



для чугуна

$$P_z = \frac{\text{const}}{\varphi^{0,18}}. \quad (2)$$

Зорев, критикуя вышеизложенные выводы в первых своих работах, посвященных данному вопросу, считает, что данные, указывающие на наличие минимума на кривой  $P_z = f(\varphi)$ , получены в результате методических ошибок в постановке опытов. Зорев предполагает, что такой характер кривой действительно должен иметь место, если угол в плане меняется переточкой по главной задней грани без переточки передней грани, в результате чего с изменением  $\varphi$  изменяется угол резания, измеряемый в плоскости перпендикулярной к режущей кромке инструмента. При этом, он ссылается на исследования Розенберга А. М., который провел специальные опыты как с переточкой только по задней грани, так и с переточкой и по задней грани и по передней грани, т. е. с сохранением постоянного угла резания [9]. В первом случае Розенберг А. М. получил кривую  $P_z = f(\varphi)$ , имеющую минимум, а во втором случае он получил равномерное уменьшение силы резания при увеличении главного угла в плане.

В одной из последних своих работ [3] Зорев приходит к важному выводу, что определение влияния угла в плане на силу резания следует вести не для постоянной скорости резания, а для постоянной температуры контакта стружки и передней грани. При этом с увеличением угла в плане главная составляющая силы резания будет уменьшаться. Это уменьшение  $P_z$  Зорев объясняет уменьшением длины полоски контакта задней грани и поверхности резания, что ведет к уменьшению величины сил на задней грани, при неизменных силах на передней грани.

За последнее время в лаборатории резания металлов Томского политехнического института имени С. М. Кирова был проведен ряд исследований, в которых также рассматривался вопрос о влиянии главного угла в плане на силы резания. К ним относятся работа автора по исследованию процесса резания серого чугуна [10] и работа А. И. Промптова по исследованию динамики фрезерования сталей [11]. Так как до настоящего времени в литературе нет единого взгляда по данному вопросу, и в учебниках преподносятся ошибочные зависимости, мы считаем необходимым осветить этот вопрос на основе имеющихся у нас экспериментальных материалов, которые подтверждают правильность выводов Зорева.

Все наши выводы базируются на следующих положениях, выдвинутых и доказанных в ряде последних работ [12], [13], [14], [10], [11], [15] кафедры станков и резания металлов Томского политехнического института.

1. Силы резания, коэффициенты трения, геометрия нароста, угол сдвига, относительный сдвиг и удельные работы при резании металлов изменяются по кривым, характер которых, а следовательно, и протекание процесса резания металлов и сопутствующих ему явлений, определяются только температурой резания.

2. Методика определения влияния толщины и ширины среза, угла в плане, переднего угла резца и других параметров режима резания на силы резания при постоянной скорости резания неверна и приводит к грубым ошибкам. Единственно правильной является методика определения влияния этих величин на силы резания при постоянной температуре.

3. В процессе резания следует различать, в основном, две системы сил: 1) силы, расположенные на передней грани инструмента; 2) силы, расположенные на задней грани инструмента.

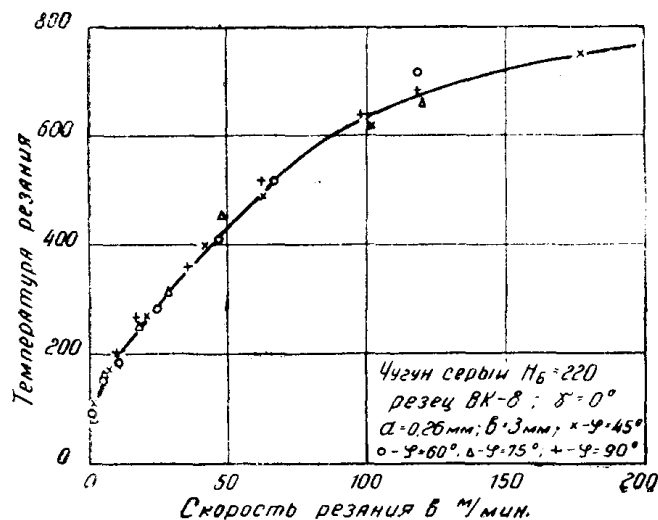
4. При постоянной температуре силы на передней грани инструмента прямо пропорциональны площади поперечного сечения стружки, а силы

на задней грани инструмента прямо пропорциональны ширине среза и не зависят от толщины среза.

