

К ВОПРОСУ О ПОВЫШЕНИИ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ОБРАБОТКИ КАНАВОЧНЫМИ И ОТРЕЗНЫМИ РЕЗЦАМИ

В.А. Залого, д-р техн. наук;

Д.В. Криворучко, канд. техн. наук;

Д.А. Миненко, канд. техн. наук;

Н.П. Кутовой,

Сумский государственный университет, г. Сумы

В работе проведен анализ проблем, сдерживающих повышение производительности отрезания и обработки канавок различных форм точением. Выполнен анализ этих поверхностей и разработана их классификация с точки зрения трудоемкости обработки. Путем обзора современных исследований процессов обработки канавок и отрезания установлены основные причины, сдерживающие повышение производительности на этих операциях. Выполнен анализ современных технических решений по совершенствованию рассматриваемых процессов.

У роботі проведено аналіз проблем, які стримують підвищення продуктивності відрізання та обробки канавок різноманітних форм, отриманих при точінні. Виконано аналіз цих поверхонь та розроблена їх класифікація з погляду на трудомісткість обробки. Шляхом огляду сучасних досліджень процесів обробки канавок та відрізання визначені загальні причини, що стримують підвищення продуктивності цих операцій. Також виконано аналіз сучасних технічних рішень, за допомогою яких вдосконалюються данні процеси.

ВВЕДЕНИЕ

Повышение производительности обработки в современном машиностроении является важной и актуальной задачей. Тела вращения являются наиболее широко распространенными деталями в современных машинах. При их изготовлении широко используется точение. Производительность этого процесса в настоящее время обеспечена на достаточно высоком уровне за счет применения новых инструментальных материалов и покрытий, оптимальной геометрии сменных неперетачиваемых платин, станков повышенной жесткости и др. Вместе с тем процессы обработки канавок, особенно глубоких, и отрезания представляет значительную сложность и, следовательно, осуществляется с относительно низкой производительностью. Сложность выполнения этих процессов состоит в том, что рабочая часть резца, особенно при отрезании и обработке глубоких и внутренних канавок (рис.1), имеет, как правило, небольшую ширину по сравнению с его длиной, а следовательно, и относительно небольшую жесткость, что часто в процессе обработки приводит к возникновению вибраций, которые снижают стойкость инструмента. Кроме того, процесс обработки канавочными (отрезными) резцами характеризуется, чаще всего, одновременной работой не менее чем трех кромок, т.е. имеет место несвободное резание, в результате чего инструмент испытывает значительные удельные нагрузки, причем небольшое сечение формируемой канавки приводит к плохому отводу стружки и её купированию (пакетированию), приводящих к непредсказуемой поломке инструмента. Это лишь некоторые очевидные проблемы. В связи с этим **целью** настоящей работы является детальный анализ причин, сдерживающих повышение производительности обработки на примере нарезания в телах вращения канавок, и выявление путей совершенствования процесса обработки канавочными резцами. Следует отметить, что подавляющее большинство отмеченных в данной работе причин являются характерными и для процессов отрезания.

КЛАССИФИКАЦИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ, ПОЛУЧАЕМЫХ КАНАВОЧНЫМИ РЕЗЦАМИ

В данной работе под канавкой понимается паз в теле вращения, полученный при осуществлении подачи резца в направлениях: перпендикулярном, параллельном и под углом к оси детали, при этом режущая кромка резца не достигает самой оси [1], что является характерным для процесса отрезания (см. рис.1). Наряду с такими исходными данными, характерными для точения, как обрабатываемый материал, его физико-механическое состояние, состояние поверхности, точность размеров и качество обработанной поверхности и др., для процесса нарезания канавок предложено дополнительно выделить такие характерные факторы: **форма канавки, направление подачи по отношению к оси вращения, расположение обрабатываемой поверхности, отношение глубины канавки к ее ширине, режим нагружения лезвия (количество кромок).**

Прежде всего, рассмотрим классификацию канавок, встречающихся в современных деталях машин. На рис. 1 представлена комплексная деталь, содержащая возможные варианты канавок, встречающихся в деталях современных машин. Отсюда видно, что по форме можно выделить [1]:

- канавки *прямоугольные*, т.е. такие, при точении которых режущая кромка перпендикулярна направлению движения подачи (за исключением, возможно, ее участков округления при вершинах) с *острыми углами* или с углами, к округлению которых не предъявляется специальных требований;
- канавки *прямоугольные с углами*, радиус округления которых регламентирован требованиями чертежа;
- канавки *фасонные*, т.е. такие, при точении которых режущая кромка или ее часть не перпендикулярна направлению движения подачи;
- канавки, *прорезаемые на проход*, т.е. канавки, прорезаемые на величину радиуса внутренней (при направлении движения подачи к оси вращения) или наружной (при направлении движения подачи от оси вращения) поверхностей детали - отрезание.

