

РАЗМЕРНЫЙ ИЗНОС СПЛАВОВ ВК8, ВК3 И ПЛАСТИНОК ЦМ-332 ПРИ ТОЧЕНИИ СЕРОГО ЧУГУНА

А. К. БАЙКАЛОВ

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

В процессе работы лезвие инструмента непрерывно изнашивается и его положение не остается стабильным по отношению к обрабатываемой детали. Смещение вершины резца в направлении перпендикуляра к обработанной поверхности дает погрешность размера и приводит к образованию конусности обработанного изделия.

Для размерного чистового точения деталей необходимо знать величину радиального износа резцов в зависимости от времени работы или в зависимости от пути резца, пройденного в металле. Иными словами необходим расчет размерной стойкости инструмента. Учитывая величину допуска на неточность изготовления изделия, размерную стойкость резцов можно представить в виде:

$$T_r = \frac{1}{2} \frac{\delta}{U_0'}, \text{ мин} \quad (1)$$

или

$$L = \frac{1}{2} \frac{\delta}{U_0}, \text{ м.} \quad (2)$$

Здесь: T_r и L — размерная стойкость в минутах или в метрах, пройденного резцом пути в металле;

U_0' и U_0 — относительная величина износа инструмента в мк , проходящая на одну минуту резания или на один метр пути резца в металле;

δ (мк) — часть поля допуска на неточность изготовления изделия, приходящаяся на компенсацию погрешности размера детали в связи с износом инструмента¹⁾.

Подсчет размерной стойкости по формулам (1) и (2) возможен в силу того, что интенсивность размерного износа при заданном режиме резания остается до определенной величины износа постоянной (фиг. 1). Очевидно, что T_r или L являются максимально допустимыми стойкостями при работе без поднастройки инструмента на размер.

В тех случаях, когда целесообразно работать с поднастройкой инструмента на размер, суммарная стойкость может быть подсчитана по формуле:

$$\Sigma T_r = \frac{h_r}{U_0'} \quad (3)$$

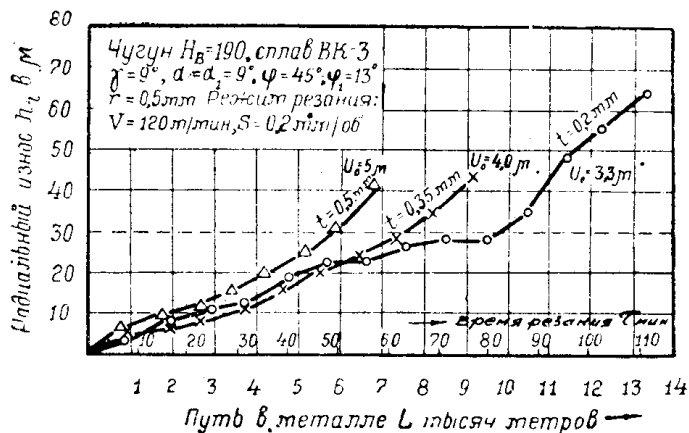
¹⁾ Другая часть поля допуска предусматривает компенсацию погрешностей, связанных с силовыми и температурными деформациями системы станок—резец—деталь, с ошибками статической настройки и т. п.

или

$$\Sigma L = \frac{h_r}{U_0}, \quad (4)$$

где: h_r — критерий затупления, определяемый как величина радиального износа в мк, до которой сохраняется условие U_0' , и $U_0 = \text{const}$.

Основным недостатком подсчета размерной стойкости по формулам (1) и (2) является трудность расчета величины δ , т. е. поля допуска для компенсации погрешностей размера, связанного с износом инструмента.



