

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ СТОЙКОСТИ РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ**

**ДОБРОВИДОВ А. Н.**

*профессор, доктор технических наук*

**РОЗЕНБЕРГ А. М.**

*профессор, доктор технических наук*

**ЕРЕМИН А. Н.**

*доцент, кандидат технических наук*

### **I. Задачи исследования**

Основной целью настоящей работы было провести опробование различных методов повышения стойкости сверл. К таким методам прежде всего относится предложенный инж. Васильевым метод химического травления, который требовал проверки по причинам изложенным ниже, а также метод электролитического травления.

Кроме этого, согласно составленной программе исследования, следовало опробовать изменения геометрии сверл, ведущие к повышению стойкости. К таким относятся: подточка передней грани сверла с целью уменьшения переднего угла на лезвии сверла при приближении к периферии, подточка (затыловка) ленточки и двойная заточка.

Подточка передней грани сверла, т. е. той поверхности винтовой канавки, по которой сходит стружка, усиленно рекомендуется проф. И. И. Семенченко (Семенченко, Режущий инструмент, часть 1, стр. 241—243. ОНТИ, 1938) по следующим высказываемым им соображениям. Передний угол на главных лезвиях сверла, является величиной переменной, увеличивающейся от центра к периферии. Будучи измерен в плоскости нормальной к режущей кромке сверла, этот угол на периферии достигает значительной величины порядка 30—35° (в зависимости от угла наклона спирали сверла). Такое значение переднего угла в приложении к режущему инструменту, предназначенному для обработки мягких сталей, может считаться приемлемым, для обработки же чугунов всех твердостей и сталей высокой твердости такое высокое значение переднего угла должно приводить к снижению стойкости режущего инструмента. Проф. Семенченко высказывает предположение, что проведя подточку передней грани так, что образуем на половине лезвия сверла (от середины радиуса до периферии) переднюю грань в виде плоскости, наклоненной под некоторым оптимальным передним углом, мы получим повышение стойкости сверла. Кроме того, по его же соображениям такая подточка дает дополнительные преимущества, создавая на части лезвия постоянный передний угол. Таким образом подточка передней грани должна привести к уменьшению переднего угла.

На производстве такая подточка применяется и дает положительный эффект при сверлении особо твердых и вязких сталей типа Гадфильда.

в приложении же к обычным средней твердости и твердым машиноподелочным сталям предложение проф. Семенченко о повышении стойкости при подточке никем опробовано не было и потому требовало экспериментальной проверки.

Подточка ленточки (фаски) сверла в той части ее, которая принимает непосредственное участие в процессе резания, была предложена и опробована Паткаем (Werkstattstechnik, 1928), затем была проверена Маслинным (Машиностроитель № 2 за 1941 г.) и дала положительный результат в смысле повышения стойкости при сверлении сталей средней твердости. Поэтому желательным было этот метод повышения стойкости опробовать в применении к сверлению сталей выше средней твердости, а также в совокупности с травлением, если таковое даст положительный результат. Целесообразности подточки ленточек (фасок) сверла заключается в значительном уменьшении ширины их, а в силу этого уменьшении трения и создании заднего угла на той части ленточки, которая принимает непосредственное участие в процессе резания.

Целесообразность двойной заточки в отношении повышения стойкости сверл нужно считать в достаточной степени выявленной, и опробование этого метода имело смысл в совокупности с травлением, если таковое даст положительный результат. Кроме того, мы не знаем, насколько этот метод опробован в применении к сверлению сталей высокой твердости. При сверлении сталей высокой твердости двойная заточка по теоретическим соображениям может и не дать повышения стойкости. Положительный эффект двойной заточки основан на том, что двойная заточка, удлиняя режущее лезвие, делает стружку тоньше и тем самым облегчает работу периферийных частей режущих лезвий. Но параллельно с этим двойная заточка, уменьшая концевой угол сверла, увеличивает передний угол, ухудшает тем самым отвод тепла от режущих лезвий, что при сверлении сталей высокой твердости может дать отрицательный эффект. Поэтому при сверлении сталей высокой твердости двойная заточка может не дать повышения стойкости. Это обстоятельство требовало проверки.

Таковы были задачи исследования.

## II. Программа исследования

Согласно первоначальной программы опыты должны были быть проведены с одним размером сверл по одному обрабатываемому материалу. Сравнение стойкости сверл не травленных, травленных, с подточенной передней гранью и т. д. должно было производиться путем сравнения экспериментально полученных графиков  $vT$  (скорость, стойкость). Зависимости  $vT$  должны были экспериментально определяться по одному обрабатываемому материалу для одного диаметра сверл, при трех подачах и при четырех скоростях при каждой подаче.

В силу ряда обстоятельств программа исследования была несколько изменена. Эти обстоятельства были следующими. Партию сверл для опытов должен был предоставить Томский инструментальный завод. Эти сверла были предоставлены с опозданием на три месяца.

Для проведения опытов по указанной выше методике необходимо было иметь большое количество совершенно однородного металла. Так как получить металлы непосредственно для опытов в условиях военного времени не представлялось возможным, то нами с одним из заводов было заключено соглашение, по которому мы для завода из его металла изготовляли простые детали, на изготовлении которых и должны были проводиться опытные операции сверления. К началу работы заводом была завезена большая партия металла—сталь 45, которая и должна была послужить экспериментальным материалом. Так как сверла для экспериментов

были предоставлены с большим опозданием, задерживать же изготовление деталей было нельзя, то создалось такое положение, что, когда были получены экспериментальные сверла, большая часть металла была уже израсходована и в дальнейшем металл стал поступать небольшими партиями и с различными характеристиками прочности, что не позволяло выполнить предусмотренную методику опытов.

Поэтому при экспериментировании со сверлами нам пришлось в ряде случаев отказаться от построения графиков  $vT$ , а проводить опыты, сравнивая стойкости сверл на одном и том же режиме резания. В то же время в место того, чтобы провести опыты лишь по одному сорту стали (для чего первоначально была выбрана сталь 45) опыты нами были проведены по сталям  $H_B = 180 - 200$  (сталь 45), стали  $H_B = 250$ , стали  $H_B = 270$  и стали 40 х. Вместо того, чтобы провести опыты лишь с одним размером сверл, мы нашли возможность провести их с тремя различными диаметрами.

Кроме этого, то время, в течение которого мы не имели экспериментальных сверл, мы затратили на проведение широкого ряда систематических экспериментов по выявлению эффективности применения травления резцов при обработке стали 45.

Это имело существенный интерес, так как, с одной стороны, заключения инж. Васильева относительно эффективности травления резцов были им сделаны на основании опытов по обработке особо твердых сталей ( $H_B = 300 - 400$ ) и не были проверены на сталях обычной твердости, с другой стороны, полученные нами в опытах с резцами те или иные результаты, будучи подтверждены опытами со сверлами, получали особую основательность.

Таким образом программа исследования была значительно расширена. Прежде всего переходим к описанию опытов с токарными резцами

### III. Опыты с токарными резцами

Инженером Васильевым был предложен метод повышения стойкости режущего инструмента путем химической обработки его граней (Станки и инструмент, 1939 г. № 12, 1940 г. №№ 3, 4, 5, 6 и 11—12).

По данным Васильева, если окончательно заточенный инструмент перед пуском его в работу протравить специальным реактивом, который снимет с граней инструмента испорченный шлифовкой слой, то стойкость такого инструмента возрастет в два и более раза.

В таблице, приводимой Васильевым и заимствованной нами из его статьи (Станки и инструмент, 1940, № 4—5), имеются, правда, видимые противоречия (см. табл. 1).

Судя по таблице, отношения стойкостей травленных и не травленных резцов колеблются в широких пределах от 1,24 до 4,1. Заметить какую-либо закономерность изменения этого отношения с изменением твердости обрабатываемого материала или режима резания не представляется возможным. В приведенной таблице наблюдаются следующие противоречия: При обработке материала одной и той же твердости полученные Васильевым стойкости совершенно не удовлетворяют какой-либо закономерности. Так, если сравним строки 2—3 и 4 таблицы, то увидим, что при обработке одного и того же материала с постоянной глубиной резания и подачей, но с различными скоростями резания, полученные стойкости более значительны для более высоких скоростей резания, что совершенно абсурдно. Такое же несоответствие дают строки 5 и 6. Если сравним строки 9 и 10, то увидим, что при обработке более мягкого материала с меньшей скоростью резания и с меньшей глубиной резания получена меньшая стойкость.

Таблица № 1

№№	Марка стали	Тверд. Нв	Скор. резания	Подача	Глубина резания	Стойкость.		Колич. опыт.	Отнош. стойкости	
						Нетравлен.	Травленных.			
1	53 а 1	400	26,8	0,15	4,8	75	180	8	2,4	
2		400	12	0,23	2,5	29	56	8	1,93	
3		400	19	0,23	2,5	30	52	8	1,73	
4		400	15	0,23	2,5	280	410	4	1,53	
5		400	16,6	0,22	1,5	85	105	2	1,24	
6		400	18,9	0,2	1,5	100	150	4	1,5	
7		400	13,8	0,08	1	272	352	8	1,29	
8		400	22,2	0,05	0,3	276	355	8	1,29	
9		400	26,9	0,1	4,35	213	273	8	1,28	
10		400	360	21,0	0,1	3	47	192	8	4,1
11	45 × 6	360	17	0,22	1,5	60	76	4	1,27	
12		У4	220	48,4	0,3	0,8	121	240	4	2,0
13		ЦК	220	31	0,45	2,5	25	38	12	1,52

Несмотря на наличие таких противоречий, вопрос повышения стойкости путем химической обработки заслуживает внимания, так как здесь путем очень простой операции травления имеется возможность получить значительную экономию дефицитных режущих сталей в том случае, если данные Васильева о повышении стойкости оправдываются. Поэтому в лабораториях резания металлов и металловедения Томского политехнического института было поставлено широкое исследование с целью проверки предложения Васильева. Проведение такого исследования представляло интерес и потому, что опыты инж. Васильева были проведены по сталям в основном с очень высокой твердостью ( $H_B = 300 - 400$ ), сравнительно редко обрабатываемым стальными режущими инструментами. Таких же сталей касается и опыт инж. Рогинского (Станки и инструмент, 1940 г. № 11—12). Поэтому интересно было выяснение этого вопроса применительно к обработке сталей наиболее употребительных в машиностроении твердостей. Кроме предложенного Васильевым метода химического травления, был опробован метод электролитического травления. Все исследование нами велось применительно к токарным резцам. Резцы были изготовлены из стали РФ1 и из стали ЭИ-184. Резцы из стали РФ-1 были целыми, из стали ЭИ-184 с наварными пластинками. Наварка пластинок на державку производилась в электропечи при помощи сварочного порошка следующего состава:

Ферромарганца (73,0% Mn, 0,4% C)..... 75%  
 Медных опилок..... 25%

Процесс наварки состоял в следующем. Пластинка быстрорежущей стали ЭИ-184 хорошо подгоняется к оправке. На гнездо для пластинки в державке насыпается порошок прокаленной буры и державка нагревается в печи при  $1100 - 1200^\circ$ . Затем державка вынимается из печи и гнездо вновь посыпается бурой. Бура плавится и гнездо очищается стальной щеткой. На гнездо насыпается сварочный порошок, смешанный с бурой (1 вес. часть буры и 3 вес. части порошка) и накладывается пластинка стали ЭИ-184. Толщина слоя порошка 3 мм. Сверху пластинка посыпается бурой. Затем державка нагревается в печи при  $1190^\circ$  в течение 2—3 мин. По истечении этого времени державка выносится из печи и пластинка прижимается стержнем. После этой операции державку перевозят в печь ( $t_{ра} \sim 800^\circ$ ) и охлаждают с печью.

