

Производство новых изделий, как правило, связано с освоением обработки новых конструкционных материалов, имеющих более высокие физико-механические характеристики, чем ранее применяемые. К деталям из новых материалов предъявляют высокие требования как по физико-механическим характеристикам, так и к качеству поверхностного слоя. Кроме того, необходимо обеспечить высокую интенсивность процессов формообразования, что связано с высокой стоимостью часа работы современных многоцелевых станков с ЧПУ. Математическое моделирование процессов механической обработки, формирования качества обработанной поверхности, физико-механических характеристик обрабатываемых новых материалов в большинстве случаев не приводит к положительным результатам из-за недостаточной степени их формализации. С учетом этого экспериментальные исследования в области технологии машиностроения являются актуальными. В данном учебном пособии приведены рекомендации по исследованию режущих свойств инструментальных материалов и работоспособности различных конструкций инструмента как в производственных, так и в лабораторных условиях, силовых зависимостей, методов формирования транспортабельной стружки, измерения твердости, параметров шероховатости, измерения размеров методом слепков, жесткости элементов технологической системы.

### ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖУЩИХ СВОЙСТВ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И РАБОТОСПОСОБНОСТИ ИНСТРУМЕНТА

Выбор инструмента для станков с ЧПУ представляет сложную задачу из-за многообразия выпускаемых инструментальных материалов и конструкций инструмента для формообразования одних и тех же поверхностей. При разработке технологических процессов должны быть решены вопросы выбора:

- конструкций инструмента;
- инструментальных материалов;
- если необходимо наличие износостойких покрытий, в том числе и многослойных;
- геометрических параметров инструмента применительно к условиям обработки деталей.

А также определения:

- режимов резания с учетом производительности, точности и качества обработанной поверхности, в том числе и для новых конструкционных материалов;
- допускаемой стоимости инструмента с учетом производительности и стоимости часа работы оборудования.

Перечисленные задачи могут быть решены путем производственных, лабораторно-производственных испытаний и лабораторных исследований инструмента и инструментальных материалов.

Независимо от места выполнения работ при подготовке к испытаниям (исследованиям) должны быть выполнены следующие подготовительные работы.

Для выполнения сравнительных испытаний инструмента в производственных условиях необходимо соблюдение следующих условий [1]:

- выделить станок для выполнения исследований (параллельное применение оборудования той же модели, но с другим инвентарным номером не допускается из-за возможного различия в техническом состоянии);
- выделить для испытаний одного и того же оператора и инженерно-технического работника, в этом случае влияние субъективных факторов будет сведено к минимуму;
- подготовить для испытаний заготовки деталей из одной партии и прошедших термообработку в одной садке, если применяются плиты или прокат, то необходимо применять материал из одной плавки и прошедший термообработку в одной садке;

- подготовить новый режущий инструмент одной партии изготовления для исследований по 3...5 шт. каждого типа;
- изготовить или подобрать эталонный (применяемый на предприятии) инструмент для сравнения. Специальный инструмент должен быть изготовлен из быстрорежущих сталей одной плавки или твердого сплава одной партии, покупной также должен быть одной партии;
- выполнить сборку инструментальных наладок с примерно одинаковыми вылетами из патронов, присвоить порядковые номера наладок: Т1, Т2 и т. д., измерить фактические размеры наладок, выполнить динамическую балансировку для вращающегося инструмента (класс дисбаланса у всех наладок должен быть одинаковым, например G2,5). Если вращающийся инструмент предназначен для работы с частотой вращения  $\leq 6000 \text{ мин}^{-1}$ , то балансировка для концевого и осевого инструмента не нужна;
- загрузить инструментальные наладки в инструментальный магазин и ввести фактические размеры наладок принятым на предприятии способом (вводом размеров с распечатки через клавиатуру системы ЧПУ станка, внешнего носителя информации, по сети), если конуса шпиндельной оснастки применяются типа SK, NC, CAT или MAC-BT, то при отсутствии датчиков нулевого отсчета необходимо выполнить корректировку размеров по оси Z;
- выполнить калибровку испытываемого и эталонного режущего инструмента, калибровка выполняется путем кратковременной работы инструмента на щадящих режимах работы в течение 3 или 5 мин, последующего измерения приработочного износа инструментальными методами. Для дальнейших испытаний отбирается инструмент (пластины), имеющий примерно равные фаски износа, если износ режущих кромок значительно отличается в большую или меньшую стороны от среднего, то он исключается из испытаний. После калибровки число отобранных инструментов, как испытываемых, так и эталонных должно быть в пределах 3...5 единиц каждого типоразмера.

