

## ЧИСТОТА ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКЕ СЕРОГО ЧУГУНА

Ю. А. РОЗЕНБЕРГ, В. М. БАГАНОВ, О. А. КУДРЯВЦЕВ

(Представлено проф. докт. техн. наук А. М. Розенбергом)

Проблема качества чистоты обрабатываемой поверхности является одной из важнейших проблем современного машиностроения. Однако в этой проблеме имеется еще ряд недостаточно разрешенных вопросов. Особенно, это касается чистоты поверхности при обработке серого чугуна. Имеющиеся в литературе сведения о чистоте поверхности при обработке серого чугуна отрывочны и не совсем точно обрисовывают действительную картину. Так, в работах Долматовского [2], Белецкого О. Г. [3], Дьяченко П. Е. и Якобсона М. О. [4] указывается на то, что при обработке серого чугуна методами точения и торцевого фрезерования вполне достижима чистота обработки  $\nabla\nabla\nabla 7$ — $\nabla\nabla\nabla 8$ . В ведомственных нормалях Министерства угольной промышленности ВН—137, в соответствии с ГОСТ—2789—51 на взрывобезопасных поверхностях неподвижных стыков деталей электрических шахтных машин требуется чистота обработки  $\nabla\nabla 6$ .

Однако на Томском электромеханическом заводе имени В. В. Вахрушева в цеховых условиях не смогли обеспечить при торцевом фрезеровании надежное получение чистоты поверхности  $\nabla\nabla 6$ . Инженером этого завода Позолотиным А. В. было проведено специальное небольшое исследование, которое не подтвердило данных из вышеуказанных работ. В связи с этим необходимо было решить вопрос, каким является экономически достижимым класс чистоты при обработке серого чугуна. Большинство исследований чистоты поверхности проводились при резании сталей. Эти работы позволили установить строгую закономерность изменения чистоты поверхности при обработке сталей. Анализируя работы многих исследователей, а также базирясь на своих экспериментах Еремин А. Н. [5] приходит к выводу, что при несвободном резании сталей чистота поверхности характеризуется неровностями, величины которых слагаются из двух элементов по уравнению

$$H = H_{теор} + H_{шер}$$

где  $H_{теор}$ —геометрическая характеристика чистоты поверхности, зависящая от профиля резца в плане ( $\varphi$ ,  $\varphi_1$  и  $r$ ), состояния режущей кромки и величины подачи.

$H_{шер}$ —геометрическая и одновременно физическая характеристика чистоты среза, зависящая от напряженности температурного режима при резании и от пластических свойств обрабатываемого материала.

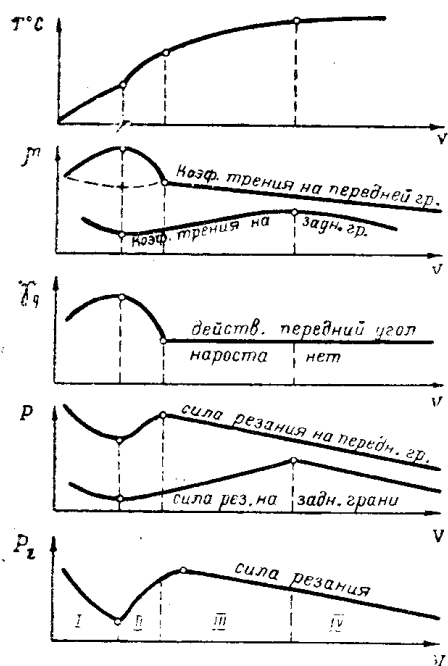
Далее Еремин А. Н. указывает, что, как и все явления процесса резания (наrost, усадка и твердость стружки, коэффициент трения и т. д.), чистота поверхности изменяется под влиянием температуры резания вследствие изменения  $H_{шер}$ . Температура резания воздействует на величину

$H_{шер}$  через изменение трения на задней грани резца или нароста, степени пластической деформации, т. е. усадки стружки, высоты нароста на резце и сдвигов на поверхности среза под резцом.

Общая закономерность изменения качества поверхности при резании серого чугуна и физическое обоснование этой закономерности, в связи с небольшим количеством исследований по этому вопросу, не вскрыты. В этих исследованиях можно только найти исследование отдельных зависимостей  $H$  от параметров процесса резания и некоторые предположения по физическому их обоснованию. Так, например, Дьяченко П. Е. в своей работе [6] указывает, что при резании серого чугуна кривая зависимости  $H_{max} = f(v)$  имеет горбообразный характер. Отсюда он делает предположение, что при резании серого чугуна „все-таки получается небольшой нарост“.

