

**ЗАВИСИМОСТЬ ТЕМПЕРАТУРЫ РЕЗАНИЯ ОТ МЕТОДА  
ПОДВОДА СМАЗОЧНО-ОХЛАЖДАЮЩЕЙ ЖИДКОСТИ**

Б. М. ОРЛОВ

(Представлено профессором доктором А. М. Розенбергом)

В процессе резания металла происходит обильное выделение тепла. Основным источником образования тепла является пластическая деформация обрабатываемого металла впереди резца и под резцом, трение стружки о переднюю поверхность резца и трение задних поверхностей резца об обрабатываемое изделие. В зависимости от количества притока и отвода тепла в единицу времени изменяется температура на резце и в стружке. Высокая температура, возникающая при резании, оказывает влияние на стойкость режущего инструмента и его износ, существенным образом влияет на чистоту обработанной поверхности и на коэффициент трения на резце. Изменение же коэффициента трения изменяет величину и направление равнодействующей силы резания, что приводит к изменению усадки стружки, нароста и т. д. Таким образом, температура, возникающая при резании, оказывает большое влияние на протекание всего процесса резания.

Изучение закономерностей изменения температуры в процессе резания имеет большое теоретическое и практическое значение.

Изучение вопросов стойкости инструмента и всего процесса резания немислимо без детального изучения закономерностей изменения температуры на передней грани инструмента в зависимости от различных факторов резания.

Одним из путей снижения температуры резания и увеличения стойкости режущего инструмента является применение смазочно-охлаждающих жидкостей при резании.

В настоящее время при обработке металла резанием применяются два метода подвода смазочно-охлаждающих жидкостей.

1. Обычный метод, когда жидкость подается сверху к месту образования стружки обильной струей в количестве 10—20 литров в минуту.

2. Струйно-напорный метод подвода смазочно-охлаждающей жидкости. При этом методе смазочно-охлаждающая жидкость подается к режущей кромке инструмента со стороны задней или передней грани тонкой струей, через отверстие сопла диаметром 0,25-0,5 мм, под давлением 25—30 атм.

Обычный метод подвода смазочно-охлаждающей жидкости наиболее старый и распространенный. При обычном методе подвода смазочно-охлаждающая жидкость попадает сверху к месту образования стружки, отнимает тепло и при этом нагревается, частично испа-

руется, вследствие чего и происходит охлаждение инструмента и стружки.

При напорном методе охлаждения жидкость с большой скоростью попадает непосредственно к режущей кромке, из-за высокой температуры закипает и интенсивно испаряется. Это обеспечивает лучший теплоотвод, лучшее проникновение смазки на активные поверхности трения, то есть осуществляется наиболее полное использование смазочно-охлаждающих свойств жидкости.

Исследованиями, проведенными за последние годы [1, 2, 3], установлено, что при напорном методе охлаждения стойкость режущего инструмента возрастает в 3—4 раза по сравнению с обычным методом охлаждения.

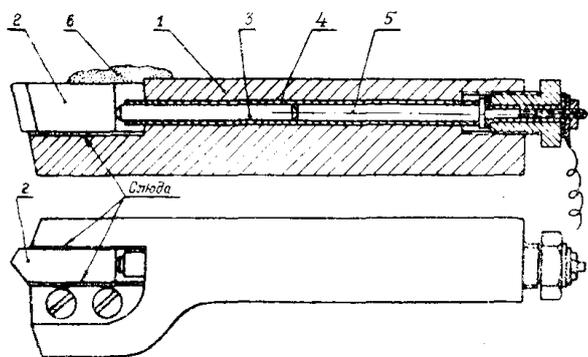
Настоящая работа ставит своей целью выяснить зависимость температуры резания от скорости резания с применением наиболее широко используемых в производстве смазочно-охлаждающих жидкостей с различными методами их подвода.

### Методика проведения работы. Оборудование. Инструмент

Исследования проводились на токарном станке по углеродистой стали 30 и шарикоподшипниковой стали ШХ 15. Стали перед опытами подвергались отжигу.

