

621.95
С 16

2003

Д Е П

Е. Д. САЛОМОНОВИЧ

**СВЕРЛЕНИЕ
МАЛЫХ ОТВЕРСТИЙ**

НКАП СССР
ОБОРОНГИЗ
1943

ОПЕЧАТКИ

Стр.	Строка	Напечатано	Должно быть	По чьей вине
61	В графе „Примечание“ 4-я сверху	$(T_0 + 10):T_0$	$T(T_0 + 10):T_0$	авт.
61	В 1-й графе 2-я снизу	3 — 36	43 — 36	тип.

С. Д. Саломонович, Сверление малых отверстий

Е. Д. СЛОМОНОВИЧ

СВЕРЛЕНИЕ МАЛЫХ ОТВЕРСТИЙ

(ДИАМЕТРОМ 0,25—1 мм)

РЕСПУБЛИКАНСКАЯ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ
БИБЛИОТЕКА

Н К А П С С С Р
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО ОБОРОННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ
Москва 1943

Книга посвящена вопросам сверления сверлами диаметром от 0,25 до 1 мм. Материал основан на исследованиях, при которых было выполнено около 1000 опытов и просверлено до 60 000 отверстий. Рассмотрены динамические зависимости и зависимость стойкости перовых сверл от различных факторов. Описан оптимальный режим термообработки сверл и указаны наиболее выгодные геометрические формы сверл. Приведены данные для выбора перовых сверл в соответствии с диаметром заданного отверстия и обрабатываемым материалом, а также нормативы для работы перовыми сверлами.

Книга предназначена для инженерно-технического состава заводов точного машиностроения и приборостроения, для научно-исследовательских институтов, а также будет полезна преподавателям и студентам вузов.

ВВЕДЕНИЕ

Одно из первых мест в общем расходе мелкого режущего инструмента занимает расход сверл для обработки малых отверстий, в частности весьма широко применяют перовые сверла для сверления отверстий диаметром менее 1 мм.

Условия резания таким инструментом до сих пор не были исследованы. Между тем, не зная законов резания, нельзя достаточно эффективно и правильно использовать инструмент и оборудование и создать нормативы, на основе которых можно проектировать и осуществлять технологический процесс.

В советской и иностранной технической литературе опубликовано большое число исследований, равносторонне освещающих обработку металлов сверлением.

Значительная часть этих работ посвящена исследованиям изменения величины осевого усилия и крутящего момента от ряда факторов [1—5 и др.]¹. В работе проф. В. А. Кривоухова [4] приведен интересный теоретический расчет зависимости осевого усилия и крутящего момента от величины подачи и диаметра сверла. Куррейн [6] рассматривает картину фактического распределения удельного давления на лезвии сверла при сверлении.

В другой группе работ освещено влияние отдельных элементов режущей части сверла (угла при вершине, толщины перемычки, угла подъема спирали) на его производительность, величины крутящего момента и осевого усилия [7—9, 4, 2 и др.]. К этой группе следует отнести также работы, в которых рассмотрен выбор величины подачи в зависимости от прочности сверла и прочности сверлильного станка [10].

Наибольший интерес для решения вопроса об условиях сверления представляют, несомненно, работы, посвященные исследованиям стойкостных зависимостей.

Работы Рататца и Крекелера [11, 12], Шлезингера [24], Паткай [13], исследования проф. В. А. Кривоухова [4], Исаева и Шаронова [3], теоретические расчеты Клокова [14], рассмат-

¹ Цифры в квадратных скобках [] означают ссылки на литературу (см. в конце книги).

ривающего влияние различных факторов на скорость резания при сверлении, дают законченную методику для установления зависимости стойкости сверла от скорости резания при определенных условиях обработки. Эти стойкостные зависимости основаны на выбранном критерии затупления сверла. В качестве критерия затупления принимают обычно определенную величину износа режущих частей сверла, мгновенное нарастание усилия подачи и крутящего момента, отказ сверла от дальнейшей работы, иногда появление характерного звука, вызванного затуплением сверла.

Однако эти исследования в основном относятся к условиям работы со сверлами большого диаметра — от 10 до 70 мм. В отдельных исследованиях описаны условия работы со сверлами диаметром 8—25 мм [1, 15], диаметром 10—30 мм [7], диаметром 7—16 мм [4]. Работу сверлами диаметром 3,175 мм ($\frac{1}{8}$ дюйма) и 12,7 мм ($\frac{1}{2}$ дюйма) описали Бостон и Джильберт [2]. Канд. техн. наук А. М. Каратыгин [16] исследовал условия работы сверлами диаметром от 4 до 11,5 мм. Л. Б. Медынский [17] рассматривает применение сверл диаметром от 1 до 6 мм. Во втором издании нормативов Комиссии по резанию металлов НКТМ и Гипромаш. [20] приведены указания по работе сверлами диаметром от 1 до 5 мм, но эти данные получены путем экстраполяции.

Таким образом, как уже было указано, никаких данных об условиях работы сверлами диаметром менее 1 мм в литературе не приведено. Не опубликовано также ни одного отчета об экспериментальных работах с такими сверлами. Нельзя считать отчетом небольшую заметку Смиса [19] о том, что „при изготовлении соцел дизельных двигателей сверлят отверстия диаметром 0,01 дюйма (0,254 мм), тот же метод применяют при сверлении отверстий диаметром от 0,005 до 0,0145 дюйма; сверло совершает при этом от 5800 до 11500 оборотов в минуту; конец сверла смазывают скипидаром“.

В литературе можно встретить только единичные указания о конструкции сверлильных быстроходных станков, применяемых при сверлении мельчайших отверстий [20, 21].

Настоящая работа представляет собой первую попытку систематического изложения условий сверления отверстий диаметром менее 1 мм.

Работа основана на обобщении результатов экспериментальных исследований по сверлению перовыми сверлами диаметром от 0,25 до 1,00 мм, изготовленными из углеродистой стали У10А, сквозных отверстий в пластинках из стали У7А и латуни по Вест 2/1 (данная марка латуни в основном соответствует латуни 64/2 по ОСТ/ЦМ 115-40, утвержденному 10 февраля 1940 г.).

Эти условия применения мелких сверл наиболее типичны для заводов точного машиностроения и приборостроения, в частности для часовых заводов.

Исследования были проведены в виде ряда последовательных серий опытов.

При выполнении первой серии опытов подобрали оптимальный режим термообработки сверл, испытывая сверла с геометрической формой режущей части, обычно применяемой в заводской практике. Стальные пластинки из стали У7А сверлили сверлами различного диаметра, при разных скоростях резания и осевых нагрузках.

В результате выполнения второй серии опытов выявили оптимальную геометрическую форму режущей части сверла, причем испытывали только сверла, обработанные термически по режиму, установленному при первой серии опытов. Испытанию подвергали сверла различного диаметра, при разных скоростях резания и осевых нагрузках. Отверстия сверлили в пластинках из стали У7А и латуни по Вест 2/1.

Третья серия опытов была посвящена динамическим, а четвертая стойкостным испытаниям сверл, обладавших оптимальной геометрической формой режущей части согласно результатам второй серии опытов и подвергнутых оптимальному режиму термообработки. Результаты третьей серии опытов использовали в процессе определения стойкостных зависимостей.

При всех этих опытах сверление производили всухую. При контрольных опытах концы сверл смазывали веретенным маслом.

Наконец, в результате пятой серии опытов получили материалы, позволяющие определить влияние ряда факторов на величину разбивки отверстия при сверлении.

Всего провели около 1000 опытов и просверлили до 60 000 отверстий.

1. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ И УСЛОВИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Изучение применения на заводах перовых сверл диаметром до 1 мм для выполнения отверстий в деталях часовых механизмов дало возможность составить таблицу осредненных, наиболее часто встречающихся размеров отверстий диаметром до 1 мм (табл. 1).

Таблица 1
Номинальные размеры отверстий

Глубина отвер- стия, мм	Диаметр отверстия, мм				
	0,25	0,4	0,6	0,8	1
	Отношение глубины отверстия к диаметру				
0,6	2,4	1,50	1,00	—	—
1,0	4,0	2,50	1,67	1,25	1,0
1,5	6,0	3,50	2,50	1,88	1,5
2,0	—	5,00	3,34	2,50	2,0
2,5	—	6,25	4,18	3,12	2,5
3,0	—	—	5,00	3,75	3,0

Из этой таблицы видно, что наиболее типичным отношением глубины к диаметру отверстия является 2,5 при среднем диаметре отверстия $d=0,6$ мм.

Исследование проводили с перовыми сверлами номинальным диаметром 0,25; 0,4; 0,6; 0,8 и 1 мм (фиг. 1). Сквозные отверстия сверлили в пластинках толщиной, равной 2,5 диаметра сверла.

В точном машиностроении и приборостроении сверление отверстий по технологическому процессу изготовления детали является предварительной, черновой операцией. В соответствии с этим точность отверстия (допуск) не должна превышать 0,02 — 0,03 мм. После сверления, как правило, следует обычно чистовая отделка отверстия развертыванием, репассажом (калибрование стальным стержнем) и др. Особых требований к качеству поверхности отверстия после сверления не предъявляется.

В точном машиностроении сверлами диаметром менее 1 мм в подавляющем большинстве случаев работу выполняют при ручной подаче.

Во всех перечисленных выше исследованиях рассмотрены условия работы спиральными сверлами при автоматической, принудительной подаче. Поэтому выводы опубликованных исследований нельзя использовать для определения условий выполнения отверстий сверлами диаметром менее 1 мм.

Единственное исключение представляет метод Кип-Лоренца [22, 23], при котором мерой производительности инструмента служит глубина сверления на 100 оборотов сверла при постоянной нагрузке. Этот метод применяли Бауэр, Кесснер [25], Гуттман [26], Мелле [27].

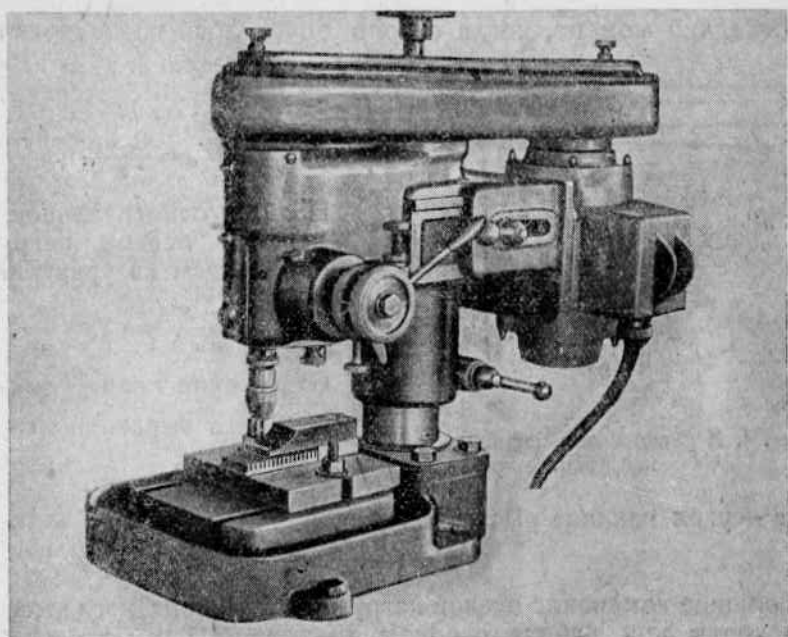
Метод Кип-Лоренца представляет интерес в том отношении, что постоянная осевая нагрузка на сверло имитирует условия сверления при ручной подаче. Основным недостатком этого метода является то, что при нем не учитывают скорости резания и неизбежного постепенного износа и притупления режущей кромки сверла в процессе сверления.

Для того чтобы обеспечить неизменность условий ручной подачи, опыты с перовыми сверлами производили при постоянной осевой нагрузке на сверло, подвешивая груз на рычаг подачи механизма станка.

Экспериментальные работы выполняли на быстроходном прецизионном сверлильном станке Вебо с приводом от мотора мощностью 0,22 квт (фиг. 2) и ручной подачей. Движение от оси мотора передается на шпиндель станка плоским ремнем. Число

оборотов шпинделя в минуту 3000, 4500, 6500, 9000, 13 000 и 18 000. Числа оборотов изменяют, заменяя шкивы.

Передача осевой нагрузки на сверло показана на фиг. 3. На постоянном плече рычага, приводящего в движение реечную шестерню и сцепленную с ней зубчатую рейку шпинделя станка,



Фиг. 2. Быстроходный прецизионный сверлильный станок.

подвешивают груз. Соотношение плеч рычага позволяет рассчитать фактическое давление по оси сверла, которое в 5,18 раза больше веса груза на рычаге.

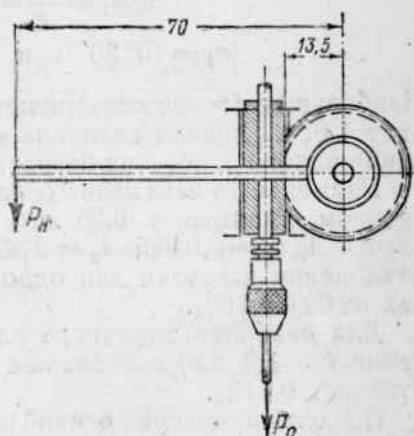
Осевая нагрузка на сверло

$$P_o = \frac{P_n \cdot 70}{13,5} = 5,18 P_n,$$

где P_n — нагрузка на рычаг.

Механизм подачи снабжен стопорным винтом, которым можно регулировать глубину сверления (опускание шпинделя).

В процессе сверления точка приложения груза к рычагу опускается. Тем самым постепенно изменяется фактическое соотношение длин рычагов и нарушается постоянство осевой нагрузки.



Фиг. 3. Схема ручной подачи с постоянной нагрузкой.

Проверим пределы изменения осевой нагрузки, происходящего в процессе сверления.

В первый момент сверления нагрузка на сверло составляет (фиг. 4)

$$P_o = \frac{P_H a}{b}$$

В последний момент, когда сверло опустилось на полную глубину сверления h , нагрузка на сверло составляет

$$P'_o = \frac{P_H a_1}{b}$$

Полное относительное изменение осевой нагрузки определяем из уравнения

$$\frac{P_o - P'_o}{P_o} = 1 - \frac{a_1}{a}$$

Отношение плеч $\frac{a_1}{a}$ можно заменить выражением

$$\frac{a_1}{a} = \cos \alpha$$

Фиг. 4. К расчету изменений осевой нагрузки.

где α — угол наклона рычага подачи.

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{h}{b}$$

Наибольшее изменение осевой нагрузки в условиях исследования происходит при работе сверлом диаметром 1 мм на глубине 2,5 мм:

$$\operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{h}{b} = \frac{2,5}{13,0} = 0,1851;$$

$$\alpha_1 = 10^\circ 30' \quad \text{и} \quad \cos \alpha_1 = 0,9833.$$

Наибольшее (возможное) изменение нагрузки на сверло составляет 1,67%, причем величина этого изменения в процессе сверления одного отверстия возрастает от нуля до 1,67% постепенно.

Наименьшее изменение осевой нагрузки возможно при работе сверлом диаметром 0,25 мм на глубине 0,625 мм. Для этого случая $\operatorname{tg} \alpha_2 = 0,0462$; $\alpha_2 = 2^\circ 39'$ и $\cos \alpha_2 = 0,9989$. Наименьшее отклонение нагрузки для одного отверстия возможно в пределах от 0 до 0,11%.

Для наиболее типичного случая ($d = 0,6$ мм и глубина сверления $h = 1,5$ мм) наибольшее изменение осевой нагрузки составляет 0,61%.

Пределы изменений осевой нагрузки настолько незначительны, что можно ими пренебречь и практически считать нагрузку на сверло постоянной.

В табл. 2 приведены величины осевой нагрузки на сверло (осевое давление) при заданной нагрузке на рычаг подачи.

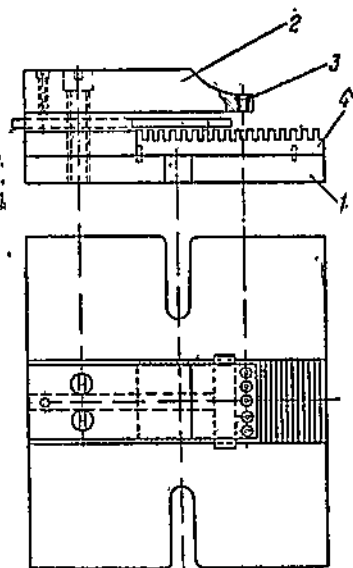
Таблица 2

Соотношение груза на рычаге и осевой нагрузки (осевое давление) на сверло

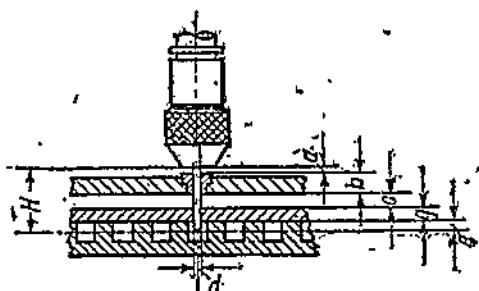
Груз на рычаге P_H , кг	0,1	0,2	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5	0,6	0,7
Осевое давление на сверло P_O , кг	0,52	1,04	1,56	1,81	2,07	2,33	2,59	3,11	3,63
Груз на рычаге P_H , кг	0,75	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
Осевое давление на сверло P_O , кг	3,88	4,14	4,66	5,18	5,70	6,22	6,73	7,25	7,77

Все экспериментальные работы по сверлению отверстий выполняли при помощи специального кондуктора (фиг. 5). Нижнюю часть кондуктора крепят к столу сверлильного станка; над нижней плитой 1 закреплена верхняя направляющая плита 2 с пятью запрессованными в нее стальными закаленными втулками 3. Диаметры этих втулок соответствуют диаметрам сверл (от 0,25 до 1 мм). Длина втулок 2,7 мм.

Для того чтобы сохранить достаточное расстояние между нижним



Фиг. 5. Кондуктор для сверления в собранном виде.



Фиг. 6. Схема крепления сверла в патроне шпинделя станка.

краем втулки и верхним краем обрабатываемого материала, на нижней плите кондуктора помещали сменные опорные пластинки 4 разной толщины. В пластинках сделаны продольные прорезы для выхода сверла. Опорные пластинки сменяли в случае изменения толщины обрабатываемого материала.

Схема крепления сверла в патроне сверлильного станка при сверлении в кондукторе показана на фиг. 6 (см. табл. 3). Во всех случаях длину свободного конца сверла данного диаметра при креплении его в зажимном патроне шпинделя станка сохраняли постоянной.

Таблица 3
Крепление сверла в патроне шпинделя станка
(фиг. 6)

Диаметр сверла d , мм		1,00	0,80	0,60	0,40	0,25
Размеры в мм	a	3,0	2,4	2,3	2,0	2,0
	b	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70
	c	2,70	1,70	1,50	1,50	1,37
	d	2,50	2,00	1,50	1,00	0,63
	e	1,5	1,5	1,5	1,2	0,1
	H	12,4	10,3	9,5	8,4	7,4

Опыты по сверлению отверстий производили на холоднокатанной листовой стали У7А и листовой латуни по Вест 2/1. Все пластинки для сверления изготовили из одной бухты каждого материала, что обеспечило однородность пластинок. Для того чтобы получить ленты различной толщины, исходные материалы соответственно прокатывали.

При всех экспериментах отношение глубины отверстия к диаметру составляло 2,5. Поэтому в соответствии с диаметрами сверл заготовили пластинки толщиной:

Диаметр сверла, мм	1,0	0,8	0,6	0,4	0,25
Толщина пластинки, мм	2,5	2,0	1,5	1,0	0,63

Стальную ленту перед прокатыванием отжигали при 700—720°, выдерживая в печи 4 часа, затем охлаждали вместе с печью. Незначительный слой окалины удаляли травлением в соляной кислоте, после чего ленту промывали в подогретой щелочи и сушили в древесных опилках. Материал прокатывали в холодном состоянии на прокатном станке. Обжатие за один проход составляло от 0,03 до 0,05 мм.

Для того чтобы облегчить прокатывание, материал подвергали промежуточным отжигам, число которых зависело от толщины стальной ленты:

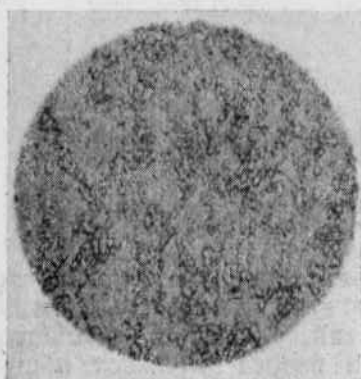
Толщина стальной ленты, мм	2,0	1,5	1,0	0,63
Число промежуточных отжигов	1	1	2	2

По окончании прокатывания ленты отжигали еще раз.

Заготовленные стальные пластинки подвергали испытаниям для определения химического состава и механических свойств. Отобранные образцы имели следующий химический состав: 0,66% С; 0,24% Мп; 0,24% Si; 0,025% Р; 0,024% S; остальное Fe. Временное сопротивление (крепость) образцов составляло $\sigma_b = 47,8—50,9$ кг/мм², относительное удлинение $\delta = 25,5—32,5\%$. Твердость образцов находилась в пределах $R_B = 75—84$ ($H_B = 138—161$ кг/мм²). Исследование микроструктуры образцов показало, что она представляет собой зернистый перлит (фиг. 7).

Образцы подвергали травлению 3%-ным раствором азотной кислоты в спирте.

Латунную ленту перед прокатыванием отжигали при 560 — 600° с выдержкой в печи до полного прогрева и последующим быстрым охлаждением в воде. Окалину удаляли травлением в растворе серной и азотной кислоты (1:1), после чего ленту тщательно промывали в холодной воде и затем окончательно промывали в подогретой щелочи. Обжатие за один проход составляло от 0,05 до 0,08 мм. Как правило, обжатие всех лент выдерживали в пределах 48 — 50%. Для получения пластинок толщиной 1 и 0,63 мм производили промежуточный отжиг лент по указанному выше режиму. Вслед за последним отжигом обжатие производили с таким расчетом, чтобы механические свойства пластинок соответствовали свойствам материала, применяемого на производстве.



Фиг. 7. Микрошлиф образца стальной пластинки У7А. Увеличено в 800 раз.



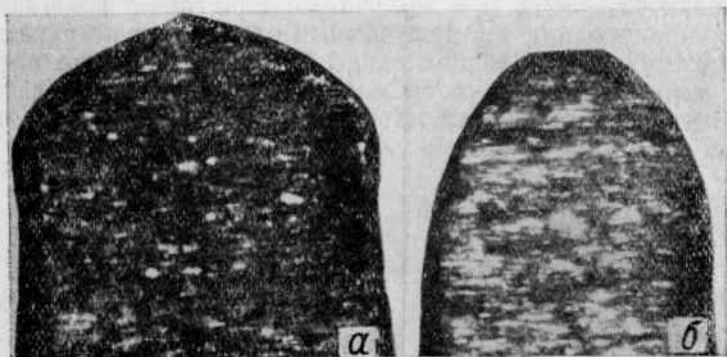
Фиг. 8. Микрошлиф образца пластинки из латуни по Вест2/1. Увеличено в 800 раз.

Латунные образцы имели следующий химический состав: 64,4% Cu; 33,51% Zn; 1,73% Pb. Временное сопротивление (крепость) составляло $\sigma_b = 55,7 - 57,0 \text{ кг/мм}^2$, относительное удлинение $\delta = 4,3 - 4,8\%$. Твердость образцов находилась в пределах $R_B = 83 - 87$ ($H_B = 158 - 174 \text{ кг/мм}^2$). Исследование микроструктуры показало, что образцы имели раздробленные (вытянутые) зерна α -фазы (фиг. 8).

При всех исследованиях сверление проводили до полного износа сверла после первой его заточки. Обычно момент полного износа совпадает с поломкой сверла. Этот критерий вполне соответствует практике заводов, согласно которой перовые сверла диаметром 1 мм и менее никогда не перетачивают, а срабатывают до полного износа после первой же заточки и установки в патроне.

Требования в отношении точности и чистоты поверхности отверстия не препятствуют применению указанного критерия

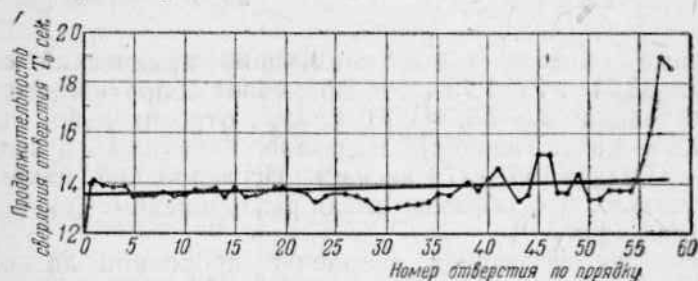
затупления. Переточка перовых сверл малого размера не рентабельна. Стоимость их материала составляет не более 4—8% себестоимости сверла. Повторная переточка сверла связана с дополнительной термообработкой, перешлифовкой и заточкой, причем приходится обращать особое внимание на установку сверла в приспособлении для заточки, чтобы сохранить соосность нерабочей и режущей частей сверла, и это сильно удорожает себестоимость переточки.



Фиг. 9. Сверла, полностью износившиеся при сверлении:
а — сверло диаметром 1 мм ($T_{\text{маш.}} = 0,22$ мин.); б — сверло диаметром 0,6 мм ($T_{\text{маш.}} = 52,5$ мин.). Увеличено в 70 раз.

Мерилом производительности сверла было принято при постоянном отношении глубины отверстия к его диаметру, равном 2,5, общее число просверленных отверстий. Суммарное машинное время работы сверла до полного его износа выражает общую стойкость сверла.

На фиг. 9, а и б изображены два сверла, полностью износившиеся при сверлении.



Фиг. 10. Изменение машинного времени сверления одного отверстия в зависимости от числа отверстий, просверленных одним сверлом.