В лаборатории резания металлов Томского политехнического института имени С. М. Кирова Розенбергом Ю. А. была проведена работа по исследованию процесса резания серого чугуна [7]. В этой работе был вскрыт ряд закономерностей и дано физическое обоснование динамики процесса. В частности, было найдено, что при резании серого чугуна образуется нарост и, что все явления процесса резания серого чугуна (нарост, изменяющий действительную геометрию инструмента, коэффициенты трения на передней и задней гранях инструмента, усадка и т. д.) так же, как и при резании сталей изменяются под влиянием температуры резания (фиг. 1). Повидимому, эти вскрытые закономерности могут позволить дать более полное обоснование зависимости чистоты поверхности при обработке серого чугуна от параметров процесса резания.

Все выше изложенное и побудило авторов провести исследование чистоты поверхности при токарной обработке серого чугуна. Работа проводилась по договору о творческом содружестве с Томским электромеханическим заводом им. В. В. Вахрушева в лаборатории резания металлов Томского политехнического института имени С. М. Кирова.



Фиг. 1

### Методика исследования

Теоретическая высота остаточных гребешков идеального профиля поверхности  $H_{теор}$  представляет собою исключительно геометрическую величину, зависящую от подачи  $S$  радиуса закругления вершины резца  $r$  и углов в плане  $\varphi$  и  $\varphi_1$ . В литературе можно встретить ряд уравнений, математически выражающих указанную зависимость. Так А. И. Исаев [8] дает следующие уравнения, которые выражают величину  $H_{теор \cdot max}$  для четырех основных случаев получения профиля микронеровностей при измерении его в направлении подачи.

При чистовых операциях, при которых  $S < 0,2$  мм/об и  $r > 0,5$  мм, величина  $H_{теор \cdot max}$ , как это видно из таблицы, определяется формулой

IV случая, когда весь профиль микронеровностей с обеих сторон образовывается дугой радиуса  $r$ .

Таблица 1

$\varphi_1 \backslash \varphi$	$< \arcsin \frac{s}{2r}$	$> \arcsin \frac{s}{2r}$
$< \arcsin \frac{s}{2r}$	<p>I случай</p> $H_{\max} = \frac{\sin \varphi \cdot \sin \varphi_1}{\sin (\varphi + \varphi_1)} - \left[ s - r \left( \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2} + \operatorname{tg} \frac{\varphi_1}{2} \right) \right]$	<p>III случай</p> $H_{\max} = r [1 - \sin (\varphi_1 + \beta)]$ $\sin \beta = 1 - \frac{s}{r} \sin \varphi_1$
$> \arcsin \frac{s}{2r}$	<p>II случай</p> $H_{\max} = r [1 - \sin (\varphi + \beta)]$ $\sin \beta = 1 - \frac{s}{r} \sin \varphi$	<p>IV случай</p> $H_{\max} = r - \frac{\sqrt{4r^2 - s^2}}{2}$

В этом случае изменение углов в плане  $\varphi$  и  $\varphi_1$  не оказывает влияния на профиль микронеровностей с геометрической стороны. Изменение углов  $\varphi$  и  $\varphi_1$  влияет на профиль микронеровностей через изменение температуры резания, стойкости резца и сил трения на задней грани инструмента.

В связи с этим, в наших исследованиях геометрия инструмента была выбрана, исходя из оптимальной его стойкости.

В качестве режущего инструмента применялись токарные резцы, оснащенные пластинками из твердого сплава ВК-8 со следующими геометрическими параметрами:

Главный угол в плане  $\varphi = 45^\circ$ .

Вспомогательный угол в плане  $\varphi_1 = 13 \div 15^\circ$ .

Передний угол  $\gamma = +10 \div -12^\circ$ .

Главный задний угол  $\alpha = 8 \div 15^\circ$ .

Вспомогательный задний угол  $\alpha_1 = 10^\circ$ .

Радиус закругления вершины резца  $r = 0 \div 2$  мм.

Перед каждым опытом грани режущего инструмента затачивались и тщательно доводились на чугунном диске порошком карбида бора. Углы резцов измерялись на универсальном угломере с точностью до  $30'$ . При установке геометрия инструмента проверялась угломером. Величина износа и радиус закругления вершины резца замерялись с помощью переносного микроскопа Бринеля.

