

6
А-62

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ РСФСР
ВОРОНЕЖСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

НА ПРАВАХ РУКОПИСИ

КРАСИКОВ В. П.

**ИССЛЕДОВАНИЕ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА
РАЗРЕЗКИ СТЕКЛОТЕКСТОЛИТА**

(СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 05.164 — ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ)

АВТОРЕФЕРАТ

**диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

ВОРОНЕЖ — 1971

+

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ РСФСР
ВОРОНЕЖСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

НА ПРАВАХ РУКОПИСИ

КРАСИКОВ В. П.

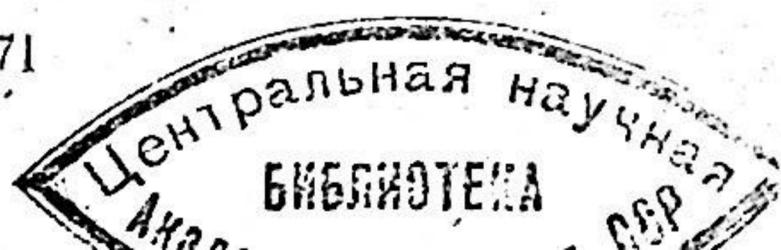
**ИССЛЕДОВАНИЕ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА
РАЗРЕЗКИ СТЕКЛОТЕКСТОЛИТА**

(СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 05.164 — ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

ВОРОНЕЖ — 1971



678.5.06:
462

Работа выполнена в Воронежском политехническом институте.

Официальные оппоненты:

заслуженный деятель науки и техники РСФСР, доктор технических наук, профессор А. Н. МАЛОВ;
кандидат технических наук, профессор А. Б. КОНДРАТЬЕВ.

Автореферат разослан 14 января 1971 г.

Защита состоится 17 февраля 1971 г.

на заседании совета Воронежского политехнического института.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Просим Вас принять участие в обсуждении диссертации или прислать отзыв на реферат в двух экземплярах, заверенные печатью учреждения, в Ученый совет института по адресу: г. Воронеж, 26, Плехановская, 84, политехнический институт.

Ученый секретарь совета доцент А. М. БЕЛИКОВ.

Развитие современной техники привело к увеличению параметров машины (мощности, удельного давления, скорости, температур и т. д.), что в свою очередь требует применения материалов, обладающих определенным комплексом физико-механических свойств. Такими материалами являются композиционные, армированные усами нитевидных кристаллов или стекловолокном.

Стеклопластики, наиболее ранние композиционные материалы, занимают важное место среди пластмасс, все возрастающее применение которых в народном хозяйстве страны обуславливается их особыми физико-механическими свойствами. Проблемы применения деталей из композиционных материалов, в частности из стеклопластиков, теснейшим образом связаны с проблемами обрабатываемости их резанием. Увеличивающееся применение стеклопластиков и возникающие трудности их механической обработки систематически привлекают внимание ученых и инженеров-исследователей. Имеются литературные данные по механической обработке пластмасс. Большой вклад в изучение обрабатываемости пластмасс внесли советские ученые А. И. Исаев, С. В. Егоров, А. В. Руднев, М. Ф. Семко и многие другие. Все более широкое применение для резки пластмасс получают алмазные отрезные круги, обеспечивающие высокую производительность.

Однако вопросам обрабатываемости стеклопластиков резанием уделяется мало внимания. Проведенные исследования в большинстве случаев касаются вопросов токарной обработки и торцевого фрезерования. Вопросы резки, особенно листов большой толщины, почти не освещены в современной литературе. Имеющиеся данные зачастую противоречивы и недостаточно объясняют физику процесса изнашивания инструмента, связывая износ лишь с абразивными свойствами стеклопластиков. Большинство исследователей рассматривают процесс обработки стеклопластиков с установившихся по-

заций обработки резания металлов (чугуна) без учета особых физико-механических свойств этих материалов. Все это не позволяет иметь промышленности надежные данные по выбору марки инструментального материала, геометрии инструмента и режимам обработки. Недостаточно уделено внимания решению вопросов обрабатываемости (разрезки) стеклопластиков группы КАСТ.

В связи с этим в работе поставлены следующие задачи:

1. Исследование и установление влияния физико-механических свойств стеклотекстолита на износ инструмента при разрезке.

2. Проведение фотометрических исследований с целью установления характера и механизма износа твердосплавного инструмента при разрезке.

3. Экспериментальная проверка зависимости температуры в зоне резания от режимов разрезки и величины износа инструмента.

