

Разработанные способы совмещенной и комбинированной обработки защищены авторскими свидетельствами: а.с. №1310182 и а.с. №1355467.

### Выводы

1. Установлено, что иглофрезерование и последующая обработка ППД обкатыванием обеспечивает качество поверхности (топографию и физико-механические свойства) аналогичное формируемому в результате многократного шлифования.
2. Показано, что коррозионная стойкость гальванопокрытия, нанесенного на поверхность, подготовленную иглофрезерованием и обкатыванием такая же, как и при подготовке поверхности многократным шлифованием.
3. Выявлены кинематические особенности и определены условия оптимального сочетания режимов иглофрезерования и ППД обкатыванием для разработки способов совмещенной и комбинированной обработки этими методами.
4. Разработанные способы совмещенной и комбинированной обработки иглофрезерованием и ППД для подготовки поверхности перед нанесением гальванопокрытий характеризуются высокой производительностью, малоотходностью и экологической чистотой.

УДК 621.9

А.И. Бачанцев, В.И. Туромша

## ОБОСНОВАНИЕ И НАЗНАЧЕНИЯ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ ДЛЯ ПРОЦЕССА ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКИ

*Белорусский национальный технический университет  
Минск, Беларусь*

При выборе режимов резания для черновой и получистовой обработки традиционно рекомендуется задаваться глубиной резания и назначать её максимально возможной для снятия основного припуска. Это объясняется повышением производительности, так как припуск снимается за один проход. Следующий этап - выбор подачи, причём её тоже рекомендовано назначать максимальную, в зависимости от глубины резания и учитывая различные факторы, например размеры державки резца, максимальное усилие привода подачи, прочность пластины твёрдого сплава и другие. Затем рассчитывается скорость резания с учётом глубины резания и подачи. По выбранным режимам резания рассчитывается мощность резания и проверяется соответствие её мощности станка. Чаще всего режимы обработки приходится корректировать в сторону снижения. Корректировка режимов обработки под мощность станка говорит о том, что они могут быть не оптимальны с точки зрения производительности, в частности для станков с ЧПУ, полуавтоматов и автоматов. Для выбора оптимальных режимов обработки по производительности необходимо рассмотреть влияние параметров режима резания на машинное время.

Известно, что машинное время при точении может быть выражена формулой (1):

$$T_{\text{маш}} = \frac{L}{S * n} * \frac{\delta}{t} \text{ мин. ,} \quad (1)$$

где  $t$  – глубина резания, мм.;

$L$  – длина обработки за один проход, мм. ;

$S$  – подача, мм/об;

$n$  – частота вращения заготовки, об/мин;

$\delta$  – припуск, мм.

Подставив в данную формулу выражение частоты вращения  $n = \frac{1000 * v}{\pi * D}$ , полу-

чим:

$$T_{\text{маш}} = \frac{L * \pi * D}{1000 * v * S} * \frac{\delta}{t}. \quad (2)$$

Числитель формулы (2) можно рассматривать как полный объём припуска, а знаменатель – как объём снимаемой стружки в минуту. При рассмотрении формулы (2) видно, что для уменьшения машинного времени  $T_{\text{маш}}$  необходимо увеличивать любой из параметров, стоящих в знаменателе ( $v$ ,  $t$ ,  $s$ ). Но, как известно из теории резания данные параметры режима резания связаны между собой степенной зависимостью  $v = \frac{C}{S^x * t^y}$ . То есть, увеличивая один из параметров, неизбежно уменьшается какой либо из оставшихся параметров. Поэтому, рассматривая формулу (2), правильнее говорить об увеличении произведения  $v * s * t$ .

Одним из важных показателей и наиболее часто ограничивающих увеличение параметров режима резания является стойкость. Поэтому рассмотрим влияние каждого из параметров на стойкость. Как известно зависимость стойкости  $T$  от параметров режима резания выражается формулой:

$$T = \frac{C}{V^m * s^x * t^y}. \quad (3)$$

Из экспериментальных исследований, проведенных авторами и из других источников ([1],[2],[4]), для точения сталей средней твёрдости (45, 40 и др.), в областях «прямых» стружек, резцами с пластинами из твёрдого сплава, показатели степени будут следующие:

$$\begin{aligned} m &= 5 \div 3,3 \\ x &= 1 \\ y &= 0,3 \div 0,5. \end{aligned}$$

Если приближённо принять  $y = 1$ , то  $x \approx 2$ , а  $m \approx 4$ .