Качество наварки получалось безукоризненным.

Режим термической обработки резцов стали РФ-1 был следующий:

Закалка 1280°, охлаждение в масле.

Отпуск трехкратный по 1 часу при 550°.

Режим термической обработки резцов из ЭИ-184 был нами найден путем предварительного опыта и наилучшая термообработка получилась при следующем режиме:

Температура закалки 1200°, выдержка 6 мин.

1 отпуск 540°, выдержка 1 час.

2 отпуск 560° " 1 час.

3 отпуск 540° " 1 час.

Твердость резцов по Роквеллу была получена:

Резцы из стали РФ-1 . . . . .  $R_c = 65 - 67$

" " ЭИ-184 . . . . .  $R_c = 63 - 65$

Геометрия резцов была принята следующей:

Передний угол . . . . . 18°

Задний угол на главной и вспомогательной режущей кромке . . . . . 10°

Главный угол в плане . . . . . 80°

Вспомог. угол в плане . . . . . 10°

Радиус закруглен. носика . . . . . 1 мм

Сечение тела резца . . . . . 18 × 13 мм

Размер пластинок из стали ЭИ-184 . . . . . 8 × 15 × 20 мм

Заточка и переточка резцов производилась на станке Гишольт с обильным охлаждением. При переточке резцов, затупленных при опыте, снимался весь пораженный затупленный слой.

### Химическая обработка инструментов

Для удаления испорченного шлифовкой поверхностного слоя на лезвии инструмента инж. Васильев рекомендует применять следующий реактив: 100 *кб. см* серной кислоты, 50 *кб. см* азотной кислоты, 50 г. медного купороса и 850 *кб. см* воды. После погружения инструмента в жидкость на нем начинает выделяться медь по реакции  $\text{CuSO}_4 + \text{Fe} \rightarrow \text{FeSO}_4 + \text{Cu}$ , через 5 мин. медный осадок трескается, а еще через 10 мин. отслаивается. Нормальной продолжительностью травления обычных резцов из быстрорежущей стали считается 15 минут.

Автор считает необходимой добавку медного купороса и образование вследствие этого налета меди на резце. По его мнению, слой меди выравнивает травящее действие кислот на твердые и мягкие составляющие стали, вследствие меняющейся под этим слоем концентрации кислот.

Это объяснение неправильно. Процесс растворения металла в кислоте есть процесс электролитический. Быстрорежущая сталь представляет собою трехфазную и даже многофазную систему. Для простоты будем считать ее трехфазной: одна фаза—сложные карбиды, другая—мартенсит и третья—аустенит. Наиболее устойчивая по отношению к кислоте фаза (карбиды) будет положительным (нерастворяющимся в кислоте) электродом гальванического микроэлемента, мартенсит и аустенит дадут сложный отрицательный (растворяющийся в кислоте) электрод. Но в первую очередь будет растворяться в кислоте более электроотрицательный мартенсит, а затем аустенит. Поверхность лезвия инструмента после травления будет неоднородной, будет состоять из выступов (карбиды) и углублений (мартенсит и аустенит).

Чтобы все составляющие структуры травились более или менее одинаково, надо создать искусственный гальванический элемент, в кото-

ром был бы электрод очень сильно электроположительный по отношению ко всем трем фазам. Наличие медного осадка предопределяет существование такого электрода, так как медь является электроположительным металлом. Поэтому, собственно, нет никакой необходимости применять в рецепте, предложенном инж. Васильевым, медный купорос. Можно обойтись любой растворимой медной солью или солью какого угодно электроположительного металла (например, сернокислым никелем).

Вопрос лишь в том, какая соль в данное время более дешева и менее дефицитна.

Мы пробовали заменять медный купорос однохлористой и двухлористой медью и получали те же результаты и совершенно одинаковый ход процесса.

Очевидно, чем более электроположительный металл выделяется в виде осадка на поверхности лезвия при травлении, тем сильнее сглаживается разность потенциалов между отдельными растворяющимися в электролите фазами сплава (карбидом, аустенитом и мартенситом) и тем равномернее будет их растворение. Равномерность растворения даст хорошую гладкую поверхность инструмента после травления. Но более электроположительные, по сравнению с медью, металлы, к сожалению, принадлежат к категории благородных (золото, платина) и применение их солей, в данном случае, разумеется, исключено.

Можно до некоторой степени уравнивать разность потенциалов карбида, аустенита и мартенсита при электролитическом травлении в подходящем электролите. Как известно, из учения о коррозии металлов, электроположительные металлы (в паре с другими металлами) становятся иногда электроотрицательными при изменении состава электролита. В качестве электролита пригоден раствор серной кислоты с добавкой какого-либо ингибитора. Мы применяли 5% раствор серной кислоты (а также 10% раствор сернокислого калия или натрия) с добавкой 0,25% декстрина. Декстрин можно заменить крахмалом или желатиной в тех же количествах.

Анодом служит стальная пластинка, катодом—резец, который необходимо протравить. Плотность тока около 0,2 А на  $см^2$  поверхности травления.

При обычном и электролитическом травлении шов между пластинкой быстрорежущей стали и державкой необходимо защищать от травления, покрывая его слоем парафина. Чтобы экономнее расходовать реактив, следует таким же образом предохранять от травления и державку.

Перед покрытием шва парафином резец обезжиривается. От тщательного проведения этой операции зависит равномерность травления.

Мы проводили обезжиривание путем промывки резца в растворе:

Воды ..... 1000 *кб. см.*

Мыла ..... 20 г.

Едкого натра 50 г.

В этом растворе резцы, промывались при энергичном трении жесткой щетинной щеткой. Лучше действует раствор подогретый ( $\sim 50^\circ$ ).

### Сравнительные испытания резцов

Сравнительные испытания резцов, подвергнутых химической обработке и обычных в исходном состоянии, проводились на токарных станках Удмурт и МТ-30. В основном испытания проводились по стали 45 с твердостью  $H_B = 180-200$ . В ряде опытов испытания были проведены и по другим сталям, о чем будет упомянуто ниже. Работа резцами проводилась по предварительно обточенным болванкам, причем во всех опытах применялась постоянная глубина резания  $t = 2$  мм. Такая сравнительно не-

большая глубина резания была взята в целях экономии металла. В то же время 2 мм может считаться глубиной резания промежуточной между чистой и обдирочной стружкой. Опыты были проведены на ряде подач 0,1 мм/об, 0,19 мм/об, 0,36 мм/об.

Резцы в опытах доводились до затупления, причем критерием затупления являлось появление блестящей полосы на поверхности резания, что вполне точно соответствовало моменту разрушения лезвия. Наибольшее количество опытов было проведено с резцами ЭИ-184. Затупление этих резцов происходило путем образования лунки на передней грани, постепенно достигающей лезвия и его разрушающей и путем истирания дополнительной задней грани у носика резца.

В результате проведенных опытов были получены в логарифмических координатах прямые  $vT$  (скорость, стойкость), которые дают возможность