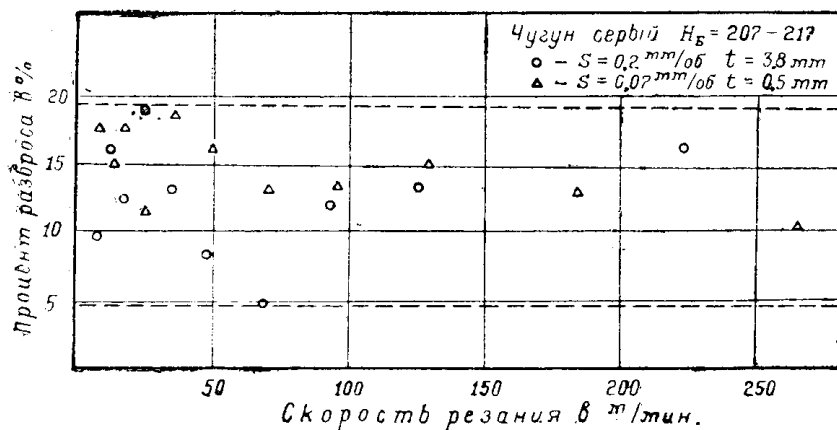
Все опыты были проведены на двух, средней жесткости, токарных станках. При этом были применены следующие режимы резания: скорость резания изменялась в пределах от 7 до 400 м/мин., подача  $S$  изменялась в пределах от 0,03 до 0,6 мм/об, глубина резания изменялась в пределах от 0,5 до 4 мм.

Диапазон скоростей резания, примененный в опытах охватывает все скорости, встречающиеся на практике. Выбор подач регламентировался возможностями станков и поставленной перед авторами задачей: найти экономически достижимый класс чистоты. Все опыты проводились при несвободном резании без смазки и охлаждения. Скорость резания измеря-

лась при помощи замера числа оборотов на шпинделе во время опыта тахометром. Все опыты были проведены по модифицированному серому чугуно твердостью по Бринелю  $H_B = 207 \div 217$ . Чугунные болванки были отлиты на Томском электромеханическом заводе в виде втулок размером  $l \times d_{нар} = 280 \times 118$  мм. Перед опытами с болванок снималась корка. При решении вопроса о достижимом классе чистоты необходимо было рассмотреть чистоту поверхности при резании с изношенным резцом. Для этого авторы провели две серии опытов по выявлению влияния износа резца на чистоту поверхности при токарной обработке серого чугуна. Износ резца при чистовом резании чугуна характеризуется, в основном, истиранием задних граней резца. В своих опытах авторы доводили износ резца по задней грани до  $h = 1,1$  мм. В связи с дефицитностью обрабатываемого материала, была принята следующая методика проведения опытов. Резцы изнашивались естественным методом до определенных величин износа при скорости резания  $V = 85 - 95$  м/мм и подаче  $S = 0,2$  мм/об. Затем, с полученной величиной износа на данном режиме, определялось влияние износа на чистоту поверхности при других режимах резания. При этом изменялись подачи в пределах от 0,07 до 0,2 мм/об и скорость резания в пределах от 50 до 200 м/мин. Таким образом, с каждым затуплением проводилось 12 опытов.

Для того чтобы учесть износ резца в течение каждого опыта, замеры износа проводились после каждого опыта. По результатам опытов были построены графики зависимости  $H_{max}$  от износа при различных скоростях резания и подачах. Эти зависимости в первой и второй сериях опытов повторились хорошо с разницей показаний в  $2 \div 4$  микрона, т. е. в пределах одного и того же класса.

Высота неровностей  $H_{max}$  во всех опытах замерялась при помощи двойного микроскопа акад. Линника модель МИС—III.  $H_{max}$  определялась как средняя арифметическая величина из 10—12 замеров. Авторы полагают, что наиболее точное измерение чистоты поверхности получилось бы при использовании двойного микроскопа и составлении профилограмм. Однако, отсутствие в лаборатории профилографов не позволило это осуществить. В связи с этим, для проверки полученных результатов, авторы неоднократно повторяли опыты и получали хорошее совпадение результатов. Кроме этого, авторы анализировали разброс показаний 10—12 замеров в каждом опыте. Как показывает фиг. 2, этот разброс обычно не превышает  $15 \div 20\%$ .