При постоянных значениях глубины резания и подачи, изменение главного угла в плане изменяет форму поперечного сечения стружки. Уменьшение главного угла в плане уменьшает толщину среза и увеличивает ширину среза, а увеличение угла в плане приводит к обратным изменениям толщины и ширины среза. Казалось бы, если считать установленным, что изменение толщины среза приводит к изменению удельной силы резания, а изменение ширины среза на удельную силу резания не влияет (или, вернее, при несвободном резании влияет совершенно незначительно), то можно прийти к выводу, что при постоянной глубине резания и подаче с уменьшением главного угла в плане сила резания должна непрерывно увеличиваться, а с увеличением угла в плане, наоборот, уменьшаться и достигать наименьших значений при  $\varphi = 90^\circ$ .

Однако ряд экспериментальных работ, проведенных по выявлению влияния угла в плане на силы резания, показали, что эти простые соотношения между углом в плане и силой  $P_z$  не оправдываются. Так, Глебов [16], проанализировав все имевшиеся по этому вопросу исследования, пришел к выводу, что сила  $P_z$  и давление имеют наименьшее значение при главном угле в плане  $45^\circ$  при резании стали и  $60^\circ$  при резании чугуна, с изменением же угла в плане от этих значений в обе стороны сила  $P_z$  и давление повышаются. Это положение, как мы указывали выше, нашло свое отражение во многих исследовательских и научных работах. Такое отклонение результатов опытов от простых логических выводов авторы пытаются объяснить различными обстоятельствами, связанными с особенностями процесса несвободного резания. По нашему мнению несоответствие результатов опытов с логическими выводами, приведенными выше, является следствием того, что авторы не учитывали влияние температуры резания на силу резания и все опыты с различными углами в плане, которые должны были выявить зависимость силы резания от угла в плане, проводили при постоянной скорости резания.

Естественно, что изменение угла в плане при сохранении постоянной скорости резания, изменяя условия теплоотвода, сразу же изменяло температуру, что уже само по себе оказывало влияние на силу резания и искажало таким образом непосредственное влияние главного угла в плане.



Фиг. 1

ся и угол в плане не должен оказывать влияния на температуру резания. Это хорошо подтверждается фиг. 1, построенной по результатам наших опытов.

Как показали наши опыты, уменьшение угла в плане при постоянных значениях скорости резания, глубины резания и подачи приводит, вследствие увеличения ширины и уменьшения толщины среза, к улучшению теплоотвода от режущей кромки и к снижению температуры резания. С другой стороны, если, изменяя угол в плане, изменять в то же время глубину резания и подачу таким образом, чтобы толщина среза „ $a$ “ и ширина среза „ $b$ “ оставались неизменными, условие теплоотвода не будет изменяться.

Таким образом, можно прийти к выводу, что выявить влияние собственно угла в плане можно лишь в том случае, если опыты проводить при постоянной температуре. При этом должны подтвердиться те логические заключения, которые были сделаны нами ранее. Как показали наши исследования [10], при резании серого чугуна, так же как и при резании сталей, при сохранении постоянной температуры резания сохраняется постоянство коэффициентов трения между стружкой и резцом и между резцом и обработанной поверхностью. При этом, сила на передней грани резца будет прямо пропорциональна толщине и ширине среза, а сила на задней грани прямо пропорциональна ширине среза:

$$P_{\text{передн. гр}} = A_1 ab = A_1 s t, \quad (3)$$

$$P_{\text{задн. гр}} = K_1 b = K_1 \frac{t}{\sin \varphi}, \quad (4)$$

$$P_z = P_{\text{передн. гр}} + P_{\text{задн. гр}} = A_1 s t + K_1 \frac{t}{\sin \varphi} = t \left( A_1 s + \frac{K_1}{\sin \varphi} \right) \quad (5)$$