Фиг. 1

Величина поля допуска δ в свою очередь зависит от силовых и температурных деформаций, учет которых представляет большие затруднения. В цеховых условиях величина размерной стойкости T_r или L может быть установлена непосредственно, путем замера погрешностей размеров первой партии деталей, обработанных без поднастройки инструмента на размер. Тогда суммарная стойкость инструмента, после использования которой резцы необходимо перетачивать, может быть определена по формуле (3) или (4), а количество поднастроек равно:

$$K = \frac{\Sigma T_r}{T_r} - 1 \quad (5)$$

или

$$K = \frac{\Sigma L}{L} - 1. \quad (6)$$

Для практического использования формул (3) и (4) необходимо знать изменение U_0' и U_0 от режима резания и критерии затупления различных инструментальных материалов.

В данной статье приводятся результаты экспериментов по размерному точению серого чугуна твердостью $H_B=180-190 \text{ кг/мм}^2$ резцами с пластинками твердого сплава ВК8, ВК3 и керамической пластинкой ЦМ-332.

Методика измерения радиального износа

Величина радиального износа резцов в первую очередь должна быть связана с точностью изготовления деталей. Наиболее существенно потеря размеров резца будет сказываться при изготовлении деталей высоких классов точности и при обработке поверхностей с большой длиной прохода.

Для III класса точности ГОСТ величина поля допуска на погрешность изготовления деталей с диаметрами 50—500 мм для различных посадок лежит в пределах 0,06—0,19 мм. Если принять ориентировочно δ равной половине поля допуска на неточность изготовления, то радиальный износ не должен превосходить величину 15—45 мк. Для более высоких классов точности и меньших диаметров обработки допустимая величина радиального износа при работе без поднастройки на размер будет еще меньше.

Очевидно, что методика измерения радиального износа должна обеспечивать высокую точность фиксации износа, желательно с точностью $\pm 1,0$ мк. С этой точки зрения измерение радиального износа с помощью микроскопов, обеспечивающих точность отсчета 0,01—0,005 мм, нужно считать грубым.

В наших опытах размерный износ фиксировался с помощью вертикального оптиметра с ценой деления шкалы, равной 1,0 мк. Перед измерением столик оптиметра тщательно выверялся на параллельность по отношению к плоскости измерительного наконечника. Постоянство исходного положения шкалы („нуль“ шкалы) контролировалось с помощью блока концевых мер.

Для исключения ошибок измерения, связанных с неточностью базировки резца при измерении и при установке резца на станке, была создана разъемная конструкция резцовой державки. Режущая пластинка из твердого сплава механически крепилась в специальной обойме, имеющей с торца три каленых штифта, которыми обойма устанавливалась на столик оптиметра. Установка обоймы по трем точкам обеспечивала постоянное положение вершины режущей пластинки по отношению к оси измерения прибора.

Перед точением обойма вставлялась в продольный паз державки (параллельный ее оси) и закреплялась в нем с помощью винтов. Собранный резец закреплялся в резцедержателе станка перпендикулярно к оси обработки с помощью универсального угломера, обеспечивающего точность установки $\pm 15'$.

В процессе всей серии опытов державка оставалась закрепленной в резцовой головке. Для производства измерений извлекалась лишь обойма. Стационарное положение державки на станке обеспечивало постоянство расположения обоймы и режущей пластинки по отношению к изделию.

Таким образом методика измерения износа обеспечивала постоянное положение режущей пластинки как по отношению к оси измерения прибора, так и по отношению к направлению радиального износа, что исключало погрешности измерения, связанные с непостоянством базировки.

Измерение износа производилось после того, как режущая пластинка остывала до комнатной температуры. Кончик резца и установочные штифты обмывались спиртом для удаления приставших частиц и грязи. При некоторых режимах резания на кончике резца наблюдалось образование довольно прочного налипа, наличие которого могло дать ошибочный результат измерения. Налип осторожно удалялся мелкозернистой шкуркой, при этом контроль зачистки осуществлялся с помощью микроскопа с 25-кратным увеличением.

Измерение с помощью оптиметра дало возможность надежно фиксировать нарастание износа с интервалами через 1—2 мк и получить полную картину размерного износа резцов в узком поле допуска.