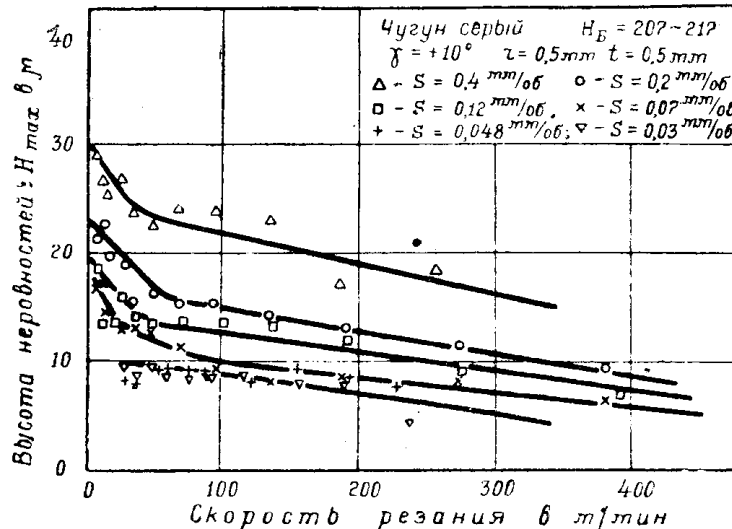
Фиг. 2

Всего в работе было произведено свыше 400 опытов и более 4000 измерений.

## Результаты исследований

### Влияние скорости резания и подачи на чистоту поверхности

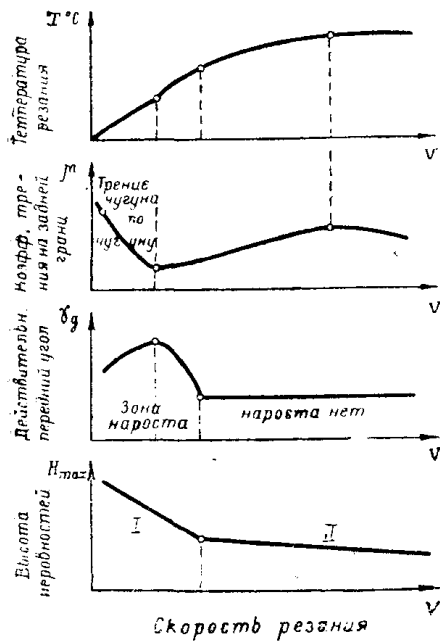
Как видно из фиг. 3, зависимость  $H_{\max} = f(v)$  при различных подачах имеет одинаковый характер. С увеличением скорости резания  $H_{\max}$  уменьшается. Кривая зависимости  $H_{\max} = f(v)$  имеет две резко выраженные зоны влияния скоростей, в пределах которых неровности  $H_{\max}$  имеют раз-



Фиг. 3

личные изменения. В первой зоне увеличение скорости резания до 40—60 м/мин влечет за собой резкое уменьшение неровностей. Во второй зоне со скорости резания  $v = 40—60$  м/мин увеличение скорости резания ведет к незначительному уменьшению неровностей. Как видно, кривая зависимости  $H_{\max} = f(v)$  при резании серого чугуна отличается от такой же кривой при резании сталей тем, что она не имеет резко выраженного горба. Характер кривой  $H_{\max} = f(v)$  при резании серого чугуна может быть объяснен на базе работы [7]. Как показывает эта работа, при резании серого чугуна наблюдается явление нароста на передней грани резца. Нарост образуясь на передней грани резца изменяет геометрию резца и тем самым изменяет условия резания. Геометрия нароста зависит только от температуры резания на передней грани резца и переднего угла резца. Чем больше подача, тем больше высота нароста. С увеличением скорости резания (или правильнее температуры резания) передний угол нароста первоначально увеличивается, достигает максимума, а затем уменьшается до момента исчезновения нароста. Явление наростообразования при резании чугуна, так же как и при резании сталей, сказывается отрицательно на чистоте обработанной поверхности. Вследствие того, что вершина нароста, выступая далеко впереди лезвия резца и ниже линии среза, производит глубокие борозды и разрывы на поверхности среза, чистота поверхности в зоне наростообразования ухудшается. Кроме того, в зоне низких температур (то есть в зоне малых скоростей резания) нарост неустойчив. При этом нарост или часть его все время срывается и сходит по задней грани резца, вследствие чего увеличивается коэффициент трения на задней грани инструмента и ухудшается качество обработанной поверхности.