### 1.1. Производственные испытания инструмента

За основу методики производственных испытаний инструмента взят опыт работы Иркутского института авиационной технологии по проверке работоспособности новых конструкций инструмента и инструментальных материалов, в том числе и серийно изготавливаемых различными фирмами.

При производственных испытаниях необходимо соблюдать следующие требования:

- испытания инструмента необходимо выполнять при обработке одних и тех же поверхностей заготовок деталей или по одним и тем же программам, если обрабатываются плиты или прокат, то при производственных исследованиях необходимо учитывать направление волокон материалов. В качестве критерия затупления необходимо брать количество обработанных деталей или поверхностей каждым инструментом. При обработке плит или проката фаску износа, при

достижении которой дальнейшая эксплуатация инструмента становится нецелесообразной (критический износ) по технологическим критериям, потеря точности или рост высоты микронеровностей. Значение стойкости необходимо определять по количеству обработанных деталей или времени работы инструмента при обработке плит или проката;

- если известны условия эксплуатации нового инструмента, то его испытания необходимо выполнять в соответствии с рекомендациями, эталонный инструмент при этом подвергается испытаниям на режимах, применяемых на предприятии;

- коэффициенты изменения стойкости при этом определяются как отношение средних значений стойкости для каждого из испытываемых инструментов к стойкости эталонного, коэффициенты производительности – как отношение минутных подач. Вариация стойкости определяется с применением методов математической статистики, для качественных конструкций значение вариации стойкости должно находиться в пределах 0,12...0,3;

- если коэффициенты увеличения стойкости при выполнении испытаний на одинаковых режимах значительны, то испытания необходимо продолжить на режимах резания, увеличенных на одну ступень для станков с механическими приводами главного движения, или на 30...50% для станков с электрошпинделями и т. д.;

- после завершения испытаний определяют коэффициенты, необходимые для сравнения конструкций инструмента по формуле [2, 3]

$$\eta = K_T K_{np} K_y K_{cp.sl}, \quad (1.1)$$

где  $K_T$  – коэффициент стойкости;  $K_{np}$  – коэффициент производительности;  $K_y$  – коэффициент условий работы;  $K_{cp.sl}$  – коэффициент срока службы.

Коэффициенты могут быть определены по следующим формулам:

$$K_{np} = \frac{S_{мин.н.}}{S_{мин.б.}}, \quad (1.2)$$

$$K_T = \frac{N_{дет.н.}}{N_{дет.б.}}, \quad (1.3)$$

или

$$K_T = \frac{T_n}{T_б}, \quad (1.4)$$

$$K_y = \frac{t_n B_n}{t_б B_б}, \quad (1.5)$$

где  $S_{мин.н(б)}$  – соответственно минутные подачи для нового (испытываемого) и базового инструментов;  $N_{дет.н(б)}$  – количество деталей обработанных новым и

базовым инструментами;  $T_{n(\delta)}$  – стойкость нового и базового инструментов;  $t_{n(\delta)}$  – глубина резания для нового и базового инструментов;  $B_{n(\delta)}$  – ширина фрезерования для нового и базового инструментов.

Значение  $K_y$  приведено для фрезерования, для других видов обработки  $K_y$  равен отношению глубин резания.