Влияние глубины и подачи на размерный износ твердого сплава ВКЗ

Исследование было проведено применительно к чугуну средней твердости ($H_B = 190$ кг/мм²), т. е. твердости, имеющей наибольшее распространение на производстве.

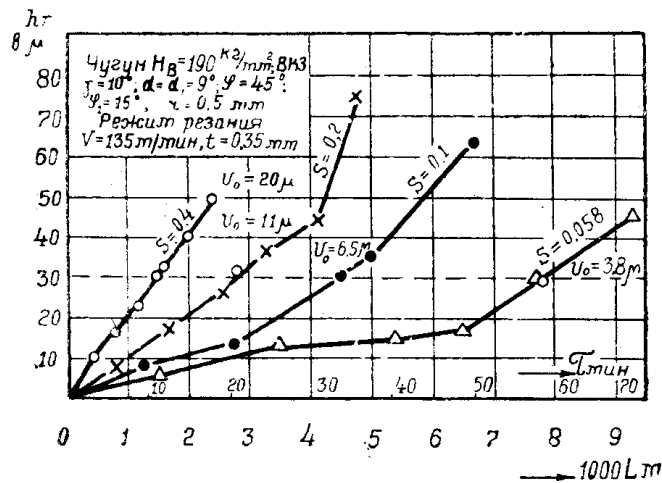
В качестве режущего материала был выбран твердый сплав ВКЗ, целесообразность применения которого на чистовых операциях можно считать установленной. Геометрия заточки резцов в опытах была следующей:

$$\gamma = 10^\circ, \alpha = 10^\circ, \alpha_1 = 10^\circ; \varphi = 45^\circ; \varphi_1 = 15^\circ; r = 0,5 \div 1,0 \text{ мк.}$$

В качестве критерия затупления был принят износ $h_r = 30 \text{ мк}$, в пределах которого сохраняется пропорциональное изменение h_r по времени.

Результаты опытов представлены на фиг. 1 и 2.

Глубина резания (фиг. 1) при изменении от $t = 0,2 \text{ мм}$ до $t = 0,5 \text{ мм}$ оказывает незначительное влияние на размерный износ ВКЗ (изменение стойкости меньше 50%), а величина относительного износа (на 1000 м пути



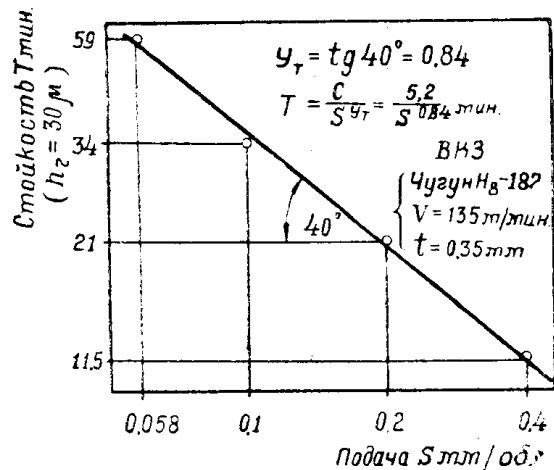
Фиг. 2

в металле) колеблется в пределах $U_0 = 3-5 \text{ мк}$. Особенно незначительна разница в размерной стойкости для малых глубин $t = 0,35 \text{ мм}$ и $t = 0,2 \text{ мм}$, точки износа которых до $h_r = 20 \text{ мк}$ практически совпадают.

Из фиг. 1 видно, что более или менее пропорциональное изменение радиального износа может быть принято до $h_r = 30 \text{ мк}$. Эта величина и принята в качестве критерия затупления. Кроме этого кривая износа не имеет зоны приработки, как это часто наблюдается при исследовании затупления инструмента по главной задней грани, что дает право заменить кривую износа усредняющей прямой и рассчитывать усредненный удельный износ U_0 с достаточной для практики точностью.