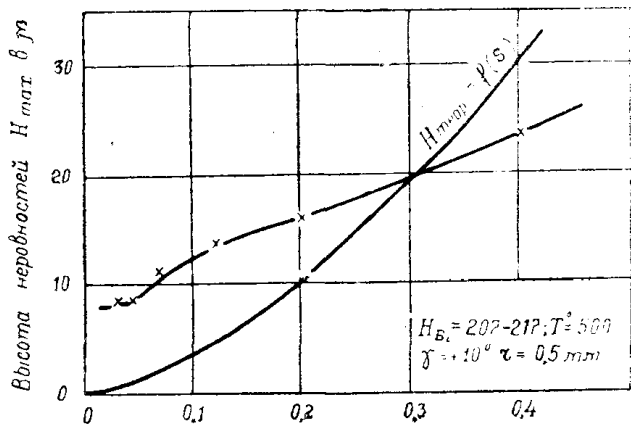
Таким образом, как видно из фиг. 4, первоначальное резкое уменьшение высоты неровностей при увеличении скорости резания можно объяснить уменьшением коэффициента трения на задней грани резца и исчезновением нароста. В связи с тем, что изменение геометрии нароста и величины коэффициента трения на задней грани определяется температурой резания, можно сделать вывод, что точка перегиба кривой  $H_{\max} = f(v)$  от более интенсивного изменения  $H_{\max}$  к менее интенсивному изменению также определяется температурой резания, то есть чем меньше подача, тем больше скорость резания, соответствующая этой точке. Этот вывод подтверждается фиг. 3.



Фиг. 4

причем при малых подачах, начиная с  $S = 0,05$  мм/об.  $H_{\max}$  фактически остается неизменным. Подобную же картину зависимости  $H_{\max} = f(S)$  получил и С. П. Семенов [9]. Подачу, выше которой лежит зона резкого возрастания микронеровностей, называют для чугуна критической. У Семенова С.П. критическая подача была равна  $0,12$  мм/об. Можно сделать вывод, что при подачах ниже критической, высота неровностей определяется не подачей, а радиусом закругления вершины резца, жесткостью станка, трением на задней грани резца и т. д. Повидимому, и сама величина критической подачи зависит от этих величин.

На фиг. 5 проведена для сравнения кривая зависимости  $H_{\text{теор}} = f(S)$  при  $r = 0,5$  мм, где  $H_{\text{теор}}$  определены по формулам Исаева А. И. Сравнение показывает, что при больших подачах  $H_{\text{теор}}$  больше действительной высоты микронеровностей. Повидимому, в силу хрупкости серого чугуна, при больших подачах острые выступы микронеровностей геометрического характера разрушаются и сглаживаются, в результате чего  $H_{\max}$  уменьшается. Кроме того, сравнение на фиг. 6 двух кривых подтверждает предыдущий вывод, что при малых подачах  $H_{\max}$  в основном определяется не подачей, а другими величинами.



Фиг. 5

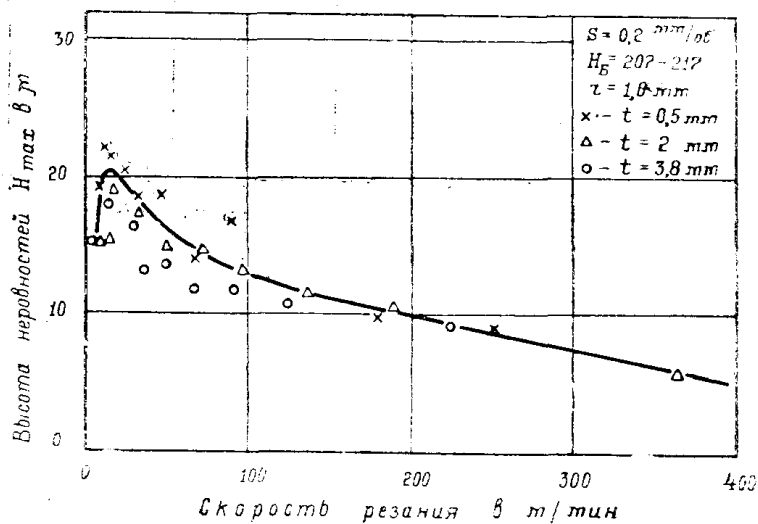
Наконец, анализируя данные приведенных опытов, можно сделать вывод, что при чистовых операциях необходимо работать с режимами резания соответствующими температурам резания выше  $500^{\circ}$ .

По данным работы [7], температурам резания выше  $500^{\circ}$  соответствуют режимы резания при стойкости инструмента  $T \leq 90$  минут. При этом, работая с острым резцом с  $r = 0,5$  мм при подачах  $S < 0,07$  мм/об можно получить 6-й класс чистоты. При работе с подачами в пределах  $S = 0,07 - 0,3$  мм/об экономически достижимым классом чистоты (при данных условиях) является  $\nabla \nabla 5$ .

### Влияние глубины резания на чистоту поверхности

Многие исследователи считают, что глубина резания оказывает незначительное влияние или совсем не влияет на величину неровностей на обработанной поверхности. Так, например, В. А. Рог [10] указывает, что глубина резания в пределах  $0,1 - 2$  мм и более не влияет на микрогеометрию поверхности. Авторы считают, что такое представление о влиянии глубины резания на чистоту поверхности является не совсем правильным.