4. Исследования для определения оптимальной марки твердого сплава режущей части фрезы.

5. Установление экспериментальных зависимостей стойкости инструмента от режима разрезки, геометрии инструмента и определение их оптимальных значений.

6. Статистические исследования надежности фрезы, установление статистических закономерностей износа и выявление факторов, вызывающих износ (исходное состояние объекта или различные флюктуации процесса резания).

Для решения поставленных задач исследования проводились при попутном и встречном фрезеровании. Для более четкого определения различия характера процесса резания и износа инструмента при изменении направления подачи процесс резания фиксировался скоростной киносъемкой.

Общей целью поставленных задач проведенных исследований является изучение основных закономерностей процесса разрезки композиционных материалов на основе стекловолокна, физики износа режущего инструмента и получение на основе этого практических рекомендаций.

Работа состоит из введения, пяти глав и заключения. В тексте имеются 54 рисунка и 27 таблиц.

В главе I рассматривается состояние вопроса по обрабатываемости, рассмотрены основные свойства и дан анализ сил резания при фрезеровании стеклотекстолита. На основании литературных данных сделаны выводы и поставлены задачи исследований.

В главе II изложена методика лабораторных исследований, оборудование и измерительная аппаратура.

Глава III посвящена исследованиям физико-механических свойств стеклотекстолита КАСТ (упругое последствие, упругая деформация, коэффициент трения пары ВК8-КАСТ) и их влияние на обрабатываемость.

Глава IV содержит результаты исследований по выбору оптимальной марки инструментального материала, геометрии режущей части фрезы, рациональных режимов резания. Установлена форма связи стойкости с геометрическими параметрами фрезы и режимами разрезки. Даны стойкостные зависимости.

Глава V посвящена исследованиям физики процесса разрезки. Приведены результаты температурных, фотографических и статистических исследований.

Методика исследований

Исследования проводились на горизонтально-фрезерных станках 6П80Г и 6804Г однозубой фрезой. Конструкция фрезы предусматривала возможность механического крепления пластинки с различными передними углами ($\gamma = 0^\circ \div 30^\circ$). Исследуемый материал крепился к столу станка прижимными планками.

Величина износа замерялась лупой Бринеля, а его характер фотографировался на металлографическом микроскопе МИМ-8.

Изучение величины прямого и обратного упругого последствия проводилось на приборе С. О. Цобкалло и Ю. В. Баландина. Величина упругой деформации определялась моделированием резания путем внедрения клина на машине УМ-5. Коэффициент трения определялся моделированием на токарно-винторезном станке модели 1К62 с записью на осциллографе К4-51.

Выбор марки инструментального материала

Являясь хорошим изолятором, стеклотекстолит имеет низкий коэффициент теплопроводности. Поэтому основная часть тепла, образующегося в процессе резания, отводится через инструмент. Кроме того, стеклотекстолит имеет высокие абразивные свойства и большую величину упругой деформации, что вызывает абразивный износ режущего инструмента. Перечисленные свойства стеклотекстолита требуют применения

при обработке таких инструментальных материалов, которые имеют высокую теплопроводность и высокую сопротивляемость истиранию.

В работе исследовались следующие инструментальные материалы: Р18, ЦМ-332, Т5К10, Т15К6, ВК8, ВК6, ВК6М.

Результаты исследований показали, что характер изнашивания всех инструментальных материалов одинаков и состоит из двух участков: приработки и нормального износа. Время приработки для различных материалов различно. Основное отличие заключается в величине прироста скорости износа от времени работы. Наибольшую стойкость показали твердые сплавы группы ВК. Для дальнейших исследований принят твердый сплав ВК8, который имеет наименьший износ за время приработки, и одинаковую, по сравнению с другими марками группы, скорость прироста износа.

Исследования по установлению оптимальной геометрии фрезы

Вопрос рационального назначения геометрических параметров режущей части фрезы для обработки стеклопластиков до настоящего времени является открытым. Имеющиеся данные весьма противоречивы.

При исследованиях переднего угла, значения которого имели: $\gamma = 0^\circ \div 25^\circ$, задний и вспомогательный углы в плане имели постоянные значения $\alpha = 15^\circ$, $\varphi = 3^\circ$. При исследовании заднего угла, значения которого изменялись в пределах $\alpha = 5^\circ \div 30^\circ$, передний угол принимался по результатам предыдущих исследований, вспомогательный был равен $\varphi = 3^\circ$.