Влияние подачи на размерный износ (фиг. 2) проявляется гораздо сильнее. С увеличением подачи стойкость уменьшается почти пропорционально росту подачи

(фиг. 3). В широких пределах изменяется и величина относительного износа (от 3,8 до 20 мк на 1000 м пути в металле при $v = 135 \text{ м/мин}$ и $t = 0,35 \text{ мм}$).



Фиг. 3

Критерий затупления для различных подач (фиг. 2) также может быть принят равным 30—40 мк.

Обработка графиков износа, представленных на фиг. 1, 2, 3, дает следующие эмпирические зависимости:

1. Для чугуна твердостью $H_B = 180 - 190 \text{ кг/мм}^2$, $v = 120 \text{ м/мин}$ и $S = 0,2 \text{ мм/об}$:

$$T = \frac{C_1}{t^{0,55}} = \frac{34,4}{t^{0,55}}, \text{ мин.} \quad (7)$$

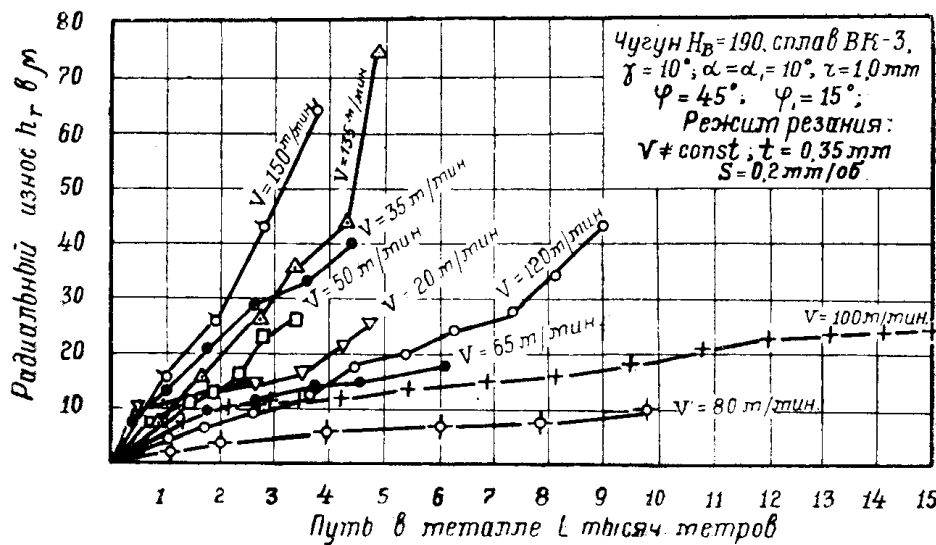
2. Для чугуна твердостью $H_B = 180 - 190 \text{ кг/мм}^2$, $v = 135 \text{ м/мин}$ и $t = 0,35 \text{ мм}$

$$T = \frac{C_2}{S^{0,84}} = \frac{5,2}{S^{0,84}}, \text{ мин.} \quad (8)$$

Влияние скорости резания на размерный износ сплавов ВК8, ВК3 и керамической пластинки ЦМ-332

Характер протекания размерного износа твердого сплава ВК3 при различных скоростях резания ($v = 20 - 150 \text{ м/мин}$) представлен на фиг. 4. Наименьший износ зафиксирован в области скоростей резания $v = 80 - 100 \text{ м/мин}$. Характерной особенностью износа резов в этой области является равномерность протекания износа по времени.

При скоростях резания $v < 80 \text{ м/мин}$ равномерность нарастания износа нарушается, износ становится неустойчивым и непрерывно возрастает:



Фиг. 4

с уменьшением скорости резания. При больших скоростях пропорциональность нарастания износа более или менее сохраняется, но интенсивность износа резко повышается с ростом скорости резания. Таким образом при обработке чугуна, так же как и при обработке стали [1], имеется оптимальная зона скоростей резания, характеризующаяся наименьшей величиной размерного износа.