Формулы для расчета коэффициента срока службы  $K_{cp.cl}$  в зависимости от конструктивных особенностей сопоставляемых инструментов приведены в таблице 1.1.

Таблица 1.1

**Формулы для определения  $K_{cp.cl}$  в зависимости от конструкций инструмента**

Характеристика применяемого инструмента	Характеристика нового инструмента		
	Перетачиваемый	Перетачиваемый со сменными рабочими элементами	Сборный с неперетачиваемыми пластинками
Перетачиваемый	$\frac{(n+1)_H}{(n+1)_\delta}$	$\frac{(n+1)_H N_{1H}}{(n+1)_\delta}$	$\frac{(n+1)_H N_{1H} N_H}{(n+1)_\delta}$
Перетачиваемый со сменными режущими элементами	$\frac{(n+1)_H}{(n+1)_\delta N_{16}}$	$\frac{(n+1)_H N_{16}}{(n+1)_\delta N_{16}}$	$\frac{(n+1)_H N_{1H}}{(n+1)_\delta N_{16}}$
Сборный с неперетачиваемыми пластинками	$\frac{(n+1)_H}{N_{16} N_\delta}$	$\frac{(n+1)_H N_{1H}}{N_{16} N_\delta}$	$\frac{N_{1H} N_H}{N_{16} N_\delta}$

*Примечание.*  $n$  – число переточек инструмента;  $N$  – число запасных комплектов сменных режущих элементов;  $N_1$  – число рабочих граней неперетачиваемых пластин.

- рассчитываем предельно допустимую стоимость инструмента:

$$C_{нов.маx} = C_{баз} \eta + \sum_{i=1}^n \left[ (S_{ct} + \mathcal{U}_c) \cdot t_{oi} \left( 1 - \frac{1}{K_{np}} \right) \right], \quad (1.6)$$

где  $C_{нов.маx}$  – максимальные затраты на инструмент, определенные из условия сохранения рентабельности его эксплуатации за весь срок его службы с учетом всех переточек, сменных комплектов пластин и ножей;  $C_{баз}$  – стоимость ранее применяемого инструмента;  $S_{ct}$  – стоимость одного часа работы оборудования;  $\mathcal{U}_c$  – часовая тарифная ставка рабочего станочника;  $t_{oi}$  – время работы станка данным инструментом.

При выполнении укрупненных расчетов время работы инструмента можно определять через периоды стойкости инструментов:

а) для перетачиваемых конструкций инструмента

$$t_o = T(n+1), \quad (1.7)$$

б) для сборных с перетачиваемыми режущими элементами

$$t_o = T(n+1) N, \quad (1.8)$$

в) для сборных с неперетачиваемыми пластинками

$$t_o = T N N_1. \quad (1.9)$$

Рассмотрим производственные испытания эффективности рыхления альфированного слоя на титановых заготовках. Одной из причин низкой эффективности чернового фрезерования деталей из титановых сплавов является наличие на поверхности заготовок окалины и так называемого альфированного слоя. Из-за окалины и альфированного слоя черновую обработку вынуждены производить по схеме встречного фрезерования (зуб фрезы в данном случае врезается под корку с нулевой толщиной среза). Встречное фрезерование характеризуется низкой виброустойчивостью движения резания, большим расходом инструмента. Кроме того, необходимо учитывать, что при встречном фрезеровании значительное количество инструмента выходит из строя не из-за износа, а разрушений режущих кромок. Значительные величины сколов зачастую не позволяют перетачивать инструмент. В работе [4] указана возможность увеличения стойкости инструмента за счет рыхления альфированного слоя, возможность перехода на попутное фрезерование при этом исключалась. С учетом этого возникла необходимость дополнительного исследования с целью определения возможности применения попутного фрезерования при черновой обработке заготовок. В результате выполнения опытных работ в производственных условиях установлено, что механическое удаление окалины путем пескоструйной обработки абразивным песком марок 14А, 24А, 25А с последующей обработкой в щелочном расплаве в течение 30 мин, травлении в кислотном растворе в течение 60 мин и облагораживающей обработке в течение 4 ч. Данная схема обработки соответствует инструкции ВИАМ ПИ1 2 132-79 «Удаление окалины и альфированного слоя с поверхностей полуфабрикатов и деталей из титановых сплавов».