или

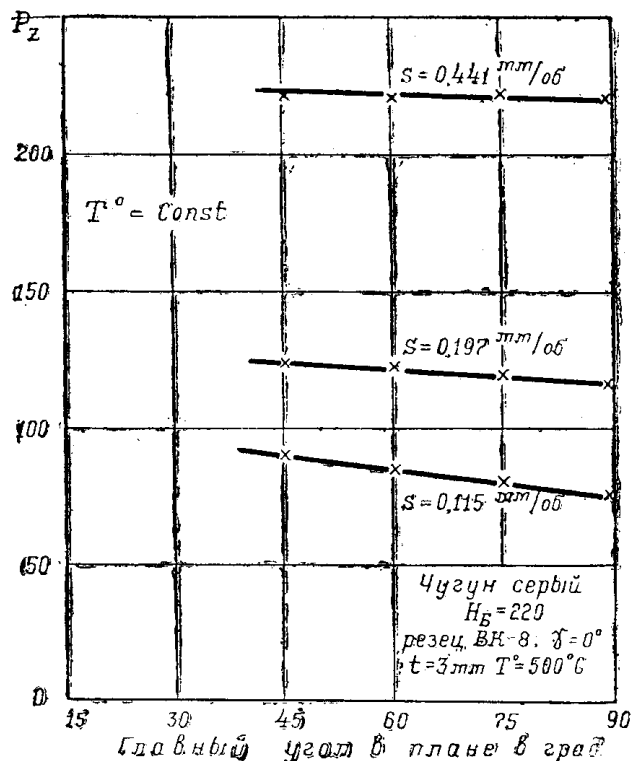
$$P_z = A_1 ab + K_1 b = b(A_1 a + K_1). \quad (6)$$

Как показали опыты, коэффициенты  $A_1$  и  $K_1$  постоянны при постоянной температуре резания.

Эти простые и имеющие физический смысл выражения показывают что при постоянных глубине резания и подаче и при условиях сохранения постоянной температуры на передней грани сила  $P_z$  с увеличением угла в плане  $\varphi$  должна монотонно уменьшаться, причем, это уменьшение должно быть тем менее значительным, чем менее заметны силы на задней грани в сравнении с силами на передней грани, то-есть, чем больше подача.

Фиг. 2, представляющая результаты наших опытов, полностью это подтверждает. Она показывает для малой подачи совершенно отчетливое увеличение  $P_z$  с уменьшением угла в плане от  $90$  до  $45^\circ$  (то есть как раз в том пределе углов в плане, в котором многие исследователи получили уменьшение силы с уменьшением угла в плане). Для крупных подач влияние угла в плане становится мало заметным, что также подтверждает правильность наших соображений.

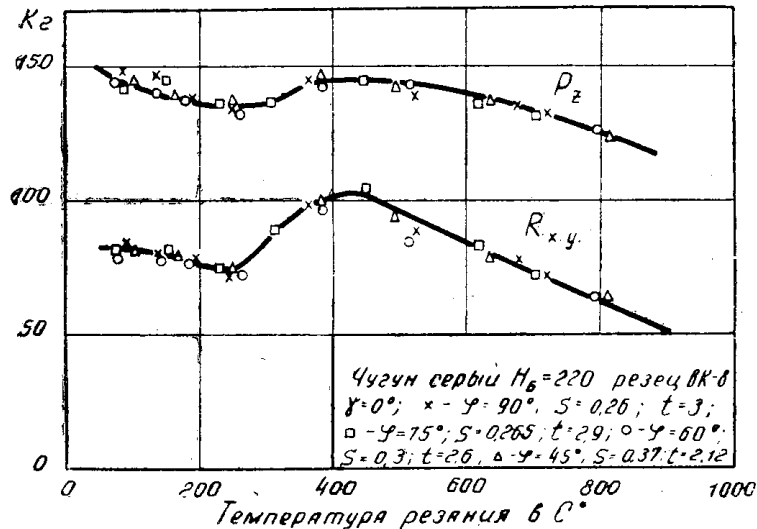
Если при изменении угла в плане сохранять постоянными не глубину резания и подачу, а ширину „ $b$ “ и толщину „ $a$ “ среза, то при режимах постоянной температуры угол в плане не должен влиять на силу  $P_z$ , потому что, при этом, силы на задней грани, пропорциональные ши-



Фиг. 2

рине среза, будут оставаться постоянными. Об этом говорит и уравнение (6), где угол в плане не получил своего отражения.

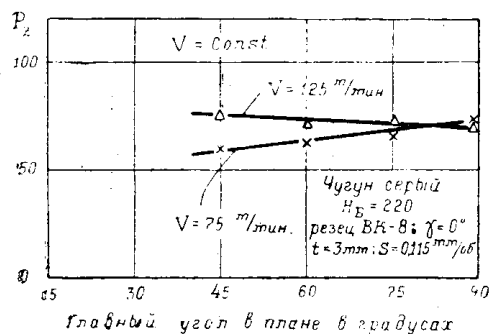
На фиг. 3 приведены результаты экспериментального доказательства этого положения. Опыты были проведены нами с такими значениями глубины резания и подачи, чтобы при различных углах в плане сохранились постоянными ширина среза  $b=3$  мм и толщина среза  $a=0,26$  мм.