Последовательное хронометрирование продолжительности сверления каждого отверстия, от первого до последнего, из числа выполненных одним сверлом, дает возможность построить график изменения затрат машинного времени на одно отверстие в зависимости от числа просверленных отверстий (фиг. 10). По

Запись экспериментальных данных

Протокол исследования сверления леровыми сверлами малого диаметра										Материал пластин сталь У7А		Толщина пластины 2 мм		Материал сверл сталь У10А		Подпись		Дата 27/VI 1939 г.		Серия IV № 320						
№ сверла	Термообра- ботка	Геометрическая форма сверла				Режим обра- ботки			№ отверстия и время сверления в секундах										Число отвер- стий	Т _{ср. сек.}	Т _{общ. мин.}	L _{общ. мм}	Ср. п. об.			
		d свер- ла, мм	∠ °	∠ °	b мм	d b	n об/мин	v м/мин	P _{конт.} кгс	P _{факт.} кгс	1	2	3	4	5	6	7	8						9	10	
701	В	0,821	120°03'	17°43'	0,20	0,24445	11,6	0,5	2,59	23,6	25,2	25,0	25,0	25,0	25,0	25,4	25,2	—	106	27,248,0	212	1,1				
										25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,4	—								
										25,2	25,4	25,8	26,0	24,8	—	—	—	—								
										25,4	25,4	25,2	26,0	25,2	—	—	—	—								
										26,0	26,0	25,4	26,2	26,0	—	—	—	—								
										27,8	28,4	35,0	30,2	32,8	—	—	—	—								
										31,8	30,2	40,6	38,0	34,2	—	—	—	—								
										26,6	29,6	27,0	28,0	31,6	—	—	—	—								
										27,4	35,6	38,0	25,2	38,8	—	—	—	—								
										29,0	50,8	26,8	29,0	39,0	—	—	—	—								
										36,8	57,2	70,8	Сломалось													

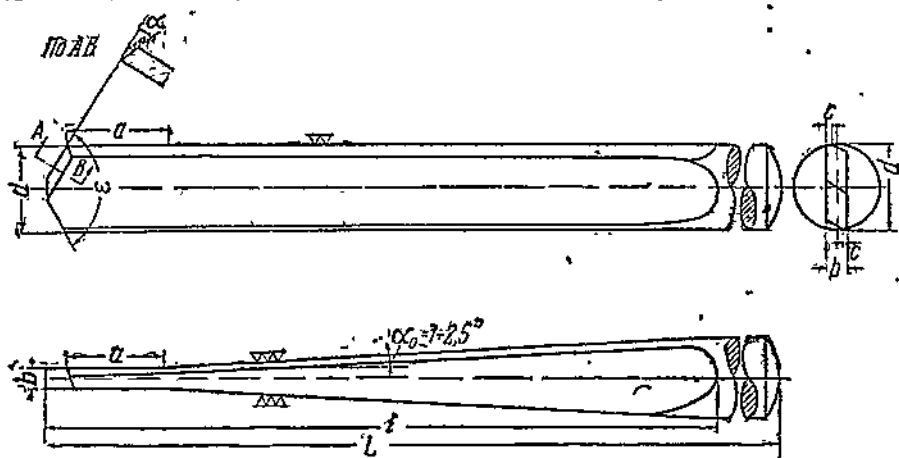
мере увеличения износа и затупления сверла продолжительность сверления отверстия возрастает. Резкий скачок машинного времени совпадает с моментом отказа сверла от дальнейшей работы и служит дополнительным критерием затупления.

Порядок записи экспериментальных данных, в том числе данных хронометража, виден на табл. 4.

2. ПЕРОВОЕ СВЕРЛО И ОСНОВНЫЕ УСЛОВИЯ ЕГО ИЗГОТОВЛЕНИЯ

Конструкция, материал и изготовление перовых сверл

Конструкция перового сверла диаметром от 0,25 до 1 мм (фиг. 11, табл. 5) выполнена по заводским нормам.



Фиг. 11. Перовые сверла диаметром менее 1 мм.

Таблица 5
Размеры перовых сверл диаметром от 0,25 до 1 мм (фиг. 11)

Размеры сверла в мм	d	0,25	0,4	0,6	0,8	1,0
L		20	20	25	25	25
l		5	6	8	8	8
c		—	—	0,05	0,07	0,1

Общая длина сверла от 20 до 25 мм, длина рабочей части от 5 до 8 мм. На длине рабочей части цилиндрическому телу сверла придают шлифованием форму плоской лопаточки, толщина которой зависит от диаметра сверла. Конец сверла заостряют под углом φ . Каждую из двух режущих кромок затачивают под углом α (задний угол). Сверла диаметром свыше

0,6 мм имеют продольные фаски шириной до 0,1 мм. Рабочий конец сверла имеет направляющую цилиндрическую часть *a* длиной 1—2 мм, а оставшая рабочая часть сверла — небольшой обратный конус (1:200).

Все перовые сверла изготовили из одной бухты (мотки) стальной проволоки диаметром 1 мм марки У10А завода „Красный гвоздильщик“. Этим была обеспечена однородность материала сверл, которые применяли при исследовании. Проволока имела следующий химический состав: 1,04% С; 0,23% Мп; 0,31% Si; 0,027% Р; 0,022% S; остальное Fe. Временное сопротивление (крепость) составляла $\sigma_b = 149—154$ кг/мм², относительное удлинение $\delta = 4—5\%$. Микроструктура проволоки — зернистый перлит (фиг. 12).

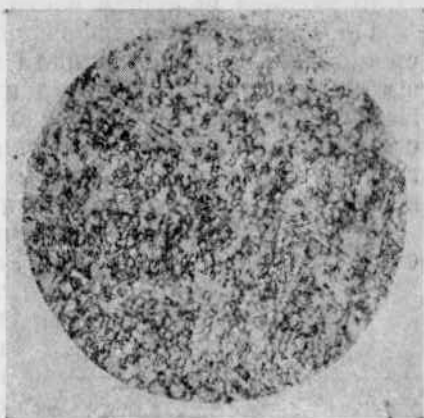
Заготовки для сверл диаметром менее 1 мм выполняли протягиванием проволоки до необходимого диаметра в холодном состоянии через фильеры (с переходами через 0,02 мм). Протягивание производили на токарном станке, специально приспособленном для этой цели.

Перед протягиванием проволоку отжигали в смеси древесного угля с содой при 680—720° с выдержкой в течение 5 часов и последующим охлаждением вместе с печью. По мере возрастания трудности протягивания, т. е. увеличения наклепа, материал подвергали промежуточным отжигам по указанному режиму. Число промежуточных отжигов зависело от диаметра заготовки:

Диаметр заготовки, мм	1,0	0,8	0,6	0,4	0,25
Число промежуточных отжигов	1	2	3	3	4

Фиг. 13. Переходы технологического процесса изготовления перовых сверл.
a — заготовка; *b* — шлифование цилиндрической части на плоскость; *в* — заточка боковых граней сверла диаметром 0,6; 0,8 и 1 мм; *г* — заточка режущей части сверла.

- 1) правка материала;
- 2) нарезание заготовок нужной длины;



Фиг. 12. Микрошлиф образца стальной проволоки для сверл. Увеличено в 800 раз.

Сверла изготовляли по следующей схеме технологического процесса (фиг. 13):

- 3) термообработка (стр. 20);
- 4) шлифование до получения размера b (фиг. 11) по двум плоскостям;
- 5) затыловка боковых граней сверл диаметром 0,6; 0,8 и 1 мм;
- 6) заточка режущей части.

Плоские грани шлифовали на настольном токарном станке, специально приспособленном для данной цели. Сверло зажимали в шпинделе, который во время работы оставался неподвижным. На супорте токарного станка был установлен особый шпиндель с шлифовальным кругом зернистостью 120—220. Для получения граней сверла с наклоном $\alpha_0 = 1 \div 2,5^\circ$ (фиг. 11) супорт станка поворачивали на тот же угол.

По окончании шлифования одной грани сверла шпиндель станка поворачивали на 180° , используя для этого простое делительное приспособление, и шлифовали вторую грань. Затыловку граней сверл диаметром 0,6; 0,8 и 1 мм выполняли на том же станке, соответственно поворачивая шпиндель со сверлом. При этом снимали фаску шириной до 0,1 мм.

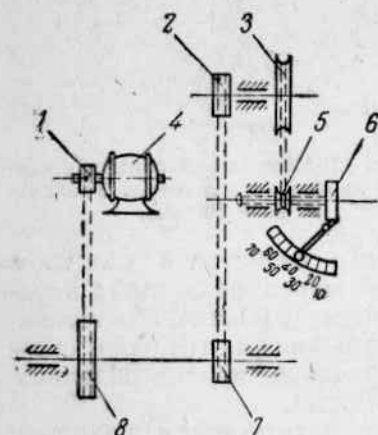
При изготовлении сверл диаметром до 0,4 мм технологический процесс можно несколько изменить. До термообработки стальную проволоку туго наматывают на специальное кольцо. В таком виде проволока вместе с кольцом проходит весь цикл термообработки. В закаленном виде проволока легко надламывается у краев кольца. Отдельные закаленные заготовки шлифуют и затачивают. Такой способ работы устраняет возможность искривления заготовки и упрощает механическую обработку.

Режущие части сверл затачивали на специальном заточном станке Шаублина с приспособлением для точного крепления сверл.

Схема привода заточного станка показана на фиг. 14.

Шлифовальный круг для заточки сверл (зернистость до 800, диаметр 50 мм, ширина 7 мм) делает 1540 об/мин. Окружная скорость круга составляет около 4 м/сек.

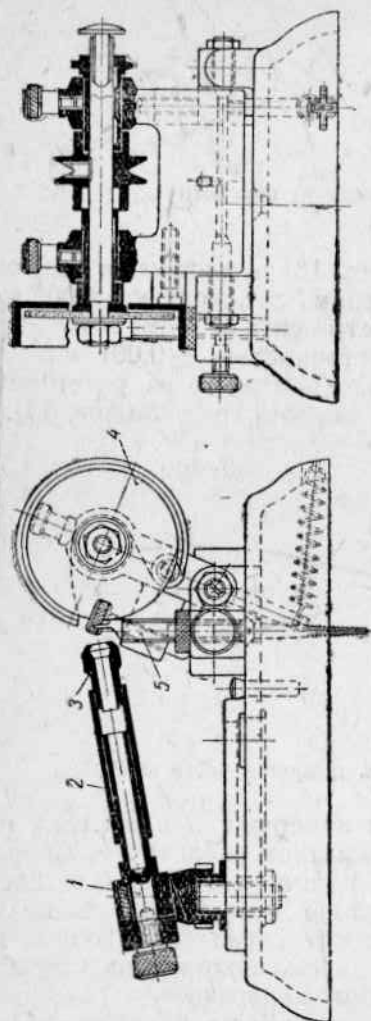
Сверла закрепляют для заточки в державке 2 (фиг. 15) при помощи специального патрона 3. В патроне устанавливают съемные разрезные втулки 7. Для получения необходимого угла заострения α державку соответственно поворачивают на секторе 6 с делениями. Задний угол заточки α регулируют, перемещая конец державки вверх или вниз. Конец державки укреплен в шарнире 1 сектора 6. Конец державки поворачивают,



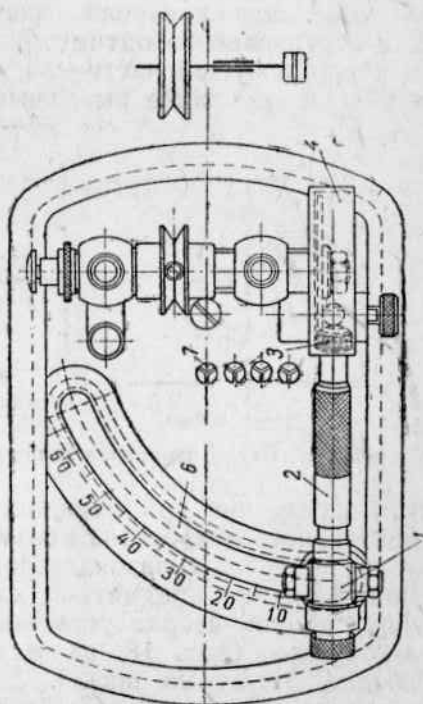
Фиг. 14. Схема привода заточного станка:

1 — шкив диаметром 65 мм; 2 — шкив диаметром 70 мм; 3 — шкив диаметром 170 мм; 4 — мотор ($n = 980$ об/мин.); 5 — шкив диаметром 25 мм; 6 — камень для заточки сверл; 7 — шкив диаметром 90 мм; 8 — шкив диаметром 350 мм.

регулируя высоту вертикальной стойки 5. Сверло закрепляют в патроне с постоянным вылетом, установленным для данного диаметра. При креплении патрона плоскую шлифованную часть сверла располагают горизонтально. Конец сверла опирается о выступ подпорки 5. К закрепленному сверлу подводят шлифовальный круг 4. По окончании заточки одной грани поворачи-



Фиг. 15. Приспособление для заточки перовых сверл, установленное на станке Шаублина.



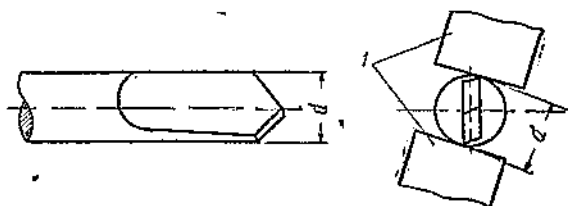
вают сверло вместе с державкой и патроном на 180° (вокруг оси сверла) и затачивают вторую грань.

Описанное приспособление позволяет получить углы заострения и задней заточки с точностью $2-3^\circ$. Центричность обеих режущих граней выдерживается в пределах $0,005-0,01$ мм.

При работе перовым сверлом необходимо замерять следующие основные его параметры: диаметр d , толщину режущей перед-

ней части (лопаточки) b , угол заострения при вершине ϵ и угол задней заточки режущих граней α (фиг. 11).

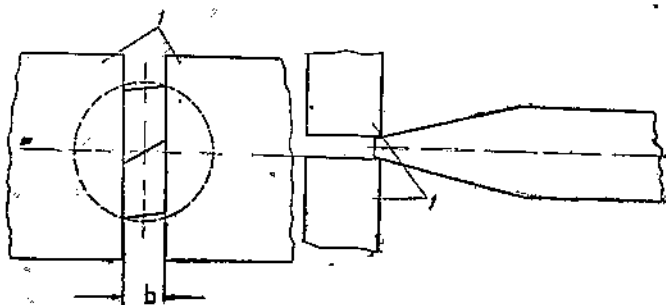
Перед измерением необходимо удалить заусенцы, тщательно очистить сверло от грязи при помощи щетки для чистки часовых деталей и промыть для обезжиривания в бензине.



Фиг. 16. Схема измерения диаметра первого сверла.

Диаметр d сверла измеряют (фиг. 16) в плоскости заточки режущих кромок рычажным микрометром 1 с точностью $\pm 0,002$ мм. Кроме того, для контроля диаметр сверла измеряют при помощи вертикального оптиметра с точностью $\pm 0,001$ мм.

Толщину режущей части сверла b измеряют на расстоянии 1 мм от его края тоже рычажным микрометром 1 (фиг. 17).

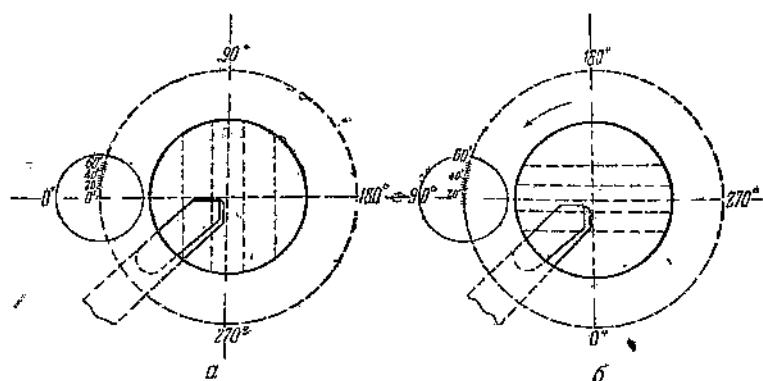


Фиг. 17. Схема измерения толщины режущей части сверла.

Угол заострения при вершине ϵ измеряют при помощи инструментального микроскопа при 30-кратном увеличении. Сверло помещают в строго горизонтальном положении на призматической подставке, на предметном столике микроскопа. Одну из режущих кромок сверла устанавливают параллельно одной из нитей окуляра (фиг. 18, a) и в этом положении (первое) производят отсчет по шкале. Затем поворачивают визирное стекло, пока другая режущая грань сверла не будет касаться другой нити окуляра (фиг. 18, b) и в этом положении (второе) производят второй отсчет по шкале. Разность двух отсчетов показывает величину угла заострения.

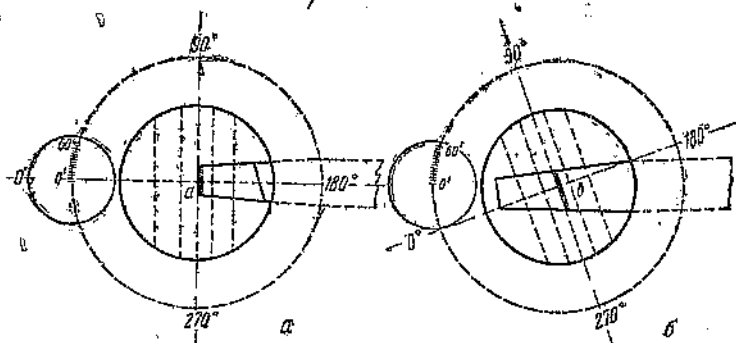
Одновременно с измерением величины угла ϵ при помощи микроскопа определяют эксцентricность заточки вершины угла. Если отклонения превышают технические условия, сверло бракуют.

Угол задней заточки α тоже измеряют на инструментальном микроскопе. Для этого помещают сверло на призматических подставках на столике микроскопа и устанавливают вертикально



Фиг. 18. Схема измерения угла α заострения при вершине перового сверла, *а* — первое положение; *б* — второе положение.

боковые шлифованные грани сверла. В исходном положении сверло устанавливают так, чтобы проекция поперечной режущей кромки на горизонтальную плоскость совпала с одной из осей креста нитей окуляра микроскопа (фиг. 19, *а*). В этом поло-

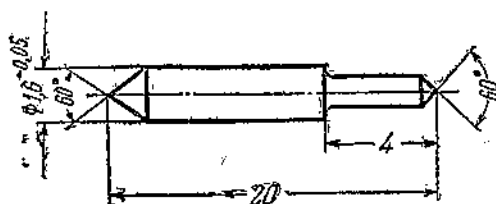


Фиг. 19. Схема измерения угла α задней заточки перового сверла. *а* — первое положение; *б* — второе положение.

жении производят отсчет по шкале. Затем поворачивают визирное стекло, пока ось креста нитей не совпадет с проекцией на горизонтальную плоскость линии пересечения задней грани сверла с боковой его поверхностью (фиг. 19, *б*). В этом положении тоже производят отсчет по шкале микроскопа. Разность двух отсчетов показывает величину заднего угла α .

Просверленные в пластинках отверстия измеряют при помощи специального набора доведенных пробок-калибров (фиг. 20) с переходами через 2 μ . Пробки-калибры проверяли эталонным рычажным микрометром с точностью до

0,001 мм при постоянной температуре $20^{\circ} \pm 2$. Измерение пробками-калибрами проводят наощупь. Калибр должен проходить в отверстие при усилии не выше 100—200 г. Контрольные измерения диаметра отверстий выполняют на координатной машине „Гаузер“ при 80-кратном увеличении (точность измерения до $\pm 0,001$ мм).



Фиг. 20. Пробка-калибр.

Влияние термообработки перовых сверл на их стойкость¹

Выбирая оптимальный режим термообработки перового сверла, необходимо обеспечить возможность просверлить сверлом до полного его износа максимальное число отверстий при наибольшей величине общего машинного времени (стойкости) работы сверла.

На некоторых заводах применяют следующий режим термообработки перовых сверл. Сверла нагревают до $790—800^{\circ}$, защищая их от окисления смесью угля с 5% кальцинированной соды, и выдерживают в зависимости от числа сверл, загруженных в тигель, от 30 до 45 минут. Охлаждают сверла в растительном или минеральном масле при $25—30^{\circ}$. Отпуск закаленных сверл производят при $180—200^{\circ}$ с выдержкой в течение 5—8 минут.

Для того чтобы определить сравнительную производительность сверл, подвергнутых различным режимам термообработки, испытывали сверла с номинальным диаметром $d=0,6$ мм, заточенные в обычных цеховых условиях. По геометрической форме режущей части сверла не подбирали. Сверлили сквозные отверстия в стальных пластинках, причем всухую и без кондуктора. Опыты проводили при 3000, 4500, 6500, 9000 и 13000 оборотах сверл в минуту (скорость резания $v=5,65; 8,48; 12,2; 17,0$ и $24,4$ м/мин). Нагрузка на рычаг подачи составляла 0,3 и 0,5 кг, что соответствует осевой нагрузке на сверло $P_o=1,56$ и $2,59$ кг. Средние фактические подачи при данных условиях составляют от 1,7 до 2,5 м на один оборот сверла.

Испытания показали (табл. 6), что производительность перовых сверл, подвергнутых обычной заводской термообработке, очень низка.

Анализ испытанных сверл выявил два существенных недостатка структуры их металла после термообработки:

1) обеднение углеродом и частично даже полное обезуглероживание поверхностного слоя; это явление отчасти имело место и в исходном материале — в результате заготовительных операций, но нагрев под закалку значительно его усугубил;

¹ Исследования по подбору оптимального режима термообработки перовых сверл выполнены при участии гг. В. И. Зайцева, М. М. Ильина, А. М. Жарковской, М. П. Ермолаева и В. В. Гуревич.

Таблица 6

Стойкость сверл, подвергнутых обычной заводской термообработке

№ сверла	Условия сверления				Число отверстий, просверленных до полного износа сверла	Стойкость сверла Т мин.
	n об/мин.	v м/мин	P_K кг	P_0 кг		
0161	4500	8,48	0,3	1,56	13	4,0
0163	4500	8,48	0,3	1,56	12	4,0
0164	4500	8,48	0,3	1,56	12	3,3
083	6500	12,2	0,3	1,56	12	2,04
084	6500	12,2	0,3	1,56	4	0,90
086	6500	12,2	0,3	1,56	6	0,94
087	6500	12,2	0,3	1,56	2	0,32
088	6500	12,2	0,3	1,56	13	2,94
090	6500	12,2	0,3	1,56	2	0,25
091	6500	12,2	0,3	1,56	1	0,19
1106	6500	12,2	0,5	2,59	5	0,40
1107	6500	12,2	0,5	2,59	2	0,15
1108	6500	12,2	0,5	2,59	10	0,81
1109	6500	12,2	0,5	2,59	1	0,07
1110	6500	12,2	0,5	2,59	12	1,04
1111	9000	17,0	0,3	1,56	6	0,98
1112	9000	17,0	0,3	1,56	10	1,50
1113	9000	17,0	0,3	1,56	3	0,38
1114	9000	17,0	0,3	1,56	7	0,95
1115	9000	17,0	0,3	1,56	15	1,72
1116	9000	17,0	0,3	1,56	4	0,58
1117	9000	17,0	0,3	1,56	2	0,30
1118	9000	17,0	0,3	1,56	17	2,73
1119	9000	17,0	0,3	1,56	8	1,30
1120	9000	17,0	0,3	1,56	3	0,43
1121—1125	13000	24,4	0,3	1,56	0	0
1125—1130	13000	24,4	0,3	2,33	0	0

2) крупнозернистая структура и неоднородность цементитных зерен в исходном материале под влиянием нагрева при закалке приобрели еще более резкую форму.

Наличие этих недостатков вполне разъясняет причины низкой стойкости сверл и малой их производительности.

После многих опытов и различных вариантов подобрали следующий режим термообработки (названный режимом Б). Этот режим для перовых сверл из углеродистой стали У10А диаметром от 0,25 до 1 мм ликвидирует указанные недостатки структуры.

300—350 заготовок помещают в тигель из жароупорной стали и пересыпают смесью мелкоизмельченного древесного (из березы) угля, 5% соды и 5% стеарина. Тигель устанавливают в печь, нагретую до 780—790°. После прогревания тигля, на

что уходит примерно 20—25 минут, заготовки выдерживают при указанной температуре 7—8 минут и затем охлаждают в масле при 25—30°. Для окончательной закалки заготовки нагревают вторично, для чего их укладывают в специальном муфеле. Муфель помещают в камерную печь, нагретую до 780—790°. Через муфель пропускают струю светильного газа. Время выдержки составляет 3—3,5 минуты. Закаленные заготовки охлаждают в масле при 25—30° и затем отпускают при 200° в масляной ванне с выдержкой в течение 20 минут.

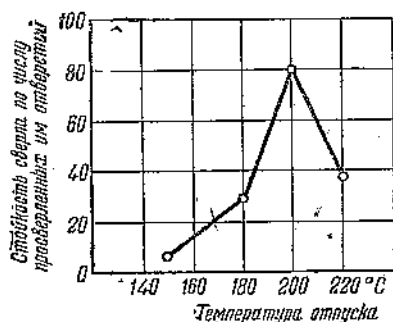
До того как принять этот режим термообработки, испробовали несколько вариантов отпуска заготовок. Так, отпуск заготовок производили в пределах от 150 до 220° (через 20—30°) и с выдержками в 10, 15, 20 и 25 минут. Результаты испытаний сверл при этих условиях термообработки приведены в табл. 7.

Таблица 7

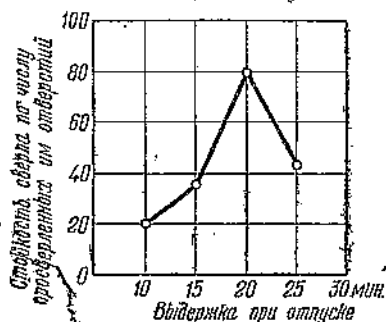
Зависимость стойкости перовых сверл от температуры отпуска и времени выдержки (режим Б) ($d=0,6$ мм; $n=3000$ об/мин.; $P_H=0,5$ кг)

Температура отпуска °C	Время выдержки мин.	Стойкость сверла (до полного износа)	
		Число просвер- ленных отвер- стий	Продолжитель- ность работы $T_{мин}$
150	20	6	1,4
180	20	29	9,5
200	20	80	23,4
220	20	37	10,0
200	10	21	6,2
200	15	36	13,0
200	25	43	14,2

На фиг. 21 показана зависимость стойкости сверл от температуры отпуска, а на фиг. 22 — зависимость стойкости сверл от времени



Фиг. 21. Зависимость стойкости сверл (по числу просверленных отверстий) от температуры отпуска.



Фиг. 22. Зависимость стойкости сверл от времени выдержки при отпуске.

выдержки при отпуске. Лучшие результаты получены для температуры отпуска 200° и времени выдержки 20 минут.

Результаты испытания сверл, обработанных рекомендуемым методом (режим Б), приведены в табл. 8.