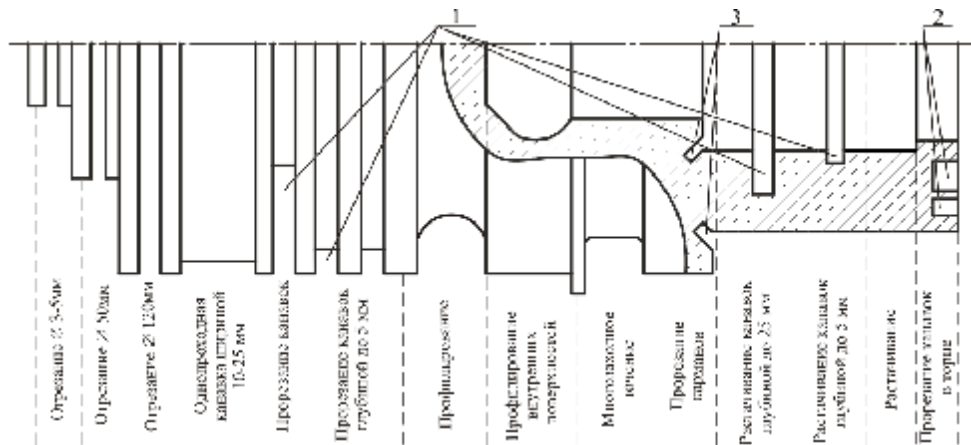


Рисунок 1 – Комплексная деталь с обрабатываемыми канавками

Рассмотрим процессы формирования канавок только на токарных станках, т.е. при обработке канавок заготовка всегда осуществляет вращательное движение относительно своей оси со скоростью главного движения резания. Вместе с тем движение подачи инструмента может осуществляться в различных направлениях. Поэтому по направлению подачи можно выделить канавки (рис.1) [2]: *радиальные* (канавки 1),

наружные и внутренние, *осевые* (канавки 2) и *наклонные для выхода инструмента – подрезание* (канавки 3), наружные и внутренние. Принципиальное различие между этими канавками, с физической точки зрения, состоит в распределении скорости резания вдоль режущей кромки и ее изменение в процессе обработки (при постоянной частоте вращения заготовки). Например, для прямоугольных канавок с радиальной подачей (канавки 1) характерно (при формировании какой-либо канавки) постоянство скоростей резания во всех точках вдоль режущей кромки и ее одинаковое в каждой точке режущей кромки изменение в процессе движения инструмента. Для прямоугольных канавок с осевой подачей (канавки 2) характерным является изменение скоростей резания в каждой точке при движении вдоль режущей кромки и постоянство (неизменность) скорости резания в каждой точке режущей кромки в процессе движения инструмента. Для наклонных канавок (канавки 3) характерно изменение скоростей резания как вдоль режущей кромки, так и в процессе движения инструмента.

Жесткость применяемого инструмента и условия стружкоотвода в процессе обработки как внутренних, так и наружных канавок в значительной степени определяется отношением глубины канавки h к ее ширине b . На практике разделяют канавки на *неглубокие* ($h/b \leq 6$), канавки *средней глубины* $6 < h/b \leq 14$ и *глубокие канавки* ($h/b > 14$) [3 - 9]. Следует отметить, что при нарезании внутренних канавок пониженная жесткость инструмента и затрудненный отвод стружки являются неотъемлемыми особенностями процесса в независимости, чаще всего, от глубины канавки.