Производственные испытания выполнялись при подготовке поверхностей штамповок из титановых сплавов к сварке. Обработка выполнялась концевыми фрезами диаметром 40 и 50 мм с напайными винтовыми пластинками твердого сплава ВК8 формы 36 на станках мод. ФП17М, ФП17МН по программам и мод. 6Р13 при фрезеровании по разметке. Дополнительно выполнялась обработка подборок после сварки и последующего отжига в печах без защитной атмосферы. Полученные результаты приведены в таблицах 1.2...1.4 [4].

Таблица 1.2

**Результаты производственных испытаний фрез**

Коэффициент производительности	Коэффициент стойкости при состоянии поверхности заготовки		
	С окалиной и альфированным слоем	С удаленной окалиной и альфированным слоем	
		До сварки	После сварки и отжига
1,0	1,0	1,8...2,8	1,5...1,9
1,25	–	1,5	1,3

Таблица 1.3

**Результаты производственных испытаний фрез**

Коэффициент производительности	% фрез, не подлежащих переточке		
	С окалиной и альфированным слоем	С удаленной окалиной и альфированным слоем	
		До сварки	После сварки и отжига
1,0	35	–	–
1,25	–	5	7

Таблица 1.4

**Результаты производственных испытаний фрез**

Коэффициент производительности	% фрез, имеющих микросколы на режущих кромках		
	С окалиной и альфированным слоем	С удаленной окалиной и альфированным слоем	
		До сварки	После сварки и отжига
1,0	100	22	15
1,25	–	10	14

Дополнительно были испытаны фрезы из быстрорежущих сталей. Механическое удаление окалины и рыхление альфированного слоя по инструкции ПИ1 2 132-79 обеспечивает работоспособность даже фрез из быстрорежущих сталей при встречном фрезеровании, но их применение не было признано целесообразным из-за низких производительности и стойкости.

Использование рациональных геометрических параметров, как показали производственные испытания, для твердосплавных фрез позволяет применить попутное фрезерование. Исключение механического удаления окалины даже для твердосплавных фрез не позволяет применить попутное фрезерование. Дополнительно следует отметить, что исключение упрочняющей фаски снижает работоспособность твердосплавных фрез при попутном фрезеровании, что хорошо согласуется с результатами работы [5]. Результаты статистической обработки вариантов черновой обработки заготовок из титановых сплавов приведены в таблице 1.5.

Таблица 1.5

**Результаты статистической обработки вариантов черновой обработки**

№	Вариант обработки	Среднее значение стойкости, мин	Коэффициент вариации
1	Встречное фрезерование на универсальном станке: а) заготовки в состоянии поставки б) без окалины и альфированного слоя	91	0,43
		110	0,33
2	Встречное фрезерование на станке с ЧПУ: а) заготовки в состоянии поставки б) без окалины (после пескоструйной обработки)	220	0,61
		240	0,53
3	Попутное фрезерование с удаленной окалиной и альфированным слоем	460	0,24

*Примечание.* Исследование было выполнено только на фрезях, применяемых на предприятии.

Статистический анализ вариантов черновой обработки заготовок показал, что удаление окалины и рыхление альфированного слоя позволяют значительно повысить не только стойкость твердосплавных фрез, но и стабильность черного фрезерования. Коэффициент вариации снижается как для универсального оборудования, так и программного. Особенно эффективен переход к схеме попутного фрезерования, при котором коэффициент вариации стойкости достигает 0,24, что свидетельствует о высокой стабильности процесса черного фрезерования титановых сплавов после рыхления альфированного слоя по инструкции ВИАМ.