Для исследования были приняты следующие смазочно-охлаждающие жидкости: 1) вода с добавкой 1,5% кальцинированной соды, 2) 10-процентная эмульсия из стандартного эмульсола „Б“, 3) сульфорезол. Кроме того, в качестве смазочно-охлаждающей жидкости был принят четыреххлористый углерод, как химически активная жидкость, дающая наибольшее снижение динамических характеристик резания на микроскоростях. Опыты проводились как в сухую, так и с применением смазочно-охлаждающих жидкостей при обычном и напорном методе подвода. При обычном методе подвода охлаждения жидкость насосом подавалась сверху к месту образования стружки в количестве 12 литров в минуту. При напорном методе охлаждения жидкость подавалась тонкой распыленной струей через отверстие сопла диаметром 0,3 мм под давлением 28—30 атм к режущей кромке со стороны задней грани.

Так как исследования проводились в широком диапазоне скоростей резания (от 2 до 250 м/мин), то в качестве материала режущего инструмента был принят твердый сплав Т15 К6.



Фиг. 1

Пластинка твердого сплава 2 изолировалась слюдой и укреплялась механическим путем в специальной державке I (фиг. 1). Державка при закреплении в динамометр изолировалась фибровыми прокладками. Резцы имели следующую геометрию:  $\gamma = 0^\circ$ ,  $\alpha = 10^\circ$ ,  $\varphi = 70^\circ$ ,  $\varphi_1 = 13^\circ$ ,  $\lambda = 0^\circ$ ,  $r = 0,3$  мм. Для того, чтобы выяснить влияние метода подвода смазочно - охлаждающей жидкости на различных режимах обработки (черновой и чистовой), опыты проводились с подачей  $S = 0,43$  мм/об и  $S = 0,131$  мм/об. Глубина резания в опытах была  $t = 2$  мм.

Определение температуры резания производилось методом естественной термопары инструмент — обрабатываемое изделие. Одним звеном электрической цепи естественной термопары являлась ртутная ванночка на конце шпинделя, другим — пластинка твердого сплава резца. Цепь замыкалась через гальванометр.

Для того, чтобы избежать горячих спаев и тем самым исключить возможность возникновения паразитных термопар, отвод термотока с пластинки твердого сплава осуществлялся через столбик твердого сплава 3 и длинный стальной стержень 5. Этот столбик и стержень изолировались от державки при помощи трубки из изоляционного материала 4 (фиг. 1). Для того, чтобы при резании жидкость не попадала в паз с пластинкой твердого сплава, паз сверху закрывался пластилином 6.

Тарировка термопары твердый сплав — обрабатываемое изделие проводилась в свинцовой ванне при помощи контрольной хромель-алюмелевой термопары.

Силы резания определялись при помощи гидравлического трехкомпонентного токарного динамометра.

Усадка стружки определялась по уравнению

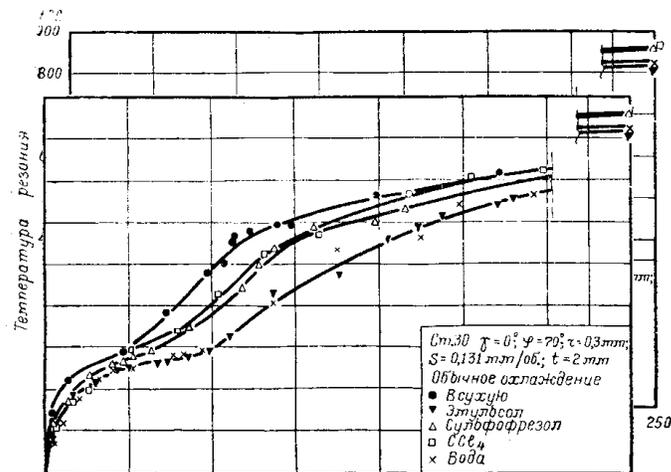
$$\zeta = \frac{a_1}{a} = \frac{l \cdot b}{l_1 \cdot b_1},$$

где  $a_1, b_1, l_1$  — соответственно толщина, ширина и длина стружки в мм,

$a, b, l$  — соответственно толщина, ширина и длина среза в мм.