Следовательно, формула 2 будет выглядеть следующим образом:

$$T \approx \frac{C}{V^4 * s^2 * t^1}. \quad (4)$$

Из формулы (4) следует, что на стойкость инструмента параметры режима резания действуют совершенно по-разному. Таким образом, для получения наибольшей производительности, при заданной стойкости, необходимо сначала увеличивать глубину резания, затем подачу и в последнюю очередь скорость. Но если рассматривать области «обратных» стружек, то есть  $a > v$  или  $s > t$ , то функции главной и вспомогательной режущих кромок поменяются местами и, следовательно, показатели степени при подаче и глубине также поменяются местами [1]. Исходя из вышесказанного формулу (4) для «обратных» стружек можно записать следующим образом:

$$T \approx \frac{C}{V^4 * s^1 * t^2}. \quad (5)$$

Из формулы (5) видно, что исходя из критерия стойкости, в области «обратных» стружек в первую очередь увеличивать подачу.

Подтверждением того, что для точения в области «обратных» стружек нужно в первую очередь увеличивать подачу, могут послужить исследования ряда авторов (Грудов П.П., Гуськов Б.С., Можаяев С.С. и др.), которые занимались проблемой «силового» резания. В литературе [3] выведен и приводится ряд зависимостей для силового

резания в том числе и зависимость скорости от глубины резания и подачи, которая в общем виде выглядит следующим образом:

$$v = \frac{C}{t^x * s^y},$$

где  $C$  – коэффициент, учитывающий различные параметры инструмента, заготовки, материала и принимаемую постоянную стойкость.

Для различных материалов значения показателей степени изменялись в определенных пределах. Но характерно то, что все авторы выявили закономерность изменения численного значения показателей степени при  $t$  и  $s$  в зависимости от их отношения.

Например: для стали с твердостью НВ=200,

при  $s/t > 1$  –  $x=0.3$ , а  $y = 0.15$ ;

при  $s/t < 1$  –  $x=0.15$ , а  $y = 0.3$ .

То есть для точения в области «обратных» стружек нужно в первую очередь увеличивать подачу, так как она в меньшей степени влияет на уменьшение скорости резания.

Как уже говорилось выше, традиционно начинают назначать режимы резания с глубины резания  $t$ , а затем выбирают подачу по таблицам, где выбираемый параметр связан, в лучшем случае с двумя, влияющими на него параметрами. О влиянии выбранного параметра на мощность или силу на первых этапах не упоминается. Только после выбора  $T$ ,  $t$  и  $s$  и расчетов скорости резания начинают сравнивать мощность резания и мощность станка.

В настоящее время все больше встает вопрос об экономии энергетических ресурсов страны, а это для металлообработки означает использование оборудования более эффективно. То есть станок должен обеспечивать наибольшую производительность при его использовании с полной загрузкой по мощности.

Учитывая малую загрузку по мощности на предприятиях и вышесказанное, предлагается совершенно новый подход к выбору режимов резания с заданным периодом стойкости, для конкретного оборудования (ограничения по мощности), уже на первом этапе. Для этого необходимо решить систему уравнений (6), которая связывает назначаемые режимы с мощностью станка:

$$\left\{ \begin{array}{l} N = \frac{P_Z * V}{61200} \\ V = \frac{C_V}{T^m * t^X * s^Y} * K_V; \\ P_Z = C_P * t^{XP} * S^{YP} * V^n; \end{array} \right. \quad (6).$$

В тоже время данная система справедлива для каждого конкретного случая обработки (геометрия инструмента, материал инструмента и заготовки и т.д.), что выражают коэффициенты и показатели степени при  $T$ ,  $S$  и  $t$ . Данную систему можно решить, учитывая мощность привода, относительно любого параметра  $t$ ,  $s$  и  $v$ .

Решим систему (5), выразив  $t$  и  $V$  относительно  $S$ , то есть получим зависимости

$$t = f(s) \text{ и } V = f(s),$$

или

$$t = C_e * s^m; \quad V = C_v * s^n.$$

Таблица 1

Значения параметров обработки стали 45 при  $T=60$  мин

S, мм/об	V, м/мин	Пр.*10 <sup>-3</sup> мм <sup>3</sup> /мин	t, мм	N, кВт
0,1	161,4	196,738512	12,193	8
0,2	150,5	231,535982	7,691	8
0,4	133,4	270,393872	5,068	8
0,8	110,4	312,581308	3,538	8
1,2	93,7	337,497254	3,002	8
1,6	83,8	356,660996	2,659	8
1,75	81,0	362,849889	2,561	8
2	85,1	377,961378	2,221	8
2,5	87,0	400,994423	1,844	8
2,8	88,0	413,224501	1,677	8
3	88,6	420,851941	1,583	8
3,12	89,0	425,25055	1,532	8
3,48	90,0	437,740964	1,398	8
3,8	90,8	448,069301	1,299	8
4	91,2	454,20371	1,245	8
5	93,3	481,882979	1,033	8
6	95,0	505,746153	0,887	8
6,5	95,8	516,592439	0,830	8

Теперь, задаваясь различными подачами, рассчитаем необходимые режимы. Но в данном случае будут уже учтены ограничения по мощности конкретного оборудования.