Далее рассмотрим результаты производственных испытаний фрез различных конструкций концевых фрез. Исследованию подвергались концевые фрезы с периодическим острозаточенным профилем режущих кромок с напайными винтовыми пластинками твердого сплава ВК8 по а. с. № 1050176 МКИ В23с 5/06 [6] и типовые конструкции фрез, применяемые на предприятиях. Для получения объективных показателей для сравнения были изготовлены специальные партии фрез. Производственные испытания выполнялись на станках модели ФП17, ФП7, ФП27 при обработке крупногабаритных штамповок из титанового сплава ВТ20 ( $\sigma_b = 1000 \dots 1100$  МПа). Результаты производственных испытаний концевых фрез с периодическим профилем режущих кромок при черновом фрезеровании крупногабаритных штамповок из титанового сплава ВТ20 по корке приведены в таблице 1.6.



Таблица 1.6

**Результаты производственных испытаний фрез  
с периодическим профилем режущих кромок**

№	Деталь	Фреза $D \times L \times R \times Z$	Режимы фрезерования: $V$ , м/мин; $S$ , мм/мин; $t$ , мм	Стойкость, мин
1	хxxx.х.ххх.1	50×112×3×4	19,6; 30; 10...15	510
2	хxxx.х.ххх.1	50×112×3×4	19,6; 30; 10...15	600
3	хxxx.х.ххх.1	50×112×3×4	19,6; 30; 10...15	480
4	хxxx.х.ххх.1	50×112×3×4	19,6; 30; 10...15	960
5	хxxx.х.ххх.1	50×112×3×4	19,6; 30; 10...15	220*
6	хxxx.х.ххх.1	50×112×3×4	19,6; 30; 10...15	720
7	хxxx.х.ххх.1	50×64×3×4	19,6; 30; 10...15	420
8	хxxx.х.ххх.1	40×60×3×4	15,6; 30; 10...15	240
9	хxxx.х.ххх.1	40×60×3×4	15,6; 30; 10...15	240
10	хxxx.х.ххх.1	40×60×3×4	15,6; 30; 10...15	280
11	хxxx.х.ххх.1	40×60×3×4	15,6; 30; 10...15	360
12	хxxx.х.ххх.1	50×120×3×4	19,6; 30; 10...15	300
13	хxxx.х.ххх.1	40×80×4×3	22,3; 55; 7	540
14	хxxx.х.ххх.1	50×120×0×4	19,6; 40; 15...20	90*
15	хxxx.х.ххх.3	40×80×0×3	22,3; 15...30; 40	135**

*Примечание.* Позиции 12...15 получены на смежном предприятии. \* – дальнейшая работа фрезами была прекращена из-за отсутствия заготовок, \*\* – обработка выполнялась при ручной подаче, по базовому варианту выводные пластины отрезались за два прохода, стойкость фрезы – две пластины, в данном случае при расчетном согласовании параметров фрезы с условиями работы отрезано 27 выводных пластин. Для объективной оценки разработанных конструкций фрез параллельно были выполнены производственные испытания специально изготовленных фрез по заводской документации. Результаты испытаний приведены в таблице 1.7.

Таблица 1.7

**Результаты параллельных испытаний фрез,  
изготовленных по заводской документации**

№	Деталь	Фреза $D \times L \times R \times Z$	Режимы: $V$ , м/мин; $S$ , мм/мин; $t$ , мм	Стойкость, мин
1	хxxx.х.ххх.1	50×80×3×5	19,6; 30; 10...15	110
2	хxxx.х.ххх.1	50×130×3×5	19,6; 30; 10...15	130
3	хxxx.х.ххх.1	50×130×3×5	19,6; 30; 10...15	90
4	хxxx.х.ххх.1	50×80×3×5	19,6; 30; 10...15	170
5	хxxx.х.ххх.1	40×80×3×5	15,6; 30; 10...15	97
6	хxxx.х.ххх.1	40×80×3×5	15,6; 30; 10...15	240
7	хxxx.х.ххх.1	40×80×3×5	15,6; 30; 10...15	195
8	хxxx.х.ххх.3	40×80×3×5	15,6; 15...30; 40	36