Результаты исследований по определению переднего угла показали, что при попутном фрезеровании оптимальное значение $\gamma = 10^\circ$, при встречном фрезеровании — $\gamma = 20^\circ$.

Исследования по определению оптимального значения заднего угла позволили установить, что для фрезерования с попутной подачей $\alpha = 20^\circ$, для фрезерования со встречной подачей $\alpha = 25^\circ$.

Угол φ для встречного и попутного фрезерования имеет равное значение и оптимальная величина его равна $\varphi = 2^\circ$.

Таким образом, оптимальная геометрия зуба фрезы при попутном фрезеровании имеет следующие значения: $\gamma = 10^\circ$; $\alpha = 20^\circ$; $\varphi = 2^\circ$.

Для встречного фрезерования: $\gamma = 20^\circ$; $\alpha = 25^\circ$; $\varphi = 2^\circ$.

Исследование режима резания при разрезке стеклотекстолита. Стойкостные зависимости

Оптимальные величины скорости резания, подачи, глубины при разрезке стеклотекстолита определялись на основе исследований износа зубьев фрезы во времени в зависимости от указанных параметров. На основании этих исследований получены стойкостные зависимости при различных направлениях подачи (попутное и встречное фрезерование).

Скорость резания изменялась в пределах 465 ÷ 1889 м/мин. Подачи на зуб фрезы были равны: 0,064 мм/зуб; 0,1 мм/зуб; 0,14 мм/зуб; 0,2 мм/зуб; 0,28 мм/зуб.

Значения глубины резания принимались равными: 5, 10, 15, 20, 25, 30 мм при попутном фрезеровании и 10, 15, 20, 25, 30 мм — при встречном фрезеровании.

Проведенные стойкостные исследования установили эмпирические зависимости скорости от режимов резания в следующем виде:

для попутного фрезерования

$$V = \frac{1017}{T^{0,33} f^{0,48} S^{0,66}} \text{ м/мин}$$

для встречного фрезерования

$$V = \frac{3228}{T^{0,3} f^{0,58} S^{0,72}} \text{ м/мин}$$

Полученные зависимости показывают, что при одинаковой скорости резания стойкость фрезы при разрезке стеклотекстолита со встречной подачей в три раза выше, чем при попутной.

Представляло интерес установление функциональной зависимости $T = f(v)$, $T = f(S)$ на основе парной корреляции. Способом отыскания нелинейной регрессии служил метод наименьших квадратов. Указанные зависимости, получены в виде уравнения гиперболы первого порядка:

$$y = a_0 + \frac{a_1}{x}$$

При встречном фрезеровании гиперболическая зависимость $T = f(v)$ выражается уравнением:

$$T = -7 + \frac{35715}{v}$$

Среднее квадратическое отклонение $T_{\text{выч}}$ от экспериментальных данных — $\sigma = 12$ мин., теснота связи $r = -0,49$.

При попутном фрезеровании уравнение гиперболы для $T = f(v)$ выражается уравнением

$$T = 5,7 + \frac{12572}{v}$$

со значениями $\sigma = 6,6$ мин. и $r = 0,68$.

Гиперболические зависимости показывают, что стойкость инструмента с повышением скорости резания снижается. Коэффициенты показывают, что полученные изменения стойкости имеют различный характер при встречном и попутном фрезеровании. При встречном фрезеровании с увеличением скорости резания снижение стойкости происходит несколько интенсивнее, чем при попутном (коэффициенты a_0), однако, значение стойкости встречного фрезерования в три раза превышает стойкость попутного (коэффициента a_1).

Гиперболические зависимости $T = f(S)$ имеют вид: для встречного фрезерования

$$T = -90 + \frac{22}{S}$$

для попутного фрезерования

$$T = -6 + \frac{2,8}{S}$$

Полученные в результате математической обработки уравнения позволяют дать оценку проведенным исследованиям и математически описать зависимости стойкости от режима обработки в диапазоне исследуемых скоростей резания и подачи.

Влияние упругого последствия на процесс механической обработки стеклотекстолита

Обрабатываемость стеклопластиков резанием находится в тесной зависимости от ряда их механических свойств. Наиболее тесно связаны с коэффициентом обрабатываемости истирающая способность, предел прочности на растяжение, модуль упругости, удельная ударная вязкость и коэффициент трения.

Известно, что с увеличением истирающей способности и коэффициента трения коэффициент обрабатываемости стекло-

пластиков уменьшается. Последние хорошо согласуются с процессом износа режущего инструмента, происходящего при резании стеклопластиков.