Наиболее наглядно характер изменения радиального износа для различных скоростей резания представлен на фиг. 5. Здесь по оси ординат

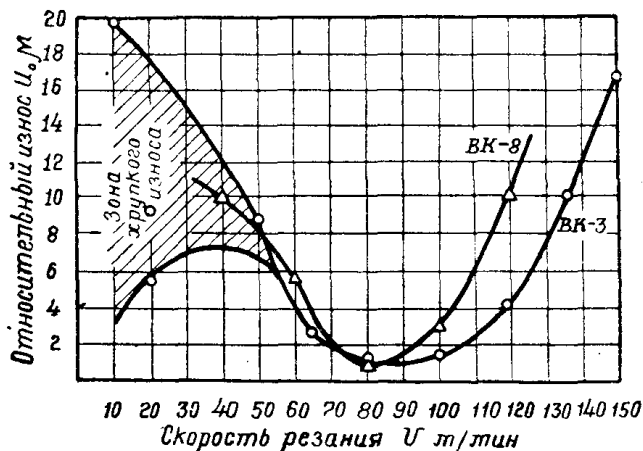
отложен относительный износ U_0 мк (износ, отнесенный к 1000 м пути реза в металле), по оси абсцисс — скорость резания. Кривые зависимостей $U_0 = f(V_{рез})$ построены для твердых сплавов ВК3 и ВК8.

Из фиг. 5 видно, что режущие качества твердых сплавов ВК8 и ВК3 для оптимальной скорости резания $V = 80$ м/мин равноценны, ибо величина наименьшего износа для обоих сплавов одинакова и составляет около 1,0 мк на каждые 1000 м пути реза в металле. Преимущество сплава ВК3 проявляется при работе на более высоких скоростях резания. Так, для $V = 120$ м/мин относительный износ сплава ВК3 около 4 мк, сплава ВК8 около 10 мк, т. е. в 2,5 раза больше. Иначе говоря, при одинаковом износе или одной и той же размерной стойкости сплав ВК3 позволяет работать с большими скоростями резания.

В целом зона скоростей резания, которая может быть использована для размерного точения чугуна, невелика и значительно уже, чем при обработке стали. Для твердого сплава ВК8 она лежит в пределах 80—100 м/мин, для сплава ВК3 она может быть расширена до 120 м/мин. Причиной этого является большая чувствительность размерного износа твердых сплавов типа ВК к изменению скорости резания. При $V_{рез} > V_{опт}$ интенсивность износа, особенно для сплава ВК8, резко возрастает ввиду повышения температуры резания. Наоборот, при $V_{рез} < V_{опт}$ температура резания низка, ударная вязкость твердого сплава при этом недостаточна и износ инструмента происходит весьма интенсивно путем микровыкрашивания режущего лезвия. Происходит так называемый хрупкий износ твердого сплава, характеризующийся неустойчивым нарастанием износа по времени и неопределенной стойкостью инструмента для одних и тех же условий резания (заштрихованная зона на фиг. 5).

Оптимальная скорость резания характеризуется таким значением температуры на передней грани инструмента, при которой прочность режущего лезвия достаточна для ликвидации хрупкого износа, а интенсивность износа невелика, ввиду относительно невысокой температуры на передней грани. Износ при этих условиях происходит равномерно по времени путем относительно медленного истирания материала твердого сплава. Естественно, что с повышением скорости резания интенсивность этого истирания будет возрастать, что и наблюдается в зоне скоростей больших $V_{опт}$.