Производственные испытания фрез с периодическим профилем показали, что их эксплуатация на режимах, применяемых на заводах, сопровождается значительным повышением стойкости и снижением составляющих сил резания. Дополнительно следует, что их применение позволяет увеличить минутную подачу с 30 мм/мин до 40...55 мм/мин даже при удалении повышенных припусков (по данным программам удаляли за один проход суммарный припуск на черновую и чистовую обработки). Стойкость фрез, работающих на повышенных режимах, не менее, чем у фрез заводских конструкций, работающих на низких режимах, большое смещение режущих кромок позволяет применять фрезы как для черновой, так и для получистовой обработки, обработанная поверхность имеет шероховатость  $Rz = 20$  мкм. Аналогичные результаты были получены и при производственных испытаниях фрез с периодическим профилем режущих кромок при фрезеровании деталей из стали (08X15H5Д2Т,  $\sigma_b = 1000$  МПа). По заводскому технологическому процессу полное удаление припуска в карманах штамповок выполнялось за 3 прохода (черновой, получистовой, чистовой с пропорциональной разбивкой припуска). При черновом фрезеровании из-за большого припуска фрезы работали нестабильно из-за частого разрушения рабочей части. Предложенные конструкции фрез позволили припуск, приходящийся на черновую и получистовую обработку, удалять за один проход на режимах получистового фрезерования, разрушения рабочей части фрез при этом прекратились. Результаты производственных испытаний фрез приведены в таблице 1.8.

Таблица 1.8

**Результаты производственных испытаний фрез при фрезеровании стали 08X15H5Д2Т**

№	Деталь	Фреза $D \times L \times R \times z$	Режимы: $V$ , м/мин; $S$ , мм/мин; $t$ , мм	Стойкость, мин
1	xxxx.xxx.x1	45×50×4×5	17,5; 80; 40	540
2	xxxx.xxx.x2	40×75×4×4	22,4; 80; 10...15	450
3	xxxx.xxx.x1	45×50×4×5	17,5; 80; 40	540*
4	xxxx.xxx.x2	40×75×4×4	22,4; 80; 10...15	450*

Примечание. \* – после переточки.

Результаты эксплуатации фрез, применяемых на предприятии, приведены в таблице 1.9.

Таблица 1.9

**Результаты эксплуатации фрез, применяемых на предприятии**

№	Деталь	Фреза $D \times L \times R \times z$	Режимы: $V$ , м/мин; $S$ , мм/мин; $t$ , мм	Стойкость, мин
1	xxxx.xxx.x1	45×50×4×4	17,5; 60; 20	180
2	xxxx.xxx.x2	40×75×4×4	22,4; 60; 10...15	90
3	xxxx.xxx.x1	45×50×4×5	17,5; 60; 20	180*
4	xxxx.xxx.x2	40×75×4×4	22,4; 60; 10...15	90*

Примечание. \* – после переточки.

Результаты обработки выполненных производственных испытаний приведены в таблицах 1.10, 1.11

Таблица 1.10

**Результаты производственных испытаний фрез при обработке деталей из титанового сплава BT20**

Фреза $D \times L \times R \times z$	$K_{пр}$	$K_T$	$K_y$	$\eta$
50×112×3×4	1	5,4	1	5,4
50×64×3×4	1	3	1	3
40×60×3×4	1	2,65	1	2,65
40×80×0×3	1	3,8	2	7,6
40×60×3×4*	1,8	2,25	1	4,05

*Примечание.* \* – обработка без альфированного слоя, в остальных случаях фрезерование без рыхления альфированного слоя.