### Результаты исследования

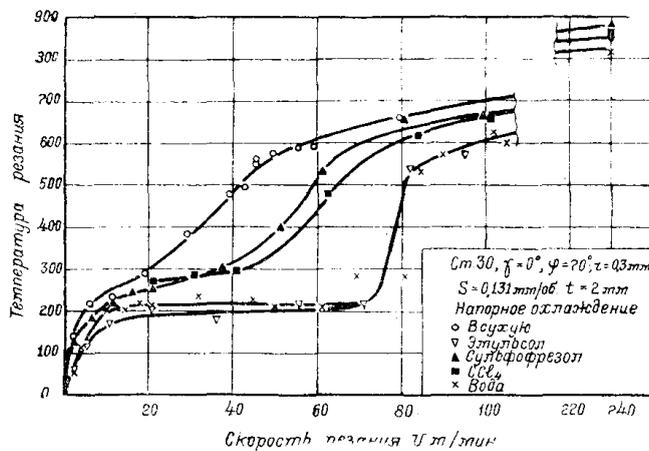
Результаты опытов по резанию стали 30 всухую и со всеми исследуемыми жидкостями при обычном методе подвода на малой подаче  $S=0,131$  мм/об приведены на фиг. 2, а при напорном методе охлаждения — на фиг. 3. Из фиг. 2 видно, что с увеличением скоро-



Фиг. 2

сти резания до 10 м/мин температура как при резании всухую, так и с применением различных смазочно-охлаждающих сред резко возрастает. Затем на некотором участке увеличения скорости резания (в зависимости от среды) интенсивность возрастания температуры снижается. По мере дальнейшего увеличения скорости резания характер изменения температуры повторяется: температура вновь резко возра-

стает, а затем этот рост становится менее интенсивным. Таким образом, ход кривой зависимости температуры резания от скорости резания образует как бы своеобразный прогиб. Особенно сильно проявляется этот прогиб на температурной кривой при напорном методе охлаждения (фиг.3). Так, при резании с напорным охлаждением водой, эмульсо-

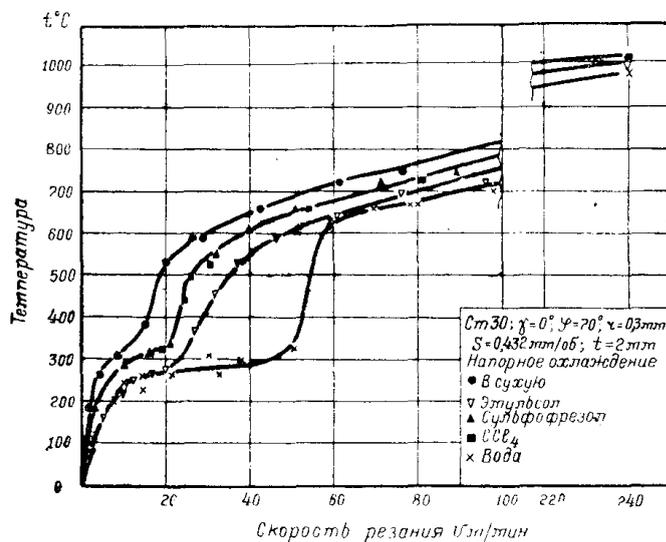


Фиг. 3

лом (жидкостями, обладающими хорошей охлаждающей способностью) с подачей  $S = 0,131 \text{ мм/об}$  температура на резце в пределах изменения скорости резания от 10 до 70 м/мин остается почти постоянной, около 200°. При резании же всухую температура при этих скоростях возросла от 240 (при  $v = 10 \text{ м/мин}$ ) до 640° (при  $v = 70 \text{ м/мин}$ ).

Из фиг. 2 и особенно из фиг. 3 видно, что при применении различных смазочно-охлаждающих сред в различных диапазонах скоростей резания снижение температуры резания, по сравнению с резанием всухую, различно.