Таблица 8

Стойкость сверл, обработанных термически по режиму Б

№ сверла	Условия сверления				Стойкость сверла (до полного износа)	
	n об/мин.	v м/мин	P_H кг	P_σ кг	Число просвер- ленных отвер- стий	$T_{\text{мин.}}$
099	3000	5,65	0,3	1,56	39	14,60
0104	3000	5,65	0,3	1,56	100	32,50
0117	3000	5,65	0,3	1,56	19	6,00
0118	3000	5,65	0,3	1,56	14	4,50
0119	3000	5,65	0,3	1,56	10	3,30
094	3000	5,65	0,5	2,59	29	5,60
098	3000	5,65	0,5	2,59	150	48,00
071	3000	5,65	0,5	2,59	62	14,50
074	3000	5,65	0,5	2,59	41	9,80
060	3000	5,65	0,5	2,59	73	16,60
0100	4500	8,48	0,3	1,56	74	21,00
049	4500	8,48	0,3	1,56	44	15,00
051	4500	8,48	0,3	1,56	64	17,20
054	4500	8,48	0,5	2,59	58	13,50
039	4500	8,48	0,5	2,59	22	5,70
040	4500	8,48	0,5	2,59	25	5,33
035	4500	8,48	0,5	2,59	35	6,80
041	4500	8,48	0,5	2,59	61	12,80
085	6500	12,2	0,3	1,56	54	11,20
0101	6500	12,2	0,3	1,56	5	0,80
0102	6500	12,2	0,3	1,56	23	4,25
0103	6500	12,2	0,3	1,56	5	0,66
0137	6500	12,2	0,3	1,56	27	4,50
0204	6500	12,2	0,3	1,56	35	5,30
069	6500	12,2	0,3	1,56	49	8,10
1006	6500	12,2	0,5	2,59	24	2,48
1007	6500	12,2	0,5	2,59	39	5,70
1008	6500	12,2	0,5	2,59	29	3,50
1009	6500	12,2	0,5	2,59	66	8,90
1010	6500	12,2	0,5	2,59	40	5,10
0108	9000	17,0	0,3	1,56	30	3,76
0109	9000	17,0	0,3	1,56	64	9,80
0114	9000	17,0	0,3	1,56	8	0,92
0115	9000	17,0	0,3	1,56	23	3,70
0205	9000	17,0	0,3	1,56	70	8,45
0206	9000	17,0	0,3	1,56	44	5,63
0207	9000	17,0	0,3	1,56	46	5,36
0208	9000	17,0	0,3	1,56	110	13,00

№ сверла	Условия сверления				Стойкость сверла (до полного износа)	
	n об/мин.	v м/мин	P_n кг	P_o кг	Число просвер- ленных отвер- стий	$T_{\text{мин.}}$
0113	13000	24,4	0,3	1,56	24	2,00
0112	13000	24,4	0,3	1,56	8	0,22
0111	13000	24,4	0,3	1,56	20	1,04
1011	13000	24,4	0,3	1,56	35	6,53
1012	13000	24,4	0,3	1,56	4	0,60
1013	13000	24,4	0,3	1,56	2	0,35
1014	13000	24,4	0,3	1,56	16	1,60
1015	13000	24,4	0,3	1,56	19	2,82
251	13000	24,4	0,45	2,33	9	0,80
269	13000	24,4	0,45	2,33	22	1,83
251	13000	24,4	0,45	2,33	6	0,43
417	13000	24,4	0,45	2,33	8	0,58
587	13000	24,4	0,45	2,33	9	0,68
246	13000	24,4	0,45	2,33	5	0,50

При термической обработке по режиму Б указанные выше недостатки структуры металла сверл устраняются в два приема.

При первом нагреве, благодаря наличию в тигле стеарина, образуются углеводороды, которые, как известно, интенсифицируют процесс цементации поверхностного слоя и способствуют устранению условий, вызывающих обезуглероживание. При этом не следует опасаться возможности перегрева металла, роста зерна и т. д., так как все эти недочеты можно устранить в процессе второго нагрева.

При втором нагреве устраняют недостатки структуры металла заготовок: мартенситовая структура, полученная в результате первого нагрева, дает крайне дисперсные цементитные выделения, легко переходящие в твердый раствор, что обеспечивает более однородную структуру металла закаленных заготовок [28]. Вторичный нагрев производят не для науглероживания металла. Наличие в муфеле светильного газа предохраняет заготовки от обезуглероживания при этом нагреве. Поэтому процесс вторичной закалки очень краток.

После термообработки по режиму Б излом сверл имеет мелкозернистую структуру и обезуглероживания поверхностного слоя не наблюдается.

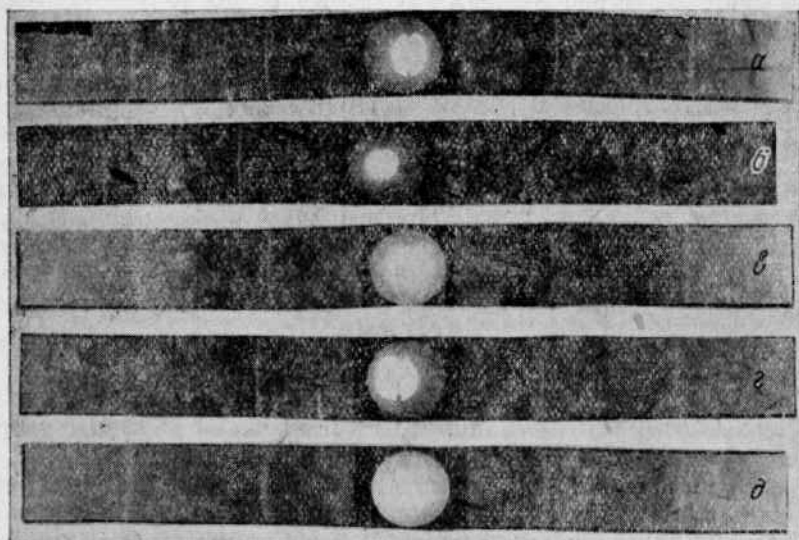
Сравнительные результаты испытаний сверл, подвергнутых различным режимам термообработки, приведены в табл. 9. Эти данные показывают, что режим Б можно рекомендовать как оптимальный.

Для проверки результатов испытаний на стойкость сверл, подвергнутых различным режимам термообработки, произвели рентгенографический их анализ. Анализу подвергли сверла, об-

Средние данные о стойкости сверл диаметром 0,6 мм, подвергнутых различным режимам термообработки

Условия сверления				Стойкость сверл (до полного износа) при различных режимах термообработки			
n об/мин.	v м/мин	P _n кг	P _o кг	Заводской		Режим Б	
				Число про- сверленных отверстий	T _{мин.}	Число про- сверленных отверстий	T _{мин.}
3000	5,65	0,3	1,56	—	—	36,4	12,74
3000	5,65	0,5	2,59	—	—	70,5	18,9
4500	8,48	0,3	1,56	12,4	3,76	61,0	17,8
4500	8,48	0,5	2,59	—	—	40,2	8,8
6500	12,2	0,3	1,56	5,7	1,08	25,8	4,5
6500	12,2	0,5	2,59	6,0	0,5	39,6	6,14
9000	17,0	0,3	1,56	7,5	1,09	49,5	6,3
13000	24,4	0,3	1,56	0	0	14,6	1,90
13000	24,4	0,45	2,33	0	0	9,8	0,8

работанные по заводскому режиму (шифр Ц), опытному режиму А (шифр А), который был забракован, и по режиму Б (шифр Б). От рентгенографической лаборатории получено было следующее заключение (фиг. 23):



Фиг. 23. Рентгенограммы образцов сверл, термически обработанных по заводскому режиму (шифр Ц), по режиму А (шифр А, забракован) и режиму Б (шифр Б).

а — образец Ц₁; б — образец Ц₂; в — образец А₁; г — образец А₂; д — образец Б₁.

„Для исследования были получены рентгенограммы пяти образцов сверл:

1) Π_1 — на рентгенограмме наблюдается сужение линий $\text{Fe-}\alpha$; это явление возможно в случае проведения соответствующего отпуска или вследствие обезуглероживания в процессе термообработки. Так как содержание углерода в данном образце сравнительно велико, около 1%, то на рентгенограмме сверла, прошедшего отпуск, мы должны получить линии карбидов. Ввиду того, что на рентгенограмме не наблюдается линий карбидов и аустенита, следует полагать, что в данном случае произошло обезуглероживание в процессе термообработки.

2) Π_2 — на рентгенограмме наблюдаются следы карбидов; остаточный аустенит не выявлен.

3) A_2 — на рентгенограмме наблюдаются линии $\text{Fe-}\gamma$ и карбидов Fe_3C . Произведенный расчет содержания аустенита по методу гомологических пар показывает, что в данном образце содержится около 5% остаточного аустенита.

4) A_1 — на рентгенограмме наблюдаются линии аустенита и карбидов. Содержание остаточного аустенита составляет около 10%.

5) B_1 — на рентгенограмме наблюдаются весьма интенсивные линии аустенита. Содержание остаточного аустенита составляет около 40%.

Рентгеновский анализ подтверждает высказанное соображение о малой стойкости сверл Π_1 и Π_2 вследствие обезуглероживания поверхностного слоя. Вместе с тем анализом обнаружено наличие в сверлах, обработанных по режиму Б, до 40% остаточного аустенита, что является причиной повышения их стойкости.

Оптимальная геометрическая форма перового сверла

Основными параметрами, характеризующими форму перового сверла данного диаметра d мм, является толщина режущей части b мм, угол заострения при вершине ϵ° и угол задней заточки режущих граней α° (фиг. 11, стр. 14).

Для этих величин опытным путем установлены оптимальные значения, при которых сверло обеспечивает наибольшую производительность при сверлении стальных и латунных пластинок.

Сверла для обработки стальных пластинок

Для характеристики толщины режущей части перового сверла принят расчетный коэффициент K , равный отношению $b:d$.

Для определения оптимального значения величины $K=b:d$ перовые сверла всех диаметров рассортированы на три группы по размеру толщины режущей части в мм. Сверла по этим группам условно названы: „толстые“, „средние“ и „тонкие“.

В табл. 10 приведены размеры b и $b:d$ для сверл по отдельным группам. Колебания размеров внутри одной группы для данного диаметра не превышает 0,01—0,03 мм.

Таблица 10

Группировка перовых сверл (для сверления стальных пластинок)
по толщине b

Номиналь- ный диаметр сверла d мм	Размеры сверл					
	толстых		средних		тонких	
	b мм	$K = \frac{b}{d}$	b мм	$K = \frac{b}{d}$	b мм	$K = \frac{b}{d}$
1,0	0,280— 0,260	0,280— 0,260	0,250— 0,230	0,250— 0,240	0,222— 0,190	0,222— 0,190
0,8	0,250— 0,230	0,310— 0,280	0,220— 0,190	0,260— 0,240	0,180— 0,150	0,220— 0,190
0,6	0,200— 0,180	0,320— 0,300	0,170— 0,150	0,270— 0,250	0,140— 0,120	0,230— 0,190
0,4	0,160— 0,140	0,380— 0,350	0,130— 0,120	0,320— 0,290	0,110— 0,090	0,260— 0,210
0,25	0,090	0,363— 0,356	0,060	0,322— 0,316	0,070— 0,060	—

Результаты сравнительных испытаний сверл разной геометрической формы при сверлении стальных пластинок в разных условиях приведены в табл. 11. В этой таблице данные о стойкости сверл (число просверленных отверстий и общее машинное время работы сверла) приведены отдельно для групп толстых, средних и тонких сверл.

По данным табл. 11 построены графики (фиг. 24), из которых видно влияние толщины режущей части и коэффициента K на стойкость сверла. Все без исключения кривые показывают, что средние сверла обладают наибольшей стойкостью и наивысшей производительностью.

Сверла группы тонких других проникают в обрабатываемый материал, но их прочность и теплостойкость ниже. У толстых сверл с увеличением их диаметра значительно возрастают прочность и теплостойкость, но условия проникания сверла в обрабатываемый материал резко ухудшаются. Некоторая средняя величина b обеспечивает оптимальные производительность и стойкость сверла.

При различных толщинах b режущей части сверла и коэффициентах K сверла одного и того же диаметра данной группы имеют следующую относительную стойкость (по числу отверстий, просверленных до полного износа сверла):

Сверла Толстые Средние Тонкие
Условная стойкость . . . 0,52 1 0,37

Для данной группы коэффициент K уменьшается с возрастанием диаметра сверла. На фиг. 25 показана в логарифмических коорди-

Результаты опытов по определению оптимальных

Диаграмма
(фиг. 24)

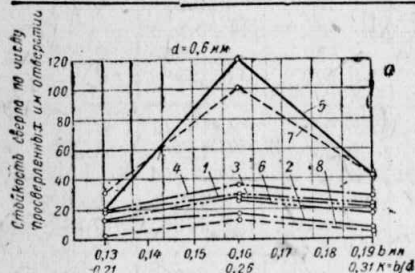
Номера кривых
на фиг. 24

Диаметр и углы заточки сверла

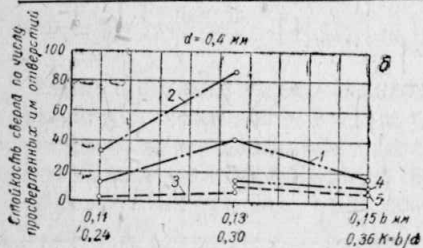
d
мм

ϵ°

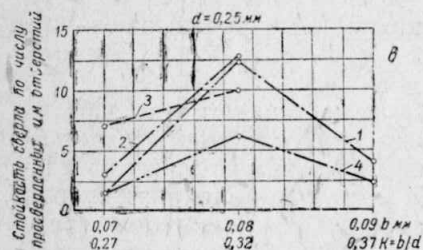
α°



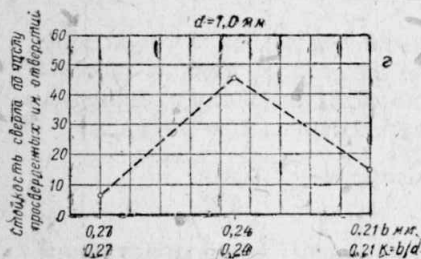
1	0,6	118—122	13—15
2	0,6	100—106	16—19
3	0,6	118—122	16—19
4	0,6	113—116	20—22
5	0,6	118—122	20—22
6	0,6	126	25
7	0,6	118—122	20—22
8	0,6	119—122	19—20



1	0,4	119—122	18—20
2	0,4	119—122	18—20
3	0,4	119—122	18—20
4	0,4	119—122	18—20
5	0,4	118—122	18—19



1	0,25	119—124	19—20
2	0,25	118—122	19—21
3	0,25	118—122	19—21
4	0,25	118—124	19—21



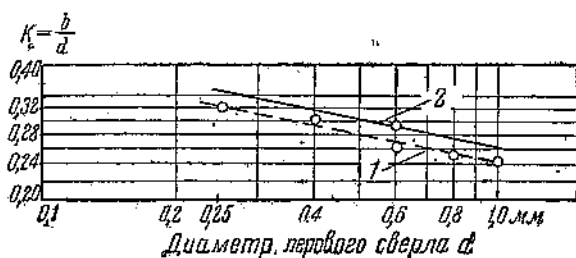
—	1,0	120—121	17—20
---	-----	---------	-------

Таблица 11

величин b и $K = \frac{b}{a}$ для сверления стальных пластинок

Условия сверления			Стойкость сверла до полного износа					
n об/мин.	P_n кг	P_o кг	толстого		среднего		тонкого	
			число про- сверленных отверстий N	T мин.	число про- сверленных отверстий N	T мин.	число про- сверленных отверстий N	T мин.
3000	0,5	2,59	23,0	5,60	29,5	8,90	19,0	4,12
3000	0,5	2,59	7,3	4,33	17,0	5,40	13,0	2,85
3000	0,5	2,59	22,2	7,00	29,2	8,17	12,0	1,64
3000	0,5	2,59	29,0	5,62	36,0	16,4	18,0	3,66
3000	0,5	2,59	42,0	12,16	120,2	52,3	20,0	3,95
3000	0,5	2,59	17,0	3,17	26,0	5,44	—	—
6500	0,45	2,33	42,0	7,53	102,0	16,6	32,0	4,37
13000	0,45	2,33	4,0	0,54	13,3	1,09	3,0	0,21
3000	0,3	1,56	16,0	11,50	41,3	19,5	12,3	5,50
3000	0,35	2,07	—	—	87,0	23,5	33,5	6,25
3000	0,45	2,33	—	—	6,5	1,30	3,0	0,42
4500	0,45	2,33	11,0	2,55	15,0	1,45	—	—
13000	0,35	1,81	6,5	0,49	10,6	0,55	—	—
3000	0,3	1,56	4,0	0,73	12,3	2,34	1,6	0,26
4500	0,3	1,56	—	—	13,0	1,24	3,0	0,17
6500	0,3	1,56	—	—	10,0	1,80	7,0	0,40
13000	0,3	1,56	2,5	0,38	6,2	0,37	1,5	0,12
3000	1,0	5,18	15	2,50	46,0	7,46	6,0	0,79

натах зависимость коэффициента K от диаметра сверла d , причем на этой фигуре нанесены только данные, соответствующие оптимальной толщине сверла (толщине так называемого среднего сверла).



Фиг. 25. Зависимость коэффициента K от диаметра перового сверла.

1 — для обработки стали; 2 — для обработки латуни.

Зависимость коэффициента K от диаметра d можно выразить уравнением

$$K = \frac{b}{d} = \frac{a}{d^{0,8}},$$

откуда

$$b = a d^{0,8},$$

где a — коэффициент пропорциональности.

Подставляя из фиг. 25 значение $a=0,24$, определяем в окончательном виде зависимость толщины режущей части перового сверла из углеродистой стали У10А от его диаметра в пределах $d=0,25—1$ мм при сверлении пластинок из стали У7А:

$$b = 0,24 d^{0,8}. \quad (1)$$

Таким образом с увеличением диаметра сверла d толщина режущей части b тоже должна возрастать, но не прямо пропорционально, а несколько медленнее. При уменьшении диаметра сверла следует соответственно уменьшить толщину сверла.

Данную зависимость можно объяснить тем, что по мере уменьшения диаметра прочность и теплостойкость режущей части сверла относительно ухудшаются.

Аналогичные зависимости характерны и для нормальных спиральных сверл большого диаметра [31]. Толщину сердцевины спиральных сверл диаметром до 10 мм выдерживают обычно в пределах $(0,2—0,25) d$, а толщину сердцевины сверл диаметра свыше 10 мм — в пределах $(0,135—0,15) d$.

Оптимальные размеры толщины режущей части b перовых сверл из стали У10А диаметром $d=0,25—1$ мм, которые необходимо выдерживать при сверлении пластинок стали У7А, приведены в табл. 12.

Отклонения от указанных размеров толщины допустимы в пределах $\pm 0,01$ мм.

Для выявления оптимального угла заострения при вершине сопоставили результаты испытания сверл только с оптимальной толщиной режущей кромки (так называемые средние сверла).

Сверла рассортировали по величине угла ϵ на четыре группы.

Группа сверл . . .	I	II	III	IV
ϵ°	100—106	110—116	118—122	124—127

Колебания величины угла в пределах одной группы сверл составляют $\pm 2-3^\circ$.

Результаты опытов по определению оптимальной величины угла заострения приведены в табл. 13. Эти данные составлены по группам сверл с разными углами заострения.

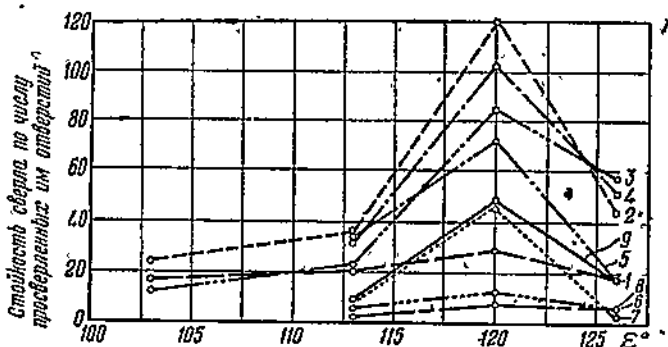
Таблица 13

Результаты опытов по определению оптимального угла ϵ
(Сверление стальных пластинок)

Номера кривых на фиг. 26	d мм		α°		Условия сверления		Стоимость сверла в зависимости от угла заострения при вершине							
							$\epsilon^\circ=100-106$		$\epsilon^\circ=110-116$		$\epsilon^\circ=118-122$		$\epsilon^\circ=124-127$	
							Число просверленных отверстий	Т мин.	Число просверленных отверстий	Т мин.	Число просверленных отверстий	Т мин.	Число просверленных отверстий	Т мин.
					n об/мин.	P_H кг	P_D кг							
1	0,6	13—15	3000	0,5	2,59	5	1,58	—	—	—	29,5	8,9	—	—
2	0,6	16—19	3000	0,5	2,59	17	5,4	20,1	6,67	29,2	8,17	18	5,26	—
3	0,6	20—22	3000	0,5	2,59	24	14,8	36,0	16,4	120,2	52,3	44	19,5	—
4	0,6	25	3000	0,5	2,59	—	—	—	—	40,0	14,7	26	5,44	—
5	0,6	20—22	4500	0,5	2,59	12	3,8	22	5,7	85	15,8	58	13,4	—
6	0,6	20—22	6500	0,45	2,33	—	—	32	7,5	102	16,6	55,5	11,67	—
7	0,6	19—20	6500	0,3	1,56	—	—	15,5	2,82	42	4,57	—	—	—
8	0,6	18—21	9000	0,3	1,56	—	—	35	4,63	72	8,9	18,5	2,35	—
9	0,4	18—19	6500	0,3	1,56	—	—	5	0,86	11,5	1,86	5	1,2	—
10	0,4	18—19	6500	0,4	2,07	—	—	2	0,17	8	0,7	5	0,4	—
11	0,4	18—19	13000	0,3	1,56	—	—	7	0,47	46	4,03	2	0,15	—
12	1,0	17—20	3000	0,1	5,18	—	—	8	1,7	46	7,46	18	3,03	—

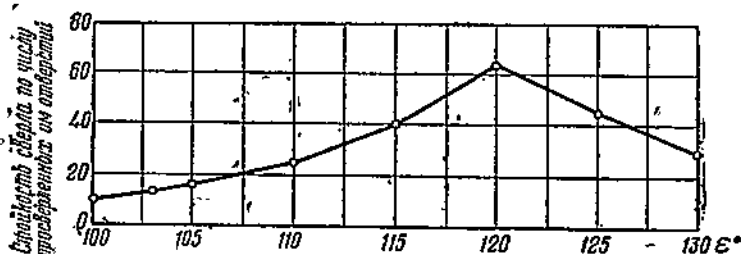
Наибольшую стойкость имеют сверла с углом $\epsilon = 118 \div 120^\circ$ (фиг. 26).

Осредненная кривая влияния угла ϵ на стойкость сверла (фиг. 27) показывает постепенный рост стойкости при увеличении угла ϵ от 100 до 120° . При дальнейшем повышении величины угла ϵ стойкость сверла снижается.



Фиг. 26. Влияние угла заострения при вершине на стойкость сверла (сверление стали) по числу просверленных отверстий.

Данную зависимость (фиг. 26 и 27) можно объяснить следующим. С возрастанием угла ϵ растет величина осевого усилия на сверло и, при прочих равных условиях, стойкость и производительность сверла ухудшаются. Однако одновременно с увеличением угла ϵ уменьшается величина крутящего момента, что



Фиг. 27. Осредненная кривая влияния угла заострения при вершине ϵ на стойкость сверла по числу просверленных отверстий.

улучшает условия работы сверла и способствует повышению его стойкости и производительности.

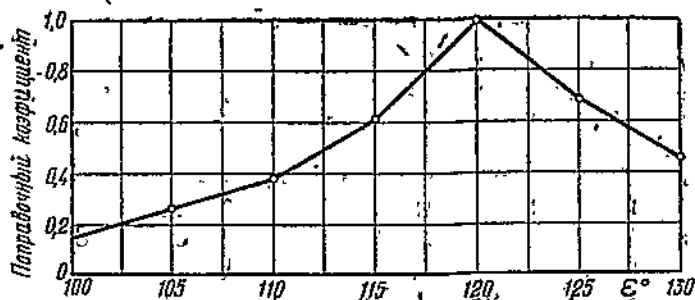
В результате взаимодействия осевого усилия и крутящего момента при некотором оптимальном значении угла $\epsilon = 118 \div 122^\circ$ обеспечивается наибольшая стойкость сверла.

Аналогичные данные приводят и другие авторы [4,30], исследовавшие условия работы сверл большего диаметра ($d = 40$ мм и др.). Например зависимость осевого усилия и крутящего момента от величины угла заострения ϵ , полученная при свер-

лении стали средней крепости (табл. 14), показывает, что с возрастанием угла ϵ осевое усилие повышается, а крутящий момент уменьшается [4].

Стойкость исследованных перовых сверл для сверления стали при $\epsilon=120^\circ$ можно условно принять равной единице. Поправочный коэффициент на стойкость при других углах заострения для перовых сверл диаметром $d=0,25 \div 1$ мм:

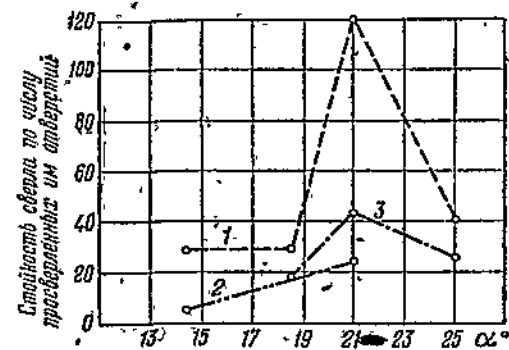
Угол заострения ϵ°	100	105	110	115	120	125	130
Поправочный коэффициент на стойкость сверла	0,15	0,27	0,38	0,62	1,0	0,69	0,46



Фиг. 28. Поправочный коэффициент на стойкость сверла (по числу просверленных отверстий) для сверления стали в зависимости от угла заострения при вершине.

Для определения поправочного коэффициента при промежуточных значениях угла заострения можно пользоваться фиг. 28.

Результаты сравнительных испытаний, произведенных для выявления влияния на стойкость сверла заднего угла заточки α приведены для четырех групп сверл в табл. 15. Испытаниям подвергали сверла с разными углами ϵ при вершине; испытания проводили при одинаковых условиях сверле-



Фиг. 29. Влияние угла задней заточки α на стойкость сверла по числу просверленных отверстий.
1—для $\epsilon=118-122^\circ$; 2—для $\epsilon=100-106^\circ$; 3—для $\epsilon=124-127^\circ$.

ния стальных пластинок ($d=0,6$ мм; $n=3000$ об/мин.; $P_n=0,5$ кг).

По данным табл. 15 построили график (фиг. 29). Из таблицы и графика видно, что наилучшую стойкость имеют сверла с задним углом заточки $\alpha=20^\circ \pm 2$.

Таблица 15
Влияние заднего угла заточки α на стойкость сверла
(сверление стальных пластинок)

Группа сверл	Задний угол заточки α°	Угол заострения при вершине α°		
		100—116	118—122	124—127
		Среднее число отверстий, просверленных одним сверлом		
I	13—15	5	29,5	—
II	16—19	17	29,2	18
III	20—22	24	120,2	44
IV	25 и более	—	40	26

Сверла для обработки латунных пластинок

Оптимальную толщину b режущей части определяли опытным путем для сверл диаметром 0,6 мм. Согласно описанной выше методике, сверла рассортировали на толстые, средние и тонкие. Латунные пластинки сверлили перовыми сверлами всех трех групп. Сверла имели углы $\varphi=117 \div 121^\circ$ и $\alpha=17 \div 20^\circ$. Испытания проводили при $n=6500$ об/мин. и $P_n=0,7$ кг, что соответствует осевой нагрузке на сверло $P_o=3,63$ кг.