Интенсивность износа при заданном режиме резания и обрабатываемом материале определяется целиком износоустойчивостью инструментального материала. Таким образом для определенного инструментального материала и данных условий резания ($H_B, t, S = \text{const}$) размерную стойкость инструмента нельзя увеличить за счет уменьшения скорости резания. Это приводит к тому, что на производстве чистовую размерную обработку чугуна приходится проводить на скоростях резания близких к оптимальным ($V = 80$ м/мин), что не всегда удовлетворяет производство с точки зрения производительности обработки. Ввиду отсутствия рекомендаций эти скорости устанавливаются на практике путем проб и



Фиг. 5

естественно, не всегда целесообразно. Чистовая обработка целого ряда деталей (например, в условиях промышленности г. Томска корпусов и щитов электромоторов) производится на скоростях резания порядка 60—90 м/мин, при этом машинное время чистовых операций в несколько раз выше, чем обдирочных. Очевидно, что для повышения производительности размерного точения необходимо прежде всего правильно установить скорость резания, исходя из предписанной точности обработки, и использовать более изнаноустойчивые режущие материалы. Так, применив вместо сплава ВК8 твердый сплав ВК3, можно повысить скорость резания на 15—20%.

Более перспективными с этой точки зрения являются минералокерамические резцы, обладающие значительно большей изнаноустойчивостью, чем твердые сплавы. Для выяснения преимуществ керамических резцов было проведено исследование размерного износа пластинок ЦМ—332¹⁾.

Геометрия заточки пластинок ЦМ—332 была принята следующей:

$$\varphi = 45^\circ, \gamma = 0^\circ, \varphi_1 = 10^\circ, \alpha = \alpha_1 = 10^\circ; r = 1,0 \text{ мм.}$$

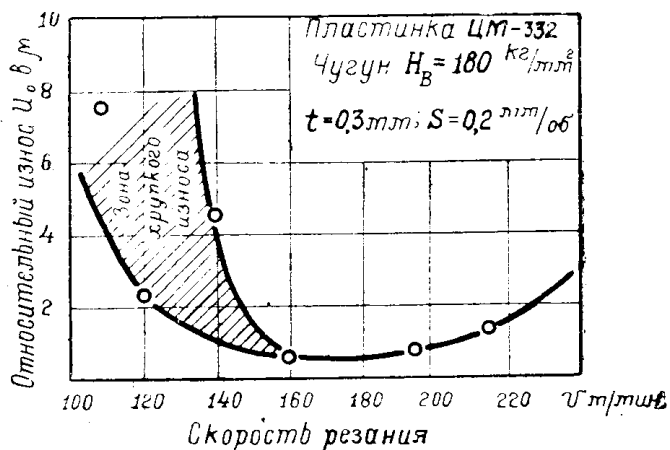
Для упрочнения режущего лезвия по передней грани затачивалась фаска шириной 0,2 мм, (равная подаче), с отрицательным передним углом $\gamma_0 = -5^\circ$.

Размерный износ изучался для тех же условий, что и для твердых сплавов, т. е. при режиме $t = 0,35 \text{ мм}$, $S = 0,2 \text{ мм/об}$ на чугуна твердостью $H_B = 180—190 \text{ кг/мм}^2$.

Результаты опытов представлены на фиг. 6. Кривая изменения относительного размерного износа по скоростям резания для керамических пластинок подобна кривой износа твердых сплавов и убедительно демонстрирует преимущество керамических резцов. Обладая высокой изнаноустойчивостью, пластинки ЦМ-332 имеют зону оптимальных скоростей резания в пределах 160—220 м/мин, т. е. в 2—2,5

раза выше, чем для твердых сплавов.

Повышение скорости резания вызывает относительно меньшее увеличение интенсивности износа (кривая износа для скоростей $V > 160 \text{ м/мин}$), а абсолютное значение относительного износа для оптимума скорости резания ($V = 200 \text{ м/мин}$)



Фиг. 6

в 2 раза ниже, чем для твердых сплавов. Оба эти обстоятельства позволяют точить детали со скоростями резания в 2,5 раза более высокими, чем для твердых сплавов, при этом резцы будут обладать двойной стойкостью по сравнению со сплавами ВК8 и ВК3. Хрупкий износ пластинок ЦМ-332 наблюдается при скоростях резания меньших 160 м/мин и протекает аналогично износу твердых сплавов.