Истирающая способность и коэффициент трения пары стеклопластик — режущий инструмент в значительной степени определяются абразивными свойствами и характеристиками упругого последствия стеклопластиков. Характеристики упругого последствия позволяют объяснить природу износа при попутном и встречном фрезеровании стеклопластика. Рассматривая процесс обработки стеклопластиков с этой точки зрения, можно предположить, что износ реза по задней поверхности является следствием упругого последствия подрезцового слоя, возникающего в результате упругой деформации.

Прямых исследований характеристик упругого последствия стеклотекстолита нет. В связи с этим были проведены специальные исследования по определению прямого и обратного последствия стеклотекстолита марки КАСТ-В.

Изучение прямого и обратного упругого последствия проводилось на пластинчатых образцах из стеклотекстолита, вырезанных вдоль и поперек листа. Изучалась зависимость остаточных деформаций в образце от времени при различных начальных напряжениях.

Анализ результатов исследований показывает, что стеклотекстолит обладает очень высокими характеристиками прямого упругого последствия и незначительным обратным последствием. Величина прямого упругого последствия почти не зависит от времени выдержки образцов под нагрузкой, однако существенно определяется величиной действующих напряжений. Так, например, величина деформаций при выдержке 10 и 30 сек. почти одинакова. Тогда как изменение величины действующих напряжений на образец с $4,18 \text{ кг/мм}^2$ до $12,1 \text{ кг/мм}^2$ изменяет величину деформаций прямого последствия при выдержке 10 сек. более чем в два с половиной раза.

Сказанное, естественно, необходимо учитывать при различных схемах механической обработки стеклопластиков, в частности, при попутном и встречном фрезеровании.

Для определения величины упругого последствия, упругой и остаточной деформации процесс резки моделировал-

ся резанием клином. Для исследований был изготовлен ре-зец из быстрорежущей стали P18. Исследования проводились на машине УМ-5. Величина перемещения была принята 2 мм и фиксировалась индикатором с ценой деления 0,01 мм.

Исследования проводились на образцах из стеклотекстолита марки КАСТ-В, вырезанных из листа толщиной 10 мм.

После снятия нагрузки величины деформаций замерялись на инструментальном микроскопе.

Установлено, что распределение деформаций подчиняется закону нормального распределения.

Исследования показали, что величина упругой деформации составляет около 50% величины общей деформации, что объясняет схему действующих при резании сил и более интенсивный износ инструмента при попутном фрезеровании.

Исследование коэффициента трения пары ВК8 — КАСТ-В

Износ инструмента в большей степени зависит от характера трения поверхностей инструмента и обрабатываемого материала.

Для проведения исследований по установлению зависимости коэффициента трения от скорости резания процесс фрезерования моделировался на токарно-винторезном станке модели 1К62. Цилиндрические образцы стеклотекстолита вырезались из листа и устанавливались на центровую оправку. Инструментом служили пластинки твердого сплава ВК8, то есть определялся коэффициент трения пары ВК8 — КАСТ-В.

Пластинки для исследований затачивались в виде клина с полочкой 0,3 мм. Искусственная термопара гр-ХА устанавливалась в отверстие диаметром 0,3—0,4 мм, прошитое в пластинке на электроимпульсном станке. Расстояние от тупца пластинки равнялось 0,3 мм. Головка терморпары крепилась в отверстии за счет разницы диаметра отверстия на входе и выходе пластинки. Закрепленная в оправку пластинка устанавливалась в зажим трехкомпонентного динамометра ВПИ. Результаты фиксировались осциллографом К4-51 с записью на фотобумагу.

Исследования проводились при скоростях 435—1382 м/мин. при постоянных значениях глубины (0,2 мм) и подачи (0,12 мм/об).

Коэффициент трения μ определялся как отношение силы трения P_z к силе нормального давления P_y , приложенной к

образцу. Для обработки результатов брались показания P_z и P_y при установившейся температуре.

Результаты исследований приведены в таблице. Из таблицы видно, что с увеличением скорости резания в диапазоне 435—862 м/мин., значения коэффициента трения возрастают. При дальнейшем увеличении скорости резания значения μ снижаются. Повышение скорости резания вызывает изменение скорости деформации, что в свою очередь приводит к первоначальному увеличению μ , а затем к снижению его.