Изменение глубины резания влечет за собой изменение температуры резания. В то же время, как было указано выше, влияние глубины резания на высоту микронеровностей надо определять при постоянной температуре. Так, если при постоянной скорости резания увеличивать глубину резания, то температура резания повысится, а следовательно должно улучшиться качество поверхности. Действительно, фиг. 6 показывает, что при постоянной скорости резания, с увеличением глубины резания  $H_{\max}$  уменьшается. Если бы на фиг. 6 построить из тех же опытных данных зависимости  $H_{\max} = f(T^{\circ})$ , то точки на этой фиг. для различных глубин



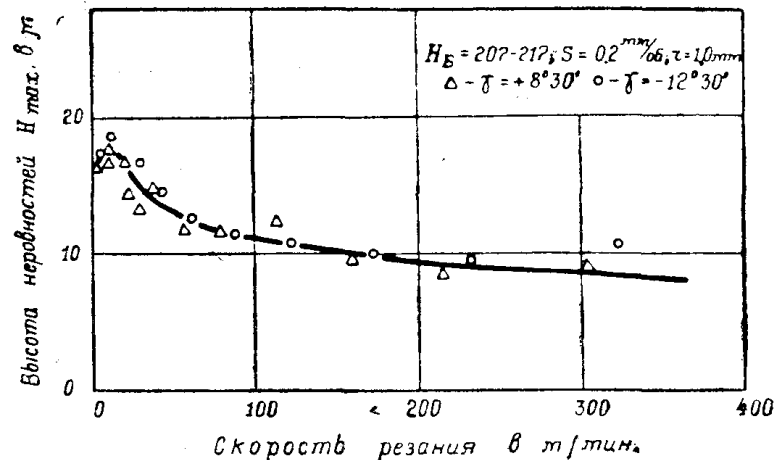
Фиг. 6

резания сблизились бы. Таким образом, в вышеуказанные выводы о влиянии глубины резания на чистоту поверхности, нужно ввести коррективу — условие постоянства температуры.

Кроме того, авторы считают, что увеличение глубины резания в пределах, допускаемых жесткостью станка, ведет к большей стабильности процесса резания, в результате чего чистота обработанной поверхности несколько улучшается.

## Влияние геометрии инструмента на чистоту поверхности

Основными параметрами, определяющими геометрию инструмента, являются передний угол  $\gamma$ , задние углы  $\alpha$  и  $\alpha_1$ , углы в плане  $\varphi$  и  $\varphi_1$  и радиус закругления вершины резца  $r$ . Изменение этих параметров влечет за собой в той или иной степени изменение температуры резания в зоне контакта, что отражается на чистоте поверхности обрабатываемых деталей. Кроме того, все эти параметры геометрии инструмента могут влиять на чистоту поверхности как геометрические характеристики. Оценивая влияние параметров геометрии инструмента на чистоту поверхности, как геометрических характеристик, можно сделать следующие выводы. Изменение переднего угла инструмента не отражается на его профиле, а ведет как показано в работе [7], к изменению высоты нароста. Чем больше передний угол, тем высота нароста меньше, а следовательно и меньше высота неровностей. Таким образом, уменьшая передний угол инструмента, мы повышаем температуру резания и увеличиваем высоту нароста. Повышение температуры ведет к уменьшению высоты неровностей, а увеличение высоты нароста ведет к увеличению высоты неровностей. Действительно, в силу двойного своего действия, как показывает фиг. 7, изменение переднего угла от  $+8^\circ 30'$  до  $-12^\circ 30'$ , фактически, не влияет на чистоту поверхности. Изменение задних углов ведет к изменению площади контакта



Фиг. 7

задних граней инструмента с обработанной поверхностью. Но как показали опыты с износом инструмента увеличение фаски износа до  $0,4 \text{ мм}$  не отражается на качестве поверхности. Следовательно, чистота поверхности не должна зависеть от главного заднего угла инструмента. Действительно, как показали опыты авторов, изменение главного заднего угла  $\alpha$  от  $8$  до  $15^\circ$  не дало какого-нибудь существенного изменения высоты микронеровностей.