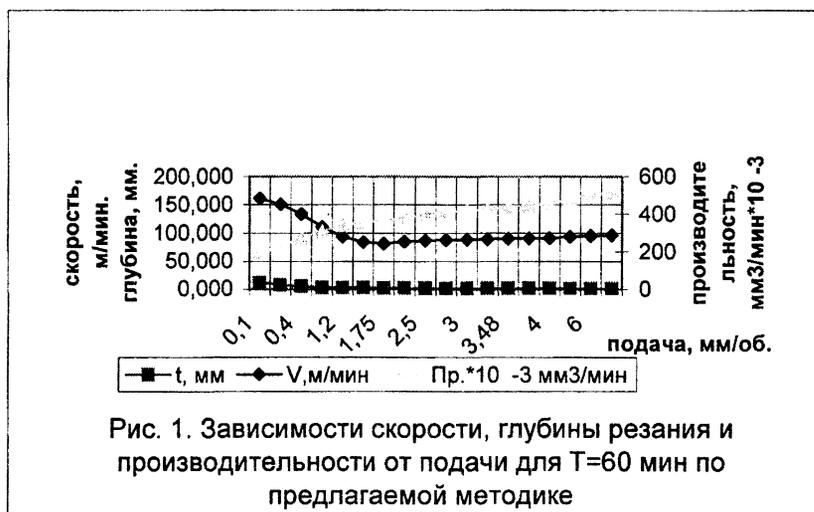
В таблице 1 представлены значения расчёта режимов резания для обработки стали 45 по предлагаемой методике. В таблице 2 представлены значения расчёта режимов резания для обработки стали 45, но по традиционной методике, с корректировкой режимов по мощности.

По данным таблиц 1 и 2 построены графики (Рис.1 и 2), на которых изображены зависимости основных параметров сравнения от подачи (Рис.1.) и от глубины резания (Рис. 2.)

Таблица 2

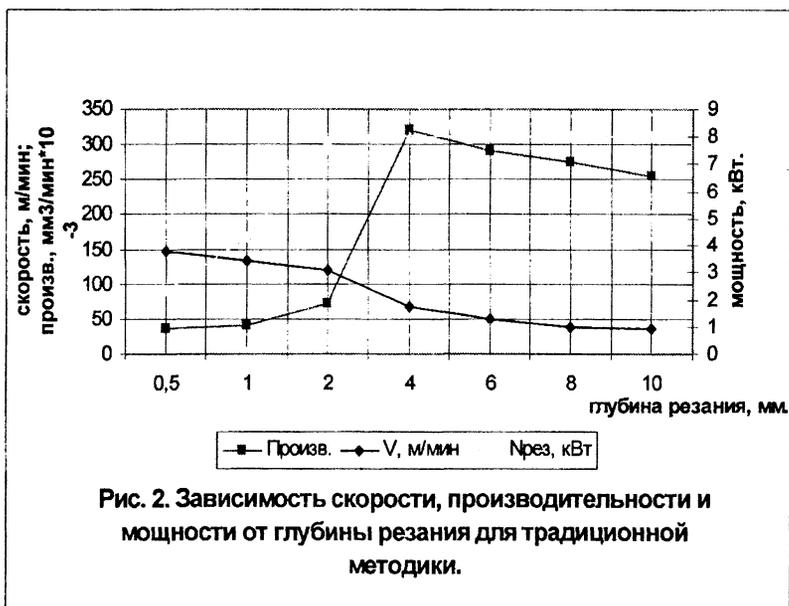
Значения параметров для традиционной методики

Произв.	V, м/мин	Nрез, кВт	t, мм
36,9546137	147,8184547	2,34	0,5
39,9664352	133,2214507	4,3	1
72,0395364	120,065894	7,86	2
320,826137	66,83877846	8	4
292,334029	48,72233824	8	6
274,440452	38,11672947	8	8
256,156767	36,59382387	8	10



Анализируя данные, приведённые в таблицах 1 и 2, а также графики, можно заметить, что производительность, которая измеряется объёмом снимаемой стружки в минуту –  $P=t*s*v*1000$  мм<sup>3</sup>/мин, возрастает с увеличением подачи при назначении режимов по предложенному методу, а по общепринятой методике, при увеличении глубины резания, производительность имеет другую зависимость. Данная зависимость объясняется тем, что при определённых режимах (в данном случае при  $t=4$  мм) мощность резания превышает имеющуюся на станке и некоторые параметры (в первую очередь скорость) требуют коррекции. После корректировки скорость резания, а в некоторых случаях подача, изменяются, что приводит к уменьшению производительности.