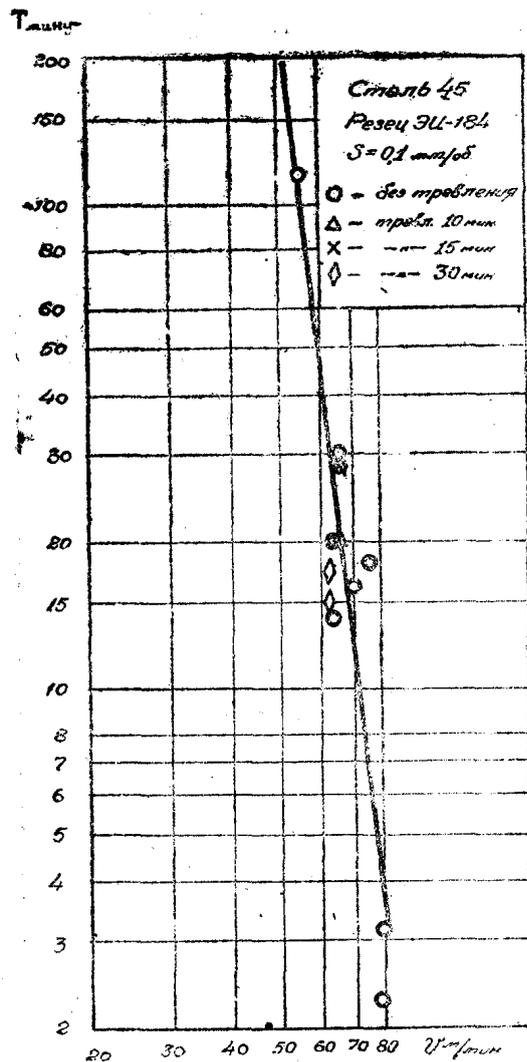


Рис. 1

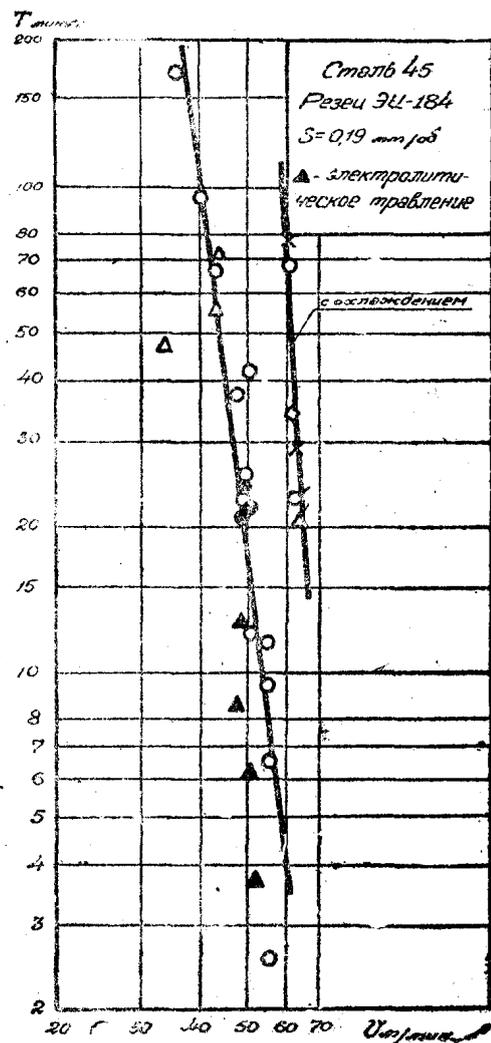


Рис. 2

с совершенной определенностью судить о сравнительной стойкости травленных и нетравленных резцов. На рис. 1 представлены результаты опытов по стали 45 ( $H_B = 180-200$ ) с подачей  $S = 0,1 \text{ мм/об}$  без охлаждения. Здесь представлены результаты опытов как с нетравленными резцами, так и с резцами прошедшими травление с различной длительностью его от 10 до 30 мин. Как видно из рис. 1, в соответствии с поясненными на рисунке условными обозначениями, травление резцов при работе с подачей  $S = 0,1 \text{ мм/об}$  не приносит никакого эффекта, давая практически ту же стойкость, что и у нетравленных резцов, независимо от длительности травления.

На рис. 2 представлены результаты опытов с подачей  $S = 0,19 \text{ мм/об.}$  Здесь собраны опыты, проведенные с резцами, подвергнутыми как химическому, так и электролитическому травлению с различной длительностью от 10 до 30 мин. Здесь же представлены опыты, проведенные с охлаждением 50% раствором эмульсола в воде. Как совершенно отчетливо позволяет судить рисунок и при подаче  $S = 0,19 \text{ мм/об.}$ , ни химическое, ни электролитическое травление не дает прироста стойкости. То же самое получается и при работе с охлаждением, где точки опытов с травленными резцами ложатся точно на прямую стойкости нетравленых резцов.

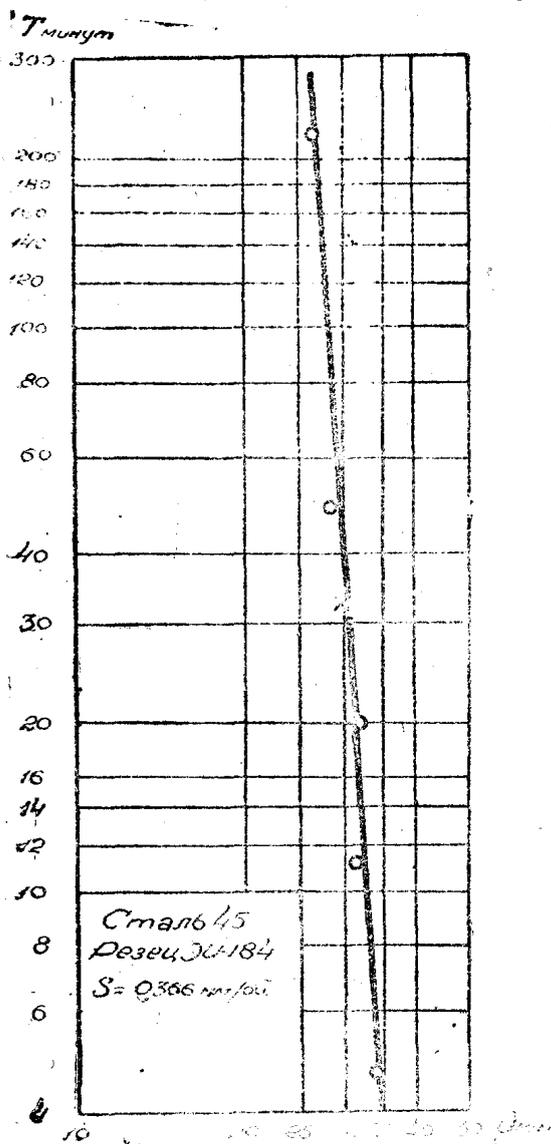


Рис. 3

Резцы в нашей работе затачивались на специальном станке Гишольт. Заточка велась очень тщательно, с обильным охлаждением. Было высказано предположение, что более грубая заточка резцов должна давать более низкую стойкость и тогда, возможно, травление будет давать повышение стойкости. Хотя после заточки на станке Гишольт резцы и не имели полированных граней и на этих последних вполне ясно были видны штрихи от зерен шлифовального

Резцы в нашей работе затачивались на специальном станке Гишольт. Заточка велась очень тщательно, с обильным охлаждением. Было высказано предположение, что более грубая заточка резцов должна давать более низкую стойкость и тогда, возможно, травление будет давать повышение стойкости. Хотя после заточки на станке Гишольт резцы и не имели полированных граней и на этих последних вполне ясно были видны штрихи от зерен шлифовального

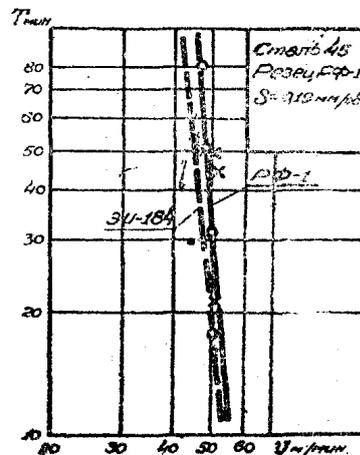


Рис. 4

круга, все же было решено испробовать работу более грубо заточенных резцов. Для осуществления этого резцы затачивались вручную на грубом наждачном камне с большим нажимом; причем стремились лишь не получить прижогов на гранях резца. Результаты опытов с этими резцами представлены на рис. 2 зачерченными кружками, причем, как видно, эти опыты уложились в общую прямую стойкости.

На рис. 3 представлены опыты с подачей  $S = 0,366 \text{ мм/об.}$ , причем и здесь опыт с травленным резцом точно уложился на прямую стойкости, не дав никакого эффекта.

На рис. 4 представлены результаты с резцами из стали РФ-1, причем здесь кружками отмечены опыты с резцами нетравленными, крестиками — с резцами, прошедшими химическое травление. Рис. 4 показывает, что и для резцов из стали РФ-1 травление не дает прироста стойкости.

На этом же рисунке проведена прямая стойкости, полученная для резцов из стали ЭИ-184. Можно сделать заключение об очень высоком качестве этих резцов, полученных примененной нами термической обработкой. Сталь РФ-1, как известно, является одной из лучших быстрорежущих сталей, обладающей высокими режущими свойствами. Как показывает рис. 4, резцы из стали ЭИ-184 дают снижение скорости резания в сравнении с резцами из стали РФ-1 лишь на 4—8 %, что при производственной эксплуатации является совершенно незаметным.

Следует отметить, что такое высокое качество резцов из заменителя ЭИ-184 возможно получить лишь при их тщательной термической обработке, при жестком контроле температур закалки и отпуска.

Кроме опытов по стали 45 нами были проведены опыты по сравнению стойкости нетравленных и травленных резцов из стали ЭИ-184 по стали У7 с твердостью  $H_B = 250$ . Результаты этих опытов представлены в таб. 2.

Таблица 2

Глубина резания	Подача	Скорость резания	Стойкость:	
			не травленных	травленных
2	0,19	25,1	14,5	11,5
			15,2	5,5
			17,0	5,2
			7,4	5,4

Из таблицы видно, что при обработке и этого, более твердого металла, травление резцов не дает прироста стойкости. Наоборот, в этом случае стойкости травленных резцов получились ниже, чем нетравленных.

#### IV. Опыты со сверлами

Основная часть опытов была проведена со сверлами диаметром 22 мм. из стали ЭИ-184. Эти сверла были изготовлены Томским инструментальным заводом специальной партией для экспериментов.

Кроме этого размера в опытах были использованы сверла марки „Р“ и „РО“ диаметром 19,5 мм и 39 мм.

Основные геометрические характеристики сверл представлены в таблице 3.

Таблица 3

№№ пи	Диам. сверла.	Конусность на 100 мм.	Угол концев.	Уг. наклона спир.	Угол попер. лезв.	Толщ. перемычки.	Ширина фаски	Матер. сверла
	d*		φ	ω	φ	α	f	
1	19,5		118°	27°	60°—64°	2,7—3,2	1,2—2,1	Р
2	22	0,05	118°	29°	60°—4°	2,7—3,2	1,5—1,7	ЭИ-184
3	39	0,07	118°	24°	61°—64°	4,3	2,5	РО

Заточка сверл производилась на специальном сверлозаточном станке типа „Оливер“. Заточка производилась с обильным охлаждением. Точность заточки контролировалась индикатором, причем не допускалась разность в положении обоих главных лезвий сверла более чем 0,03 мм.

Переточка после затупления сверла производилась так, что снимался весь пораженный при работе или при затуплении слой металла сверла.

Так например, если при предыдущем опыте фаска (ленточка) сверла получала повреждения на какой-то длине, то при переточке вся эта длина удалялась со сверла.

Геометрия затылочной грани, являющейся при заточке по типу „Оливер“ винтовой поверхностью, характеризуется задними углами, представленными в табл. 4.