Режим нагружения лезвия при обработке канавок определяет динамику сил, действующих на лезвие инструмента. В связи с этим можно выделить *безударное нарезание канавок* и *нарезание канавок с ударами*. Следует также обратить внимание на то, что цикл обработки канавок может содержать этапы как ударного, так и безударного резания. Например, цикл обработки канавки в направляющем аппарате, имеющем лопатки по образующей, может, начинается с ударного резания (в той части заготовки, где есть лопатки), а заканчивается безударным резанием, если формирование канавки продолжается в «сплошном» теле заготовки.

Канавки могут иметь различное назначение. Это могут быть канавки для выхода шлифовального круга, канавки под уплотнительные кольца, канавки для стопорных шайб, газоотводящие канавки и др. Технология изготовления канавок в значительной степени определяется требованиями, в зависимости от назначения канавок, к точности и качеству их поверхностей. Поэтому выделяют канавки: *неточные, средней точности и высокоточные*. Главным требованием к неточным канавкам, например канавки 3 (рис.1) для выхода шлифовального круга, является только соответствие требованиям чертежа их формы. Для канавок средней точности характерны требования к точности на уровне: размеров - до IT9, к шероховатости поверхности - до Ra1.25, к точности взаимного расположения и формы - до 50 мкм. Для высокоточных канавок характерны, в зависимости от их назначения, например канавки под поршневые уплотнительные кольца, более жесткие требования, как к точности размеров, так и к качеству обработанных поверхностей.

ХАРАКТЕРИСТИКА СЛОЖНОСТИ ОБРАБОТКИ КАНАВОК

В связи с тем, что в современном машиностроении применяется много операций, выполняемых канавочным инструментом, представлена их классификация по сложности исполнения (рис. 2). В соответствии с этой классификацией все поверхности канавок разделены на три степени сложности: I – низкая; II – средняя; III – высокая. Чем больше степень сложности поверхностей канавок, тем, как правило, за счет увеличения количества переходов при обработке, ослабления режимов резания,

применения специального инструмента и других мероприятий, меньше производительность обработки и больше ее себестоимость.



Рисунок 2 – Классификация поверхностей, обрабатываемых канавочными резцами

СОВРЕМЕННЫЙ ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ ОБРАБОТКИ КАНАВОК

Режущий инструмент, который применяется для обработки канавок, является одним из важнейших факторов, определяющих их качество и точность. В настоящее время находят применение цельные, напайные и сборные канавочные резцы. В современном машиностроении наметилась тенденция существенного увеличения доли применения сборных резцов, особенно на станках с ЧПУ и в ГПС, в связи с их большей экономической эффективностью по сравнению с цельными и напайными резцами [10].

На основе анализа каталогов мировых фирм-производителей режущего инструмента была выполнена классификация резцов, предназначенных для обработки канавок и отрезания. На рисунке 3 представлены технологические возможности резцов, применяемых при обработке поверхностей различной степени сложности в зависимости от форм опорных поверхностей пластин и способа крепления их к державке. Из каталогов MITSUBISHI [3], SANDVIC coromant [4], ISKAR [5], KENAMETAL [6] выбраны резцы для точения канавок глубиной до 25мм и отрезания прутков диаметром до 100мм; из каталога TaeguTec [7], KORLOY [8] для отрезания прутков диаметром до 120мм; из каталогов [3, 4, 6, 7,] и SECO [9] для прорезания торцевых канавок; из каталогов [3, 4, 6- 9] для нарезания карманов и растачивания канавок.

Выделены три формы опорных поверхностей (рис. 3):

1) V-образная опорная поверхность, обеспечивающая компактность и хорошее базирование пластины, сжимающие напряжения в ней, большую поверхность контакта пластины с державкой и, следовательно, хороший теплоотвод из зоны резания;

2) плоская опорная поверхность, обеспечивающая хороший теплоотвод из зоны резания;

3) специальная форма опорной поверхности. В эту группу вошли все формы опорных поверхностей пластин, которые не вошли в первые две группы.

Наиболее распространенной является первая форма опорных поверхностей.