О существенном снижении температуры резания за счет применения смазочно-охлаждающих жидкостей, которое может оказать влияние на стойкость режущего инструмента и на весь процесс резания, можно говорить только до скоростей резания около 100 м/мин.



Фиг. 4

Жидкости, обладающие наибольшей скрытой теплотой парообразования, теплоемкостью и теплопроводностью (вода, эмульсол), дают наибольшее снижение температуры резания.

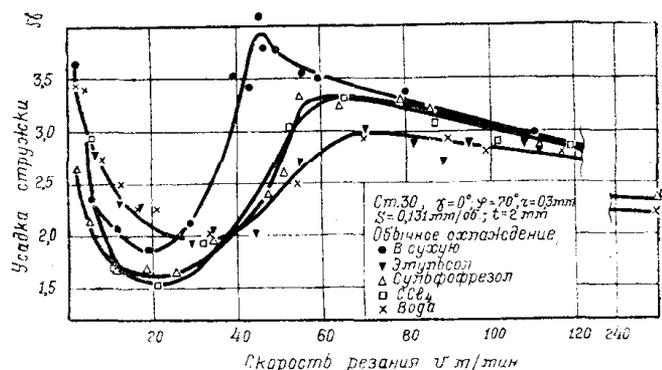
Подобный характер изменения температуры резания от скорости резания при применении различных методов охлаждения имеет место и при черновой обработке с  $S = 0,432 \text{ мм/об}$  (фиг. 4). Проведенными исследованиями установлено, что величина снижения температуры резания (в области скоростей резания, где жидкости оказывают наибольший охлаждающий эффект) определяется охлаждающей способностью среды, методом ее подвода и режимом обработки.

Эффективность смазочно-охлаждающей жидкости в снижении температуры резания в большей степени проявляется при тонких срезах. Напорный метод охлаждения дает большую эффективность в снижении температуры резания, чем обычный метод.

Причиной образования прогиба на температурной кривой, по нашему мнению, является нарост, образующийся на резце как при резании всухую, так и с применением смазочно-охлаждающих жидкостей.

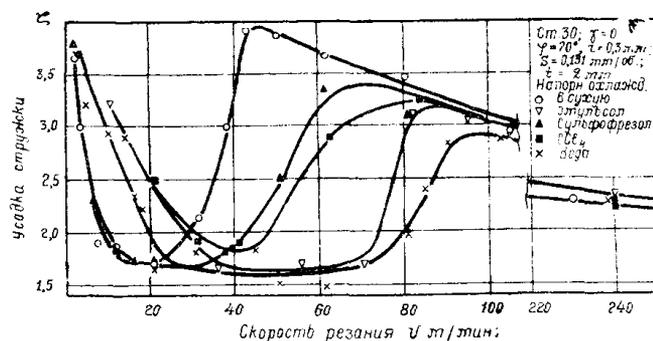
Нашими опытами установлено, что наибольший перегиб на температурной кривой получается при максимальном наросте.

Известно [4], что при резании стали без применения смазочно-охлаждающих жидкостей сила резания и усадка стружки с увеличением скорости резания изменяется по кривой, имеющей максимум и минимум. Также установлено, что такой характер изменения кривой усадки стружки и силы резания в процессе резания определяется изменением температуры резания. Минимуму кривой соответствует температура резания  $200-300^{\circ}$ , причем минимум получается благодаря наличию нароста в этой области температур. Максимуму кривой, когда нарост исчезает, соответствует температура резания  $500-600^{\circ}$ . Такой же характер изменения усадки стружки и силы резания с увеличением скорости резания (температуры резания) имеет место и при резании с применением смазочно-охлаждающих жидкостей с обычным и напорным методами охлаждения. Это видно из графиков, представленных на фиг. 5 и 6.