Существенным недостатком керамических пластинок является значительно более низкий предел прочности на изгиб по сравнению с твердыми сплавами. Поэтому при эксплуатации пластинок ЦМ-332 необходимо использовать крепление повышенной жесткости и применять в основном

¹⁾ В работе принимали участие члены студенческого научно-исследовательского кружка Казанцев М. Е. и Леонтьева Р. Д.

при спокойных условиях работы (без ударов и вибраций) [2]. Кроме этого большое влияние на стойкость керамических резцов оказывает качество заточки и напайки пластинок. Затруднения с напайкой в настоящее время преодолены за счет применения предварительной металлизации керамических пластинок [3]. Отсутствие должного контроля за качеством изготовления резцов зачастую сводит на нет преимущество минералокерамических режущих материалов.

Для расчета скорости резания при размерном точении чугуна твердым сплавом ВКЗ (при принятой стойкости инструмента) может быть использована формула, полученная графической обработкой данных фиг. 1, 2, 3, 4

$$V = \frac{C_v}{T^m \cdot t^{X_v} \cdot S^{y_v}} = \frac{170}{T^{0,17} \cdot t^{0,09} \cdot S^{0,145}} \text{ м/мин.} \quad (9)$$

Формула справедлива для расчета скоростей резания в пределах $V = 80—150 \text{ м/мин}$ для обработки чугуна твердостью $H_B = 180—190 \text{ кг/мм}^2$.

Для сплава ВК8 для частного случая ($t = 0,35 \text{ мм}$, $S = 0,2 \text{ мм/об}$, $H_B = 180—190 \text{ кг/мм}^2$) скорость резания при выбранной стойкости инструмента равна:

$$V = \frac{C_v}{T^m} = \frac{220}{T^{0,2}} \text{ м/мин.} \quad (10)$$

Данные графиков (фиг. 5 и 6) могут быть использованы для практических расчетов при обработке чугуна на режимах близких к экспериментальным.

Материал, изложенный в данной статье, носит сравнительный характер и, естественно, не может удовлетворить практику с точки зрения расчетов режимов резания в широких пределах.

Выводы

1. При исследовании закономерностей размерного износа необходимо обеспечить высокую точность измерения износа. Опытами установлено, что фиксация износа с точностью $\pm 1,0 \text{ мк}$ вполне достижима.

2. На размерный износ резцов наиболее существенно оказывают влияние скорость резания и подача. С увеличением подачи относительный износ непрерывно растет. При изменении скорости резания износ U_0 изменяется по кривой с минимумом, что указывает на наличие оптимальной скорости резания, при которой инструмент обладает наивысшей размерной стойкостью. Практическая зона скоростей резания, обеспечивающая приемлемую стойкость инструмента, при обработке чугуна твердыми сплавами значительно уже, чем при обработке стали.

3. Режущие качества твердых сплавов ВК8 и ВКЗ при работе на оптимальных скоростях резания равноценны. Преимущество твердого сплава ВКЗ проявляется на более высоких скоростях резания ($V > V_{opt}$). При равной размерной стойкости резцов скорость резания для сплава ВКЗ при этом может быть увеличена на 15—20%.

4. Закономерность размерного износа керамических пластинок ЦМ-332 аналогична твердым сплавам. Применение минералокерамики для размерной обработки чугуна является перспективным, так как обеспечивает увеличение скоростей резания в 2—2,5 раза (при двойной стойкости инструмента) по сравнению с твердыми сплавами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Точность механической обработки и пути ее повышения. Сборник трудов ЛПИ под редакцией проф. А. П. Соколовского. Машгиз, 1951.
 2. Исаев А. И., Зорев Н. Н., Кучма Л. К. Резание металлов керамическим инструментом. Машгиз, 1952.
 3. Иоффе М. М. и Нехлин С. И. Металлизация керамических пластин. Журнал „Технология транспортного машиностроения“, № 4, 1956.
 4. Байкалов А. К. Оптимальная геометрия резцов при скоростном точении серого чугуна. Диссертация, Томск, 1952.
-