		Форма опорной поверхности пластины												
		V - образная			Плоская				Специальная					
Поверхности полученные канавочными резцами	I Низкая степень сложности	Отрезание	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
		Прямоугольные	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
		Радиальное	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
		Без удара	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
		Внутреннее	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
		Наружное	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
		Неточные	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
		$h/b \leq 6$	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
		Прямоугольные	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Фасонные	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	II Средняя степень сложности	Отрезание	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	
		С углами	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	
		Радиальное	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	
		Осевое	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	
		Без удара	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	
		Наружное	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	
		Внутреннее	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	
		Средней точности	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	
		$6 < h/b \leq 14$	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	
		III Высокая степень сложности	Прямоугольные	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-
	Фасонные		+	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Отрезание		-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	С углами		+	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Радиальное		+	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Осевое		+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Под углом к оси		+	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Без удара		+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	
	С ударом		+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Наружное		+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Внутреннее	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-		
Высокой точности	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-			
$h/b > 14$	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-			
		C	C	C	P	S	S	S	C	C	S			
		Малой жесткости закрепление Жесткое закрепление		Малой жесткости закрепление Жесткое закрепление				Малой жесткости закрепление Жесткое закрепление						
		Канавочные резцы												

Рисунок 3 – Классификация канавочных резцов

АНАЛИЗ ПРОБЛЕМ, СДЕРЖИВАЮЩИХ ПОВЫШЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ОБРАБОТКИ КАНАВОК

Проблемы повышения производительности при образовании поверхностей канавочными резцами рассматриваются в работах Хаета Г. Л., Гаха В.М., Громакова К.Г. [10, 11], Акимова А.В., Тамбовцева С.С. [12] и Виноградова Д.В. [1], Лоладзе Т.Н. [13], Баранова И.Г. [14], Куклина Л.Г., Сагалова В.И., Серебровского В.Б., Шабанова С.П. [15] и др. Исследованиями этих ученых показано, что повышение производительности обработки поверхностей канавок сдерживается следующими факторами:

- усложненным образованием и отводом стружки;
- большой вероятностью случайной поломки режущей части резцов;

- повышенным износом режущего лезвия;
высоким уровнем вибраций.

Ниже дан краткий анализ причин возникновения указанных факторов.

Хаеом Г.Л., Пинахиным А.М., Шишкиным П.П. [16] и Вороновым А.Л. [17] выявлено, что неправильно подобранная геометрия режущей части приводит к **усложнению образования и отвода стружки**. Вильсон А.Л. [18] показал, что износ инструмента также усложняет образование и отвод стружки. В работах Шилкина И.М., Черноморца А.Я. [19] указывается, что малая жесткость опорных поверхностей из-за неблагоприятного динамического состояния системы также способствует усложнению образования и отвода стружки, увеличению износа и разрушению пластины. Влияние вибраций на вид формируемой стружки описано в работах Рогова В.А. [22, 23], Батракова С.Б., Тихомирова Б.К. [24], Каширина А.И. [25], Кедрова С.С. [44], Кудинова В.А. [45] и других. Следует также отметить, что с увеличением среднего коэффициента трения радиус кривизны стружки и ее ширина увеличиваются, что также усложняет ее образование и отвод, особенно при точении глубоких канавок [26].

Случайная поломка режущей части и повышенный износ режущего лезвия отрезных резцов зачастую происходит, как показано в работах Куклина Л.Г. [27], Огаркова Н.Н. [28], Салманова Н.С. [29], Буряка В.Г., Маслова В.П., Михеенко Л.А. [30], из-за низкой прочности режущих пластин и/или недостаточной жесткости инструментальной системы. При формировании канавок и отрезании в работе участвует вся режущая кромка лезвия, что вызывает значительно большие, чем при продольном точении, силы и температуры резания и, следовательно, большие напряжения в лезвии, что приводит к меньшей его усталостной прочности, более интенсивному износу и возрастанию вероятности поломки [31].

Дополнительными факторами, способствующими случайным поломкам и повышенной интенсивности изнашивания, являются: неэффективное закрепление пластины [32, 33], малая площадь поперечного сечения рабочей части резца, малая площадь опорной поверхности пластины, малая жесткость крепления и самой рабочей части. Все это приводит к возникновению вибраций при обработке и последующему разрушению инструмента [34]. В работах Старченко А.А. [35] и Шустикова А.Д. [36], Сахорова Г.Н., Ильиных В.А., Конюхова В.Ю. [37], Коробова Е.Г. [38] показано, что с увеличением точности изготовления державок отрезных резцов и отрезных пластин существенно уменьшается вероятность случайных поломок канавочных и отрезных резцов. Кроме того, характерной причиной отказа отрезных резцов является их поломка вследствие образования «бобышек» около оси вращения детали вследствие неточной установки инструмента относительно нее (несколько выше или ниже оси) [1].