Температура имеет постоянный прирост значений, однако, с увеличением скорости резания величина прироста замедляется. Составляющие силы P_z и P_y при постоянных значениях подачи глубины резания с увеличением скорости резания имеют тенденцию к снижению.

V, м/мин.	435	713	862	1105	1382
0°С	229	328	340	390	400
μ	0,079	0,087	0,097	0,085	0,064
P_z , кг	1,5	1,22	11,3	11,1	11
P_y , кг	19,1	14,1	1,1	0,97	0,71

Исследование температуры при фрезеровании стеклотекстолита

Тепловые процессы при резании стеклотекстолита качественно и количественно отличаются от тепловых явлений при резании других материалов. Общее количество образующегося тепла при прочих равных условиях значительно меньше, чем при обработке металлов. Однако температура является важным показателем всего процесса механической обработки стеклопластиков.

В настоящей работе определялась зависимость температуры от режимов резания и величины износа зуба фрезы.

Исследования проводились сериями с изменением одного из параметров режима резания при постоянных значениях остальных. Геометрия инструмента соответствовала ранее полученным оптимальным значениям.

На основе частных зависимостей была определена общая

зависимость температуры в зоне резания от режимов резания:

$$\theta^{\circ} = C_0 V^{0.38} S_z^{0.52} t^{1.2}$$

Из этой зависимости видно, что на температуру в зоне резания наибольшее влияние оказывает толщина разрезаемого материала. Фактором, влияющим на температуру в наименьшей степени, является скорость резания.

Фотографическое исследование процесса резания стеклотекстолита и характера износа инструмента

С целью исследования процесса резания, характера и механизма износа твердосплавного инструмента при фрезеровании стеклотекстолита в работе проведены специальные фотографические исследования.

В процессе исследования износа, наряду с замерами линейной величины износа, зуб фрезы фотографировался, а изношенная поверхность исследовалась на металлографическом микроскопе МИМ-8.

Фотографические исследования позволили вскрыть особенности износа фрезы при попутном и встречном фрезеровании.

При попутном фрезеровании износ по задней поверхности распространяется равномерно вдоль лезвия с несколько большими значениями по «уголку». На задней поверхности зуба фрезы наблюдается слипание инструмента со связующим, причем на некотором расстоянии от режущей кромки. Это объясняется большими значениями упругих деформаций, возникающих при восстановлении подрезцово́й зоны. Подрезцово́й слой претерпевает под действием нормальной составляющей силы резания сжатие. После прохождения режущей кромки происходит упругое восстановление материала. В зоне контакта задней поверхности инструмента с обрабатываемым стеклотекстолитом отсутствует адгезия. При дальнейшем упругом восстановлении, за счет возникающих напряжений растяжения, частицы связующего отрываются и, находясь за счет температуры в размягченном состоянии, прилипают к задней поверхности инструмента.

В общем виде, инструмент изнашивается без сколов, выкрашиваний, что характерно для абразивного вида износа.

При встречном фрезеровании характер износа инстру-

мента изменяется с изменением параметров режима резания. С увеличением скорости резания ширина ленточки износа по задней поверхности располагается равномерно с несколько большими значениями по «уголку». При снижении скорости резания износ по задней поверхности имеет малое значение. Максимально допустимое значение износа имеет «уголок». Износ по «уголку» является результатом абразивного действия стеклотекстолита на участке, где упругое последствие имеет двойное направление (восстановление по задней поверхности и под действием восстановления торца разрезки). Попытка усилить режущую кромку переходной фаской не дала положительных результатов. Интенсивность изнашивания не снизилась.

Дополнительно, наряду с фотографированием, для установления причин, вызывающих интенсивный износ инструмента и его различный характер при встречном и попутном фрезеровании, процесс резания отснялся на киноплёнку скоростной кинокамерой СКС-1М-16.

При киносъемке скорость резания равнялась $V = 628$ м/мин., подача на зуб фрезы $S_z = 0,14$ мм/зуб и $t = 10$ мм. Скорость киносъемки — 4000 кадров в сек.

При встречном фрезеровании зуб фрезы в процессе резания не подвергается действию упругих деформаций, материала по задней поверхности. Режущая кромка хорошо просматривается в течение всего времени контакта с материалом.

При попутном фрезеровании в момент входа зуба фрезы в материал режущая кромка «зажимается». В дальнейшем величина контакта задней поверхности инструмента и материала остается постоянной, и величина его имеет большее значение, чем при встречном фрезеровании.