Результаты сравнительных испытаний (табл. 16) показывают, что наивысшей стойкостью обладают сверла с коэффициентом $K=0,28 \div 0,29$; это при $d=0,6$ мм соответствует $b=0,18$ мм.

Таблица 16
Влияние толщины режущей части перового
сверла на его стойкость (сверление латун-
ных пластинок)

Группа сверл	Толщина режущей части сверла b мм	Коэффициент $K = \frac{b}{d}$	Число отвер- стий (среднее по группе), просверленных одним сверлом
Толстые	0,22—0,24	0,352—0,386	180
Средние	0,18—0,19	0,280—0,290	240
Тонкие	0,18—0,14	0,222—0,223	75

Если принять стойкость перовых сверл средней толщины условно равной единице, то стойкость сверл указанных трех групп составляет:

Сверла	Толстые	Средние	Тонкие
Условная стой- кость	0,54	1	0,31

Эти данные достаточно близко совпадают с данными, полученными для сверл при сверлении стальных пластинок.

Толщину режущей части при сверлении латунных пластинок определили для сверл других диаметров по аналогии с данными для сверления стальных пластинок, согласно зависимости (фиг. 25)

$$b = 0,26 d^{0,8}. \quad (2)$$

На основании уравнения (2) составлены рекомендуемые оптимальные величины толщины режущей части сверла (табл. 17) при сверлении пластинок из латуни по Вест 2/1 ($H_B = 158 \div 174 \text{ кг/мм}^2$).

Некоторое увеличение толщины режущей части сверла для сверления латуни по сравнению со сверлами для стальных пластинок объясняется тем, что твердость данных латунных пластинок выше твердости стальных (у латунных пластинок $H_B = 158 \div 174 \text{ кг/мм}^2$, у стальных $H_B = 138 \div 161 \text{ кг/мм}^2$).

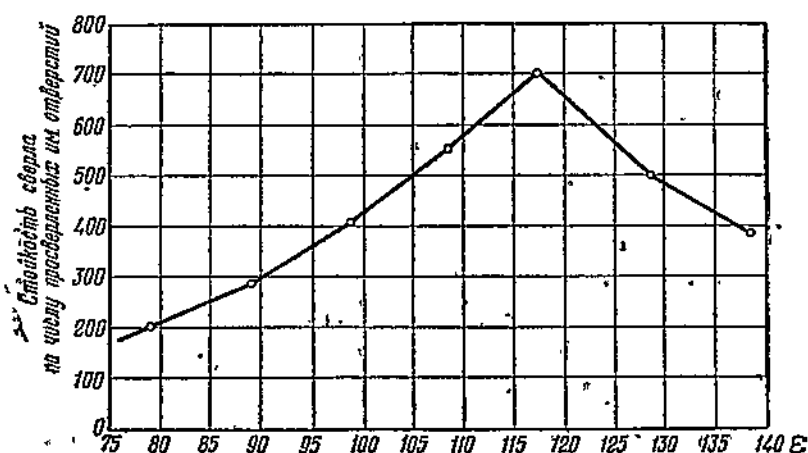
Для определения наилучшего угла заострения в сверла рассортировали на шесть групп по величине угла ϵ :

Группа сверл . . .	I	II	III	IV	V	VI
Угол заострения при вершине ϵ° . . .	76—78	85—90	106—107	117—121	126—130	138—141

Таблица 17

Оптимальные размеры толщины режущей части первого сверла для сверления латунных пластинок

Номинальный диаметр сверла d мм	$K = \frac{b}{d}$	b мм
1,0	0,26	0,26
0,8	0,27	0,22
0,6 . . .	0,29	0,18
0,4	0,31	0,13
0,25	0,34	0,09



Фиг. 30. Зависимость стойкости первого сверла по числу просверленных отверстий от величины угла заострения при вершине ϵ (сверление латуни).

В результате сравнительных испытаний сверл различных групп установлено (табл. 18), что наибольшую производительность при сверлении латунных пластинок обеспечивают перовые сверла с углом заострения при вершине $\epsilon = 120^\circ$ (фиг. 30).

Таблица 18

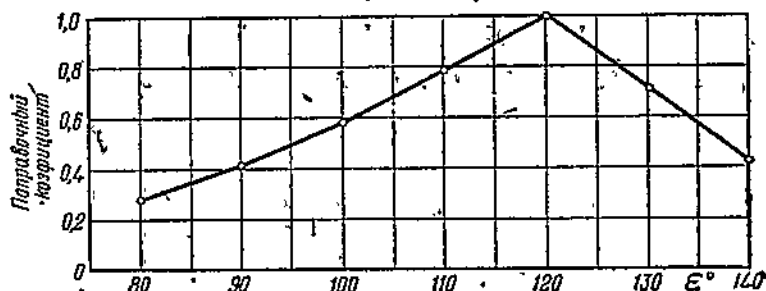
Влияние угла заострения при вершине ϵ на стойкость перового сверла ($d = 0,6$ мм; $n = 6500$ об/мин.; $P_n = 0,7$ кг; $\varphi = 17-20^\circ$; средняя толщина $b = 0,17-0,18$ мм)

Группа сверл	Угол заострения при вершине ϵ	Число отверстий (среднее по группе), просверленных одним сверлом
I	76—78	260
II	85—90	182
III	106—107	320
IV	117—121	700
V	126—130	500
VI	138—141	413

Приняв условную стойкость для сверл с углом заострения $\epsilon = 120^\circ$ равной единице, получаем следующие поправочные коэффициенты на стойкость для сверл с другими углами заострения:

Угол заострения ϵ°	80	90	100	110	120	130	140
Поправочный коэффициент на стойкость сверла	0,29	0,42	0,59	0,78	1,0	0,71	0,55

Поправочные коэффициенты для промежуточных значений угла ϵ можно определить по фиг. 31.

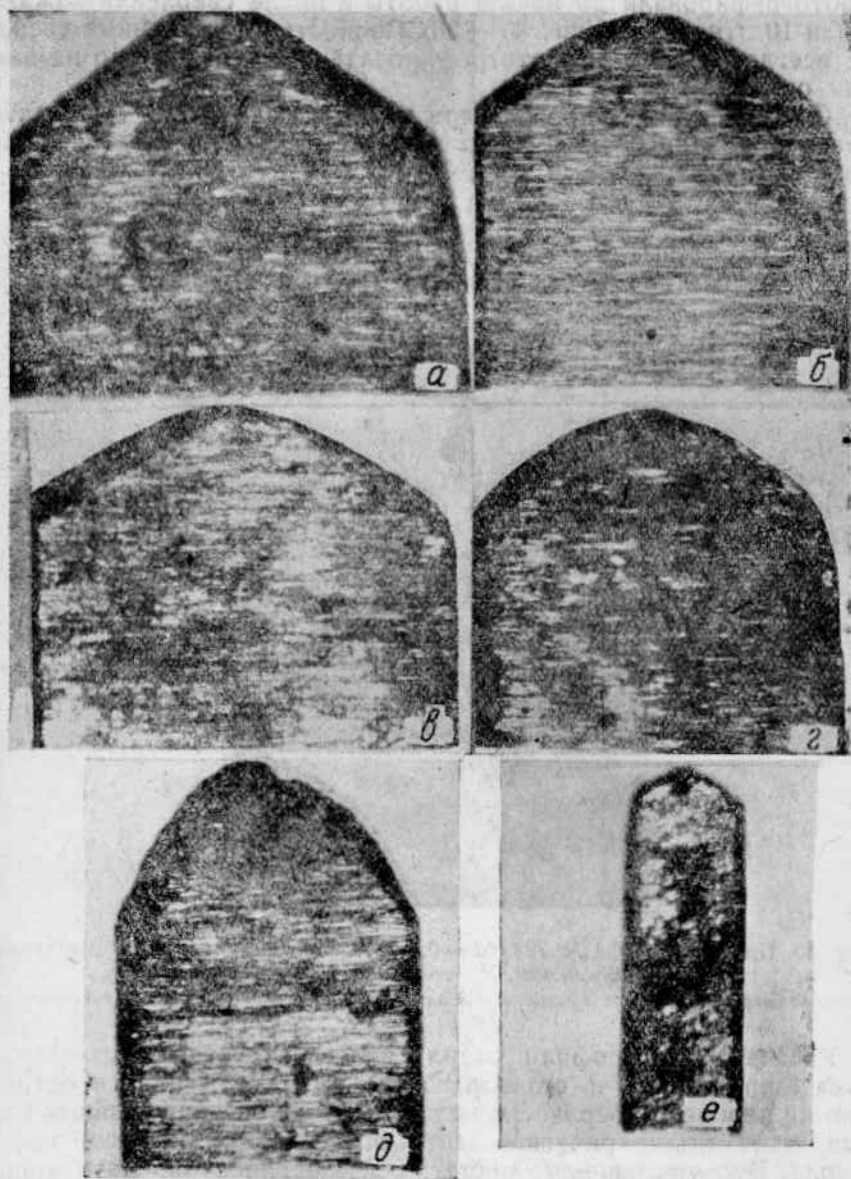


Фиг. 31. Поправочный коэффициент на стойкость сверла в зависимости от угла ϵ при сверлении латунных пластинок.

Специальных исследований для определения величины угла α при сверлении латуни не проводили. По аналогии с данными, полученными при сверлении стали, приняли угол $\alpha = 20^\circ \pm 2$.

Износ перового сверла

Характер износа перового сверла детально изучали путем фотографирования профиля несломавшихся, но полностью износившихся сверл (фиг. 32). Кроме того, профиль ряда сверл

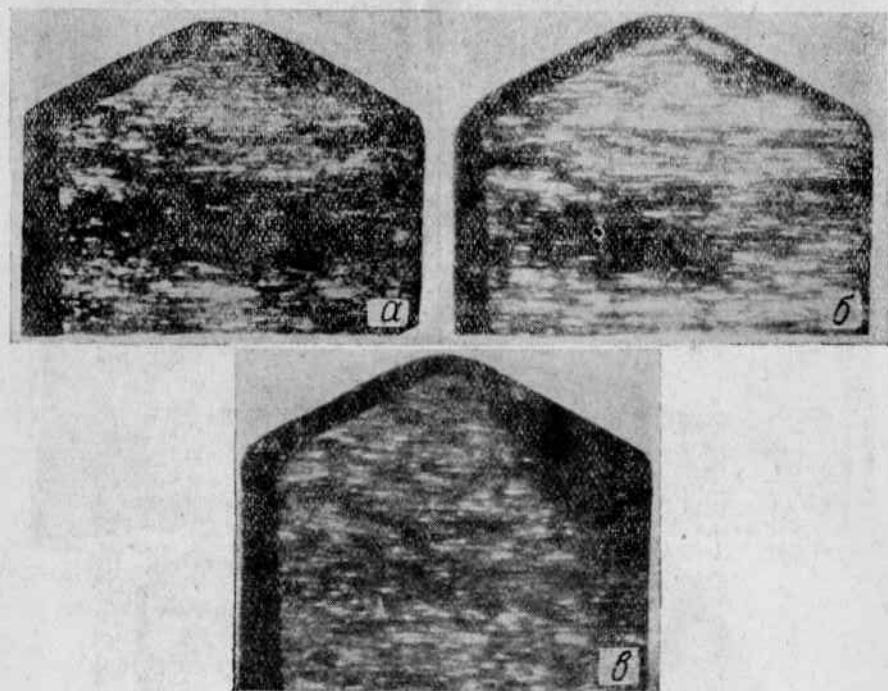


Фиг. 32. Профиль полностью износившихся, но не сломавшихся сверл.

а — сверло № 287, $d = 1$ мм, сверление стали при $n = 3000$ об/мин., $N = 93$, $T = 56,7$ минуты (увеличено в 70 раз); б — сверло № 304, $d = 1$ мм, сверление стали при $n = 4500$ об/мин., $N = 65$, $T = 45,9$ минуты (увеличено в 65 раз); в — сверло № 425, $d = 1$ мм, сверление стали при $n = 6500$ об/мин., $N = 16$, $T = 2,54$ минуты (увеличено в 70 раз); г — сверло № 196, $d = 0,8$ мм, сверление латуни при $n = 13000$ об/мин., $N = 1506$ (увеличено в 65 раз); д — сверло № 283, $d = 0,6$ мм, сверление стали при $n = 13000$ об/мин., $N = 3$, $T = 0,25$ минуты (увеличено в 65 раз); е — сверло № 18, $d = 0,25$ мм, сверление стали при $n = 13000$ об/мин., $N = 2$, $T = 0,3$ минуты (увеличено в 65 раз).

сфотографировали до начала работы и после сверления каждые 5 или 10 отверстий (фиг. 33 — 36). Полностью изношенные сверла не всегда удавалось сфотографировать, так как обычно их кончик отламывался.

Сверла фотографировали при помощи микроскопа Рейхардта, специально приспособленного для этой цели и позволяющего получить увеличение в 65 и 70 раз.



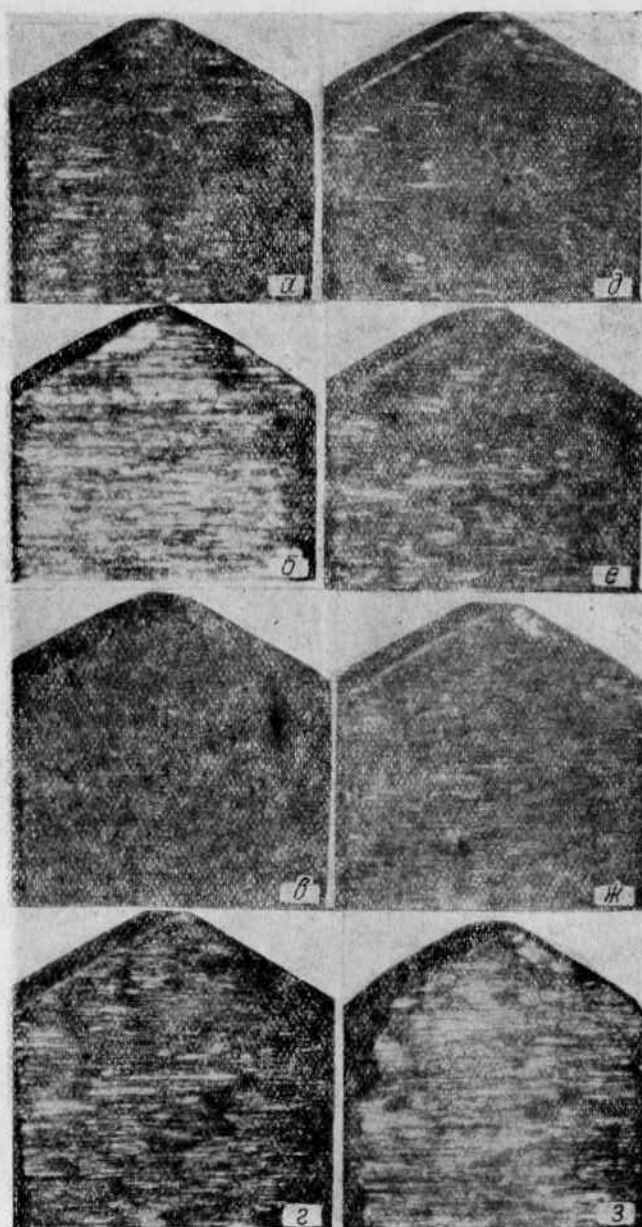
Фиг. 33. Профиль сверла № 728 ($d = 0,8$ мм, сверление стальных пластинок при $v = 11,65$ м/мин, $P_o = 3,11$ кг). Увеличено в 70 раз.

a — до сверления; *б* — после сверления 10 отверстий; *в* — после сверления 20 отверстий.

Рассматривая профили сверл, видим, что сначала изнашиваются (округляются и сглаживаются) боковые уголки и острые кромки перового сверла. Затем начинает интенсивно снашиваться (стираться) цилиндрическая часть самого конца режущей части сверла. Это уменьшение диаметра цилиндрической части конца сверла распространяется в основном на длину, составляющую около половины диаметра сверла, считая от уголка.

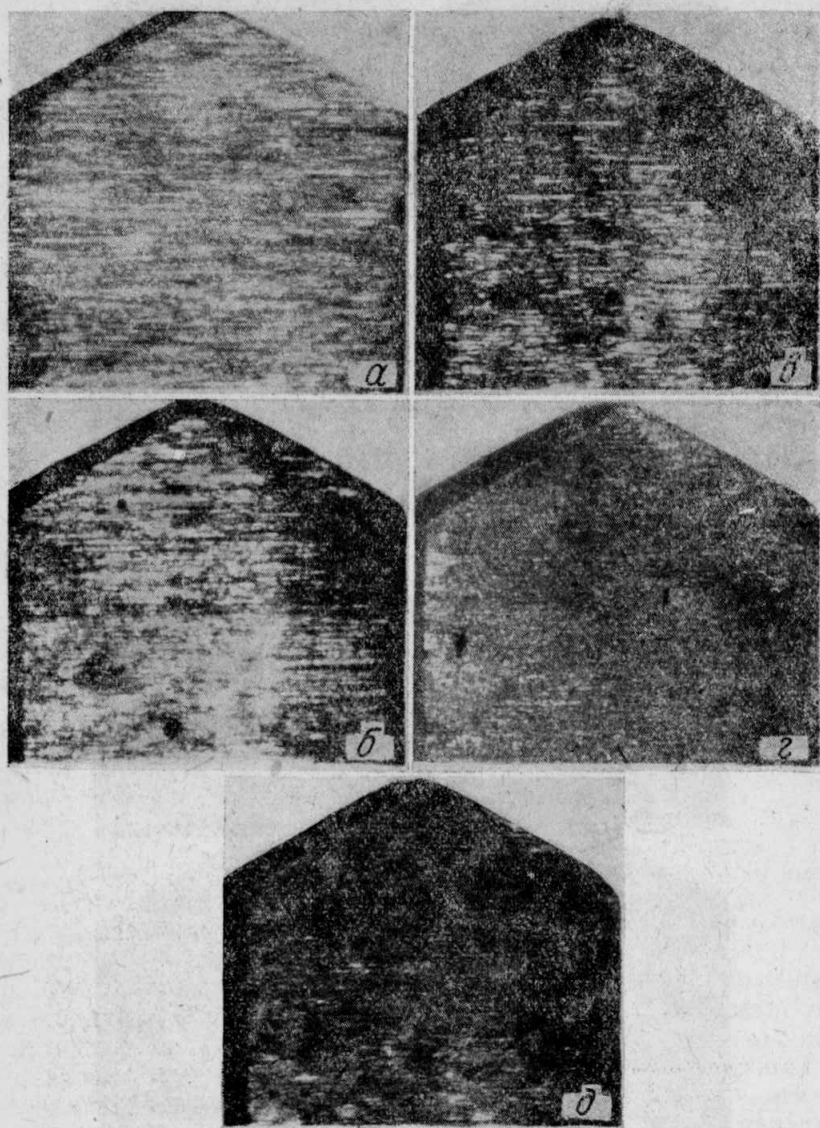
По мере увеличения износа сверла постепенно растет машинное время сверления одного отверстия T_o ; при этом величины фактической подачи (постоянное осевое усилие) соответственно уменьшаются (фиг. 37).

Машинное время сверления одного отверстия одним и тем же сверлом увеличивается с возрастанием числа просверленных



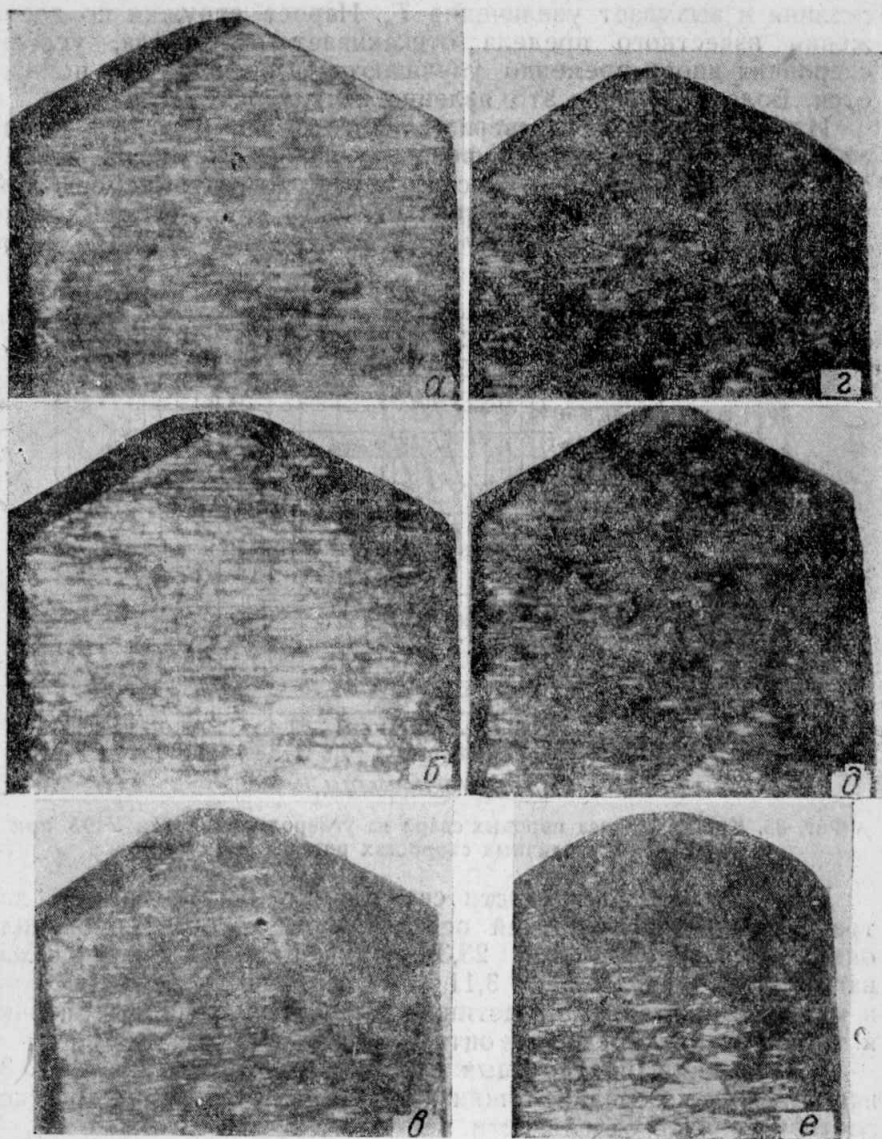
Фиг. 34. Профиль сверла № 714 ($d = 0,8$ мм, сверление стальных пластинок при $v = 16,8$ м/мин, $P_0 = 3,11$ кг). Увеличено в 70 раз.

а — до сверления; б — после сверления 5 отверстий; в — после сверления 10 отверстий; г — после сверления 15 отверстий; д — после сверления 20 отверстий; е — после сверления 25 отверстий; ж — после сверления 30 отверстий; з — после сверления 35 отверстий.



Фиг. 35. Профиль сверла № 690 ($d=0,8$ мм, сверление стальных пластинок при $v=23,3$ м/мин, $P_o=3,11$ кг). Увеличено в 70 раз.

а — до сверления; б — после сверления 5 отверстий; в — после сверления 10 отверстий; г — после сверления 15 отверстий; д — после сверления 25 отверстий.

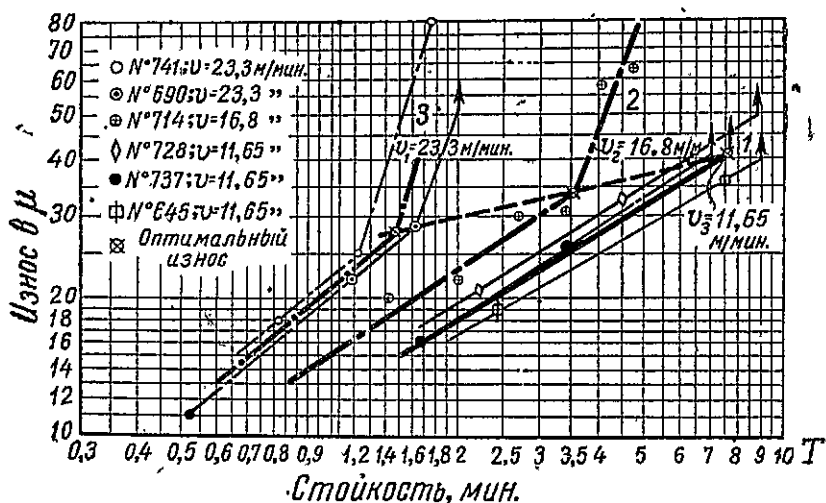


Фиг. 36. Профиль сверла № 741 ($d = 0,8$ мм, сверление стальных пластинок при $v = 23,3$ м/мин, $P_0 = 3,11$ кг).

a — до сверления; *б* — после сверления 5 отверстий; *в* — после сверления 10 отверстий; *г* — после сверления 15 отверстий; *д* — после сверления 20 отверстий; *е* — после сверления 25 отверстий (снимки *a* и *б* увеличены в 65 раз, а остальные в 70 раз).

отверстий неравномерно (фиг. 10 и 37). Колебания T_0 следует отнести, очевидно, за счет прилипания к острию сверла мельчайших частичек стружки, что временно затрудняет процесс резания и вызывает увеличение T_0 . Нарост стружки по достижении известного предела отскакивает от сверла, условия сверления вновь временно улучшаются и значение T_0 понижается. Более подробно это явление не удалось исследовать.

Измерение диаметра сверла по фотографиям (фиг. 33—36) дает возможность установить величину износа сверла по диаметру в зависимости от стойкости сверла. Диаметр измеряют на уровне боковых уголков сверла. Разность двух смежных измерений представляет величину износа за данный период работы сверла.