Таблица 4

Диаметр сверла	Задние углы на радиусах									
	3	4	5	6	7	8	9	10	14	18
19,5	20°	19°	18°	—	15°30'	—	14°	—	—	—
22,0	21°30'	21°30'	—	17°30'	—	15°	—	12°	—	—
39,0	18°30'	18°	16°30'	—	12°30'	—	—	9°30'	8°	6°30'

Задние углы измерялись на специальном приборе. В таблице приведены задние углы в цилиндрическом сечении сверла.

Опыты со сверлами велись на станках 2135 и 2150 завода им. Ленина. К этим станкам, имевшим первоначально лишь по 6 скоростей, были изготовлены сменные шестерни, при помощи которых число скоростей было увеличено. Так, на станке 2135 можно было получить следующие числа оборотов шпинделя: 53, 84, 95, 131, 151, 172, 200, 236, 272, 310, 320, 360, 415, 492, 500, 576, 648, 766, 908, 1050, 1070 и т. д.

При работе число оборотов контролировалось, причем допускалось отступление не более чем на 2 %.

При установке сверл на станке производилась обязательная проверка сверла по индикатору в двух взаимно перпендикулярных плоскостях, причем допускалось биение не более 0,05 мм.

Работа велась с обильным охлаждением содовой эмульсией, подаваемой насосом.

Обрабатываемый материал, на котором велись испытания сверл, был следующий:

1. Углеродистая сталь .....  $H_B = 170-200$ .
2. Углеродистая сталь .....  $H_B = 250$ .
3. Углеродистая сталь .....  $H_B = 270$ .
4. Хромистая сталь 40 х .....  $H_B = 180$ .

Обрабатываемый материал получался в прутках, резался на болванки нужной длины и пускался в опыты. Контроль твердости проводился на каждой болванке, причем допускалось отклонение твердости не более  $\pm 10$  единиц по шкале Бринеля. Кроме этого, в каждой группе экспериментов, предназначенной для выявления каких-либо факторов на стойкость, опыты проводились на металле не только одной твердости, но и одного профиля (большой частью даже из одного прута).

Таким образом мы могли быть уверены, что сравнительные испытания сверл нами проводятся по вполне однородному металлу.

Опыты со сверлами велись на глухих отверстиях, причем глубина сверления колебалась от 45 до 50 мм. Конечно, в каждой серии опытов имела место постоянная глубина сверления, так как она влияет сама по себе на стойкость сверла.

#### Процесс затупления и критерий затупления

Несмотря на-то, что со сверлами произведены многие тысячи экспериментов, до сего времени в литературе нет отчетливого представления о протекании износа сверл в различных случаях работы и о критерии за-

тупления сверла. В одном из последних источников (НКТМ. Бюро технических нормативов. Типовые нормы износа и стойкости режущего инструмента. Оборонгиз 1941 г. стр. 22) по этому поводу напечатано: „При обработке сталей быстрорежущими сверлами за критерий притупления принята величина износа по задней грани  $\mu = 1,0-1,2$  мм с сопутствующим износом по фаске и передней грани. При достижении приведенной величины износа задней грани уголки округляются“.

Опыты показывают, что в ряде случаев такое затупление вообще неосуществимо и сверло будет сломано прежде чем величина износа по задней грани достигнет  $1,0-1,2$  мм.

Вопрос о затуплении сверла при сверлении сталей следует разбирать в зависимости от того режима, на котором работает сверло.

1. При низких скоростях резания и очень длительных стойкостях, значительно превосходящих экономические стойкости, процесс затупления характеризуется механическим истиранием режущих граней. На передней грани образуется лунка, на задней грани — фаска износа, которые постепенно уширяются. Параллельно с этим на ленточках сверла появляются риски, уголки также постепенно округляются. Фаски износа

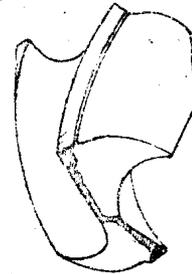


Рис. 5

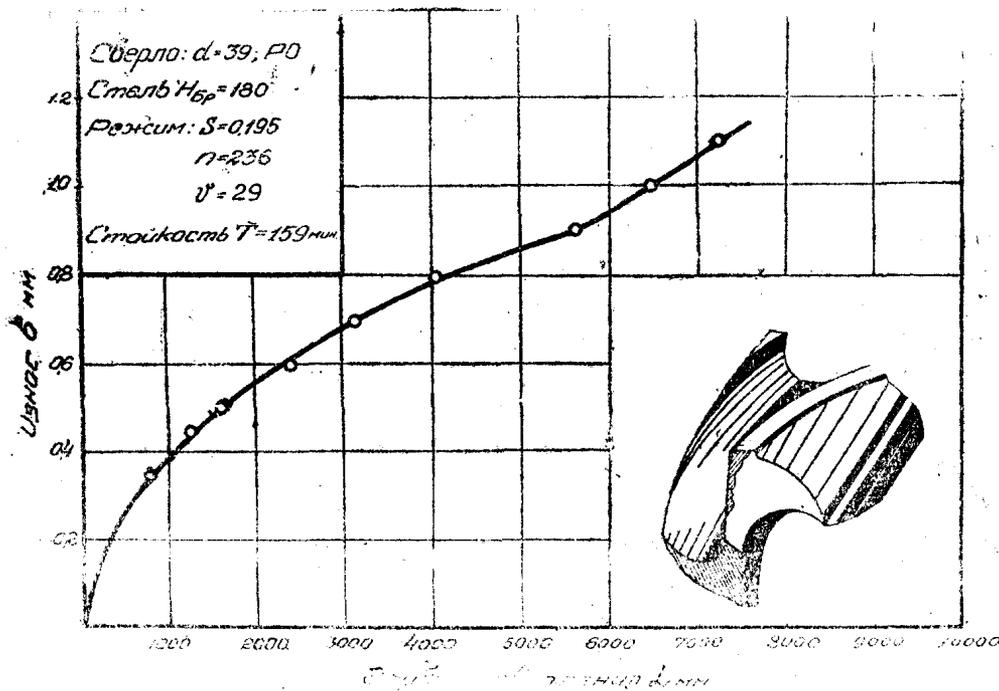


Рис. 6

на затылочной (задней грани) сверла обычно бывают неодинаковой ширины, уширяясь от поперечного лезвия к периферии сверла (см. рис. 5). В этом случае ширина фаски износа по задней грани после длительной работы сверла может достигнуть величины  $1,0-1,2$  мм. Но нередко и в этом случае, прежде чем фаска затупления по задней грани достигнет указанной величины, настолько сильно изнашиваются уголки и ленточки, что работу приходится прекращать. На рис. 6 показано протекание износа во время опытов в зависимости от пройденной глубины сверления после достижения общей глубины сверления  $L = 7250$  мм, что соответствовало стойкости в минутах  $T = 159$  мин. Фаска затупления по задней

граница достигла 1, 1—1,2 мм. На рис. 7 представлен случай, когда при стойкости  $T = 47,5$  мин. (что в два раза превосходит экономическую длину диаметра  $d = 22$  мм.) ширина фаски затупления по задней грани достигла лишь 0,6 мм, работу же пришлось прекратить, так как износ уголка при переходе с главного лезвия на ленточку достиг 1,3 мм.

2. При высоких скоростях резания и стойкостях близких к экономическим затупление сверла вполне естественно наступает на

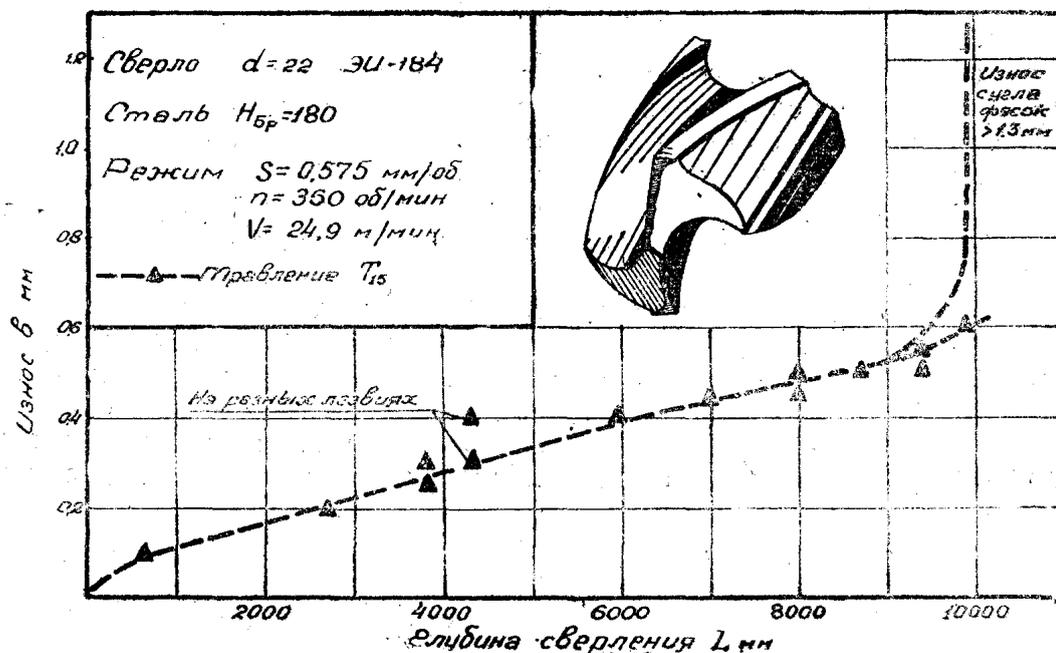


Рис. 7

участках наибольшего выделения тепла. Такими участками являются уголки перехода от главных лезвий к ленточкам сверла, так как здесь, с одной стороны, имеется наибольшая скорость резания, а с другой стороны,— процесс отделения стружки здесь наиболее затруднен, находясь одновременно под воздействием как главного, так вспомогательного лезвия (ленточки). Кроме того, здесь же выделяется тепло трения ленточки,

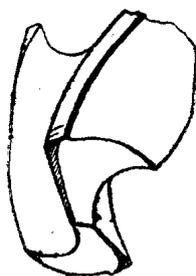


Рис. 8

не имеющей заднего угла, о стенки отверстия. Все это в совокупности приводит к тому, что на высоких скоростях и экономических режимах главные лезвия изнашиваются чрезвычайно незначительно, уголки же изнашиваются очень интенсивно. На рис. 8 показан вид притупленного сверла. На рис. 9 показано нарастание износа задней грани и уголков. Последний рисунок показывает, что при  $T = 24$  мин. износ по задней грани достиг величины 0,45 мм, износ уголков—0,65 мм. Следует отметить, что износ уголков в этом случае идет обычно очень быстро в последние моменты работы сверла.