Проведенные исследования показывают, что основным видом износа инструмента при фрезеровании стеклотекстолита является абразивный износ. Определяющими факторами, вызывающими интенсивный износ инструмента и разную величину его при различных направлениях подачи, являются: абразивные свойства наполнителя, упругое последствие стеклотекстолита, особенности схемы резания и распределение составляющих сил резания.

Металлографические исследования изношенной поверхности твердосплавного зуба фрезы позволяют представить механизм абразивного износа следующим образом.

В процессе резания кобальтовая связка твердого сплава, как более мягкая составляющая, под действием стеклово-

локна истирается быстрее, чем карбиды вольфрама. Последнее приводит к оголению карбидов вольфрама на поверхности твердого сплава. Острые грани карбидов осуществляют микрорезание, в результате чего происходит износ граней зерен карбидов и их округление. В дальнейшем увеличение сил микрорезания за счет износа приводит к выпадению зерен карбидов вольфрама из кобальтовой связки. Быстрому выпадению зерен карбидов вольфрама способствует цикличность сил резания и сил микрорезания, возникающих из-за неоднородности структуры стеклотекстолита и анизотропии его механических свойств. Изложенный механизм износа подтверждает результаты исследований, проверенные А. В. Рудневым и А. Ф. Королевым.

Статистические исследования износа фрезы

Как и всякий процесс износа, износ инструмента можно рассматривать с двух позиций. Первая заключается в том, что, опираясь на явно выраженную закономерность, процесс предполагается как детерминированный. Вторая — предполагает, что процесс износа протекает органически случайно и что все происходящие изменения по существу стохастические. Такая точка зрения требует изучения процесса износа и его закономерности с учетом всех случайных вариаций износа, отвечает в большей степени действительным условиям самого процесса резания.

При резании материалов с течением времени величина износа, замеренная через определенно принятые отрезки времени (t_i), имеет прирост $\Delta h_z(t_i)$. Таким образом, в этом случае мы имеем случайный процесс с накоплением, то есть необратимый процесс. Максимально допустимая величина износа устанавливается предварительными опытами и соответствует величине, при которой изменяется качество обработанной поверхности или какой-либо другой фактор.

Оценку процесса изнашивания дает не столько величина износа, сколько прирост износа (интенсивность изнашивания). Изучение интенсивности изнашивания позволяет делать более высокую оценку и возможность описания наиболее вероятного процесса износа.

На износ инструмента могут оказывать влияние как первоначальное состояние инструмента, так и случайные вариации процесса изнашивания, поэтому важно знать преобладающий фактор.

В настоящих исследованиях для отрезной фрезы принята величина износа по задней поверхности — «уголку», равная 0,3 мм.

Известно, что при лабораторных исследованиях для определения стойкости зависимостей производится специальный отбор режущего инструмента. Применяются пластинки из одной партии. Пластинки должны иметь одинаковую твердость, не иметь трещин после заточки. Заточка производится при постоянных условиях.

В процессе эксплуатации в заводских условиях такого отбора не производится, то есть инструмент, особенно многолезвийный, имеет различные по стойкости резцы. Это вызывает дополнительно необходимость проведения статистических исследований, которые могли бы установить характер износа зубьев фрезы в целом и, с позиции вероятности, установить оптимальное время работы фрезы, то есть время безотказной работы или ее надежность.

В настоящей работе были проведены специальные исследования по статистической оценке износа зубьев фрезы. С этой целью были взяты 27 пластинок твердого сплава ВК8 из одной партии. Заточка производилась алмазным кругом, затем режущие поверхности доводились алмазной пастой.

Геометрия зуба фрезы после установки в корпус соответствовала оптимальным значениям, полученным при исследованиях по определению оптимальной геометрии. Исследования проводились на горизонтально-фрезерном станке модели 6804Г.

Режимы резания при исследованиях принимались следующими: $V = 1004$ м/мин, $S = 140$ мм/мин, $t = 10$ мм, $b = 5$ мм.

Прирост износа замерялся прибором с ценой деления 0,003. Прибор устанавливался на штатив и закреплялся, что обеспечивало получение результатов замеров из одной точки. Замеры проводились при встречном фрезеровании после пути $l = 1800$ мм, или $t_i = 0,15$ часа.

Проведенные исследования показали, что в процессе нормальной работы с увеличением скорости износа h_z растет дисперсия σ^2 . С достаточной точностью можно положить, что скорость износа является величиной постоянной.