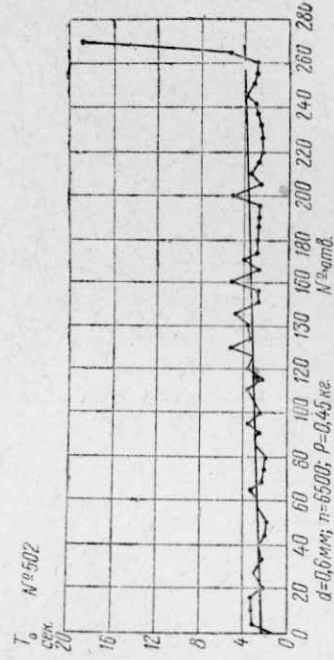
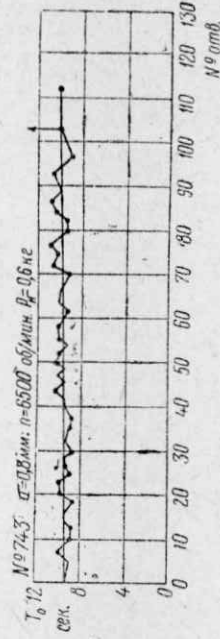
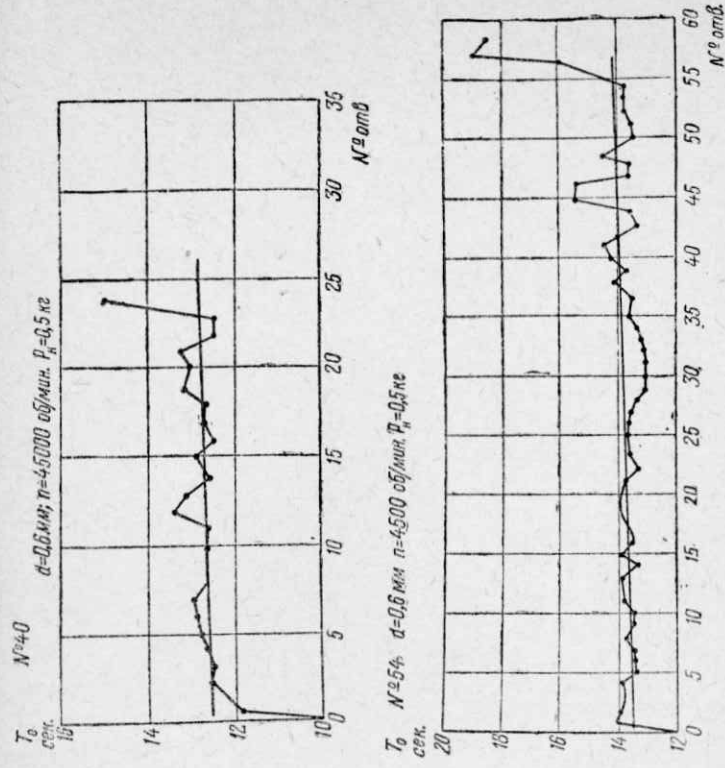
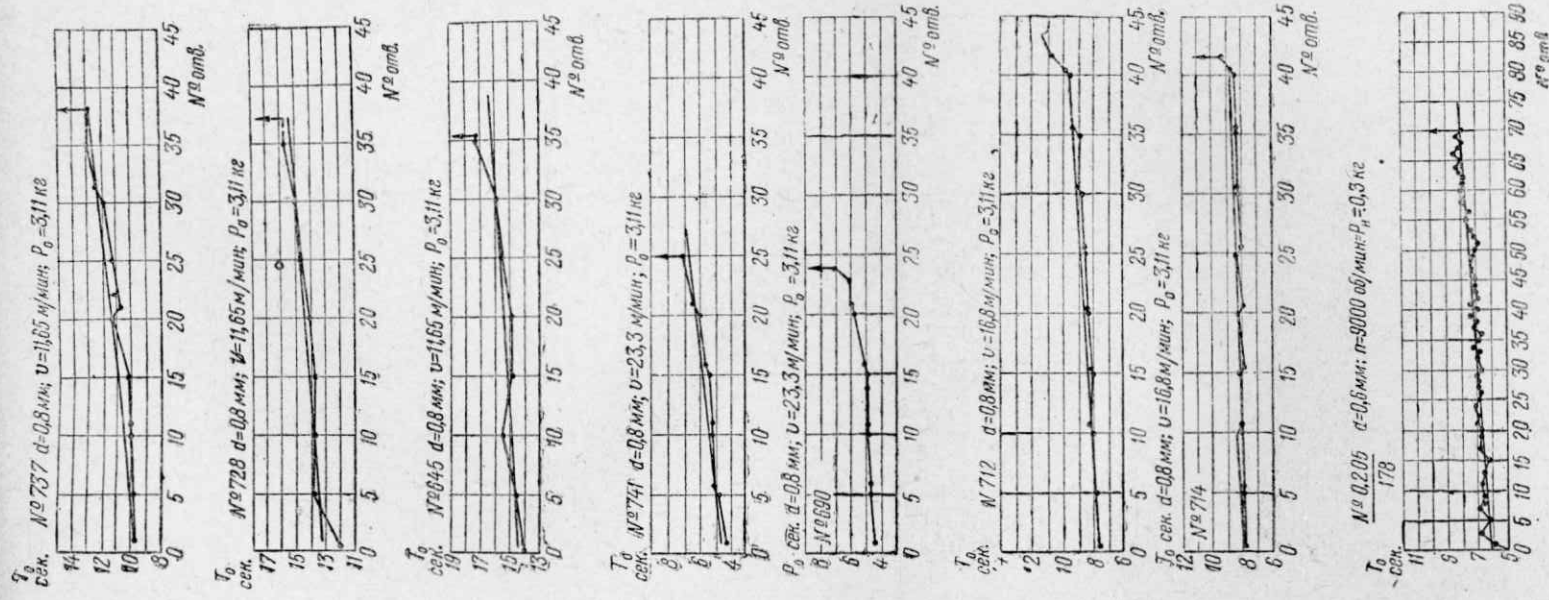


Фиг. 38. Кривые износа перовых сверл из углеродистой стали У10А при различных скоростях резания.

Кривые износо-стойкости сверл (фиг. 38) построены для трех различных скоростей резания, при которых проводили опыты ($v=11,65$; $16,8$ и $23,3$ м/мин). Диаметр сверл $0,8$ мм, нагрузка на сверло $P_0 = 3,11$ кг. Сверлами сверлили всухую в кондукторе стальные пластинки толщиной $2,5 d$ (2 мм). Заточка и термообработка сверл — оптимальные.

Кроме линий, построенных по опытным точкам, на фиг. 38 нанесены также средние линии износа 1, 2 и 3 для каждой скорости резания в отдельности.

Кривые показывают, что износ сверла протекает до некоторого момента равномерно, а затем интенсивность износа резко возрастает и сверло быстро приходит в негодность. Этот переломный момент наступает тем раньше, чем выше скорость резания. Точки перелома кривых износа (оптимальные) расположены примерно на одной прямой, наклоненной под некоторым углом к горизонтальной оси графика (угол наклона $\alpha=13^\circ$).



Фиг. 37. Изменение машинного времени сверления отверстия от числа отверстий, выполненных одним сверлом.

Общая картина износа перовых сверл из углеродистой стали диаметром до 1 мм близка к условиям износа спиральных сверл более крупных диаметров [3, 4, 13, 33]. Отличие в основном заключается лишь в том, что у перового сверла из углеродистой стали диаметром до 1 мм уголки и нижняя цилиндрическая часть срабатываются значительно интенсивнее.

3. ДИНАМИЧЕСКИЕ ЗАВИСИМОСТИ ПРИ СВЕРЛЕНИИ ОТВЕРСТИЙ ДИАМЕТРОМ МЕНЕЕ 1 мм

При обычном сверлении с автоматической подачей сверло продвигается внутрь обрабатываемого материала в порядке принудительного движения и величина подачи сверла зависит от кинематической схемы механизма подачи станка. Осевое усилие на сверло P (усилие подачи) и крутящий момент $M_{кр}$ являются в данном случае зависимыми переменными, а величина подачи — независимой переменной. По результатам измерений специальными приборами величины осевого усилия и крутящего момента устанавливают математическую зависимость P и $M_{кр}$ от S при данных условиях.

Перовыми сверлами диаметром менее 1 мм в подавляющем большинстве случаев отверстия сверлят с ручной подачей. Сверло перемещается вдоль оси отверстия под давлением руки рабочего или под действием груза на рычаге подачи (фиг. 3). При этом осевое усилие на сверло можно с достаточной точностью принять постоянным (стр. 8). Путь продвижения сверла в толщу обрабатываемого материала, т. е. фактическая подача сверла, при прочих равных условиях зависит от заданного размера осевой нагрузки.

Вопрос о правильном выборе режима обработки и в первую очередь подачи в данных условиях необходимо решать иначе, чем для других случаев сверления. Следует, очевидно, не выбирать максимально допустимую подачу, а назначать такую нагрузку на ось сверла, которая при данных условиях обеспечивает наибольшую производительность и наименьшую себестоимость обработки. Величину подачи можно определить как производную ряда факторов, характеризующих процесс сверления, в том числе и размера осевой нагрузки.

Среднюю величину фактической подачи сверла за период сверления одного отверстия определяем на основе хронометража расчетным путем согласно формуле машинного времени при сверлении:

$$S = \frac{(h + y) 60 \cdot 1000}{T_o n}, \quad (3)$$

где S — величина фактической подачи сверла на один оборот в мм;
 T_o — продолжительность сверления отверстия в сек.;

h — глубина отверстия в мм, принятая для данного исследования постоянной,

$$h = 2,5 d; \quad (a)$$

y — величина врезания сверла в мм,

$$y = 0,3 d; \quad (b)$$

n — число оборотов сверла в минуту.

Подставляя выражения (а) и (б) в уравнение (3), получаем в окончательном виде:

$$S = \frac{168000 d}{T_0 n} \mu/\text{об.}, \quad (4)$$

где d — диаметр сверла в мм.

Для облегчения подсчетов величины S можно пользоваться подсобной расчетной таблицей, составленной для различных значений d и n (табл. 19).

Таблица 19

Данные для расчета фактической подачи сверла (T_0 — время сверления одного отверстия в секундах)

Число оборотов n об/мин.	Диаметр сверла, мм				
	1	0,8	0,6	0,4	0,25
	Фактическая подача S $\mu/\text{об.}$				
3000	$\frac{56}{T_0}$	$\frac{44,8}{T_0}$	$\frac{34}{T_0}$	$\frac{22,4}{T_0}$	$\frac{14,0}{T_0}$
4500	$\frac{37,4}{T_0}$	$\frac{39,9}{T_0}$	$\frac{22,7}{T_0}$	$\frac{15}{T_0}$	$\frac{9,33}{T_0}$
6500	$\frac{25,8}{T_0}$	$\frac{20,7}{T_0}$	$\frac{15,7}{T_0}$	$\frac{10,35}{T_0}$	$\frac{6,45}{T_0}$
9000	$\frac{18,7}{T_0}$	$\frac{15}{T_0}$	$\frac{11,33}{T_0}$	$\frac{7,5}{T_0}$	$\frac{4,66}{T_0}$
13000	$\frac{12,9}{T_0}$	$\frac{10,35}{T_0}$	$\frac{7,55}{T_0}$	$\frac{5,16}{T_0}$	$\frac{3,23}{T_0}$
18000	—	$\frac{7,5}{T_0}$	$\frac{5,66}{T_0}$	$\frac{2,87}{T_0}$	$\frac{2,33}{T_0}$

Величину крутящего момента при данном исследовании не смогли измерять вследствие отсутствия соответствующего прибора для определения малых величин моментов кручения.

Большое число экспериментальных данных позволяет установить характер зависимости величины фактической подачи сверла диаметром менее 1 мм от ряда факторов.

При постоянстве обрабатываемого материала, материала сверла, его термообработки и заточки и сверлений с неизменной осевой нагрузкой подача сверла зависит от: 1) величины осевой нагрузки, 2) скорости резания и 3) диаметра сверла. Кроме того, на величину подачи влияют степень износа сверла и толщина его режущей части.

По мере увеличения числа отверстий, просверленных одним сверлом, машинное время сверления отверстия T_0 неуклонно растет. Соответственно уменьшается от одного отверстия к другому величина фактической подачи сверла за один оборот вследствие постепенного износа и затупления режущих частей сверла.

Рассмотрение графиков изменений машинного времени T_0 при увеличении числа отверстий N , просверленных одним сверлом (фиг. 10 и 37), показывает, что в среднем угол наклона линий, характеризующих зависимость T_0 от N к горизонтальной оси, составляет (табл. 20) $\alpha = 4^\circ$, $\operatorname{tg} 4^\circ = 0,07$.

Таблица 20

Углы наклона α линий (на графиках), характеризующих зависимость машинного времени сверления одного отверстия T_0 от числа отверстий N , просверленных одним сверлом

№ сверла	α°	№ сверла	α°	№ сверла	α°	№ сверла	α°	№ сверла	α°
40	2,5	743	2,0	785	5,0	561	3,0	328	7,5
098	2,0	205	4,5	352	3,0	596	2,0	316	6,0
0287	2,5	206	2,5	207	4,0	541	1,5	357	6,0
507	2,0	54	2,0	50	7,5	412	5,5	812	8,0
724	5,0	39	6,5	600	2,0	467	3,0	345	4,0

Зависимость T_0 от числа отверстий, просверленных данным сверлом, представляет одновременно зависимость от степени износа сверла, так как величину износа сверла можно принять пропорциональной числу просверленных им отверстий.

Эту зависимость определяем по уравнению:

$$T_0 = c N^{0,07},$$

где c — коэффициент пропорциональности.

Соответственно зависимость величины фактической подачи от степени износа, характеризуемого числом просверленных данным сверлом отверстий, находим по уравнению

$$S = \frac{c'}{N^{0,07}}, \quad (5)$$

где c' — коэффициент пропорциональности.

При помощи уравнения (5) были рассчитаны поправочные коэффициенты на величину фактической подачи при сверлении затупившимся сверлом. Поправочный коэффициент принят равным единице для сверления вновь заточенным сверлом первого отверстия, — практически для первых пяти отверстий, при выполнении которых режущие кромки сверла как бы доводятся (табл. 21).

Данные этой таблицы можно применять при сквозном сверлении (в кондукторе, всухую) отверстий глубиной $2,5d$ в пластинках из стали У7А, первыми сверлами из углеродистой стали У10А.

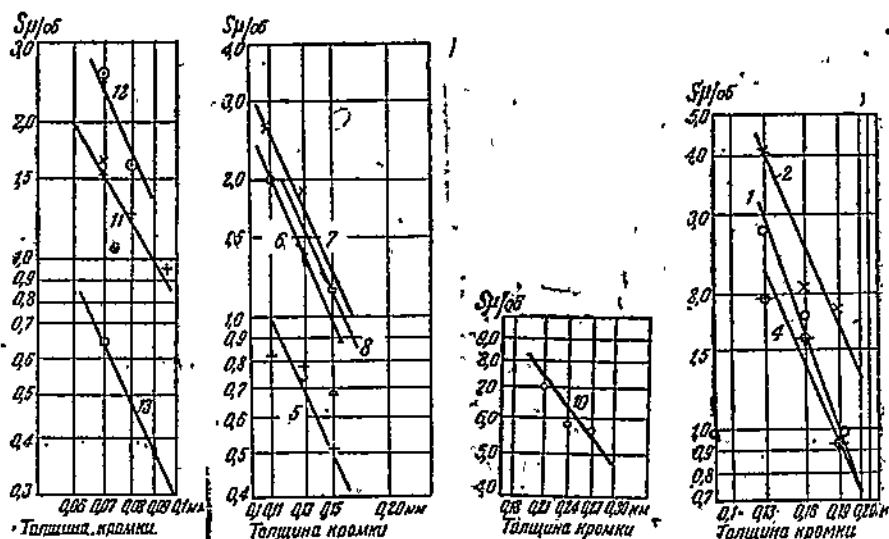
Таблица 21

Поправочный коэффициент на расчетную величину фактической подачи при сверлении перовыми сверлами диаметром $d = 0,25 - 1$ мм

Общее число отверстий, просверленных сверлом	0-5	25	50	100	150	200
Поправочный коэффициент износа сверла на расчетную величину подачи	1	0,80	0,77	0,73	0,70	0,69

Толщина режущей части сверла b (фиг. 11) значительно влияет на величину средней фактической подачи при сверлении с постоянной осевой нагрузкой. С увеличением размера b подача резко уменьшается (фиг. 39). Графики, изображенные на фиг. 39, построены для условий свер-

ления пластинок стали У7А вновь заточенными перовыми сверлами (из стали У10А) оптимальной термообработки и с опти-



Фиг. 39. Зависимость величины фактической подачи S от толщины режущей части b перового сверла при постоянной осевой нагрузке:

Опыт	d мм	n об/мин.	P_H кг	Опыт	d мм	n об/мин.	P_H кг
1	0,6	3000	0,5	7	0,4	3000	0,45
2	0,6	3000	0,6	8	0,4	4500	0,45
4	0,6	18000	0,45	10	1,0	8000	1,0
5	0,4	3000	0,5	11	0,25	3000	0,3
6	0,4	3000	0,4	12	0,25	4500	0,3
				13	0,25	13000	0,3

мальной геометрической формой, причем взяты средние данные по первым пяти отверстиям. Опыты проведены со сверлами различных диаметров при разных скоростях резания v и осевых нагрузках P_o .

Зависимость подачи S от размера сверла b находим по уравнению (6)

$$S = \frac{c''}{b^q}, \quad (6)$$

где S — средняя фактическая подача сверла в $\mu/\text{об.}$;

c'' — коэффициент, зависящий от свойств обрабатываемого материала и других условий сверления;

b — толщина режущей части сверла в мм (фиг. 11);

q — показатель степени.

Показатель степени, в свою очередь, зависит от диаметра сверла и имеет тенденцию к уменьшению при увеличении его диаметра. С достаточной точностью можно принять в среднем $q=2$.

Аналогичные зависимости усилий подачи от толщины режущей кромки спирального сверла при постоянной S получены (табл. 22) рядом других авторов [2, 4, 7]. Те и другие зависимости различаются между собой только тем, что при автоматической подаче зависимой переменной является осевое усилие при заданной величине подачи.

Таблица 22

Усилие подачи P при разной толщине перемычки спирального сверла (при $S = \text{const}$)

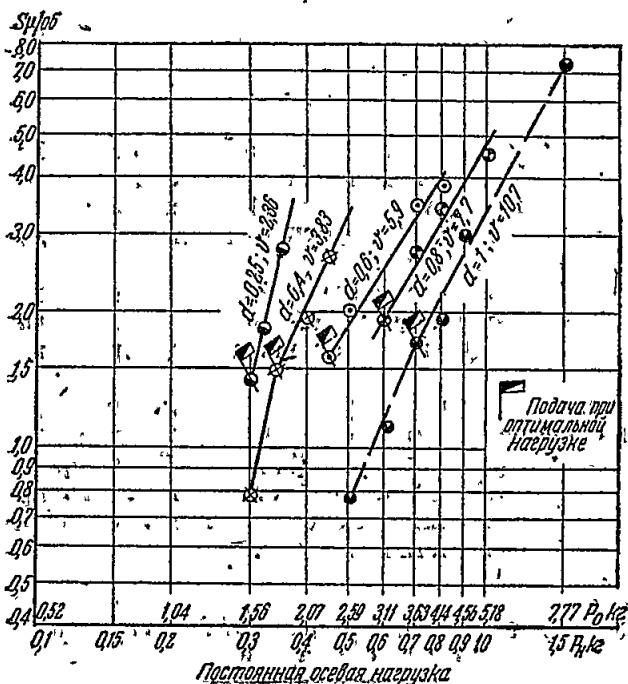
Диаметр сверла d мм	Толщина перемычки сверла мм	Усилие подачи P кг	Относительная величина усилия	Автор
40	2,7	900	1,00	Кривоухов [4]
	4,6	1100	1,22	
	6,7	1325	1,48	
31	3,57	665	1,00	Бурштейн, Ананченко, Стоев и Клименко [7]
	5,01	1100	1,66	
20	2,52	340	1,00	
	3,15	480	1,41	

Зависимость $S = f(P_0, v, d)$ можно представить на основе графического и аналитического анализа экспериментальных данных (фиг. 40—43) общим уравнением

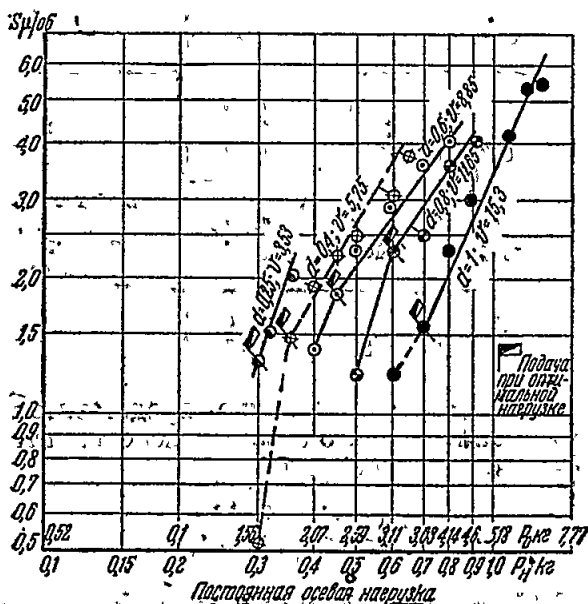
$$S = \frac{C_s P_0^{x_s} v^{y_s}}{d^{z_s}} \quad (7)$$

Показатели степеней x_s , y_s и z_s в уравнении (7) не постоянны, а зависят от скорости резания v и диаметра сверла d :

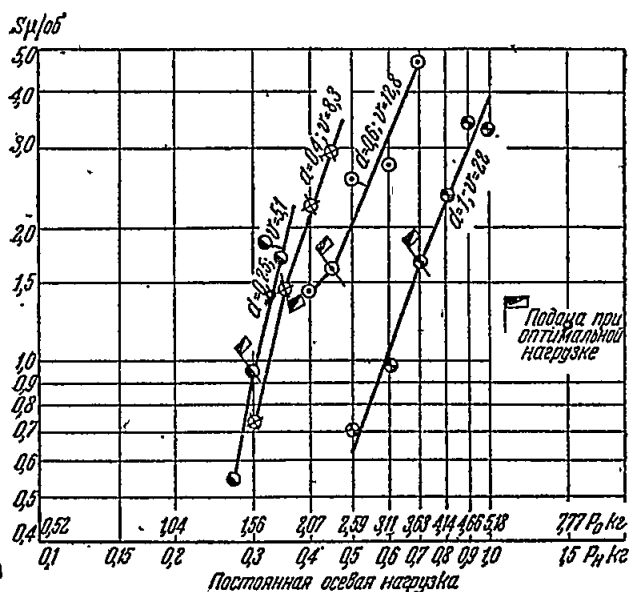
$$x_s, y_s, z_s = f(v, d).$$



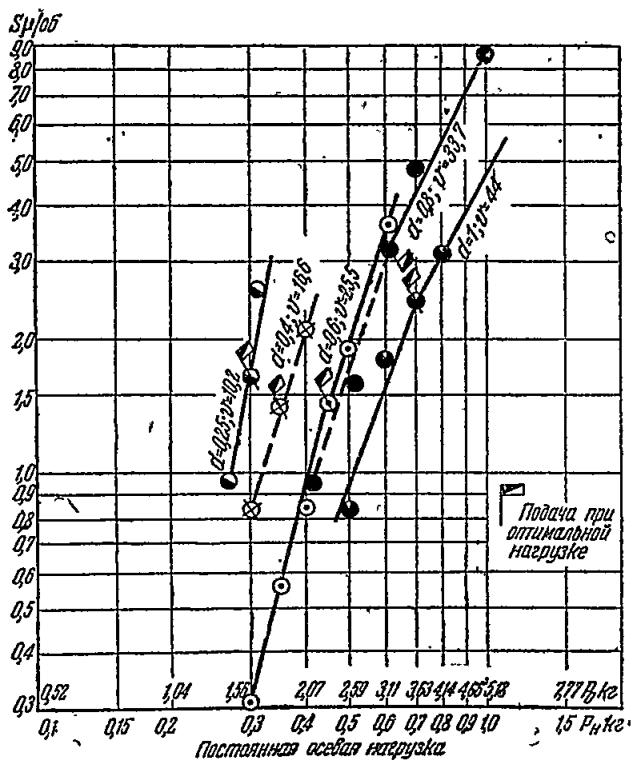
Фиг. 40. Средняя фактическая подача сверл разного диаметра при разных осевых нагрузках и $n = 3000$ об/мин.



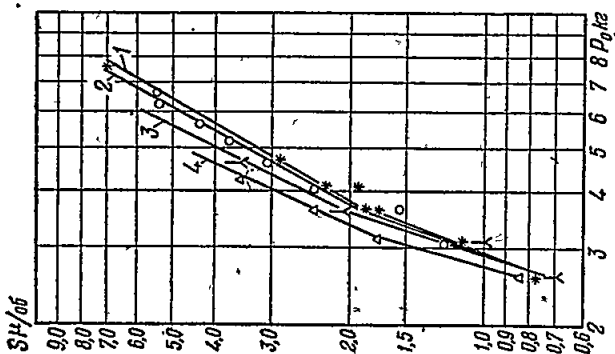
Фиг. 41. Средняя фактическая подача сверл разного диаметра при разных осевых нагрузках и $n = 4500$ об/мин.



Фиг. 42. Средняя фактическая подача сверл разного диаметра при разных осевых нагрузках и $n = 6500$ об/мин.

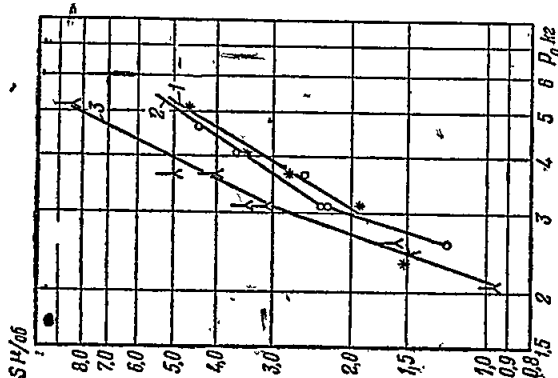


Фиг. 43. Средняя фактическая подача сверл разного диаметра при разных осевых нагрузках и $n = 13000$ об/мин.



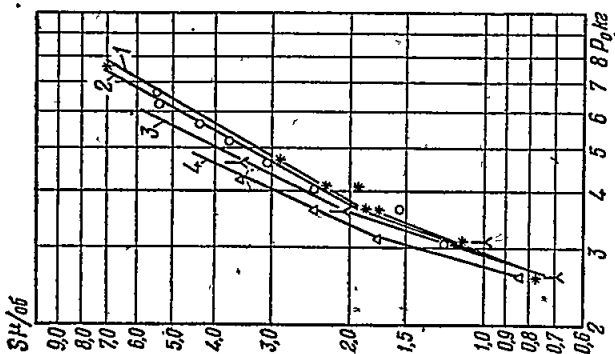
Фиг. 44. Зависимость $S = f(P_0)$ при $v = \text{const}$ для сверл диаметром 0,6 мм.

1 — при $v = 5,9$ м/мин; 2 — при $v = 8,85$ м/мин; 3 — при $v = 12,8$ м/мин; 4 — при $v = 25,5$ м/мин.



Фиг. 45. Зависимость $S = f(P_0)$ при $v = \text{const}$ для сверл диаметром 0,8 мм.

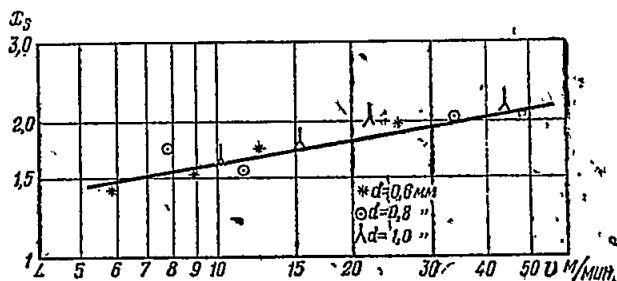
1 — при $v = 7,76$ м/мин; 2 — при $v = 11,65$ м/мин; 3 — при $v = 33,7$ м/мин; 4 — при $v = 44$ м/мин.