Сношенные уголки сообщают сверлу такую форму, при которой оно уже не может внедряться в металл. Этот момент сопровождается резким скрежетом, который является очень хорошим показателем момента окончательного затупления сверла. Если в этот момент не будет быстро выключена подача, то неизбежно наступает поломка сверла. Таким образом, удобным для опытов критерием затупления сверла является резкий скрежет, который показывает момент окончательного затупления сверла. Этим критерием мы и пользовались в большинстве наших опытов.

К этому следует добавить, что если предварительно у сверла была подточена (затыловина) ленточка, то округление и износ уголка обычно не сопровождается скрежетом, уголок может быть изношен очень сильно без опасности для целостности сверла, и здесь приходится устанавливать некоторую предельную величину износа, которую и принимать за критерий затупления. Мы в этом случае доводили износ уголка до такой величины, когда износ распространялся на всю ширину ленточки сверла.

Здесь же следует указать на замеченный нами и нигде до сего времени не описанный совершенно своеобразный вид износа. Он заключается

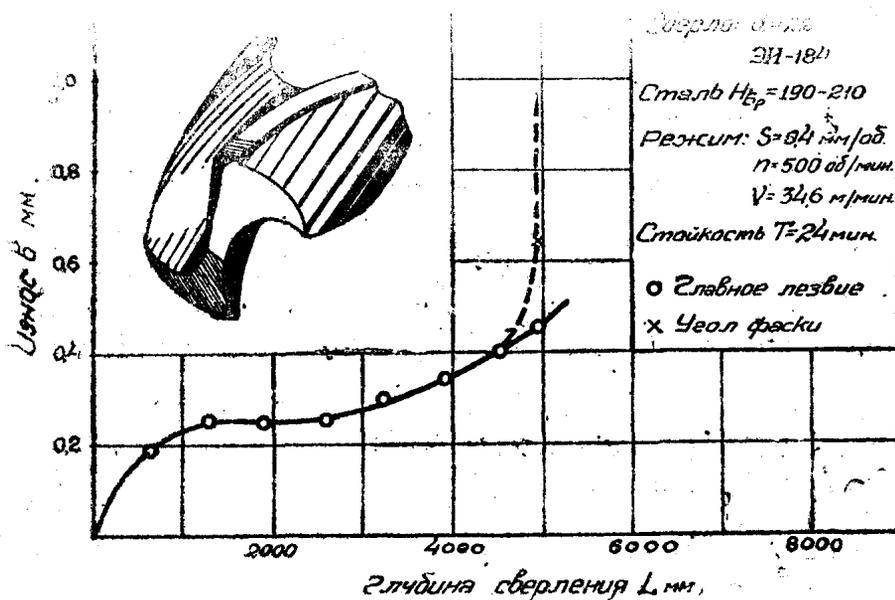


Рис. 9

в следующем. Через некоторое время после начала работы на одной или одновременно на обеих ленточках появляется риска (узенькая канавка), расположенная от уголка на расстоянии примерно равном половине подачи (рис. 10). Эта канавка образует на уголке сверла своеобразный усик. Канавка при работе сверла несколько углубляется и расширяется, усик суживается. Во время работы усик обычно защищен с передней стороны наростом из металла, который предохраняет его от износа. Часть ленточки, лежащая выше усика, и затылочная грань сверла значительно истираются, на них появляются глубокие риски, которые с обеих сторон как бы подтачивают основание усика со стороны ленточки и со стороны главного лезвия. Когда основание усика будет сильно повреждено, он обламывается, уголок ленточки сверла сразу становится затупленным, что обычно характеризуется резким скрежетом.

Замечательно то, что появление усиков всегда сопровождается повышенной в два и более раза стойкостью сверла против стойкости с обычным видом затупления при том же режиме. Это наблюдалось нами при сверлении всех сталей. Образование усиков нами наблюдалось в 20—30% всех опытов. Эти случаи мы будем выкидывать из сравнения с другими, так как приходится считать это хотя и благоприятным, но не обычным случаем износа и затупления сверла. В дальнейшем мы укажем, как мож-

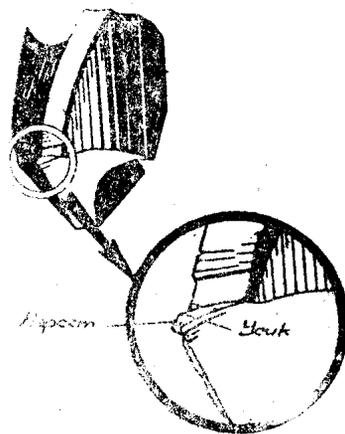


Рис. 10

но воспользоваться замеченным явлением для повышения стойкости сверл.

При выборе экспериментальных режимов резания мы в большинстве случаев стремились получить стойкости сверл, лежащие около или ниже экономических. Большинство опытов давали стойкость от 5 до 25 мин. Это стремление диктовалось как соображениями экономии времени и металла, так и тем соображением, что всякие методы повышения стойкости сверл должны быть испытаны именно на режимах с экономическими стойкостями. Значительный ряд опытов был нами проведен также с режимами больших стойкостей, чтобы убедиться, как в этом случае будут действовать методы повышения стойкости.

Несмотря на то, что в большинстве случаев мы работали с кратковременными режимами, за все время работы нами было просверлено более 5000 экспериментальных отверстий с общей длиной более 250 метров.

#### А. Влияние подточки передней грани сверла на его стойкость.

Подточки передних граней проводились на сверлах диаметром 19,5 мм и 39 мм. Подточка осуществлялась шлифовальным прибором, причем таким образом, чтобы передний угол на подточенной части был  $18^\circ$  и чтобы был совершенно плавный переход с плоскости подточки на поверхность спиральной канавки сверла (рис. 11). Тщательно проверялась симметричность лезвий, полученных после подточки передней грани, при помощи индикатора.

Выявление влияния подточки передней грани на стойкость сверла мы проводили в основном при сверлении твердых сталей  $H_B = 240-255$ , но

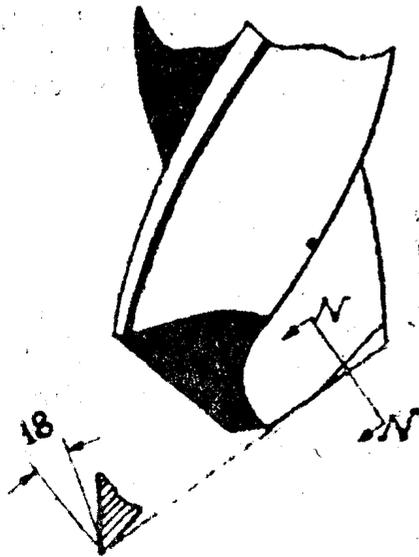


Рис. 11

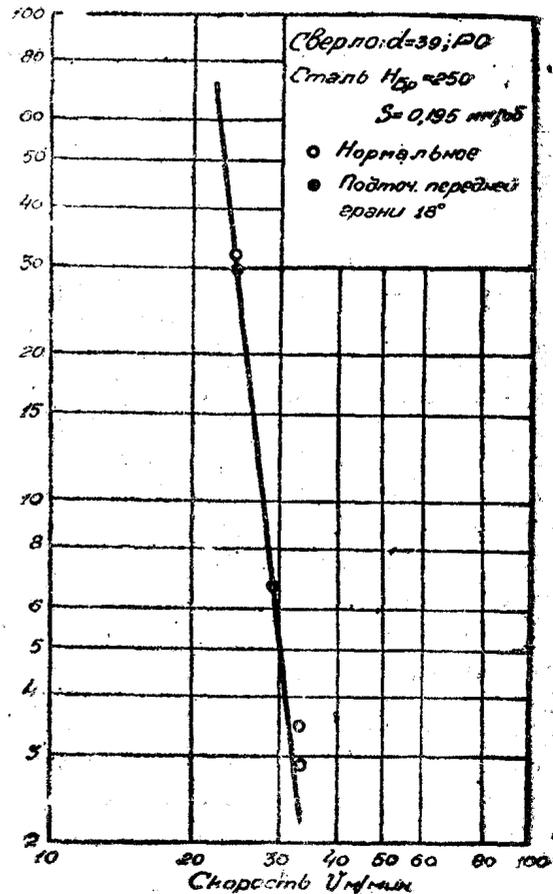


Рис. 12

некоторое количество опытов было проведено и по стали  $H_B = 180$ , Сверла диаметром 19,5 мм работали по целому металлу, сверла диаметром 39 мм работали по отверстию 19,5 мм, т. е. здесь имело место рассверливание. Во всех случаях сравнение стойкости проводилось на одном и том же сверле т. е. сверло, испытанное на каком-то режиме без подточки

передней грани, получало затем подточку  
вие. Этим мы исключали возможное влияние к.

На рис. 12 представлены результаты опыта  
подточки и с подточкой передней грани по стали  
работало с подачей  $S=0,195$  мм/об. Рис. 12 показывает, что подточка пе-  
редней грани не повысила стойкости сверла, и как точки опытов с под-  
точкой, так и точки опытов без подточки передней грани хорошо уло-  
жились на одну и ту же прямую  $V-T$ .

Результаты испытания сверл  $d=19,5$  мм с подточенной и неподто-  
ченной передней гранью по стали  $H_B=240-255$  представлены в табл. 5.

Таблица 5

Диаметр сверла	№ сверла	Форма пе- редней грани	Подача $S$ мм/обор.	Скорость резания $V$ мм	Стойкость $T$ мин.	Признаки за- тупления
19,5	2	Нормал.	0,275	22	15,5	Износ углов, скрежет.
19,5	2	Подточ.	0,275	22	7,4	То же
19,5	3	Норм.	0,275	22	14,4	То же
19,5	3	Подточ.	0,275	22	13,0	То же

Таким образом, сверла диаметром 19,5 также не повысили стойкости  
с подточкой передней грани. Опыты с подточкой передней грани по ста-  
ли с твердостью  $H_B=180$  дали точно такие же принципиально резуль-  
таты.

