочных пород, т. II. Л., 1958.
 3. А. Н. З е л е н и н. Резание грунтов. Изд. АН СССР, 1959.
 4. И. Г. Б а с о в, Ю. Н. Л у з г и н. О рациональном угле резания зубков землерезных машин. Изв. ТПИ. (Настоящий сборник).
 5. А. Н. З е л е н и н. Разрушение мерзлых грунтов резанием, ударом и вибрацией. ЦИНТИАМ. Сер. IV. М., 1962.
-