Фиг. 46. Зависимость $S = f(P_0)$ при $v = \text{const}$ для сверл диаметром 1 мм.

1 — при $v = 10,2$ м/мин; 2 — при $v = 15,3$ м/мин; 3 — при $v = 22$ м/мин; 4 — при $v = 44$ м/мин.

Общее уравнение (7) имеет различные частные значения для: 1) перовых сверл диаметром $d=0,6-1$ мм и 2) перовых сверл диаметром $d=0,25-0,4$ мм. Это объясняется конструктивными отличиями сверл: первые имеют затыловочную фаску на цилиндрической части, а вторые не имеют ее.



Фиг. 47. Зависимость $x_s = f(v)$ для сверл диаметром 0,6—1 мм.

Для перовых сверл диаметром $d=0,6-1$ мм зависимость S от P_o при разных скоростях резания представлена в виде пучка расходящихся линий отдельно для сверл диаметром 0,6 (фиг. 44), 0,8 (фиг. 45) и 1 мм (фиг. 46). Для частной зависимости $S = f(P_o, v)$ находим уравнение, общее для сверл трех диаметров:

$$S = c' P_o^{x_s},$$

где c' —коэффициент пропорциональности, а x_s —показатель степени (фиг. 47).

$$x_s = 1,12 v^{0,16}.$$

Частная зависимость S от d (фиг. 48)

$$S = \frac{c''}{d^{2,3}}, \quad (b)$$

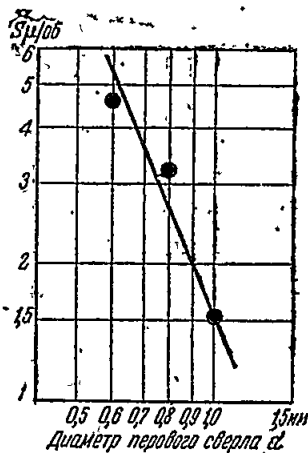
где c'' —коэффициент пропорциональности.

Подставляя выражения (a) и (b) в уравнение (7), окончательно получаем для перовых сверл диаметром $d=0,6-1$ мм:

$$S = \frac{C_s P_o^{1,12 v^{0,16}}}{d^{2,3}}, \quad (8)$$

где S —средняя фактическая подача перовых сверл диаметром 0,6—1 мм при постоянной осевой нагрузке, в мм/об;

C_s —постоянная величина, зависящая от свойств обрабатываемого материала; $C_s=0,17$ при сверлении пластинок стали У7А;



Фиг. 48. Зависимость $S = f(d)$ для сверл диаметром 0,6—1 мм при $v = 15$ м/мин, $P_o = 3,63$ кг и постоянной осевой нагрузке.

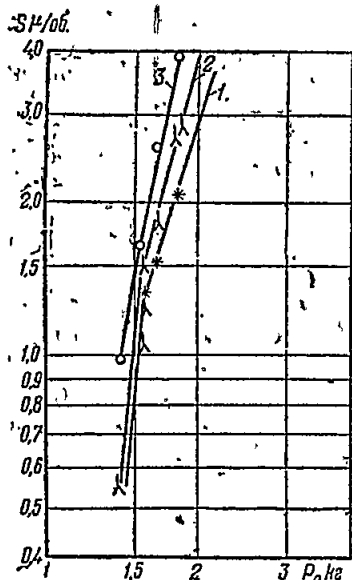
P_o — осевая нагрузка на сверло в кг;

v — скорость резания в м/мин;

d — диаметр перового сверла в мм.

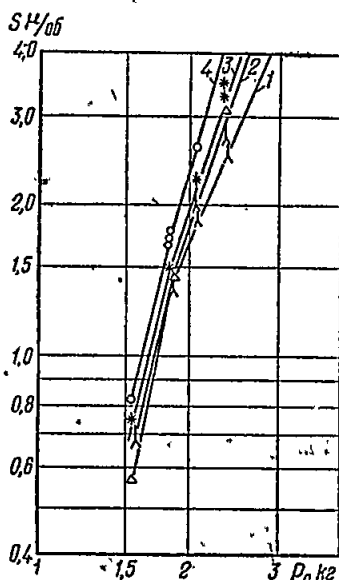
Показатель степени x_s рассчитан для различных значений v :

v м/мин	5	7	11	15	20	25	35	45
x_s	1,45	1,53	1,64	1,73	1,81	1,87	1,97	2,05



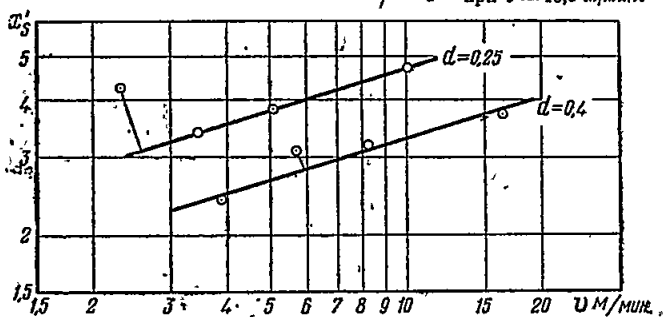
Фиг. 49. Зависимость $S = f(P_o)$ при $v = \text{const}$ для сверл диаметром 0,25 мм.

1 — при $v = 5,53$ м/мин; 2 — при $v = 5,10$ м/мин; 3 — при $v = 10,2$ м/мин.



Фиг. 50. Зависимость $S = f(P_o)$ при $v = \text{const}$ для сверл диаметром 0,4 мм.

1 — при $v = 3,83$ м/мин; 2 — при $v = 5,75$ м/мин; 3 — при $v = 8,3$ м/мин; 4 — при $v = 16,6$ м/мин.



Фиг. 51. Зависимость $x'_s = f(v)$ для сверл диаметром 0,25 и 0,4 мм.

Характер зависимости $S = f(P_o, v, d)$ для сверл диаметром 0,25—0,4 мм несколько отличается от уравнения (8).

Из данных, приведенных на фиг. 49, 50 и 51, получаем:

$$S = C'_s P_o^{x'_s} v^{x'_v} d^{x'_d}$$

где показатель x_s (фиг. 51) равен

$$x_s' = \frac{0,92 v^{0,3}}{d^{0,65}}. \quad (с)$$

В окончательном виде получаем для перовых сверл диаметром $d=0,25-0,4$ мм:

$$S = C_s' P_o \frac{0,92 v^{0,3}}{d^{0,65}}, \quad (9)$$

При сверлении пластинок стали У7А в уравнении (9) постоянная величина $C_s' \approx 0,25$.

Отдельные значения показателя x_s' были определены для различных величин v и d :

v м/мин	2	3	5	7	11	15
x_s' при $d=0,25$ мм	2,76	3,12	3,63	4,00	4,6	—
x_s' при $d=0,40$ мм	—	2,32	2,70	2,92	3,42	3,75

Уравнения (8) и (9) показывают, что при одной и той же осевой нагрузке на сверло фактическая подача при сверлении резко увеличивается с возрастанием скорости резания v . Большая скорость вращения способствует, при прочих равных условиях, лучшему прониканию сверла в обрабатываемый материал. Машинное время сверления отверстий малых диаметров уменьшается, следовательно, при больших скоростях резания не только за счет увеличения числа оборотов сверла n , но и за счет увеличения подачи S при той же осевой нагрузке P_o .

Уравнения (8) и (9) доказывают также, что с уменьшением диаметра сверла подача значительно растет при той же нагрузке. Это объясняется тем, что удельная нагрузка на единицу поперечного сечения отверстия растет с уменьшением диаметра сверла.

Рассматривая графики зависимости подачи от осевой нагрузки (фиг. 40—46), видим, что для сверл всех диаметров, линии, характеризующие зависимость S от P_o , имеют некоторую переломную точку.

Осевую нагрузку в переломной точке кривой называем оптимальной нагрузкой.

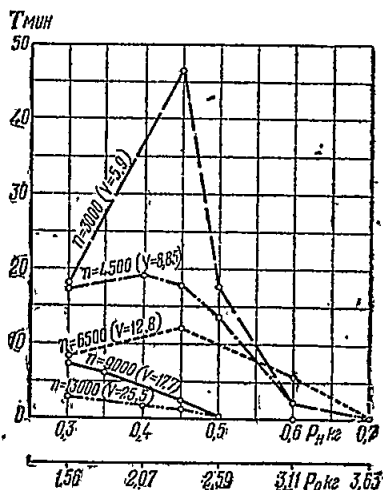
Когда нагрузка меньше оптимальной, подача, как правило, имеет небольшую величину. Когда же нагрузка достигает величины, которая равна оптимальной, подача резко возрастает и далее постепенно повышается по мере увеличения P_o .

Явление оптимальной нагрузки особенно сказывается на стойкости сверла (фиг. 52, 53, 54). При нагрузке на сверло, равной оптимальной, стойкость его наибольшая. Стойкость сверла падает при уменьшении и увеличении нагрузки по сравнению с оптимальной.

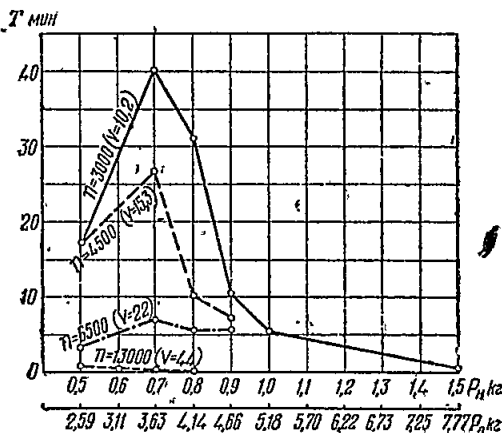
Уменьшение стойкости сверла при нагрузке, которая меньше оптимальной, происходит, главным образом, при малых скоростях

резания. По мере роста v эти явления постепенно сглаживаются и совершенно не наблюдаются при больших скоростях резания.

Величина оптимальной нагрузки для сверл разного диаметра неодинакова (фиг. 55). Оптимальная нагрузка прямо пропорциональна квадрату диаметра сверла:



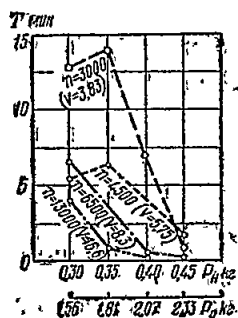
Фиг. 52. Стойкость перовых сверл диаметром 0,6 мм при разных нагрузках.



Фиг. 53. Стойкость перовых сверл диаметром 1 мм при разных нагрузках.

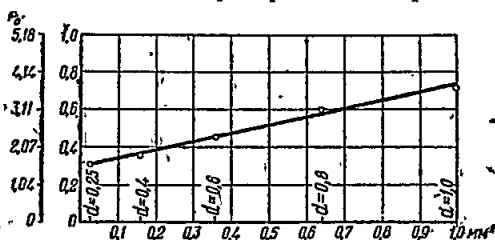
Оптимальные нагрузки

Диаметр сверла d , мм	0,25	0,4	0,6	0,8	1,0
Оптимальная нагрузка на рычаг подачи P_n , кг	0,30	0,35	0,45	0,60	0,70
Оптимальная осевая нагрузка P_o , кг	1,56	1,81	2,33	3,11	3,63



Фиг. 54. Стойкость перовых сверл диаметром 0,4 мм при разных нагрузках.

Рассмотренные условия оптимальной нагрузки можно объяснить следующим. Для того чтобы сверло работало правильно,



Фиг. 55. Оптимальная осевая нагрузка для сверл разного диаметра.

но, по оси его должно действовать какое-то минимальное давление, обеспечивающее проникание режущих кромок сверла в

толщину материала. Если осевое давление меньше необходимого, фактическая подача незначительна, и режущие кромки в основном трутся о металл и как бы скоблят стружку, что ведет к усиленному нагреву конца сверла. Когда давление на сверло меньше оптимального, то оно недостаточно также для удаления образующихся элементов стружки и конец сверла заклинивается в отверстии. Все вместе взятое ведет при уменьшении фактической подачи и малых P_0 к быстрому износу и поломке сверла.

Когда P_0 превышает оптимальное значение, процесс резания протекает в нормальных условиях. По мере дальнейшего повышения P_0 растет фактическая подача сверла и увеличивается количество стружки, снимаемой сверлом. При этом сверло нагревается и изнашивается интенсивнее. Этим объясняется уменьшение стойкости сверла по мере увеличения P_0 свыше оптимального значения.

В случае увеличения скорости резания v при той же осевой нагрузке улучшаются условия проникания сверла в металл [уравнения (8) и (9)] и выбрасывания стружки из-под конца сверла благодаря росту центробежных сил. Таким образом влияние оптимальной нагрузки постепенно сглаживается и при больших скоростях не проявляется.

Уравнения фактической подачи (8) и (9) выведены в предположении, что величина осевой нагрузки равна или больше оптимальной. Кроме того, следует учесть, что уравнения (8) и (9) составлены для условий сверления вновь заточенными сверлами.

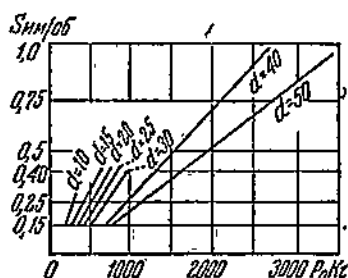
Полученные результаты [уравнения (8) и (9)] в основном аналогичны данным других авторов, например, проф. В. А. Кривоухова [4], который вывел уравнение осевого усилия для сверления стали 1010 и 1020. Пересчитывая его уравнение для $v = \text{const}$ так, чтобы величина S являлась зависимой переменной, а величина P_0 — независимой, получаем:

$$S = \frac{C_s}{d^{1,28}} P_0^{1,28}$$

Зависимость S от P_0 по Шлезингеру [31, 32] (сверление стали с $\sigma_b = 45 \text{ кг/мм}^2$ сверлами $d = 10-50 \text{ мм}$) показана на фиг. 56.

Уравнение Кривоухова [4] и график Шлезингера (фиг. 56) имеют в основном достаточное сходство с зависимостями, установленными уравнениями (8) и (9) для сверл диаметром менее 1 мм.

Уравнения (8) и (9) выведены для работы всухую. При смазке конца перового сверла условия его проникания в металл резко улучшаются. Так при смазке сверла веретенным маслом № 1 подача увеличивается в 2—2,2 раза.



Фиг. 56. Зависимость усилия подачи от величины подачи S по Шлезингеру [33, 34].

4. УРАВНЕНИЯ СКОРОСТИ И ЭКОНОМИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ СВЕРЛЕНИЯ ОТВЕРСТИЙ ДИАМЕТРОМ МЕНЕЕ 1 мм

Как правило, все зависимости установлены для осевой нагрузки на сверло, равной или превышающей оптимальную.

При оптимальной нагрузке на сверло зависимость (фиг. 57) скорости резания v от стойкости сверла T равна

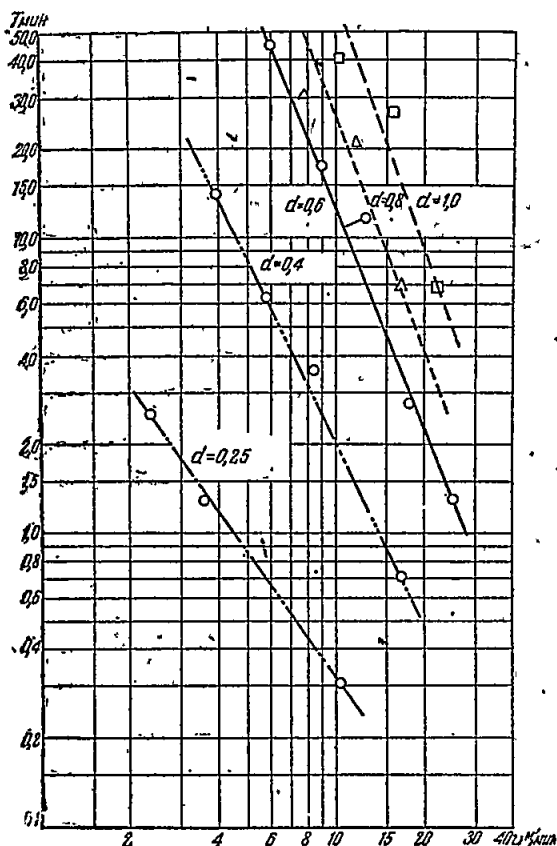
$$v = \frac{C_v}{T^m}, \quad (a)$$

где коэффициент C_v и показатель m степени стойкости сверла различны для разных диаметров сверла (таблица 23). /

Изменение показателя степени стойкости m для сверл различного диаметра (фиг. 58) в пределах $d = 0,25 - 1$ мм можно выразить уравнением

$$m = \frac{0,34}{d^{0,47}}. \quad (b)$$

Аналогичную картину роста показателя m при уменьшении диаметра сверла находим в исследованиях ряда других авторов, при работе со спиральными сверлами крупного диаметра. (табл. 24).



Фиг. 57. Стойкость перовых сверл в зависимости от скорости резания.

Таблица 23

Зависимость значений C_v и m от диаметра сверла d

d , мм	0,25	0,4	0,6	0,8	1,0
C_v	4,4	14,2	27,6	34,4	44,2
m	0,69	0,48	0,40	0,38	0,36

Увеличение показателя m при уменьшении диаметра сверла установлено также лабораторией резания ЗИС [3] при сверлении стали 1035 сверлами диаметром 10—30 мм (сквозные отверстия, отношение глубины сверления к диаметру сверла

Таблица 24

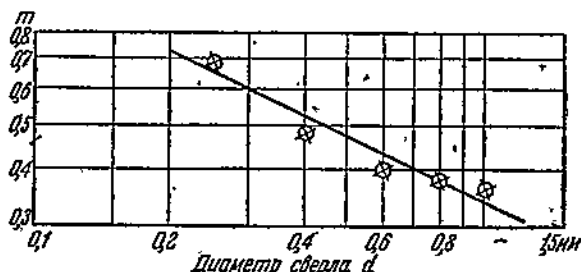
Показатель относительной стойкости m для сверл разного диаметра

d , мм	S , мм/об	Обрабатываемый материал	m	Автор
40 30 22	0,67 0,67 0,67	Сталь $\sigma_b = 48 \text{ кг/мм}^2$	{ 0,069 0,113 0,116	Валлиш, Бейтель и Мендельсон [33]
24 18	0,23 0,23	Сталь 5140	{ 0,078 0,170	Криноухов [4]
24 18	0,45 0,45	Сталь 3312	{ 0,112 0,158	

равно двум). Изменение показателя m в зависимости от диаметра сверла можно выразить по опытам ЗИС уравнением

$$m = \frac{A}{d^{0,57}}.$$

Увеличение показателя m в уравнении скорости свидетельствует о том, что с уменьшением диаметра сверла становится



Фиг. 58. Зависимость показателя m степени стойкости сверла от диаметра последнего.

менее устойчивым. Подставляя выражение (b) в уравнение (a), получаем:

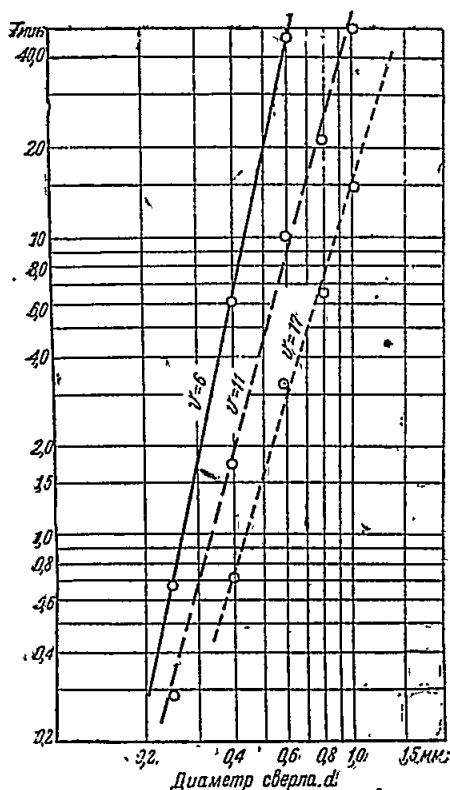
$$v = \frac{C_v}{T^{0,34} d^{0,47}}. \quad (10)$$

Особенно ясно видно понижение стойкости T у сверл малого диаметра при постоянной скорости резания (фиг. 59).

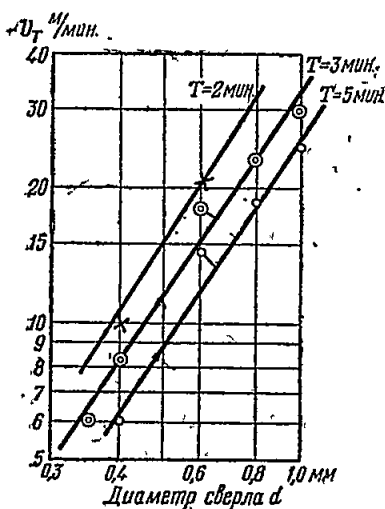
Величину T можно высчитать при данных условиях по уравнению

$$T = c' d^x,$$

где показатель x колеблется в пределах от 3,24 до 4,64 при разных скоростях резания v .



Фиг. 59. Стойкость перовых сверл разного диаметра при $v = \text{const}$.



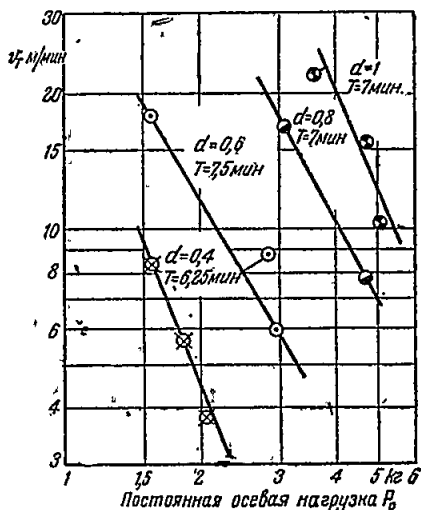
Фиг. 60. Зависимость скорости резания от диаметра сверла при постоянной стойкости.

Пониженная стойкость сверл малого диаметра объясняется тем, что они значительно интенсивнее нагреваются при сверлении, чем более крупные сверла. В процессе сверления нагрев сверла тем выше, чем больше его поверхность трения о материал. Температура конца сверла тем ниже, чем больше объем его металла, соприкасающегося с обрабатываемой пластинкой. В конечном итоге температура конца сверла тем выше, чем меньше его диаметр. Это и влечет за собой ухудшение стойкости сверла малого диаметра.

При постоянной стойкости сверла скорость резания возрастает с увеличением его диаметра. Зависимость $v_T = f(d)$ определяем для стойкости $T = 2, 3$ и 5 минут (фиг. 60). Получаем

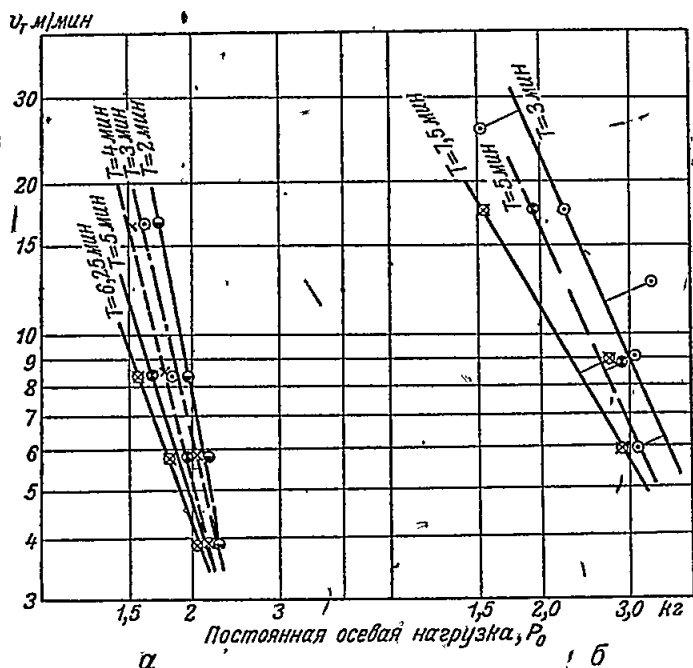
$$v_T = c \cdot d^{1,48} \quad (11)$$

Зависимость v_T от осевой нагрузки на сверло P_o опреде-



Фиг. 61. Зависимость v_T от P_o при $T = \text{const}$.

ляем для: 1) сверл разного диаметра d при постоянной их стойкости T (фиг. 61) и 2) для постоянного диаметра d и разной стойкости T (фиг. 62). В обоих случаях $P_o \geq P_{\text{оптим}}$. Из графиков



Фиг. 62. Зависимость v_T от P_o при $d = \text{const.}$

a — для сверл диаметром $d = 0,4$ мм; b — для сверл диаметром $d = 0,6$ мм.

фиг. 61 и 62 находим, что $v_T = f(P_o)$ можно выразить уравнением

$$v_T = \frac{c''}{P_o^{y_v}} \quad (a)$$

где показатель степени y_v — величина, независимая от диаметра сверла, но функция стойкости

$$y_v = \frac{5,93}{T^{0,62}} \quad (b)$$

Подставляя выражение (b) в уравнение (a), получаем частную зависимость:

$$v_T = \frac{c''}{P_o^{\frac{5,93}{T^{0,62}}}} \quad (12)$$

После совместного решения всех частных зависимостей [уравнения (10), (11) и (12)] окончательно получаем:

$$v = \frac{C_v d^{1,48}}{T^{0,47} P_o^{0,62}} \quad (13)$$

где v — скорость резания в м/мин ;

C_v — постоянный коэффициент, зависящий от свойств обрабатываемого материала; $C_v = 785$ для стали У7А;

d — диаметр сверла в мм ;

T — стойкость сверла в минутах;

P_o — постоянная осевая нагрузка на сверло ($P_o \geq P_{\text{ом}}$) в кг .

Уравнение (13) составлено для сверления всухую. При сверлении со смазкой (веретенное масло № 1) стойкость сверла повышается в среднем в 1,78 раза. Значение скорости резания можно соответственно увеличить при $T = \text{const}$ умножением на поправочный коэффициент

$$K_{vc} = K_{Tc}^m = 1,78^m,$$

где K_{vc} — поправочный коэффициент влияния смазки на скорость резания v ;

K_{Tc} — поправочный коэффициент влияния смазки на стойкость сверла.

Показатель относительной стойкости m — величина переменная, в связи с чем K_{vc} изменяется для сверл разного диаметра.

Диаметр сверла $d, \text{мм}$	0,25	0,40	0,60	0,8	1,0
Коэффициент K_{vc}	1,38	1,82	1,28	1,25	1,53

В среднем $K_{vc} = 1,25 - 1,30$.