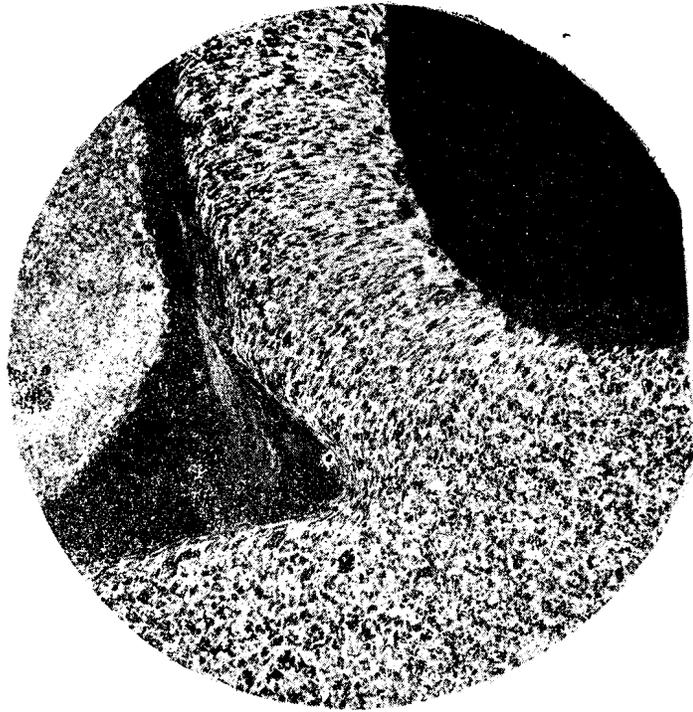
Фиг. 5

Из сравнения фиг. 5 и 6 с фиг. 2 и 3 видно, что хотя сдвиг по скорости резания кривых усадки стружки для различных смазочно-охлаждающих жидкостей различен, все минимумы кривых (независи-

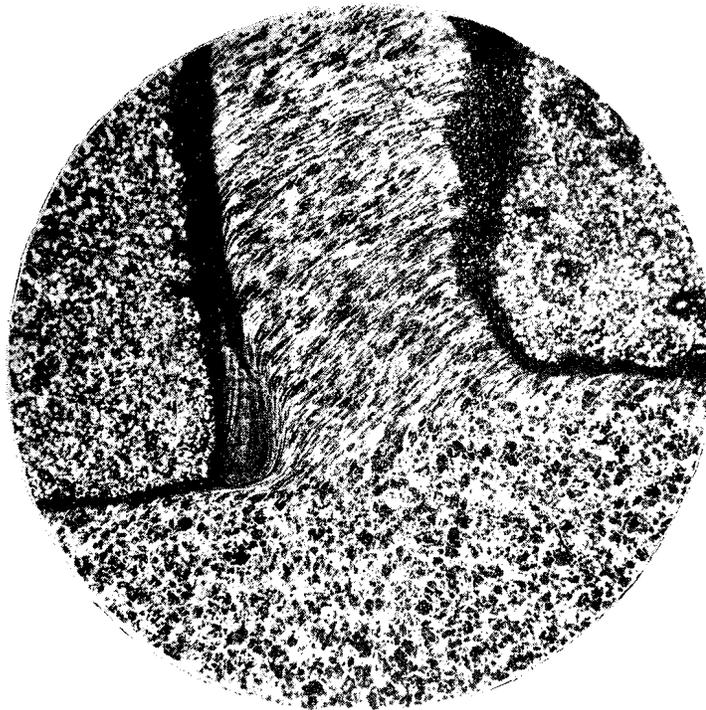


Фиг. 6

мо от смазочно-охлаждающей среды) располагаются в одном диапазоне температур  $200-300^{\circ}$ , а все максимумы при  $500-600^{\circ}$ . Из представленных графиков можно заметить, что максимуму прогиба на темпе-