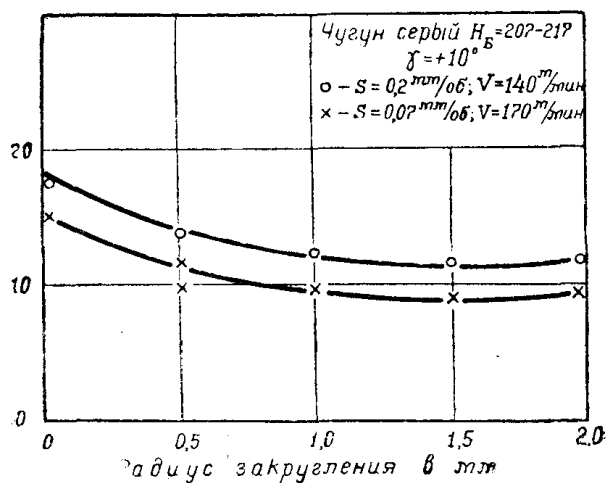
Профиль резца зависит от величины углов в плане  $\varphi$  и  $\varphi_1$ . Но, при чистовых операциях, как указывалось выше, весь профиль микронеровностей с обеих сторон образовывается дугой радиуса  $r$  и геометрия профиля микронеровности не зависит от изменения углов в плане.

Основной геометрической характеристикой профиля микронеровности является радиус закругления вершины резца  $r$ . Как видно из таблицы 1, увеличение радиуса закругления  $r$  должно привести к значительному уменьшению высот микронеровностей. В то же время увеличение радиуса, в силу недостаточной жесткости, ведет к появлению вибраций и дробления



что отрицательно сказывается на чистоте поверхности. Действительно, Семенов С. П. [9] получил при тонкой расточке, что увеличение радиуса закругления ведет первоначально к уменьшению высоты микронеровностей, а затем чистота поверхности ухудшается. Оптимальный радиус закругления, при котором высота микронеровностей наименьшая по Семенову равен  $r = 1,5 \div 2,0$  мм. Такую же зависимость  $H_{\max} = f(r)$ , как это видно из фиг. 8, получили и авторы.

В заключение, можно сделать вывод, что при чистовых операциях, геометрия инструмента (за исключением радиуса закругления вершины реза) должна выбираться, исходя из его оптимальной стойкости. Величина радиуса закругления вершины реза зависит от жесткости станка. Чем больше жесткость станка, тем больше должен быть радиус закругления реза.



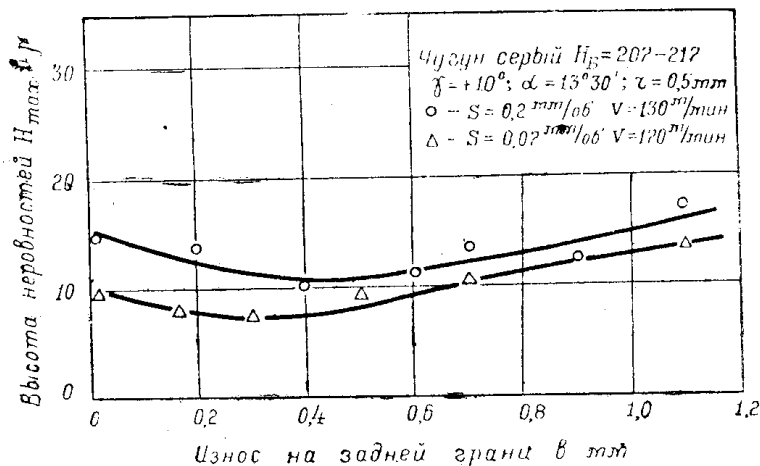
Фиг. 8

### Влияние износа инструмента на чистоту поверхности

Вопрос влияния износа инструмента на чистоту поверхности подробно освещен в работах П. Е. Дьяченко и М. О. Якобсона [4] и [6]. В этих работах авторы приходят к выводу, что зависимость  $H_{\max}$  от износа по задней грани  $h$ , при резании резцами из быстрорежущей стали и резцами с пластинками из твердого сплава, различна. При резании резцами из быстрорежущей стали, кривая  $H_{\max} = f(h)$  для разных материалов имеет одинаковый характер: с увеличением износа  $H_{\max}$  первоначально уменьшается, а затем увеличивается. Авторы работ [4] и [6] объясняют эту закономерность тем, что по мере затупления растет давление резания, так как с увеличением площадки износа на затылке реза увеличивается площадь контакта вершины реза с деталью и трение реза о деталь. Кроме того, они пытаются связать кривую  $H_{\max} = f(h)$  с кривой зависимости усадки стружки от износа. По данным этих же авторов, при резании резцами с пластинками из твердого сплава, кривая  $H_{\max} = f(h)$  изменяется очень беспорядочно, что так же объясняется тем, что при затуплении лезвия из режущей кромки выкрашиваются мелкие частицы.