При работе со смазкой фактическая подача увеличивается в 2—2,2 раза (стр. 55). Вследствие этого при работе на повышенных скоростях резко сокращается машинное время сверления одного отверстия и производительность работы возрастает в 2,5—3 раза. Таким образом производительность одного сверла при работе со смазкой повышается до четырех раз.

Для определения экономических условий сверления приняли затрату времени на смену износившегося сверла равной 1 минуте; расход вспомогательного времени на каждое отверстие (перестановка детали при переходе от сверления одного отверстия к сверлению очередного и обратный подъем сверла) в зависимости от диаметра сверла:

Диаметр сверла $d, \text{мм}$	0,25—0,4	0,6—0,8	1
Вспомогательное время, сек.	8	10	12

Стоимость первых сверл диаметром 0,6; 0,8 и 1 мм определили в 22 коп. каждого и первых сверл диаметром 0,25 и 0,4 мм в 12 коп. каждого.

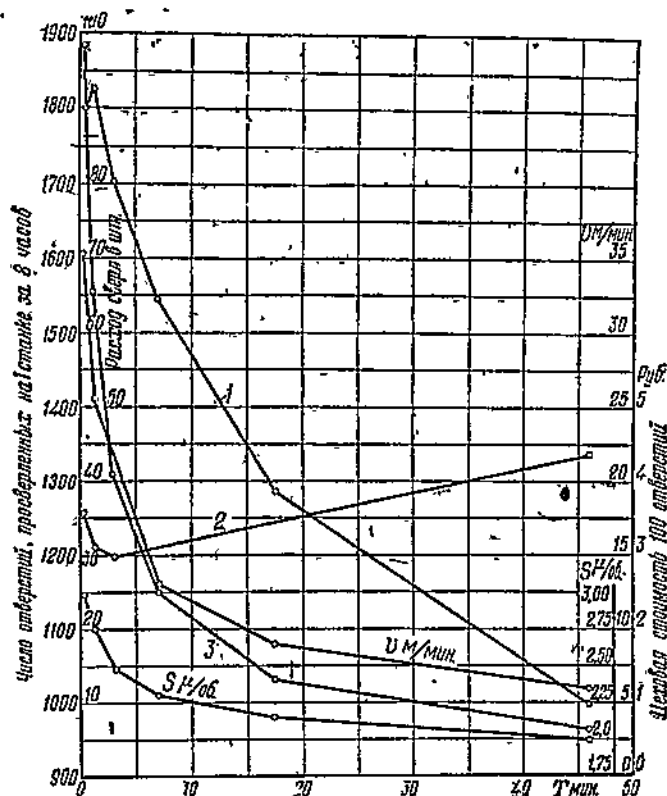
Исходя из этого, подсчитали экономические условия сверления при всех возможных числах оборотов сверлильного станка системы Вебо. Расчет выполнен для всех исследованных диаметров сверл от 0,25 до 1 мм , причем согласно уравнениям (8) и (9) для каждого диаметра рассчитали величину фактической подачи при оптимальной осевой нагрузке, характерной для данного диаметра. Расчет для сверл диаметром 0,6 мм (табл. 25) пока-

Таблица 25

Расчетные данные для определения экономических условий сверления
первыми сверлами диаметром 0,8 мм

n об/мин.	3000	4500	6500	9000	13000	18000	Примечание
v , м/мин.	5,9	8,85	12,8	17,7	25,5	35,3	/
Оптимальная нагрузка на сверло P_0 в кг	2,34	2,34	2,34	2,34	2,34	2,34	
Подача в мм/об.	1,96	2,13	2,30	2,48	2,72	2,97	Уравнение (8)
Среднее время сверления T_0 1 отверстия глубиной 2,5 д в сек.	17,3	10,7	6,8	4,6	2,8	1,9	
Стоимость сверла T в мин.	46,0	17,6	7,0	3,2	1,3	0,58	
Стоимость N сверла по числу просверленных отверстий	161,0	98,7	61,8	41,7	27,8	18,3	$(T:T_0) \cdot 60$
Машинное и вспомогательное время на 1 отверстие в сек.	27,3	20,7	16,8	14,6	12,8	11,9	(T_0+10)
Условная стоимость с учетом процента вспомогательного времени T_1 в мин.	72,5	34,0	17,3	10,2	5,96	3,63	$(T_0+10):T_0$
Период стойкости с учетом продолжительности смены сверла в мин.	73,5	35,0	18,3	11,2	6,95	4,63	T_1+1
Расход сверл за 8 часов на 1 станке C_8 шт.	6,2	13	25	40,7	65,6	98,2	$480 \cdot 0,95 : (T_1+1)$
Выработка на 1 станке за 8 часов (число отверстий)	996	1285	1545	1710	1825	1800	$N \cdot C_8$
Стоимость расхода сверл за 8 часов в руб. и коп.	1—36	2—86	5—50	8—95	14—43	21—60	
Заработная плата сверловщика — 2000% цеховых расходов в руб.	42	42	42	42	42	42	
Общая стоимость работы за 8 часов в руб. и коп.	3—36	44—86	47—50	50—95	56—43	63—60	
Цеховая стоимость 100 отверстий в руб. и коп.	4—35	3—49	3—08	2—98	3—08	3—54	

зывает, что наибольшая выработка на одном станке за 8 часов, с учетом потерь времени на вспомогательные приемы и на смену целиком износившегося сверла, составляет 1825 отверстий при



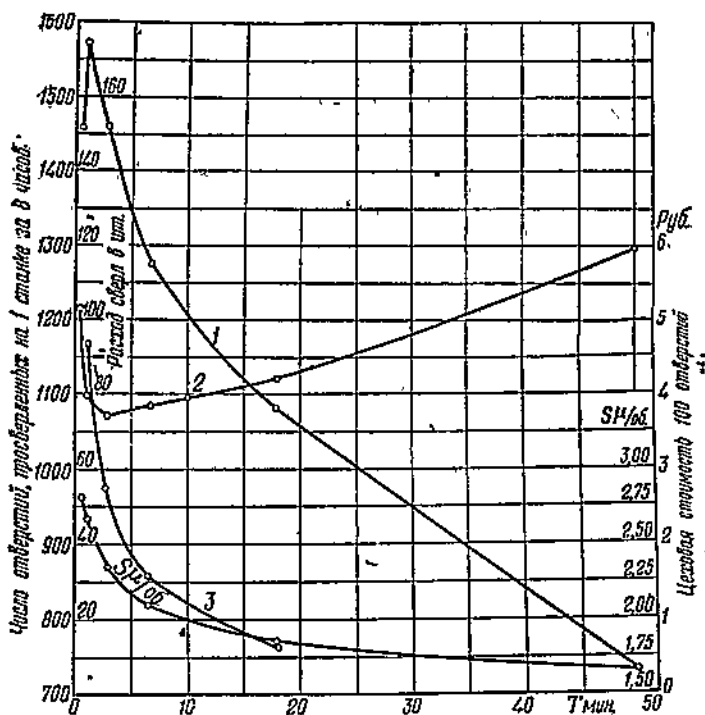
Фиг. 63. Экономические условия сверления перовыми сверлами диаметром $d = 0,6$ мм.

1 — число отверстий, просверленных за 8 часов на одном станке; 2 — цеховая стоимость 100 отверстий; 3 — расход сверла за 8 часов на одном станке.

Таблица 26

Характеристика условий сверления перовыми сверлами диаметром 0,6 — 1 мм (материал пластинки — сталь У7А)

Диаметр сверла d , мм	0,6	0,8	1,0
$v_{\text{экон}}$ м/мин (сверление без смазки)	17,7	28,3	30,6
$P_{\text{опт}}$ кг	2,34	3,11	3,63
$S_{\text{опт}}$ м/об.	2,48	2,32	2,07
Машинное время сверления одного отверстия при экономической стойкости, сек.	4,6	6,5	9,0
Число отверстий, выполненных на одном станке за 8 часов при стойкости наибольшей производительности	1825	1570	1190
То же при экономической стойкости	1710	1460	1135
Стоимость 100 отверстий ($n = 2,5 d$) при $T_{\text{экон}}$	2 р. 98 к.	3 р. 70 к.	4 р. 80 к.
Расход сверл за 8 часов без учета случайной убыли, шт.	41	55	57



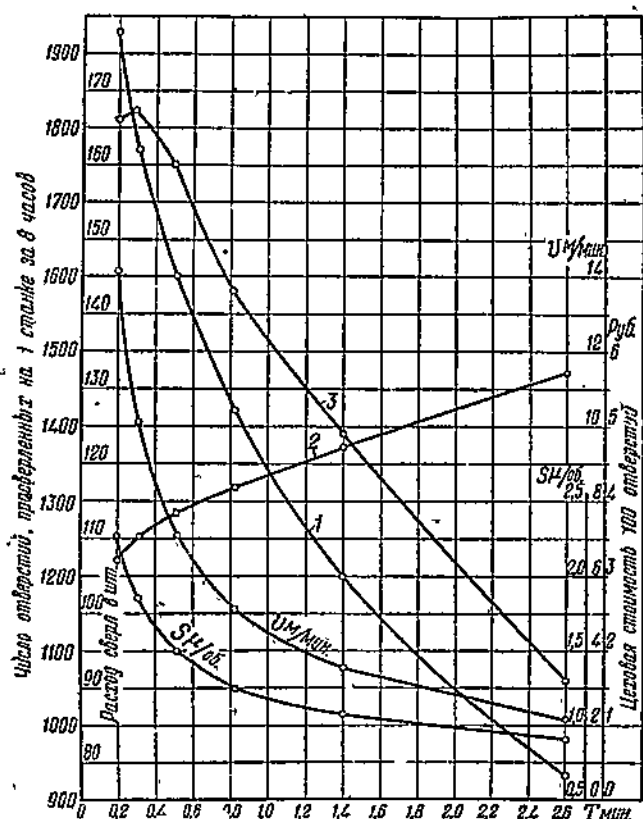
Фиг. 64. Экономические условия сверления перовыми сверлами диаметром 0,8 мм.

1 — число отверстий, просверленных за 8 часов на одном станке; 2 — цеховая стоимость 100 отверстий; 3 — расход сверл за 8 часов на одном станке.

Таблица 27
Расчетные данные для определения условий сверления перовыми сверлами диаметром 0,25 мм

n об/мин.	3000	4500	6500	9000	13000	18000
v м/мин	2,36	3,53	5,10	7,06	10,20	14,13
$P_{\text{оптм.}}$ кг	1,66	1,56	1,56	1,56	1,66	1,56
$S_{\text{в.ц/об.}}$	0,91	1,07	1,25	1,50	1,85	2,26
T_0 сек.	15,4	8,72	5,15	3,10	1,75	1,03
T мин.	2,6	1,4	0,88	0,52	0,31	0,20
Стоимость N сверла по числу отверстий	10,1	9,65	9,7	10,0	10,6	11,6
$T_0 + 8$ сек.	23,4	16,72	13,15	11,10	9,75	9,03
T_1 мин.	3,95	2,68	2,12	1,86	1,73	1,75
$T_1 + 1$ мин.	4,95	3,68	3,12	2,86	2,73	2,75
$S_{\text{в}}$ шт.	92,3	124	146	160	167	166
$N \cdot S_{\text{в}}$	933	1200	1420	1660	1770	1930
Стоимость расхода сверла за 8 часов	11 р. 20 к.	14 р. 90 к.	17 р. 05 к.	19 р. 20 к.	20 р. 05 к.	19 р. 90 к.
Заработная плата + 20% цеховых накладных расходов, руб.	42	42	42	42	42	42
Общая стоимость работы за 8 часов	53 р. 20 к.	56 р. 90 к.	59 р. 05 к.	61 р. 20 к.	62 р. 05 к.	61 р. 90 к.
Цеховая стоимость 100 отверстий	5 р. 71 к.	4 р. 74 к.	4 р. 16 к.	3 р. 82 к.	3 р. 51 к.	3 р. 20 к.

стойкости сверла (У10А) 1,3 минуты. Наименьшая себестоимость, 100 просверленных отверстий диаметром 0,6 мм получается, когда стойкость сверла равна 3,2 минуты. Кривая зависимости выработки за 8 часов (числа просверленных отверстий диаметром 0,6 мм) от стойкости сверла (фиг. 63) имеет переломную точку при $T=1,3$ минуты, а кривая себестоимости — переломную точку при $T=3,2$ минуты. Совпадающие результаты получены при сверлении отверстий диаметром 0,8 мм (фиг. 64) и 1,0 мм.



Фиг. 65. Экономические условия сверления перовыми сверлами диаметром 0,25 мм.

1 — число отверстий, просверленных за 8 часов на одном станке; 2 — цеховая стоимость 100 отверстий; 3 — расход сверла за 8 часов на одном станке.

Чрезвычайно характерны кривые изменения подачи при различной стойкости сверла (фиг. 63 и 64). Резкое увеличение подачи S при возрастании скорости резания v и уменьшении стойкости сверла T при $P_0 = \text{const}$ значительно снижает затрату машинного времени на одно отверстие, что повышает производительность сверла малой стойкости.

Таким образом для перовых сверл диаметром 0,6–1,0 мм при полном их износе стойкость наибольшей производительности

составляет 1—1,2 минуты, а стойкость наименьшей себестоимости, т. е. экономическая стойкость при том же критерии затупления, в среднем 3 минуты. Условия сверления при этих данных приведены в табл. 26.

Подсчет производительности и себестоимости работы сверлами диаметром 0,25 мм (табл. 27) и 0,4 мм (табл. 28) показал, что числа оборотов сверлильного станка Вебо $n_{\text{макс}} = 18000$ об/мин. недостаточны для обеспечения экономических условий работы.

Действительно, из фиг. 65 и 66 видим, что кривые выработки продолжают неуклонно подниматься вверх и не дают точек перегиба даже при наибольшей скорости резания, которую можно достигнуть на данном станке при наименьшей стойкости $T=0,2$ минуты для сверл диаметром 0,25 мм и $T=0,36$ минут для сверл диаметром 0,4 мм.

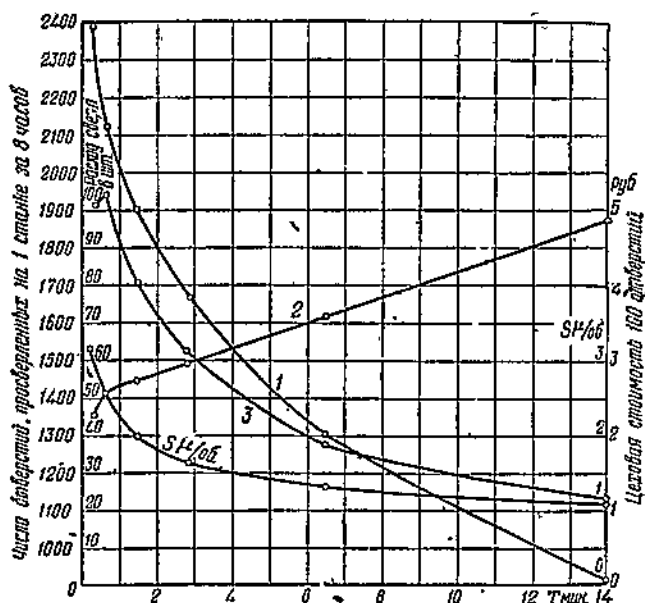
Соответственно кривые цеховой стоимости сверления резко снижаются в сторону малой стойкости и в пределах диаграмм не достигают наиболее низкого положения. Расход сверл при больших скоростях резания сильно возрастает, но после некоторого

Таблица 28

Расчетные данные для определения условий сверления перовыми сверлами диаметром 0,4 мм

n об/мин.	3000	4500	6500	9000	13000	18000
v м/мин	3,83	5,75	8,3	11,5	16,6	23,0
$P_{\text{опт}} \text{ кг}$	1,81	1,81	1,81	1,81	1,81	1,81
$S \text{ в м/об.}$	1,10	1,33	1,62	1,97	2,50	3,15
T_0 сек.	20,4	11,25	6,4	3,8	2,06	0,91
T мин.	14,0	6,5	2,8	1,5	0,70	0,36
Стойкость N сверла по числу отверстий	41,0	34,6	26,2	23,6	20,4	23,7
$T_0 + 8$ сек.	28,4	19,25	14,4	11,8	10,06	8,91
T_1 мин.	19,5	11,12	6,8	4,67	3,4	3,52
$T_1 + 1$ мин.	20,5	12,12	7,8	5,67	4,4	4,52
C_3 шт.	22,3	37,6	62,5	80,6	104,0	101,0
$N \cdot C_3$	915	1300	1680	1900	2120	2390
Стоимость расхода сверл за 8 часов	2 р. 68 к.	4 р. 52 к.	7 р. 50 к.	9 р. 70 к.	12 р. 50 к.	12 р. 10 к.
Зарплата + 200% цеховых накладных расходов, руб.	42	42	42	42	42	42
Общая стоимость работы за 8 часов	44 р. 68 к.	46 р. 52 к.	49 р. 50 к.	51 р. 70 к.	54 р. 50 к.	54 р. 10 к.
Цеховая стоимость 100 отверстий	4 р. 88 к.	3 р. 58 к.	2 р. 95 к.	2 р. 72 к.	2 р. 57 к.	2 р. 26 к.

максимума несколько уменьшается при дальнейшем уменьшении стойкости T . Причиной этого является резкое увеличение фактической подачи S при росте скоростей резания v , что особенно проявляется на сверлах меньшего диаметра. Увеличение подачи S при высоких скоростях резания v значительно повышает удельную производительность одного сверла, что ведет к небольшому сокращению расхода сверл, даже при увеличении



Фиг. 66. Экономические условия сверления перовыми сверлами диаметром 0,4 мм.

1 — число отверстий, просверленных за 8 часов на одном станке; 2 — цеховая стоимость 100 отверстий; 3 — расход сверла за 8 часов на одном станке.

общего числа отверстий, просверленных на одном станке за 8 часов.

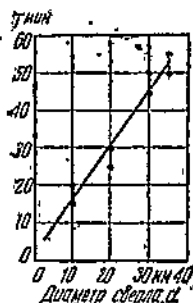
Анализ условий работы сверл диаметром 0,25 и 0,4 мм выявил, что отверстия весьма малых диаметров выгодно сверлить при скоростях резания, значительно превышающих те, на которые рассчитаны современные сверлильные станки. Необходимо, очевидно, реконструировать эти станки и в дальнейшем рассчитывать их на значительно большее число оборотов шпинделя в минуту.

Представляет интерес сопоставление полученных данных об экономической стойкости сверл диаметром 0,6—1,0 мм с материалами других авторов. Сравнительная диаграмма экономичес-

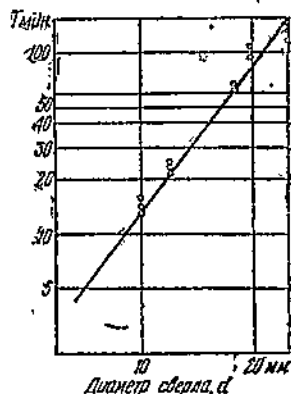
кой стойкости сверл (фиг. 67) составлена по данным работников ЭНИМС [7], а другая диаграмма (фиг. 68) — согласно исследованиям лаборатории резания ЗИС [3].

В обоих случаях стойкость приведена для спиральных сверл из быстрорежущей стали диаметром от 10 до 35 мм. Для того чтобы можно было как-либо сравнить эти данные с данными для сверл диаметром до 1 мм, на фиг. 67 и 68 кривые продолжены за пределы $d = 10$ мм в сторону меньшего диаметра. Для сверл диаметром до 1 мм путем экстраполяции можно установить по этим диаграммам стойкость, равную примерно 2—4 минутам.

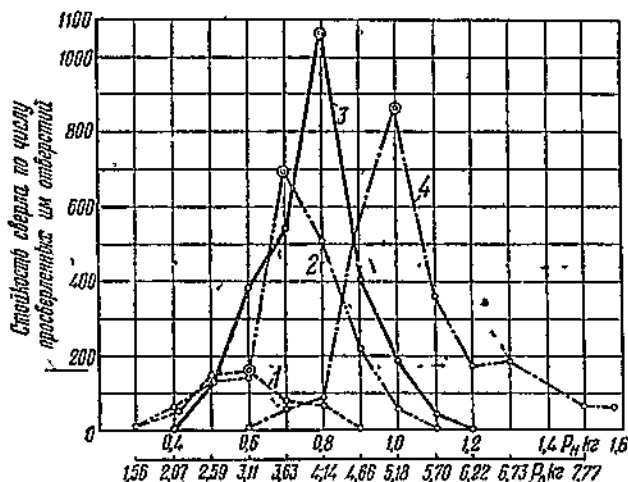
Продолжительность сверления отверстия в латунной пластинке толщиной $h = 2,5 d$ составляет менее 0,2 секунды. Ввиду отсутствия специальной измерительной аппаратуры T_0 не смогли опреде-



Фиг. 67. Экономическая стойкость сверл диаметром 10—35 мм (по данным ЭНИМС).



Фиг. 68. Экономическая стойкость сверл диаметром 10—15 мм (по данным ЗИС).

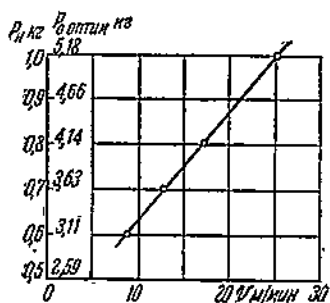


Фиг. 69. Стойкость перовых сверл при разных осевых нагрузках P_0 и скоростях резания v (сверление латуни).

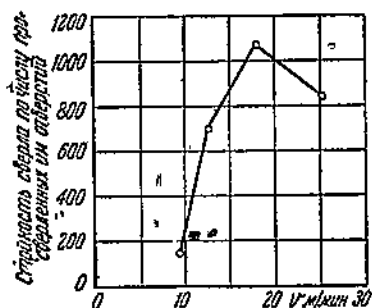
1 — для $d = 4500$ об/мин. и $v = 8,85$ м/мин; 2 — для $d = 6500$ об/мин. и $v = 12,8$ м/мин; 3 — для $d = 9000$ об/мин. и $v = 17,7$ м/мин; 4 — для $d = 13000$ об/мин. и $v = 25,5$ м/мин.

лить, и стойкость сверл установлена только по числу отверстий N , просверленных до полного износа сверла. Зависимость стойкости N сверла диаметром 0,6 мм от величины осевой нагрузки P_0 при разных скоростях резания v (фиг. 69) показывает, что условия

оптимальной нагрузки, установленные при сверлении стали, повторяются более резко при сверлении латунных пластинок. Каждому числу оборотов (скорости резания) при постоянном диаметре сверла $d=0,6$ мм соответствует определенная величина оптимальной нагрузки, которая растет по мере увеличения скорости резания (фиг. 70). Если нагрузка меньше оптимальной, то стойкость сверл резко уменьшается. Если же нагрузка больше оптимальной, то стойкость тоже уменьшается, но более плавно. Из фиг. 71 видно, что при сверлении латуни сверлами диаметром 0,6 мм оптимальная скорость резания $v=17,7$ м/мин.



Фиг. 70. Оптимальная нагрузка на сверло диаметром 0,6 мм при разных скоростях резания v (сверление латуни).



Фиг. 71. Стойкость перовых сверл при оптимальной осевой нагрузке и разных скоростях резания v (сверление латуни).

Описанные явления можно в основном объяснить заклиниванием конца перового сверла стружкой. По мере повышения скорости резания условия проникания сверла в толщу материала улучшаются, что влечет за собой увеличение стойкости сверла. В связи с заклиниванием конца сверла стружкой в современных автоматах для сверления малых отверстий предусмотрено, помимо вращательного движения и подачи, возвратно-поступательное движение сверла, необходимое для удаления стружки в процессе работы.

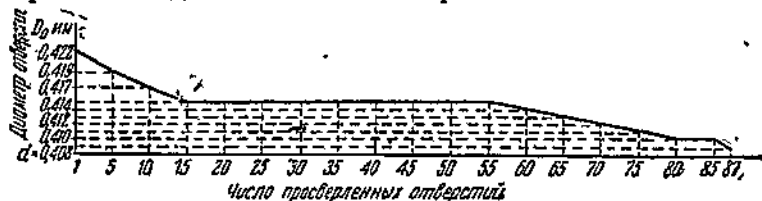
Проведенные исследования далеко не полны. Они не позволяют установить каких-либо математических зависимостей. Однако, основываясь на полученных данных, можно рекомендовать в качестве первого приближения для производственных целей применять при сверлении отверстий в пластинках латуни по Вест 2/1 следующий режим работы сверлами (из стали У10А) диаметром 0,6 мм: $v=17,7$ м/мин при $P_{опт}=4,14$ кг.

Эти же данные можно использовать при составлении нормативов для сверления отверстий в латуни.

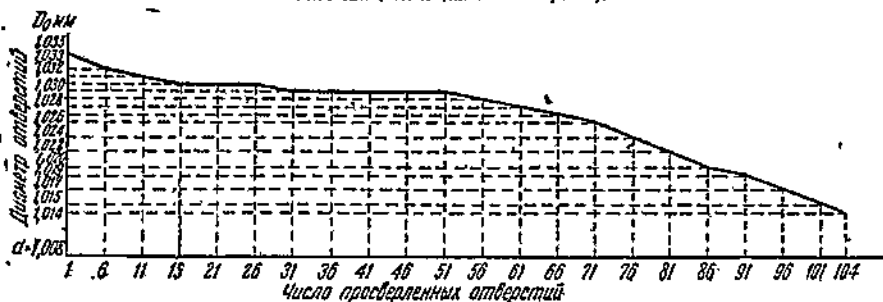
5. ВЫБОР СВЕРЛА ДЛЯ ОТВЕРСТИЯ ЗАДАННОГО ДИАМЕТРА

Для определения зависимости между диаметрами сверла и полученного отверстия провели 134 опыта по сверлению стали и 112 опытов по сверлению латуни сверлами различного диаметра

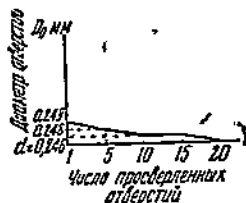
при разных режимах обработки. В процессе всех этих опытов измеряли диаметр первого отверстия и далее диаметр каждого десятого (для стали) и каждого сотого (для латуни) отверстий, просверленных одним и тем же сверлом.



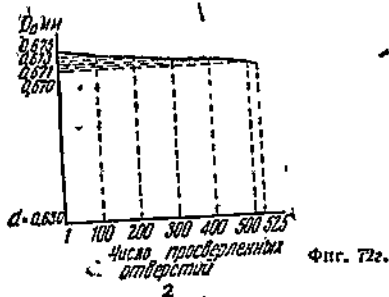
Фиг. 72а (см. подпись на стр. 70).