Таким образом, имеем следующую схему износа зуба фрезы: средняя скорость износа постоянна, начальное качество инструмента однородно, скорость износа подвержена случайным вариациям. То есть имеем схему накапливающихся повреждений, которой отвечает гамма-распределение вре-

мени безотказной работы, и ее плотность распределения имеет вид:

$$\varphi(t) = \frac{1}{(m-1)!} \lambda^m \cdot t^{m-1} \exp(-\lambda t).$$

Произведя замену переменных $x = 2\lambda t$, получим:

$$f(t) = \frac{1}{2^m (m-1)!} x^{m-1} \exp\left(-\frac{x}{2}\right) dx$$

Принятые для исследования пластинки рассмотрены с точки зрения прироста износа. Для этого реализации износа представлялись в виде прямых линий с зависимостью $h = \alpha + \beta t$. Оказалось, что процесс прироста износа обладает свойством перемешивания. Каждая реализация характеризуется своим углом наклона к оси x и величиной β на оси y . С течением времени величина прироста износа имеет тенденцию к снижению.

Обработка результатов производится методами математической статистики.

Прирост износа зубьев фрезы подчиняется закону гамма-распределения.

Коэффициент вариации:

$$v(x) = \frac{1}{\sqrt{2}} = \frac{6}{x} = 0,7$$

$$z = \frac{1}{v^2(x)} = \frac{1}{0,49} \approx 2$$

$$\lambda = \frac{z}{x} = 66,6$$

Результаты исследований показали, что для определения надежности безотказной работы с достаточной точностью можно принимать однородность исходного качества режущих пластин фрезы.

Варьируя выходными параметрами гамма-распределения λ и g , представляется возможным установить время безотказной работы фрезы между переточками.

Заключение и выводы по работе

Весь комплекс исследований, выполненных в настоящей работе, и детальный анализ полученных результатов позволяют сделать следующие выводы:

1. Композиционное строение стеклотекстолита, анизотропия их механических свойств, высокие упругие характеристики, абразивные свойства наполнителя предопределяют особенности его обработки резанием в сравнении с металлами. В работе показано, что сравнительная аналогия процессов резания металлов и композиционных материалов типа стеклотекстолита КАСТ-В часто приводит к неправильным выводам и рекомендациям по их обрабатываемости. Сказанное, в частности, подтверждается характером стружкообразования, износом и влиянием направления подачи на стойкость фрез при разрезке.

2. Выполненное параллельное исследование обрабатываемости, а также физико-механических свойств стеклопластиков, характеристик упругого последствия на образцах и моделирования клином процесса резания, коэффициента трения пары твердый сплав — КАСТ-В, позволили качественно установить, что обрабатываемость и износ инструмента на основе стекловолокна в наибольшей степени корреляционно связаны с их упругими характеристиками (модулем упругости, упругими последствиями), истирающей способностью (коэффициент трения, абразивные свойства) и теплофизическими свойствами (теплопроводность, склонность к декструкции).

3. Путем сопоставительного анализа сил резания при попутном и встречном фрезеровании с учетом упругих характеристик стеклотекстолита в работе показано, что распределение сил резания и величины упругого восстановления при встречном фрезеровании при разрезке листов толщиной более 10 мм более предпочтительно, чем при попутном. Это

позволило в дальнейшем объяснить повышение стойкости при встречном фрезеровании.

4. При встречном фрезеровании значение вертикальной составляющей сил резания имеет переменную величину, равнодействующая составляющих направлена под углом к материалу (45° , 60°), при котором механические характеристики имеют наименьшее значение. Это вызывает меньшие величины упругого восстановления и повышение стойкости инструмента в сравнении с попутным.

Поскольку стеклотекстолит обладает высокой теплоемкостью и низкой теплопроводностью, высокие температуры в зоне резания могут привести к декструкции поверхностного слоя. Инструментальный материал должен иметь высокую теплопроводность и сопротивляемость истиранию. Такими инструментальными материалами являются твердые сплавы группы ВК. В работе рекомендованы при разрезке стеклотекстолита марки ВК6М, ВК8.

Низкие прочностные характеристики стеклотекстолита не вызывают высоких давлений на переднюю поверхность, и с этих позиций значение переднего угла не оказывает влияния на стойкость инструмента.

Однако при выборе его величины необходимо учитывать малое сопротивление раскалыванию стеклотекстолита.

Большое значение заднего угла обеспечивает уменьшение контакта упруго-восстанавливаемого материала, что повышает стойкость инструмента.