Авторы настоящей статьи во всех своих опытах по выявлению влияния износа твердосплавного инструмента на чистоту поверхности получили, что кривая  $H_{\max} = f(h)$  имеет такой же характер, как и у Дьяченко и Якобсона в случае резания резцами из быстрорежущих сталей. То есть, с увеличением  $h$  величина  $H_{\max}$  первоначально уменьшается, а затем увеличивается (фиг. 9). Авторы считают, что такую закономерность нельзя объяснять изменением усадки стружки. Как показывают работы Ю. А. Розенберга [7] и А. К. Байкалова [11], можно предполагать, что усадка стружки не зависит от износа по задней грани инструмента. Закономерность кривой  $H_{\max} = f(h)$  нужно объяснять изменением профиля инструмента и характером изменения температуры и сил резания на задней грани в процессе износа реза. В результате износа увеличивается радиус закругления вершины реза и уменьшается вспомогательный задний угол, что ведет к некоторому уменьшению высоты микронеровностей. Кроме

того, интересно отметить, что кривые изменения удельной силы трения и удельной нормальной силы на задней грани с увеличением фаски затупления, полученные А. К. Байкаловым [11], имеют характер, подобный кривой  $H_{\max} = f(h)$ . А. К. Байкалов указывает, что причина первоначального износа инструмента связана с большими значениями удельных силы трения и нормальной силы на задней грани твердого сплава. При некотором значении фаски износа ( $h > 0,2$  мм) удельные силы падают и мало изменяются до износа  $h = 0,8$  мм. Начиная с некоторого момента эти



Фиг. 9

силы растут, что приводит к увеличению интенсивности износа к концу затупления. Точно так же можно предполагать о связи между изменением этих удельных силы трения и нормальной силы на задней грани инструмента и качеством поверхности.

В заключение необходимо отметить, что, как показывают опыты авторов, износ инструмента по задней грани до 0,8 мм фаски износа не ухудшает класса чистоты.

## Выводы

1. При токарной обработке серого чугуна на станках средней жесткости экономически достижим класс чистоты для подач  $S < 0,07$  мм/об —  $\nabla \nabla 6$  и для подач  $S = 0,07 \div 0,3$  мм/об —  $\nabla \nabla 5$ .

2. При чистовых операциях режимы резания должны соответствовать стойкости инструмента  $T \leq 90$  минут, в связи с тем, что при этом исключается возможность наростообразования на резце. Выбор подачи при этом, определяется требуемым классом чистоты и жесткостью станка.

3. При чистовых операциях геометрия инструмента, за исключением радиуса закругления вершины резца, должна выбираться исходя из его оптимальной стойкости, так как параметры геометрии инструмента при чистовых режимах не влияют на чистоту поверхности. Величина оптимального радиуса закругления вершины резца зависит от жесткости станка. Чем больше жесткость станка, тем больше должен быть радиус закругления резца. При работе на станках средней жесткости оптимальная величина радиуса закругления вершины резца равна 1,5—2,0 мм.

4. Износ инструмента по задней грани до 0,8 мм фаски износа не ухудшает чистоты поверхности.

5. При резании серого чугуна, как и при резании сталей, закономерность изменения неровностей от температуры резания выражается на графике типичной кривой, характер которой не зависит от факторов изменяющихся температуры.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Семенов С. П. Постановка проблемы чистоты поверхности деталей машин и история ее развития в СССР, ЛОНИТОМАШ, книга 16. Качество поверхности деталей машин. Часть II. Машгиз, 1950.
2. Долматовский Г. А. Справочник технолога. Машгиз, 1950.
3. Белецкий Д. Г. Микрогеометрия поверхности при токарной обработке. Машгиз, 1947.
4. Дьяченко П. Е. и Якобсон М. О. Качество поверхности при обработке металлов резанием. Машгиз, 1951.
5. Еремин А. Н. Физическая сущность явлений при резании стали. Машгиз, 1951.
6. Дьяченко П. Е. Исследование зависимости микрогеометрии поверхности от условий механической обработки. Издательство Академии Наук СССР, 1949.
7. Розенберг Ю. А. Исследование процесса резания серого чугуна. Диссертация, г. Томск, 1952.
8. Исаев А. И. Процесс образования поверхностного слоя при обработке металлов резанием. Машгиз, 1950.
9. Семенов С. П. Тонкая расточка цилиндров и гильз. Машгиз, 1949.
10. Рог В. А. Чистота поверхности деталей в авторемонтном производстве. Издательство Министерства коммунального хозяйства РСФСР. Москва, 1954.
11. Байкалов А. К. Оптимальная геометрия резцов при скоростном точении серого чугуна. Диссертация, г. Томск, 1953.