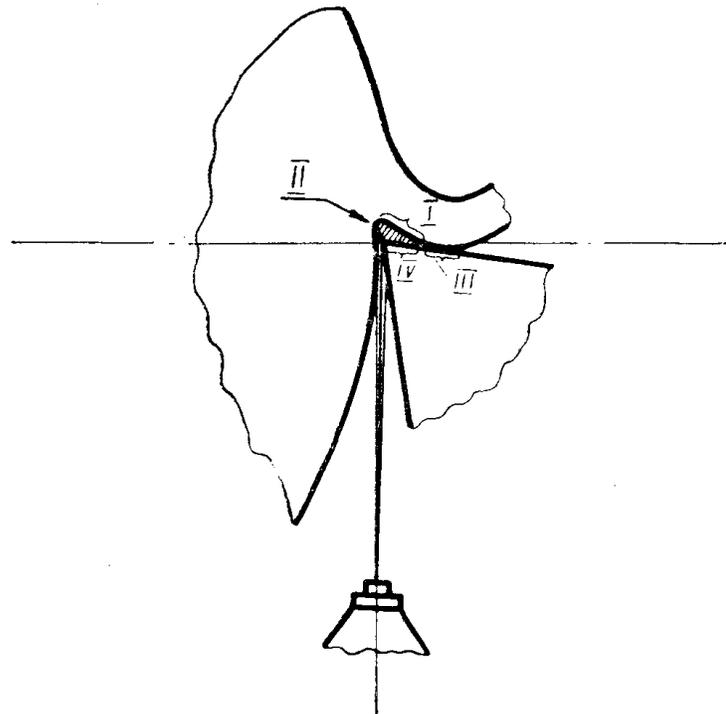
Фиг. 8. Зона стружкообразования при резании стали 30 с напорным охлаждением серофрезолом.  $S = 0,432$  мм/об,  $\gamma = 0^\circ$ ,  $v = 15$  м/мин (X 37)



Фиг. 9. Зона стружкообразования при резании стали 30 с напорным охлаждением водой.  $\gamma = 0^\circ$ ,  $S = 0,432$  мм/об,  $v = 42$  м/мин (X 37)

ратурной кривой соответствует минимум кривой усадки, то есть прогиб на температурной кривой располагается в диапазоне скоростей резания, при которых существует нарост.

При резании без нароста происходит соприкосновение стружки с передней гранью инструмента и поверхности резания с задней гранью. В этих местах соприкосновения в процессе резания возникают электродвижущие силы. Величина э.д.с., регистрируемая гальванометром, равна средней сумме э.д.с. микротермопар, возникающих на передней и задней гранях инструмента. Если же при резании имеется нарост, то происходит соприкосновение стружки с передней поверхностью нароста и резца, а также задней поверхности нароста с изделием (фиг. 7). Так как материал нароста и обрабатываемого изделия со стружкой один и тот же, то трудно предполагать возможность возникновения э.д.с. в месте их контакта, на участках 1 и 2 (фиг. 7). Э.д.с. будет возникать



Фиг. 7

только на участке IV в месте контакта нароста с передней гранью инструмента и на участке III контакта стружки с передней гранью. При этом зоны наибольшего теплообразования на участках I и II будут удалены от места возникновения э.д.с. В результате этого гальванометром будет регистрироваться более низкая э.д.с. (температура) и на температурной кривой точки располагаются ниже (получается прогиб).

Кроме того, при наличии нароста на резце увеличивается фактический передний угол. Увеличение же переднего угла приводит к облегчению процесса резания (уменьшается деформация металла при резании). А это, в свою очередь, уменьшает количество выделенного тепла. Следовательно, процесс резания с наростом сам по себе способствует уменьшению выделившегося при резании тепла. При резании в области нароста с применением напорного охлаждения смазочно-охлаждающая жидкость сильной струей ударяется о заднюю грань около главной режущей кромки резца, распыляется, из-за высокой температуры испаряется, и, омывая нарост с задней грани, интенсивно его охлаждает. При этом от основных источников теплообразования на участ-

ках I и II тепло интенсивно поглощается через массу нароста распыленной жидкостью и температура на участке IV мало изменяется с увеличением скорости резания. Поэтому при резании с напорным охлаждением во всем диапазоне скоростей резания с наростом температура на передней грани резца изменяется, в основном, за счет интенсивности роста температуры на участке контакта III. Кроме того, интенсивное охлаждение нароста со стороны задней грани создает условия для более устойчивого его существования (нарост реже срывается). При этом область существования нароста растягивается на больший диапазон скоростей резания.