Таблица 1.11

**Результаты производственных испытаний фрез при обработке деталей из высокопрочной нержавеющей стали ВНС2**

Фреза $D \times L \times R \times z$	$K_{пр}$	$K_T$	$K_y$	$\eta$
45×50×4×4	1,33	3	2	7,98
40×75×4×4	1,33	5	1	6,65

## 1.2. Лабораторно-производственные испытания инструмента

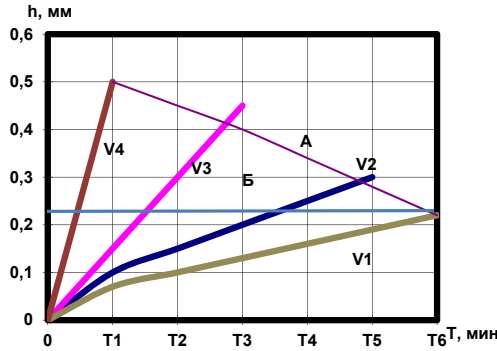
Основными отличиями данного метода от производственного являются:

- выполнение исследований на специально изготовленных образцах, имеющих физико-механические характеристики аналогичные обрабатываемым деталям;
- работы выполняются в лабораторных условиях;
- время работы инструмента определяется достижением заданного критерия затупления без учета промежуточных значений;
- остальные этапы такие же, как и при производственных испытаниях.

## 1.3. Лабораторное исследование режущих свойств

Для выполнения стойкостных исследований за основу была взята методика, предложенная профессором А. С. Кондратовым, основанная на том, что интенсивность износа является величиной практически постоянной, и она не зависит от величины износа [7]. Правомерность этих допущений вытекает из анализа зависимостей износа от времени работы инструмента при резании труднообрабатываемых материалов, когда влиянием приработочного износа можно пренебречь [8...10].

Типовые зависимости износа инструмента от времени работы представлены на рисунке 1.1



**Рис. 1.1. Типовые зависимости износа инструмента  $h$  от времени работы  $T$ :**

*A – график зависимости критерия оптимального износа от скорости резания; Б – критерий постоянного износа; V – скорость резания; h – фаска износа.*

Каждый участок зоны нормального износа характеризуется практически постоянным углом наклона, тангенс которого определяет интенсивность износа для рассматриваемых сочетаний режимов резания, что позволяет записать [7]

$$\operatorname{tg}\chi = i = \frac{\Delta h}{\Delta t}, \quad (1.10)$$

где  $i$  – интенсивность износа, мм/мин;  $\Delta h$  – приращение износа инструмента за промежуток времени работы  $\Delta t$ .

Время работы за весь период стойкости в этом случае выразится [11]:

$$T = \frac{h}{i}, \quad (1.11)$$

подставив (1.10) в известное выражение  $T_1 v_1^{1/m} = T_2 v_2^{1/m} = C$  и решив его относительно  $1/m$ , получим в окончательном виде

$$\frac{1}{m} = \frac{\lg \frac{i_i}{i_{i+1}}}{\lg \frac{v_i}{v_{i+1}}}. \quad (1.12)$$

Аналогичные рассуждения справедливы и для других частных зависимостей стойкости от параметров процесса резания. Показатели относительной стойкости для них могут быть определены по формулам:

$$\frac{1}{x} = \frac{\lg \frac{i_i}{i_{i+1}}}{\lg \frac{s_i}{s_{i+1}}}, \quad (1.13)$$

$$\frac{1}{y} = \frac{\lg \frac{i_i}{i_{i+1}}}{\lg \frac{t_i}{t_{i+1}}}, \quad (1.14)$$

$$\frac{1}{n} = \frac{\lg \frac{i_i}{i_{i+1}}}{\lg \frac{B_i}{B_{i+1}}}, \quad (1.15)$$

где  $1/x$ ,  $1/y$ ,  $1/n$  – показатели относительной стойкости при исследуемых параметрах процесса резания  $s$ ,  $t$ ,  $B$ .