Фиг. 3

Как показывает фиг. 3, при этих условиях угол в плане не оказывает никакого влияния на силу  $P_z$ . Фиг. 3 также показывает, что при этих условиях и сила  $R_{x,y}$ , являющаяся равнодействующей в горизонтальной плоскости, не зависит от угла в плане, что является следствием тех же положений.

Интересно отметить тот факт, что если построить по тем же опытным данным зависимость  $P_z = f(\varphi)$  при постоянной скорости резания, то, как показывает фиг. 4, при скорости резания  $V=75$  м/мин с увеличением



Фиг. 4

угла в плане от 45 до 90° сила  $P_z$  будет расти, а при скорости  $V=125$  м/мин, при том же изменении угла в плане сила  $P_z$  будет уменьшаться. Фиг. 4 наглядно доказывает ошибочность методики определения влияния главного угла в плане на силы резания при постоянной скорости резания, так как при этом можно получить противоречивые результаты.

Вопрос влияния углов в плане на составляющие  $P_x$  и  $P_y$  был освещен нами ранее [17], поэтому в данной работе мы на нем не останавливаемся.

К аналогичным выводам по вопросу влияния главного угла в плане на силы резания пришел и А. И. Промптов, исследуя динамику скоростного фрезерования сталей торцевыми фрезами [11]. В своей работе Промптов получил, что изменение главного угла в плане не отражается на величине окружной силы, приложенной к передней грани, вследствие того, как он указывает, что она при постоянной температуре резания и усадке стружки не зависит от соотношения между толщиной и шириной

среза, а определяется только площадью поперечного сечения среза, на величину которой главный угол в плане не оказывает влияния.

Таким образом, на основании исследований, проведенных в лаборатории резания металлов Томского политехнического института, можно сделать следующие выводы:

1. Как при резании сталей, так и при резании серого чугуна при условии постоянной температуры (это условие соответствует постоянству стойкости и поэтому представляет собой интерес для производства) с увеличением угла в плане сила  $P_z$  уменьшается. Уменьшение это тем меньше, чем больше подача и при полустойковых и обдирочных подачах столь незначительно, что может не приниматься во внимание.

2. Причиной неправильной оценки влияния угла в плане  $\varphi$  на силу  $P_z$  другими исследователями явилось то обстоятельство, что не учитывалось влияние температуры на силу  $P_z$  и все опыты проводились при постоянной скорости резания.

3. Единственно правильной является методика определения влияния главного угла в плане на силы резания при постоянной температуре.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Зорев Н. Н. Динамика главной составляющей силы резания. Диссертация. Томск. 1943.
2. Зорев Н. Н. Главная сила резания и новая методика ее расчета. Сборник ЦНИИТМАШ. Новые исследования в области резания металлов. Машгиз. 1948.
3. Зорев Н. Н. Исследование элементов механики процесса резания. Машгиз. 1952.
4. Кривоухов В. А. Резание металлов. Машгиз. 1938.
5. Клушин М. И. Резание металлов. Машгиз. 1953.
6. Даниелян А. М. Резание металлов и инструмент. Машгиз. 1950.
7. Аршинов В. А. и Алексеев Г. А. Резание металлов. Машгиз. 1953.
8. Грановский Г. И., Грудов П. П., Кривоухов В. А., Ларин М. Н., Малкин А. Я. Резание металлов. Машгиз. 1954.
9. Розенберг А. М. Динамика фрезерования. Советская наука. 1945.
10. Розенберг Ю. А. Исследование процесса резания серого чугуна. Диссертация. Томск. 1952.
11. Промптов А. И. Динамика скоростного фрезерования сталей торцевыми фрезами. Диссертация. Томск. 1954.
12. Еремин А. Н. Физическая сущность явлений при резании стали. Машгиз. 1951.
13. Зимин Ю. П. Исследование процесса высокоскоростного резания сталей. Диссертация. Томск. 1948.
14. Розенберг А. М. и Еремин А. Н. К теории процесса резания „Станки и инструмент“, № 10, 1949.
15. Хворостухин Л. А. Расчет сил при скоростном резании на основе физико-механических характеристик металлов. Диссертация г. Томск. 1953.
16. Глебов С. Ф. Теория невыгоднейшего резания металлов. Госмашметиздат. 1933.
17. Розенберг А. М. и Розенберг Ю. А. Уравнение силы при резании хрупкого металла (чугуна). Известия Томского ордена Трудового Красного Знамени политехнического института имени С. М. Кирова. Том 75. 1954.