При дальнейшем увеличении скорости резания, несмотря на интенсивное охлаждение, температура настолько возрастает, что нарост быстро исчезает. В этом случае стружка полностью соприкасается с передней гранью инструмента, а поверхность резания — с задней гранью. Происходит интенсивное охлаждение задней грани резца и частичный отвод тепла с передней грани за счет теплопередачи. В этом случае температура, регистрируемая гальванометром, будет немного ниже, чем температура при резании всухую (фиг. 3 и 4).

Таким образом, при резании с напорным охлаждением со стороны задней грани, благодаря устойчивому положению охлаждаемого нароста, стойкость быстрорежущего инструмента будет значительно выше, чем при обычном охлаждении.

Ряд исследователей [2, 3] указывает, что при резании с напорным методом подвода смазочно-охлаждающей жидкости нарост на резце не образуется.

Для проверки этого положения, а также высказанного нами предположения о влиянии нароста на температуру резания нами были проведены опыты при различных скоростях резания с мгновенным прекращением процесса резания. Мгновенное прекращение процесса резания производилось при помощи приспособления „падающий резец“ с ударным действием как при резании всухую, так и с обычным и напорным методом подвода охлаждения со всеми исследуемыми жидкостями.

На фиг. 8 и 9 представлены микрофотографии шлифов зоны стружкообразования, полученные при резании стали 30 с подачей  $S = 0,432 \text{ мм/об}$  в области нароста с напорным охлаждением сульфифрезолом и водой.

Как видно из фиг. 8, несмотря на хорошую смазывающую способность сульфифрезола, при напорном методе подвода на резце образуется нарост, который оказывает влияние на процесс резания. И при резании с напорным охлаждением водой со скоростью резания  $42 \text{ м/мин}$  нарост на резце также образуется. Это видно на фиг. 9.

То же самое было получено при напорном охлаждении другими жидкостями и при обычном охлаждении. Следовательно, утверждение некоторых исследователей, что при резании с напорным охлаждением нарост на резце не образуется, не имеет оснований.

Аналогичные рассмотренным зависимостям были нами получены и при обработке стали ШХ15.

## Выводы

1. При резании на средних скоростях (в пределах работы быстрорежущего инструмента) на резце образуется нарост. В этом случае нарост образуется как при резании всухую, так и с применением наиболее широко распространенных в производстве смазочно-охлаждающих жидкостей при обычном и напорном методе их подвода.

2. Наличие нароста на резце обеспечивает некоторое снижение температуры на передней грани, что отражается на температурной кривой в виде прогиба. Это снижение температуры происходит благодаря облегчению процесса резания в связи с увеличением фактического переднего угла резца за счет нароста, а также вследствие отдаления от передней грани резца основных источников тепловыделения.

3. Применение напорного метода охлаждения со стороны задней грани обеспечивает интенсивное охлаждение нароста, благодаря чему нарост становится более устойчивым, область его существования расширяется на больший диапазон скоростей резания и обеспечивается значительное снижение температуры на передней грани.

4. Применение напорного метода подвода смазочно-охлаждающей жидкости при резании в области существования нароста дает возможность увеличить скорость резания при значительном увеличении стойкости режущего инструмента.

5. При резании твердосплавными режущими инструментами на больших скоростях (за максимумом кривой усадки и силы резания) смазочно-охлаждающие жидкости как при обычном, так и при напорном методе их подвода дают мало ощутимое снижение температуры резания.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Грудов П. П. и Добронович К. В. Охлаждение токарных резцов высоконапорной струей. „Станки и инструмент“, № 9, 1952.

2. Повышение стойкости режущего инструмента путем применения струйно-напорного метода охлаждения. „Рефераты“, Техничко-информационный бюллетень, вып. 8, 1953.

3. Stocker I. Three to twelve times more cutting tool life. „The Machinist“, vol 96, № 10, 1952.

4. Еремин А. Н. Физическая сущность явлений при резании стали, Машгиз, Свердловск, 1951.

5. Даниелян А. М. Теплота и износ инструментов в процессе резания металлов Машгиз, Москва, 1954.