Для объяснения полученных результатов обратимся к рис. 13, 14 и 15.  
На рисунке 13 представлен процесс затупления главных лезвий и уголка  
ленточки у сверла  $d=39$  мм с подточенной передней гранью. Из рисун-  
ка следует, что затупление главных лезвий идет очень медленно, в тоже  
время уголок ленточки (фаски) скругляется очень быстро и сверло вы-  
ходит из строя именно по этой причине. На рисунках 14 и 15 представ-  
лен процесс затупления сверла  $d=19,5$  мм с неподточенной и подточен-  
ной передней гранью. Из сравнения этих двух рисунков следует, что под-  
точка передней грани ничего принципиально не изменяет в процессе за-  
тупления сверла. Как у того, так и у другого момент окончательного за-  
тупления характеризуется быстрым износом уголка ленточки (фаски) и  
появляющимся в результате этого скрежетанием сверла, которое застав-  
ляет прекращать работу, так как иначе следует поломка сверла.

Таким образом, изменяя форму передней грани сверла и величину угла  
заточки его при помощи подточки передней грани, мы не изменяем про-  
цесса затупления того элемента сверла (уголка ленточки), который ли-  
митирует его стойкость при работе; кроме этого нами замечено, что сверло  
с подточенной передней гранью дает гофрированную стружку (рис. 16).  
Это, повидимому, объясняется тем, что направление подточенной части  
передней грани уже не совпадает с направлением спиральной канавки  
сверла, стружка, перемещаясь по этой части передней грани и приобре-  
тая ее направление, упирается в противоположную стенку спиральной ка-  
навки, что затрудняет ее отделение и заставляет ее гофрироваться. Это  
связано с дополнительной работой, дополнительным выделением тепла  
и отрицательно должно сказываться на стойкости сверла.

Итак, можно констатировать, что подточка передней грани сверла с  
целью увеличения угла резания при сверлении сталей твердостью до  
 $H_B=250$  положительного эффекта в смысле повышения стойкости не  
дает и рекомендована для применения быть не может.

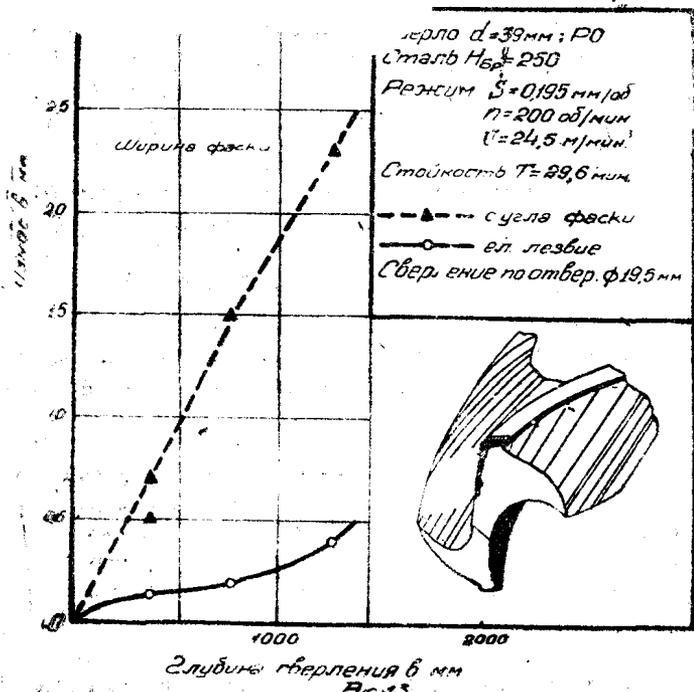


Рис. 13

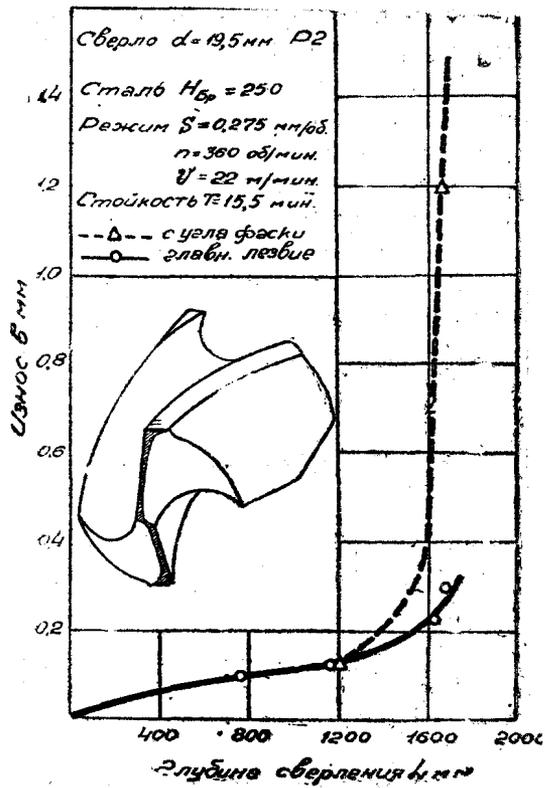


Рис. 14

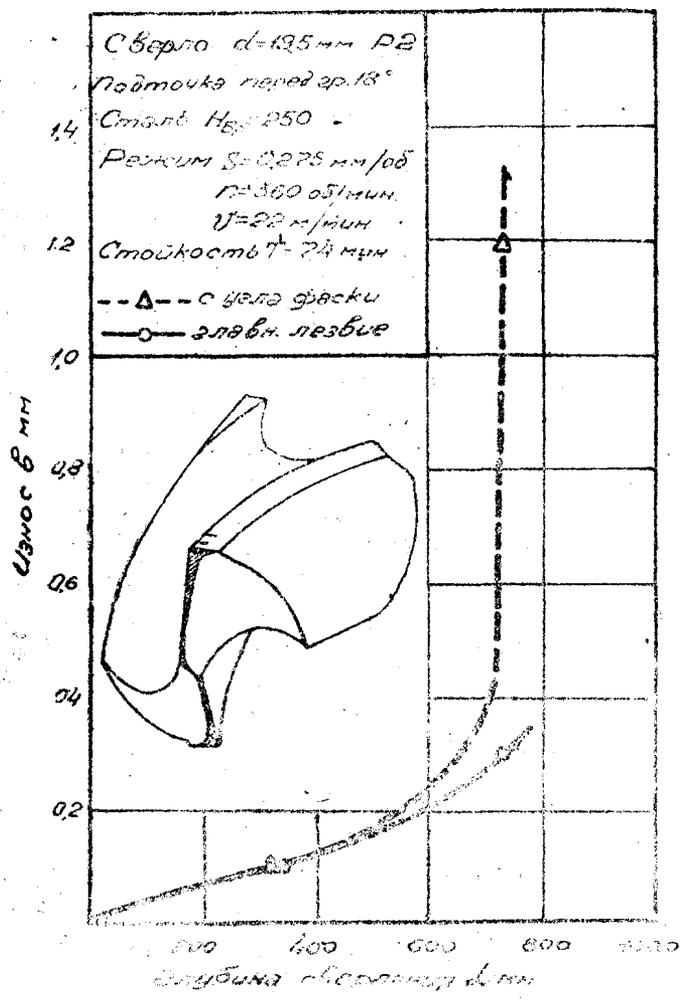


Рис. 15

www.mechinfo.ru

Рис. 16

## Б. Влияние травления сверл на их стойкость

При проведении экспериментов с резами выяснилось, что при обработке обычных машиноподелочных сталей средней и вышесредней твердости, травление не дает повышения стойкости резцов. Кроме того оказалось, что как химическое, так и электролитическое травление дало одни и те же отрицательные результаты.

При экспериментировании со сверлами мы себя считали вправе предполагать, что и здесь и химическое, и электролитическое травление дадут одни и те же результаты, но в то же самое время полагали, что отрицательные результаты работы с травленными резцами совсем не обязательно предопределяют получение таких же результатов при работе со сверлами, так как у сверл имеется такой элемент, как ленточка, отсутствующая у резцов, условия работы которой в результате отсутствия заднего

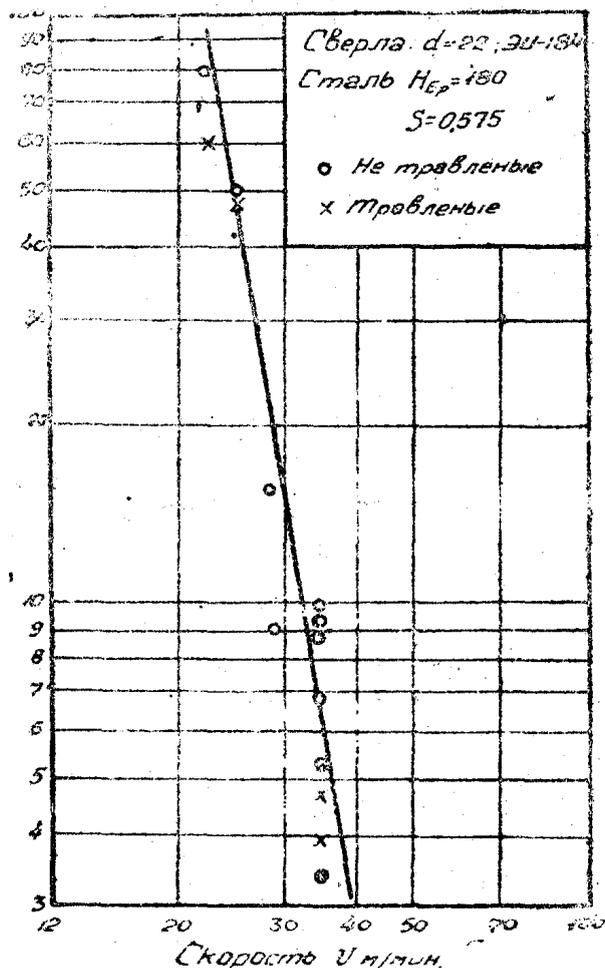


Рис. 17

Угла совершенно своеобразны. Поэтому мы считали обязательным проведение экспериментов с травленными сверлами, независимо от результатов, полученных при травлении резцов.

Прежде всего обратимся к результатам опытов с нетравленными и травленными сверлами по стали  $H_B=170-190$ . В опытах применялись сверла  $d=22$  мм из заменителя быстрорежущей стали ЭИ-184 изготовления Томского инструментального завода. Сверла работали с подачей  $0,575$  мм/об.