Таким образом, предложенная методика однофакторного эксперимента позволяет при небольших затратах времени и средств, по сравнению с классическим методом, выполнить тщательное исследование зависимостей типа  $T = f(v, s, t)$ , что особенно важно при изыскании возможности интенсификации процессов обработки авиационных материалов. Основным отличием предложенной методики от методики профессора А. С. Кондратова является исключение необходимости определения эквивалентных скоростей резания и прямой расчет показателей относительной стойкости.

В дальнейшем на основе полученной качественной оценки определены интервалы варьирования исследуемых параметров процесса резания, геометрии инструмента для применения методов оптимального планирования. Для этого математическая модель представлена в виде:

- для исследования технологических параметров процесса

$$i = f(v, s_z, t, B, z), \quad (1.16)$$

где  $v$ ,  $s_z$ ,  $t$ ,  $B$ ,  $z$  – соответственно скорость резания, подача на зуб, глубина фрезерования, ширина фрезерования, число зубьев;

- или для исследования геометрических параметров инструмента

$$i = f(\varphi, \gamma, \alpha, \omega), \quad (1.17)$$

где  $\varphi, \gamma, \alpha, \omega$  – соответственно углы в плане передний, задний, наклона режущих кромок.

Типовая зависимость  $T = f(v, s, B, t)$  в виде  $i = f(v, s, t)$  запишется

$$i = \frac{V^{1/m} S^{1/x} t^{1/y} B^{1/n} z^{1/k} h_k}{C}, \quad (1.18)$$

если принять  $\frac{h}{C} = C^1$ , то формула примет следующий вид:

$$i = C^1 V^{1/m} S^{1/x} t^{1/y} B^{1/n} z^{1/k}. \quad (1.19)$$

Линеаризация полученных зависимостей, выбор методов планирования, кодирование независимых переменных, обработка результатов особенностей не имеют.

Из изложенного следует, что величины постоянных коэффициентов  $C$  зависят от принятой величины критерия затупления инструмента. Критерий износа при выполнении экспериментальных работ может быть взят на основании имеющегося опыта обработки исследуемых материалов, литературных данных или определен в процессе выполнения исследования. Сущность его определения сводится к фиксации предельного значения затупления режущих кромок по технологическим ограничениям: шероховатость обработанной поверхности или точность обработки, либо по определению ширины фаски износа с фиксацией момента нарушения линейной зависимости износа от времени работы. Его определение не представляет трудностей, так как при выполнении серий опытов регистрируется приращение износа  $\Delta h$  за период времени  $\Delta t$  на одной и той же режущей кромке до появления катастрофического износа.

Эмпирическая зависимость вида  $i = f(V, S, t)$  упрощает использование критерия оптимального износа [12]. В этом случае критерий затупления представляется в виде

$$h_{3.0} = h_3 \left( \frac{V}{V_{3.0}} \right)^K, \quad (1.20)$$

где  $h_{3.0}$  – критерий затупления на скорости резания  $V_{3.0}$ ;  $V_{3.0}$  – скорость резания, для которой определяется оптимальный критерий затупления.

Оптимальный износ инструмента приведен на рисунке 1.1 – линия А, для сравнения приведен применяемый типовой критерий затупления – линия Б. Его учет целесообразен для инструментов, эксплуатируемых в широких диапазонах скоростей резания, таких как высокопрочные легированные конструкционные стали. Применение данного критерия позволяет значительно улучшить использование инструментальных материалов. Графическая зависимость оптимального износа от скорости резания приведена на рисунке 1.2.

Конец ознакомительного фрагмента.

Приобрести книгу можно

в интернет-магазине

«Электронный универс»

[e-Univers.ru](http://e-Univers.ru)