Можно также обратить внимание на зависимости скорости на графиках 1 и 2 и заметить, что скорость при увеличении подачи сначала уменьшается, а затем медленно растёт. Это происходит когда процесс резания переходит в зону «обратных стружек» и влияние подачи на скорость резания уменьшается. При назначении режимов резания по традиционной методике (рис.2.) скорость постоянно убывает.



При решении системы (6) относительно подачи, может возникнуть вопрос, а нельзя ли решить систему относительно глубины резания и скорости. С математической точки зрения это можно сделать, но в случае решения системы относительно глубины

резания и скорости, производительность будет ниже. Это доказывает график на рисунке 3.

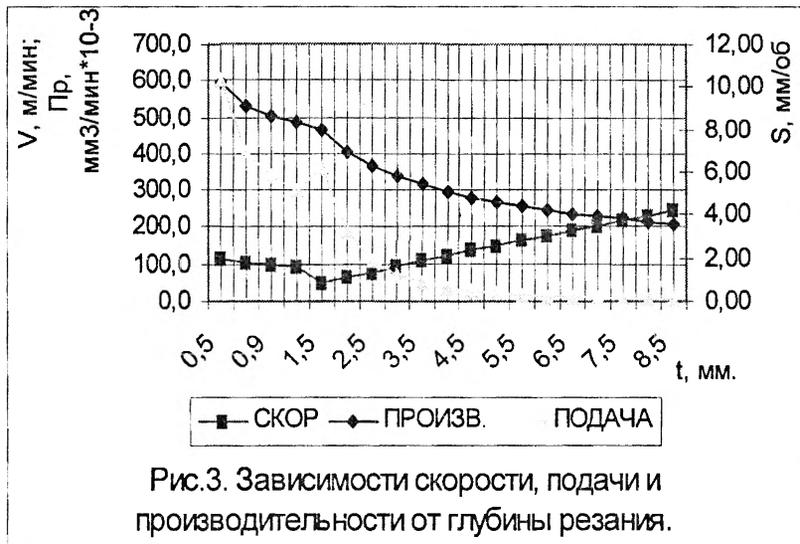


Рис.3. Зависимости скорости, подачи и производительности от глубины резания.

**Литература.** 1. Барбашов Ф.А., Стойкостные зависимости при резании металлов, М., 1958г. 2. Зорев Н.Н. Креймер Г.С., Высокопроизводительная обработка стали твёрдосплавными резцами при прерывистом резании, М., Машгиз, 1961г. 3. Мещеряков С.С., Саромотина Т.Г., Скоростное и силовое точение сталей повышенной прочности М., Оборонгиз, 1957г. 4. Ящерицын П.И. Еременко М.Л. Фельдштейн Е.Э. Теория резания. Физические и тепловые процессы в технологических системах: Учеб. Для вузов/ Мн.: Выш. Шк.,1990. – 512

УДК 621.01:621.08

С.В. Кухта, М.Л. Хейфец, В.В. Яскевич

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТЕРМОФОРМОВКИ ПОЛИМЕРНЫХ ИЗДЕЛИЙ СЛОЖНОЙ КОНФИГУРАЦИИ

*Полоцкий государственный университет  
Новополоцк, Беларусь*

Основной целью моделирования процесса термоформовки является обеспечение рационального выбора параметров формообразования, получение достаточно точной геометрии и физико-механических характеристик полимерного изделия на всех этапах процесса, для повышения качества изделий и уменьшения материальных затрат и т.п. Моделирование процесса термоформовки для полимерных сложнопрофильных изделий проводят методом конечных элементов (МКЭ). Алгоритм МКЭ при моделировании формообразования, в общем случае, состоит из следующих этапов:

1. Разбиение заданной области на конечные элементы (начальная уравновешенная конфигурация) в вычисляемый момент времени  $t$ .
2. Определение аппроксимирующих функций конечных элементов (аппроксимирующие функции выражаются через неизвестный вектор узловых значений и функции формы конечных элементов). Когда для всех элементов области используется аппрок-