Результаты этих опытов представлены на рис. 17, где кружками отмечены результаты опытов с нетравленными, а крестиками — с травленными

сверлами. Рис. 17 показывает, что травление сверл при работе по стали твердостью  $H_B=180$  никакого эффекта не дает, ибо как опыты с травлеными, так и с нетравлеными сверлами расположились относительно одной и той же средней прямой совершенно одинаково.

На рис. 18 представлено протекание процесса износа двух сверл, одно из которых прошло операцию травления. Здесь был выбран режим длительной стойкости, чтобы наиболее рельефно показать, как травление воздействует на изнашиваемость режущих элементов сверла во время ра-

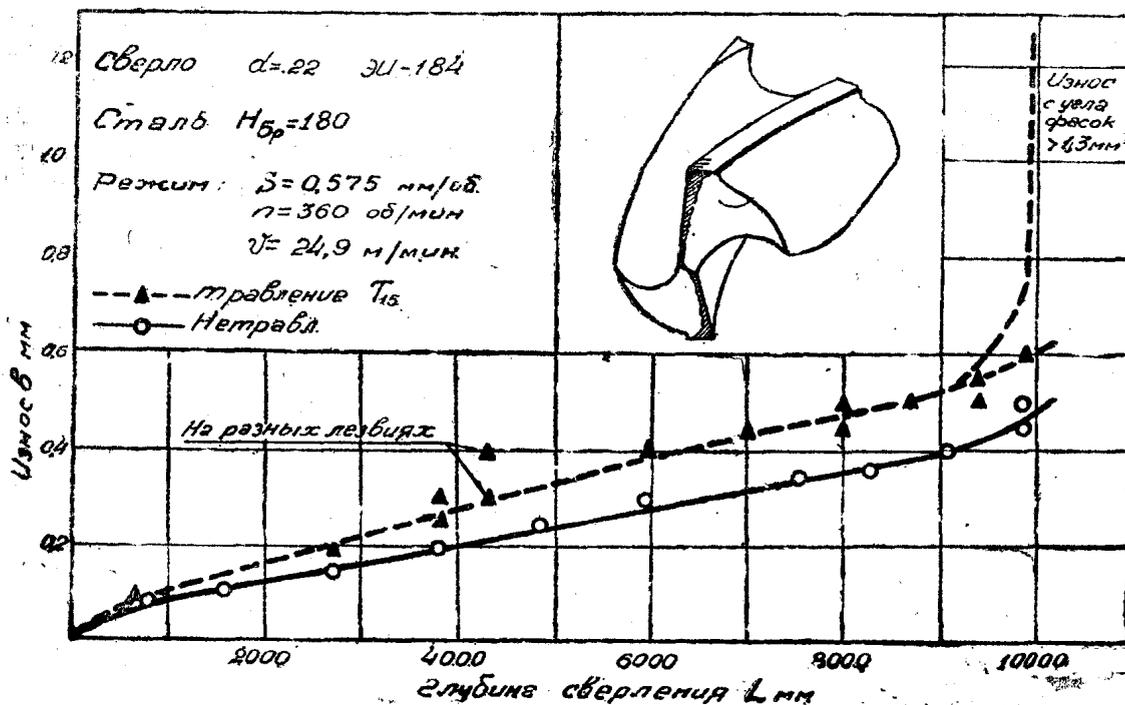


Рис. 18

боты. Рис. 18 показывает, что у обоих сверл процесс износа затылочной грани за режущим лезвием идет примерно одинаково, и даже у травленого сверла он идет несколько интенсивнее. Таким образом и этот рисунок указывает на отсутствие влияния травления сверла на его стойкость при сверлении стали  $H_B=180$ .

Мы провели также ряд аналогичных опытов по хромистой стали 40 X твердостью  $H_B=180$ , причем, и здесь были получены точно такие же результаты, т. е. травление не повысило стойкости сверл.

Переходя к более твердым сталям, мы произвели опыты по сверлению углеродистых сталей твердостью  $H_B=250$  и  $H_B=270$ . Опыты выявили, что при сверлении этих сталей химическая обработка сверл (травление) уже дает повышение стойкости сверл.

В таблице 6 дано сопоставление стойкости травленных и нетравленных сверл при обработке стали твердостью  $H_B=250$ .

Таблица 6 показывает, что здесь мы имеем более чем двойное повышение стойкости сверл, как результат травления их.

На рис. 19 графически представлены результаты подобных же опытов по стали  $H_B=270$ . Рисунок показывает, что и здесь травление дает повышение стойкости более чем в два раза.

Таким образом можно считать, что травление сверл повышает стойкость их только при сверлении сталей твердостью  $H_B=250$  и выше, для обычных же машиноподелочных сталей не дает никакого результата.

Таблица 6

№№ п/п	Скорость резания V	Подача S	Обработка сверла	Стойкость T	Средняя стой- кость
1	22,1	0,275	Нетравлен.	24,7	17,7
2	"	"	"	15,8	
3	"	"	"	22,5	
4	"	"	"	13,9	
5	"	"	"	11,6	
6	"	"	Травлен.	46	42,4
7	"	"	"	40,3	
8	"	"	"	40,7	

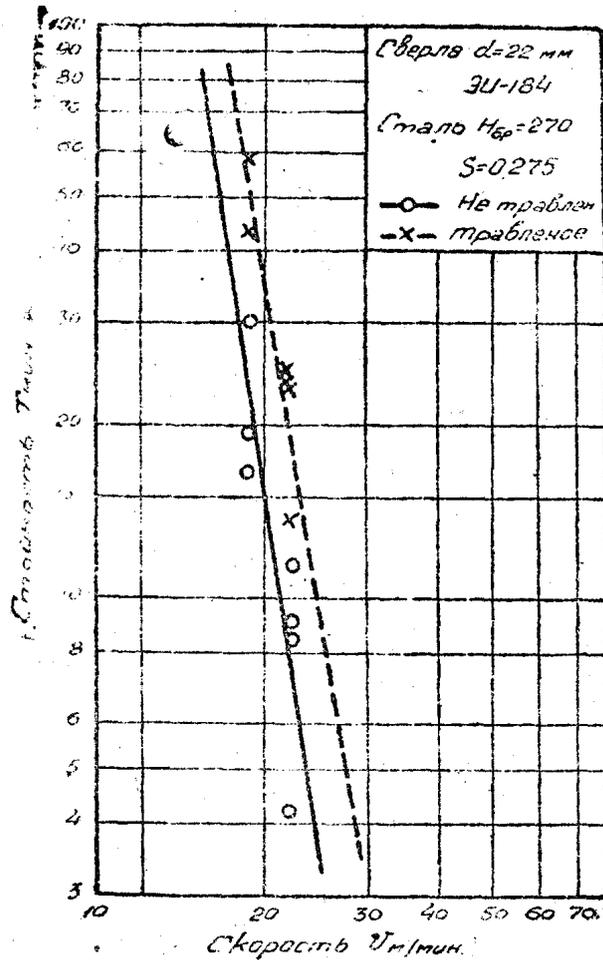


Рис. 19

### В. Влияние подточки фаски на стойкость сверл

Влияние подточки фаски (затыловки ленточки) было впервые выявлено Паткаем, а затем при работе на стали  $H_B = 180$  подтверждено Маслинным. Нашей задачей являлось не повторение упомянутых исследований, а выявление влияния подточки фаски в совокупности с травлением сверл, т. е. выявление влияния на стойкость совокупного действия травления и подточки фаски. Так как травление оказывало влияние на стойкость только при обработке сталей высоких твердостей ( $H_B = 250$  и  $H_B = 270$ ), то и влияние подточки фаски нужно было проверить на сверлении этих сталей.

Форма затыловки фаски показана на рис. 20. Затыловка производилась от руки, причем так, чтобы ширина оставшейся цилиндрической поверхности фаски была около 0,3—0,4 мм, длина затылованной части—2—3 мм. Следует отметить, что попытки оставить более узкую цилиндрическую поверхность фаски до (0,15—0,18 мм) привели к снижению стойкости сверл.

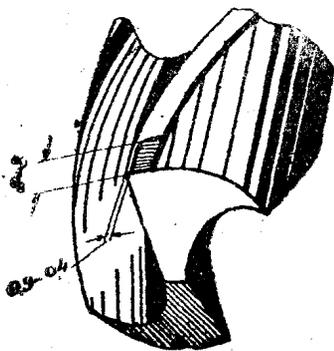


Рис. 20

Результаты опытов с одновременным травлением и затыловкой фаски представлены на рис. 21 для стали  $H_B=250$  и на рис. 22 для стали  $H_B=270$ .

Оба рисунка являются достаточно показательными. Из них следует, что при сверлении сталей  $H_B=270$  и  $H_B=250$  совокупное действие травления и подточки фаски дает возможность повысить стойкость сверла в среднем в 5 раз.