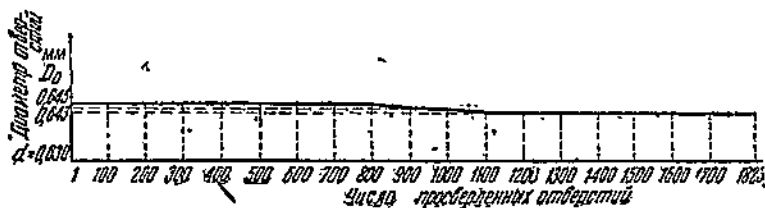
Фиг. 72б.



Фиг. 72в.



Фиг. 72г.

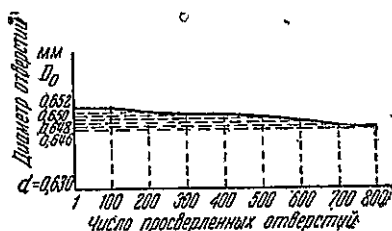


Фиг. 72д.

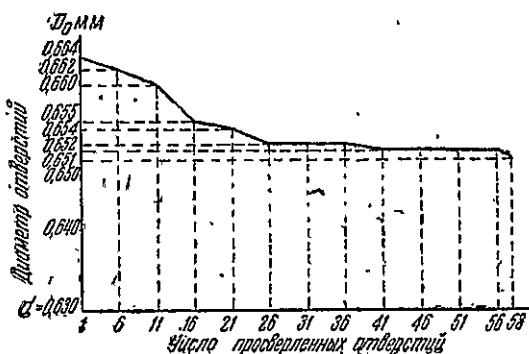
Результаты измерений приведены на фиг. 72, из которой видна общая для всех случаев характерная картина изменения размеров отверстий. Диаметр первого отверстия больше диа-



Фиг. 72а.



Фиг. 72б.



Фиг. 72в.

Фиг. 72. Изменение диаметра отверстий, просверленных одним перовым сверлом диаметром d (D_0 — диаметр первого отверстия).

а — при $d = 0,408$ мм, $n = 3000$ об/мин. и $P_H = 0,4$ кг (сверло № 812); б — при $d = 1,008$ мм, $n = 3000$ об/мин. и $P_H = 0,8$ кг (сверло № 467); в — при $d = 0,246$ мм, $n = 3000$ об/мин. и $P_H = 0,3$ кг (сверло № 25); г — при $d = 0,630$ мм, $n = 9000$ об/мин. и $P_H = 0,6$ кг (сверло № 2021, для латуни); д — при $d = 0,630$ мм, $n = 6500$ об/мин. и $P_H = 0,7$ кг (сверло № 568 для латуни); е — при $d = 0,625$ мм, $n = 3000$ об/мин. и $P_H = 0,3$ кг (сверло № 098); ж — при $d = 0,630$ мм, $n = 9000$ об/мин. и $P_H = 0,6$ кг (сверло № 2045 для латуни); з — при $d = 0,630$ мм, $n = 4500$ об/мин. и $P_H = 0,4$ кг (сверло № 551).

метра сверла. Постепенно диаметр отверстий уменьшается по мере увеличения числа отверстий, выполненных тем же сверлом.

Вводим следующие условные обозначения (фиг. 73):

d — первоначальный диаметр сверла в мм;
 D_0 — диаметр первого отверстия в мм;
 D_k — диаметр последнего отверстия в мм;
 N — число отверстий, просверленных данным сверлом до его полного износа;

$\Delta_0 = D_0 - d$ — первоначальная разбивка отверстия (первого) в мм;

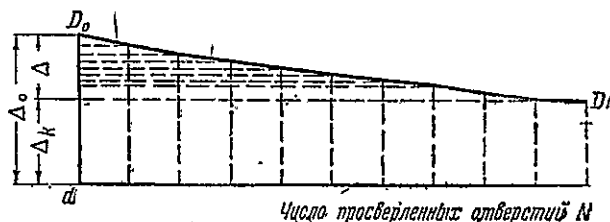
$\Delta_k = D_k - d$ — разбивка последнего отверстия в мм;

$\Delta = \Delta_0 - \Delta_k = D_0 - D_k$ — уменьшение разбивки, равное разности между диаметрами первого и последнего отверстий в мм.

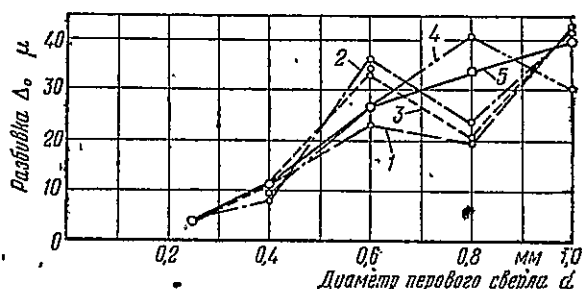
Разбивку отверстий Δ_0 вызывает ряд причин: 1) биение шпинделя станка и патрона, 2) неточность крепления сверла в патроне.

3) неточность кондуктора, 4) несимметричность и эксцентричность заточенного конца сверла и его непрямолинейность.

При работе на постоянном оборудовании и применении постоянных приспособлений изменение величины разбивки отверстия зависит в основном от применяемого сверла, в первую очередь, при некоторых неизменных способах изготовления сверл и их заточки, от диаметра сверла (фиг. 74).

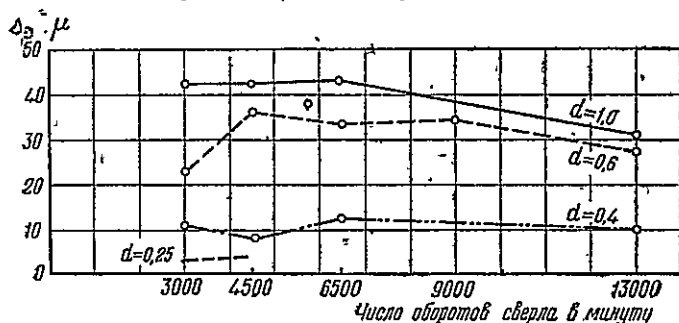


Фиг. 73. Изменение диаметра отверстий при сверлении их одним сверлом.



Фиг. 74. Зависимость разбивки отверстия Δ_0 от диаметра сверла d .

1—при 3000 об/мин.; 2—при 4500 об/мин.; 3—при 6500 об/мин.; 4—при 13000 об/мин.; 5—средняя кривая.



Фиг. 75. Разбивка отверстия Δ_0 при разных числах оборотов n и разных диаметрах сверла d .

Результаты измерения также показывают (фиг. 75), что величина Δ_0 практически не зависит от числа оборотов шпинделя.

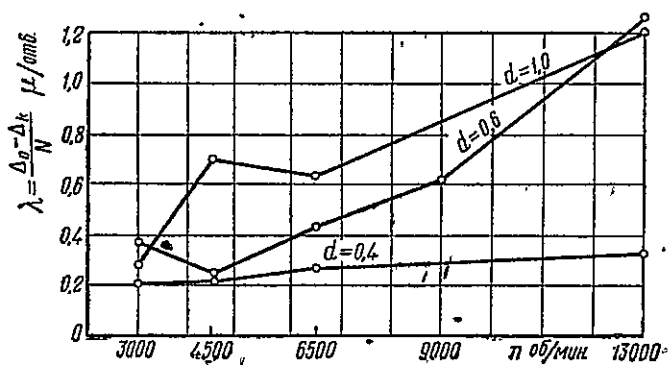
Уменьшение разбивки отверстия Δ_0 по мере увеличения числа отверстий, просверленных данным сверлом, объясняется следу-

ющими причинами: 1) износом самого сверла по диаметру в процессе сверления; 2) уменьшением эксцентricности заточенного конца сверла вследствие значительного срабатывания одной из кромок сверла и улучшением условий центрирования в результате истирания кончика сверла в сторону режущих граней; 3) своего рода рихтовкой сверла (исправлением непрямолинейности его конца) в процессе сверления в кондукторе.

Это объяснение причин уменьшения разбивки отверстий можно подтвердить рядом соображений.

1. По мере увеличения числа просверленных отверстий износ сверла возрастает, что влечет за собой уменьшение диаметра отверстия, и разность между диаметром отверстия и первоначальным (исходным) диаметром сверла сокращается.

2. Разбивка отверстия Δ при сверлении латуни уменьшается значительно меньше, чем при обработке стали, так как при сверлении латуни износ сверла сравнительно невелик.



Фиг. 76. Изменение удельного уменьшения отверстия λ при разных числах оборотов n .

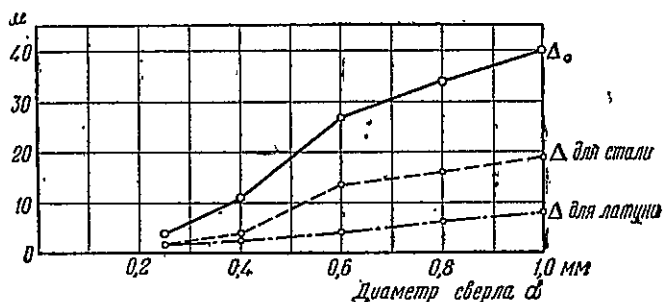
3. Уменьшение разбивки отверстий протекает более интенсивно, чем износ сверла. Действительно, кривые изменения T_0 в зависимости от числа просверленных отверстий (фиг. 10 и 37) имеют меньший угол наклона к горизонтальной оси, чем кривые изменения диаметра отверстий (фиг. 72). Это показывает, что причиной уменьшения Δ_0 является не только износ сверла, но и ряд других факторов.

4. Измерение окончательно изношенных, но не сломавшихся сверл подтверждает значительный их износ по диаметру (фиг. 9 и др.). Однако в основном уменьшение диаметра отверстий протекает интенсивнее износа сверла и, таким образом, обусловлено, помимо износа, дополнительными причинами.

5. Установлено, что величина удельного уменьшения отверстия ($\lambda = \frac{\Delta}{N} = \frac{\Delta_0 - \Delta_k}{N}$ в микронах на одно отверстие) в основном постоянна для данных диаметров сверла и числа оборотов, но растет по мере увеличения диаметра и повышения скорости резания (фиг. 76).

Интенсивность износа сверла, его рихтовка и выравнивание дефектов заточки (несимметричность и пр.), когда они имеют место, тоже возрастают с увеличением диаметра сверла d и скорости резания v , что полностью совпадает с характером изменения величины λ . Таким образом величину λ можно рассматривать как своего рода показатель изменения размеров отверстий.

Данные об уменьшении разбивки Δ , зависящем от указанных причин при сверлении стали и латуни сверлами разного диаметра, приведены в табл. 29. Расчетное число отверстий, просверленных одним сверлом, принято равным 60—80 для стали и 500—800 для латуни (фиг. 77).



Фиг. 77. Зависимость Δ_0 и Δ от диаметра сверла d .

Т а б л и ц а 29

Величины Δ_0 и Δ при сверлении стали и латуни

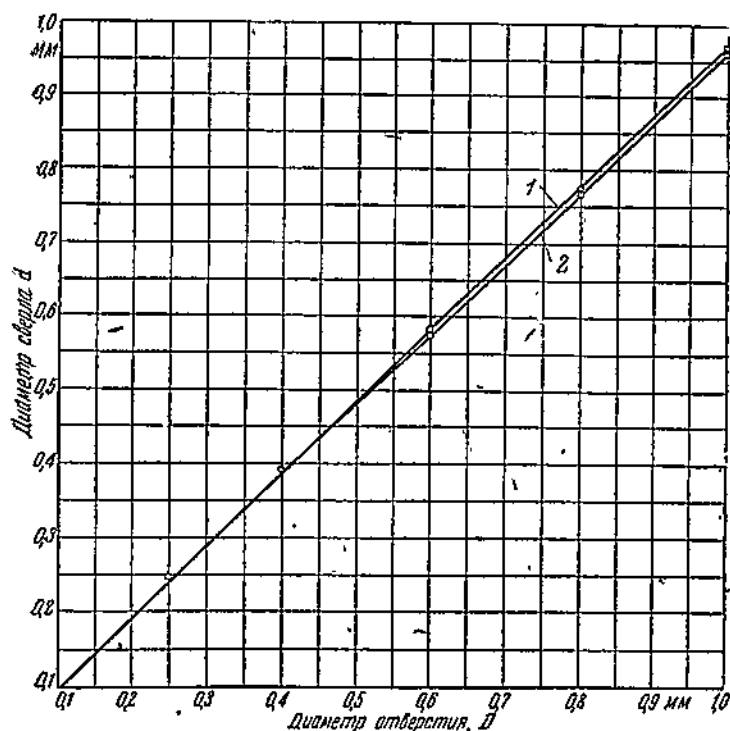
Номинальный диаметр сверла d , мм	1,0	0,8	0,6	0,4	0,25
Δ_0 , мм	0,040	0,034	0,027	0,011	0,004
Δ для стали, мм	0,019	0,016	0,014	0,004	0,002
Δ для латуни, мм	0,008	0,006	0,004	0,003	0,002

Приведенные результаты позволяют рассчитать размер сверла для получения отверстия заданного диаметра.

Диаметр сверла должен быть меньше номинального размера заданного отверстия на величину предполагаемой разбивки Δ_0 отверстия. При расчете этой разности следует учесть среднюю величину ожидаемого уменьшения разбивки Δ .

Расчет диаметра сверла выполнен для данных оборудования, приспособлений и перовых сверл, отдельно для сверления стали (табл. 30) и латуни (табл. 31).

Согласно табл. 30 и 31 построили график для выбора диаметра перового сверла d , позволяющий выбрать при данных условиях сверло для отверстия заданного диаметра D в пределах от 0,2 до 1 мм (фиг. 78). Из этой фигуры видно, что при одинаковых отверстиях диаметр сверла для обработки латуни



Фиг. 78. График для выбора диаметра сверла.
1 — для сверления стали; 2 — для сверления латуни.

Таблица 30

Данные для расчета диаметра сверла, предназначенного
для сверления стали

Номинальный диаметр отверстия D , мм	1,0	0,80	0,60	0,40	0,25
Разбивка первого отверстия Δ_0 , мм	0,040	0,034	0,027	0,011	0,004
Разность между величинами разбивки первого и последнего отверстий Δ , мм	0,019	0,016	0,0014	0,004	0,002
Учитываемая доля уменьшения разбивки, мм	0,010	0,009	0,007	0,003	0,002
Поправка на диаметр d сверла, мм	0,030	0,025	0,020	0,008	0,002
Диаметр сверла d , мм	0,970	0,775	0,580	0,392	0,248

должен быть несколько меньше диаметра сверла для обработки стали. Это расхождение размеров объясняется различным характером износа сверл при обработке неоднородных материалов.

Данные для расчета диаметра сверла, предназначенного для сверления латуни

Номинальный диаметр отверстия D , мм	1,0	0,80	0,60	0,40	0,25
Разбивка первого отверстия Δ_0 , мм	0,040	0,034	0,027	0,011	0,004
Разность между величинами разбивки первого и последнего отверстий Δ , мм	0,008	0,006	0,004	0,003	0,002
Учитываемая доля уменьшения разбивки, мм	0,004	0,003	0,002	0,002	0,002
Поправка на диаметр сверла, мм	0,036	0,031	0,025	0,009	0,002
Диаметр сверла d , мм	0,964	0,769	0,575	0,391	0,248

6. ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. На основе полученных зависимостей запроектированы режимы резания (нормативы) для сверления перовыми сверлами из углеродистой инструментальной стали У10А (табл. 32 и 33).

Для сверления пластинок стали У7А нормативы рассчитаны согласно уравнениям (8), (9) и (13) при $T=3$ минутам для сверл диаметром $d=0,6-1$ мм.

Для сверл диаметром $d=0,25$ и $0,4$ мм нормативы составлены условно из расчета стойкости $T_{\text{опт}}=0,52$ минуты и $T_{\text{см}}=1,5$ минуты при $n=9000$ об/мин. Однако эти стойкости не являются оптимальными. Экономичные условия обработки можно обеспечить лишь в том случае, когда скорости резания будут превышать возможные для сверлильного станка с $n_{\text{max}}=18000$ об/мин. При работе на других числах оборотов следует умножить значения S и T на соответствующие коэффициенты, указанные в табл. 33.

При составлении нормативов для сверления латунных пластинок использовали переводный коэффициент оптимальной нагрузки, установленный для сверл диаметром $d=0,6$ мм. Этот коэффициент составляет

$$K_p = \frac{P_{\text{опт. латунь}}}{P_{\text{опт. сталь}}} = \frac{4,14}{2,34} = 1,77.$$

Кроме того, в нормативах учтены результаты наблюдений, согласно которым скорость наибольшей производительности при сверлении латунных пластинок сверлами диаметром $d=0,6$ мм составляет $v=17,7$ м/мин. Величина подачи рассчитана по аналогии с данными для стальных пластинок.

В нормативах предусмотрено сверление в кондукторе сквозных отверстий в пластинках толщиной $h=2,5 d$ при постоянной осевой нагрузке на сверло.

Таблица 32

Режимы резания при сверлении отверстий перовыми сверлами из стали У10А диаметром $d = 0,25 - 1 \text{ мм}$

Диаметр сверла d , мм			0,25	0,40	0,60	0,80	1,0
Скорость резания (со смазкой) v , м/мин			9,65	15,2	22,7	29,2	37,6
Скорость резания (без смазки) v , м/мин			7,0	11,5	17,7	23,3	30,6
Число оборотов сверла в минуту			9000	9000	9000	9000	9000
Принятая стойкость T , мин.			0,52	1,5	3,0	3,0	3,0
Обрабатываемый материал	Сталь У7А ($\sigma_b = 50$ кг/мм ² ; $\delta = 250^\circ$)	Оптимальная осевая нагрузка на сверло P_0 , кг	1,56	1,81	2,34	3,11	3,63
		Подача при работе со смазкой S , мм/об	0,0033	0,0044	0,0055	0,0050	0,0046
		Подача при работе без смазки S , мм/об	0,0015	0,0020	0,0025	0,0023	0,0021
	Латунь по Вест 2/1 ($H_B = 160 - 170$; $\delta = 4,3 - 4,8^\circ$)	Оптимальная осевая нагрузка на сверло P_0 , кг	2,76	3,20	4,14	5,50	6,43
		Подача при работе со смазкой S , мм/об	0,025	0,040	0,045	0,042	0,040
		Подача при работе без смазки S , мм/об	0,012	0,018	0,021	0,019	0,018

Таблица 33

Поправочные коэффициенты для сверления при других числах оборотов (K_S —коэффициент подачи; K_T —коэффициент стойкости)

d мм	n об/мин	3000	4500	6500	9000	13000	18000
0,25—0,4	K_S	0,58	0,70	0,82	1	1,25	1,55
0,60—1		0,73	0,80	0,90	1	1,15	1,20
0,25	K_T	4,9	2,7	1,6	1	0,59	0,37
0,40		9,8	4,2	2,0	1	0,47	0,24
0,60		15,6	5,7	2,3	1	0,40	0,18
0,80		18,0	6,2	2,4	1	0,38	0,16
1,0		21,2	6,9	2,5	1	0,36	0,15

В случае применения смазки (веретенное масло №1) скорость резания при постоянной стойкости можно увеличить в 1,23—1,38 раза по сравнению со скоростью резания v при сверлении отверстий без смазки. Фактическая подача сверла в случае применения смазки увеличивается при тех же условиях в 2—2,2 раза.

При сверлении стальных пластинок затупившимся сверлом подача уменьшается в среднем на 0,75.

2. Практическое применение всех выводов исследований позволяет увеличить стойкость и производительность перовых сверл, тем самым снизить их расход и удешевить себестоимость работ.

В табл. 34 сопоставлены данные о фактической и возможной, согласно указанным выше нормативам, производительности перовых сверл весьма малых диаметров. Для сопоставления использованы результаты выборочного обследования (в 1939 г.) расхода сверл по четырем деталям часовых механизмов на одном заводе.

Таблица 34

Сравнительная производительность перовых сверл

Шифр детали	Деталь и ее материал	Диаметр отверстия мм	Производительность сверла (с учетом случайных поломок) по числу просверленных отверстий		Возможное повышение производительности (в число раз)
			фактически	согласно нормативам	
Кч-23	Анкерная вилка—латунь	0,52	30	700	23
Кч-43	Колонка волоска—сталь	0,34	15	70	4,65
Кч-52	Собачка—сталь	0,4	42	70	1,67
Кч-28	Переводный рычаг—сталь	0,7	50	100	2

Из данных табл. 34 вытекает, что, используя практически результаты рассмотренного исследования, можно увеличить производительность перовых сверл минимум вдвое и больше. Следовательно, тем самым можно соответственно уменьшить расход мелкого и мельчайшего режущего инструмента.

УКАЗАТЕЛЬ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Проф. С. С. Четвериков, Исследование вопроса о величине крутящих моментов и усилий подачи при работе спиральных сверл. „Станки и инструмент“ № 23, 1931, стр. 23—50.

2. О. Бостон и В. Джильберт, Крутящий момент и осевое усилие при сверлении различных металлов сверлами малого диаметра, „Мировая техника“, № 4, 1936, стр. 19.

3. К. К. Исаев и Н. Ф. Шаронов, Сверление. Режимы, экономника

и технология резания металлов, сборник работ лаборатории резания МАЗ имени Сталина, Машгиз, 1939, стр. 272—285.

4. Проф. В. А. Кривоухов, Резание металлов, ОНТИ, 1937.

5. Лаборатория резания СТЗ, За сталинские снаряды (орган Сталинградского тракторного завода), № 1—2, 1935.

6. Kurrein, Die Bearbeitbarkeit der Metalle im Zusammenhang mit der Festigkeitsprüfung, „Werkstatstechnik“, H. 21, 1927, S. 612—621.

7. И. Е. Буршейн, Ананченко, Стоев и Клименко, Обоснование стахановских режимов резания при сверлении, ОНТИ, 1937.

8. Vogelsang, Werkzeuge und Einrichtungen für die Zerspanende Bearbeitung der Leichtmetalle, „Werkstatstechnik“, H. 21, 1927, S. 621—624.

9. H. Schropp, Messung der Schneidwinkel am Spiralbohrer, „Maschinenbau“, H. 22, 1933, S. 33—36.

10. Д. Н. Федотов и С. М. Кедров, О мощности сверлильных станков, „Станки и инструмент“ № 4—5, 1931, стр. 15—18.

11. F. Rapatz u. K. Krekeler, Die Prüfung der Bearbeitbarkeit; „St. u. Eis.“ № 3, 1928.

12. F. Rapatz, Versuche mit Spiralbohrern, „St. u. Eis.“ № 3, 1928.

13. St. Patkay, Bearbeitbarkeit, Bohrarbeit und Spiralbohrer, „Werkstatstechnik“, Bd. 23, H. 2, 1929, S. 36. (реферат в „Органиформация“ № 10 и 11, 1929).

14. И. Ф. Клоков, Метод испытания спиральных сверл, определение обрабатываемости материалов сверлением и установление практической скорости резания при сверлении, „Вестник металлопромышленности“ № 1, 1934, стр. 86—98.

15. Проф. С. С. Четвериков, Исследование спиральных сверл, „Станки и инструмент“ № 4—5, 1931, стр. 1—14.

16. А. М. Каратыгин, Обрабатываемость углеродистых и легированных сталей сверлами малых диаметров, диссертация, 1940.

17. Л. Б. Медынский, Сверление металлов сверлами малых диаметров, материалы к конференции по резанию металлов, Ленинградское отделение Внитомаш, Л. 1940.

18. Нормирование станочных работ. Режимы резания при обработке отверстий сверлами, зенкерами, развертками, расточными и подрезными ножами, Бюро технических нормативов, Комиссия по резанию металлов, изд. 2-е, Машгиз, 1940.

19. H. E. Smith, Drilling Evenly Spaced Holes 0,010 Inch in Diameter in Atomizer Nozzle, „Machinery“ (N. I.) vol. 43, No. 4, Dec., 1936, p. 256—257.

20. Инж. В. А. Борун, Металлорежущие станки для точной индустрии, Оборонгиз, 1938.

21. A. Antoni, Construction des Machines, La Construction et l'emploi des Machines à pointer. „Gén. Civ.“ t. CVIII, No. 2805, 1936, p. 465—468.

22. Schlesinger, Bearbeitbarkeit, „Werkstatstechnik“, H. 21, Sept. 1927, (S. 605—612).

23. Wallichs u. Krekeler, Die Prüfung der Bearbeitbarkeit „Maschinenbau“ № 15, 1929 (реферат в „Органиформация“ № 10, 1929).

24. Voley, Durability of Twist Drills. „Maschining Cast Iron Eng.“ No. 4101, 1934 (реферат в ж. „Мировая техника“ № 1, 1935, стр. 34—37).

25. Kessner, Die Prüfung der Bearbeitbarkeit der Metalle. „Werkstatstechnik“, H. 24, 1920, S. 633.

26. E. Guttmann, Bearbeitungsprüfung von Hartmessing, „Werkstatstechnik“ H. 14, Juli, 1932, S. 273—278.

27. W. Meile, Beitrag zur Frage der Bearbeitbarkeit, „Werkstatstechnik“, Nov. 1932, S. 437—439.

28. Проф. И. Л. Миркин и инж. Н. Д. Дидрихс, Исследование процесса образования аустенита, Труды Московского института стали, сборник X, Проблемы теоретического металловедения, НКОП, 1938, стр. 91—122.

29. Проф. И. И. Семенченко, Режущий инструмент, т. I. Сверла, ОНТИ, 1936, стр. 205—417.

30. M. Kronenberg, Theorie und Praxis beim Bohren. „Werkzeugmaschine“ No. 12, 1929.

31. Проф. Н. Н. Резников, Теория резания металлов, ОНТИ, 1934.

32. Schlesinger, Die Bearbeitbarkeit der Konstruktionsstähle beim Automobilbau „St. u. Eis.“ H. 10, März 1928 (реферат в „Органиформация“ № 10, 1929).

33. Wallich, Beutel und Mendelson, Zerspanbarkeitsuntersuchungen mit Spiralbohren „Berichte über Betriebswissenschaftliche Arbeiten“ H. 8, 1932.

СОДЕРЖАНИЕ

	<i>Стр.</i>
Введение	3
1. Исходные данные и условия экспериментальных исследований	5
2. Перовое сверло и основные условия его изготовления	14
Конструкция, материал и изготовление перовых сверл	14
Влияние термообработки перовых сверл на их стойкость	20
Оптимальная геометрическая форма перового сверла	26
Износ перового сверла	36
3. Динамические зависимости при сверлении отверстий диаметром менее 1 мм	43
4. Уравнения скорости и экономические условия сверления отверстий диаметром менее 1 мм	56
5. Выбор сверла для отверстия заданного диаметра	68
6. Общие выводы	75
Указатель литературы	77

Редактор *А. И. Жилина*

Л — 40834. Подп. в печ. 20/V 1943 г. Печ. л. 5 + 1 вкл. Уч. авт. л. 5,8.
 Тип. зн. в печ. л. 46 000. Цена в пер. 3 руб. Зак. № 51 1/1393.

13-я тип. ОГИЗ. Москва, Денисовский, 30.