В работе рекомендуется следующая геометрия зуба фрезы:
 $\gamma = 20^\circ$ $\alpha = 25^\circ$ $\varphi = 2^\circ$.

Износ инструмента происходит по задней поверхности с некоторым скруглением режущей кромки. Наиболее интенсивный износ наблюдается по переходной кромке — «уголку». Это объясняется действием силы упругого восстановления на переходную кромку как по боковым поверхностям, так и по задней поверхности. Усиление слабого места зуба фрезы за счет переходной кромки не приводит к повышению стойкости. Это еще раз подтверждает абразивный характер износа инструмента.

5. Стойкостными исследованиями, выполненными по однофакторной методике и многофакторной методике (процесс резания случайный процесс), установлена эмпирическая зависимость $T = f(v, S, t)$ в виде:

для встречного фрезерования

$$V = \frac{3228}{T^{0,3} f^{0,58} S^{0,72}} \text{ м/мин}$$

для попутного фрезерования

$$V = \frac{1017}{T^{0,33} f^{0,48} S^{0,66}} \text{ м/мин}$$

Исследования по установлению стойкостных зависимостей показали, что с увеличением режима резания стойкость инструмента снижается. Наибольшее влияние на стойкость оказывает подача на зуб фрезы.

6. Исследования температуры в зоне резания, проведенные методом искусственной термодары, показали, что возникающая при резании температура не является преобладающим фактором, вызывающим износ инструмента. Эмпирическая зависимость температуры от режима резания имеет вид:

$$\theta^\circ\text{C} = C_\theta \cdot v^{0,38} \cdot S^{0,52} \cdot f^{1,2}$$

Из зависимости видно, что наибольшее влияние на температуру в зоне резания оказывает толщина разрезаемого материала. Это может объясняться увеличением длины контакта инструмента и материала.

7. Геометрические, фотометрические исследования и скоростная киносъемка процесса резки стеклотекстолита позволили установить характер износа инструмента при попутном и встречном фрезеровании.

8. Статистическими исследованиями установлено, что износ инструмента зависит не от начального состояния изучаемого объекта (зуба фрезы), а от случайных флюктуаций процесса. Этими исследованиями установлено, что прирост износа инструмента при фрезеровании стеклотекстолита подчиняется законам гамма-распределения с параметрами λ и γ , варьируя которыми, можно наперед установить время безотказной работы инструмента.

Исследования позволили с позиции теории вероятностей установить время работы фрезы между двумя переточками.

9. Графики зависимости износа инструмента от режима резания и других факторов имеют два участка — приработки и нормального износа. Величина прироста износа в зоне нормальной работы фрезы с течением времени снижается, что подтверждается поведением средней величины прироста износа и дисперсии прироста износа.

10. Для решения всего поставленного комплекса задач исследований в работе использовались оригинальные методики и современная аппаратура.

11. Рассматривая полученные стойкостные зависимости для встречного и попутного фрезерования, необходимо отметить, что при встречном фрезеровании стойкость инструмента при прочих равных условиях в три раза выше, чем при попутном. Обеспечение повышения производительности труда в три раза не требует применения специального оборудования и инструмента, т. е. дополнительных затрат.

Основное содержание диссертации изложено в работах:

1. ЗОТОВА Л. К., КРАСИКОВ В. П. — Некоторые вопросы обработки стеклотекстолита фрезерованием. Сб. «Производительная обработка металлов и неметаллических материалов». Изд-во ВГУ, Воронеж, 1965.

2. ЗОТОВА Л. К., КРАСИКОВ В. П. — Фрезерование стеклотекстолита, ЦБТИ, 1965.

3. КРАСИКОВ В. П. — Статистическое исследование износа зубьев фрезы при разрезке стеклотекстолита. Сб. «Производительная обработка материалов», Воронеж, 1969.

4. КРАСИКОВ В. П., ПЕРОВ В. А. — Влияние упругого последствия на процесс механической обработки стеклотекстолита. Сб. «Производительная обработка материалов», Воронеж, 1969.

Материалы диссертации доложены и обсуждены:

1. На отчетной научно-исследовательской конференции Воронежского политехнического института (май 1969 г.).

2. На отчетной научно-исследовательской конференции Воронежского политехнического института (апрель 1970 г.).

3. На научно-технической конференции «Пути повышения технического уровня механической обработки и сборки на предприятиях машиностроения и приборостроения ЦЧР», г. Воронеж, ЦБТИ, февраль 1969 г.