Мы провели также несколько опытов с подточкой фаски по тем сталям, на которых травление сверл не давало повышения стойкости. В опытах по сталям  $H_B=180$  и 40X в результате подточки фаски мы неизменно получали повышение стойкости более

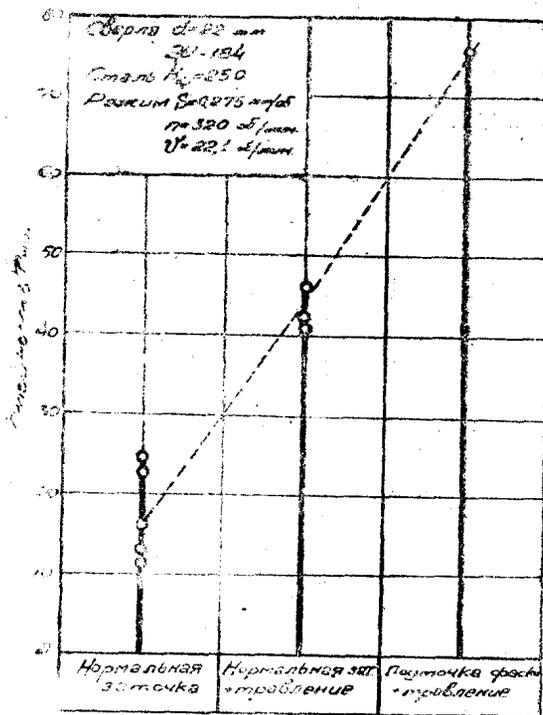


Рис. 21

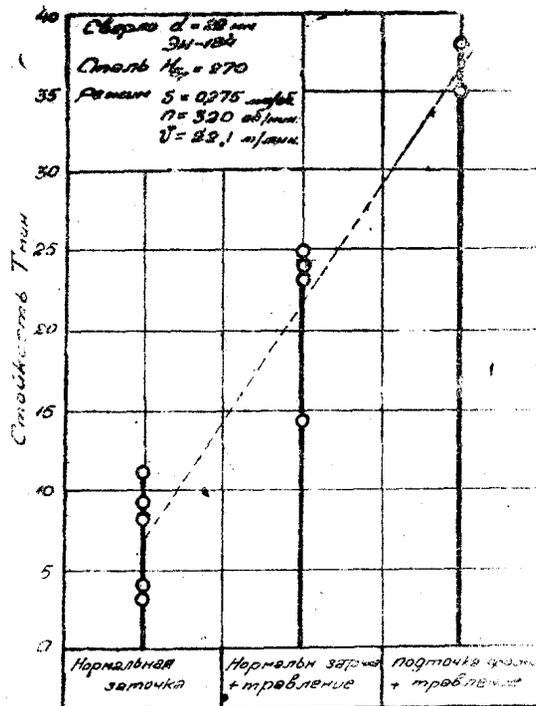


Рис. 22

чем в два раза. Было испробовано нами также по стали  $H_B=180$  совокупное действие травления и подточки фаски. Оказалось, что совокупное действие равно действию одной подточки фаски, т. е. действие травления здесь также не сказалось.

Таким образом, применение подточки фаски является всегда целесообразным, давая при сверлении сталей всех твердостей повышение стойкости. При сверлении особо твердых сталей с  $H_B=250$  и выше одновременное применение подточки фаски в совокупности с травлением сверла дает пятикратное повышение стойкости сверл.

### Г. Влияние двойной заточки на стойкость сверл

Как было указано выше, опробование двойной заточки имело логический смысл лишь в совокупности с травлением, т. е. на тех сталях, при сверлении которых травление сверл давало повышение стойкости. Поэтому нами двойная заточка в совокупности с травлением испытывалась при сверлении стали  $H_B = 250$ .

Осуществлялась двойная заточка таким образом, что длина лезвий вторичной заточки равнялась 0,2 диаметра сверла и концевой угол этих лез-

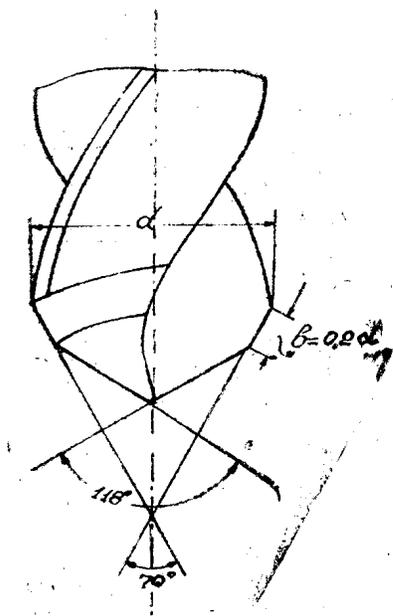


Рис. 23

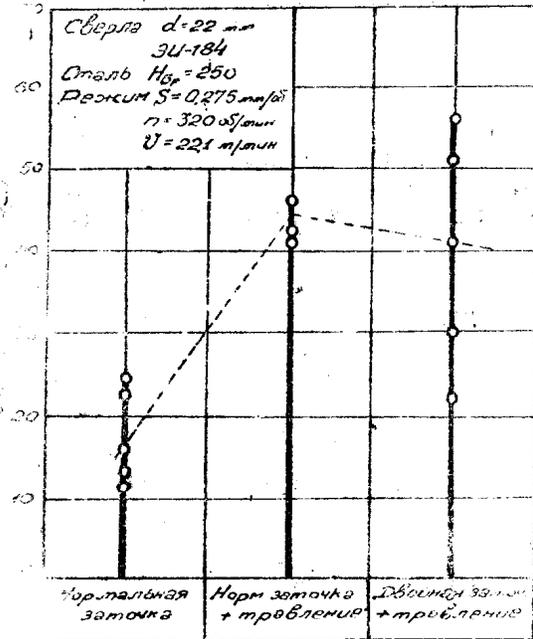


Рис. 24

вий равнялся  $70^\circ$  (рис. 23). Выполнялась двойная заточка вручную ввиду отсутствия станка, на котором можно было бы осуществить заточки сверла с переменным концевым углом  $\rho$ . При этом тщательно контролировались длина лезвий вторичной заточки, симметричность их расположения и величина концевого угла. На рис. 24 представлены результаты опытов.

Рис. 24 показывает, что при опытах с двойной заточкой получился значительный разброс результатов. Одни из опытов дали некоторое повышение стойкости в сравнении с травлением без двойной заточки, другие же, наоборот, дали снижение стойкости. В среднем же, как показывает рис. 24, двойная заточка не дала дополнения в стойкости к травлению. Можно предположить, что при сверлении сталей высокой твердости двойная заточка уже не дает таких положительных результатов, как при сверлении сталей обычных твердостей, так как при двойной заточке увеличивается передний угол, что при сверлении сталей высокой твердости уже дает отрицательный результат. В пользу этого соображения говорит и характер затупления сверла при двойной заточке его, который получался у нас в опытах при сверлении стали  $H_B = 250$ .

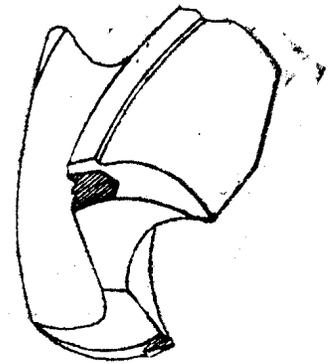


Рис. 25

В этом случае затупление концентрировалось уже не на уголке фаски, как это всегда имело место при нормальной заточке, а разрушению подвергалось главное лезвие вторичной заточки, как это показано на рис. 25.

**Д. Особый вид затупления сверл и [использование его с целью повышения стойкости**

Выше, в главе „Процесс затупления и критерий затупления“ мы уже упоминали о замеченном нами своеобразном износе сверл, когда на ленточке (фаске) у уголка главного лезвия образуется „усик“ (см. рис. 10). В тех случаях, когда имеет место такой вид износа, сверло, как правило, дает повышенную стойкость.

Для иллюстрации этого положения в табл. 7 собраны случаи работы сверла с образованием усика и полученные при этом стойкости сопоставлены со стойкостями при нормальном процессе затупления.

Таблица 7

Твердость обрабатыв. материала НВ	Скорость резания V м/мин	Подача S мм/об.	Характер износа	Стойкость T	Средняя стойкость T <sub>ср</sub>	Примечание
180	34,6	0,575	Норм.	3,4	7,28	
				9,85		
180	34,6	0,575	С образ. усиков.	9,5	19,2	
				8,75		
180	34,6	0,575	Норм.	6,83	4,3	Травлен. сверла.
				5,3		
180	34,6	0,575	С образ. усиков.	27,8	12,02	
				17,0		
180	31,8	0,575	Норм.	12,7	10,4	
				—		
180	31,8	0,575	С образ. усиков.	13,45	28	
				10,6		
250	22,1	0,275	Норм.	—	13,8	
				13,9		
250	22,1	0,275	С образ. усиков.	11,6	28,4	
				15,8		
270	18,8	0,275	Норм.	22,5	34,35	Травлен. сверла.
				24,7		
270	18,8	0,275	С образ. усиков.	38,1	58,3	
				25,4		
				43,3		
				58,3		

Таблица 7 показывает, что при наличии износа сверла, сопровождаемого образованием усиков, стойкость сверла возрастает обычно более чем в два раза.

На основании наблюдений возникла мысль, что если искусственно создать на сверле усик, то стойкость такого сверла должна быть повышена. Было произведено небольшое количество опытов для проверки этого предположения. Искусственный усик на сверле создавался следующим образом.

В патрон токарного станка зажималось сверло. На суппорт устанавливался суппортно-шлифовальный прибор с мелкозернистым шлифоваль-

ным кружком, заправленным так же, как для шлифования треугольной резьбы. Вращая медленно шпиндель станка с зажатым в патроне сверлом и подводя суппорт с вращающимся кружком, не представляет затруднения сделать на фасках сверла риску глубиной 0,5 мм, шириной 0,5 мм, расположенную на расстоянии 0,5 мм от уголка фаски.

В таблице 8 представлены результаты опытов со сверлами без усиков и с искусственными усиками.

Таблица 8

V	S	T	T <sub>ср</sub>	Примечание
34,6	0,575	4,37	4,18	Без усиков С искусственными усиками
34,6	0,575	4,0		
		6,4	7,32	
		6,67		
		8,9		

Как показывает табл. 8, образование искусственных усиков повысило стойкость почти в два раза. Таким образом, простой операцией нанесения риски на фаску сверла, для чего может быть сделано простое приспособление, можно существенно повысить стойкость сверла.

### Общие заключения и выводы

На основании проведенной экспериментальной работы можно сделать следующие выводы:

1. Травление токарных резцов из стали РФ-1 и ЭИ-184 не дает повышения стойкости при работе по сталям с твердостью до  $H_B = 250$  и не может быть рекомендовано для применения в производстве.

2. Подточка передней грани сверл при сверлении сталей с твердостью  $H_B = 250$  и  $H_B = 270$  не дает повышения стойкости.

3. Травление сверл при сверлении сталей с твердостью до  $H_B = 220$  не дает повышения стойкости.

4. Травление сверл при сверлении сталей с твердостью  $H_B = 250-270$  дает увеличение стойкости в два раза.

5. Совокупное действие травления и подточки фаски сверл при сверлении сталей  $H_B = 250-270$  выражается в пятикратном увеличении стойкости в сравнении с обычными сверлами.

6. Ввиду того, что травление сверл повышает стойкость их только при сверлении сталей высокой твердости, сравнительно редко применяемых в производстве, нет смысла производить это травление при производстве сверл на инструментальных заводах, а целесообразнее его выполнять на производстве, выполняющем операции сверления этих сталей высокой твердости.

7. Искусственное образование усика дает возможность получить дополнительное повышение стойкости сверл.