Таким образом, вибрации, возникающие при точении канавочными (отрезными) резцами, из-за недостаточной жесткости рабочей части резца и системы крепления пластины, плохо подобранной геометрической формы пластины, износа инструмента, купирования стружки, малой жесткости и демпфирующей способности технологической системы в целом существенно увеличивают вероятность ее отказов [39, 40, 41].

АНАЛИЗ ПУТЕЙ ПОВЫШЕНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ КАНАВОЧНЫХ (ОТРЕЗНЫХ) РЕЗЦОВ

Анализ показал, что повышение производительности и эффективности точения канавок (отрезания) возможно за счет совершенствования пластин путем оптимизации их геометрии, применения новых инструментальных материалов и покрытий, а также совершенствования

конструкций державок, направленного на повышение их жесткости, точности, демпфирующей способности. Например, повышение производительности обработки за счет улучшения образования и отвода стружки достигнута Хаеом Г.Л., Пинахином А.М., Шишкином П.П. [16], которые подобрали наиболее приемлемые радиусы при вершинах, и Вороновым А.Л. [17], который разработал методику расчета упрочняющей фаски на режущей кромки. Зыкиным А.С. и Амелькиным А.Н. [42] и многими производителями режущего инструмента [3-9] разработаны и внедрены в производство пластины различных форм и с различными стружколамающими канавками. Буряк В.Г., Маслов В.П. и Михеенко Л.А. [30] разработали отрезную пластину, режущая кромка которой разделена на сегменты, с целью уменьшения степени влияния на работоспособность резца нагрузок, возникающих при резании. В [1] предложены пластины с главным углом в плане, не равным 90° .

Для повышения производительности обработки канавочными и отрезными резцами значительное внимание уделяется применению рациональных для заданных условий инструментальных материалов и покрытий на них и улучшению качества поверхностей лезвий, способствующих уменьшению сил трения на рабочих поверхностях лезвия, лучшему отводу стружки из зоны резания, уменьшению интенсивности изнашивания и уровня вибраций. Например, в своих работах Салманов Н.С. [29] и Буряк В.Г., Маслов В.П., Михеенко Л.А. [30] и Левин М.Ю., Лобанов В. М., Гринберг П.Б. [31] показали эффективность применения твердых сплавов повышенной прочности. В работах Майбороды В.С. Ульяненко Н.В. [20], Огаркова Н.Н. [28], Лавренко В.И., Скрябина В.А., Лещука И.В. [21], а также Коробов Ю.М. [32] предложены пластины с покрытиями, рассмотрено их влияние на производительность обработки и разработаны рекомендации по выбору покрытия в зависимости от заданных условий обработки. Куклин Л.Г. [27] в своей работе показал связь качества поверхности пластины с ее прочностью.

Совершенствованию конструктивных характеристик державок с целью снижения уровня вибраций и вероятности отказов также посвящено много работ. Рассматривались проблемы установки и закрепления пластины, жесткости и прочности державки. Шилкин И.М., Черноморц А.Я. [19] в своей работе предложили увеличить жесткость крепления пластины путем напайки на ее опорную поверхность более твердого материала, тем самым уменьшив микродвиги пластины. Сахаров Г.Н, Ильиных В.А. и Конюхов В.Ю. [37] предложили внедрить более стойкие к износу детали державки, что повысило срок службы инструмента в целом. Повышение жесткости и твердости державок было достигнуто Роговым В.А. [22, 23], Батраковым С.Б., Тихомировым Б.К. [24] и Королевым Е.Г. [38] благодаря применению державок, выполненных из двух материалов. Державки выполнялись по схеме твердая оболочка и прочная сердцевина. Это способствовало уменьшению податливости посадочного места при высокой общей прочности державки. Лакура К.В., Годяев В.Н. [34] повышения жесткости инструментальной системы достигли за счет выбора формы сечения рабочей части отрезного резца.

Совершенствование процессов обработки канавок и отрезания может быть выполнено на основании как эмпирических, так и прогнозирующих моделей. Большинство из описанных решений получены на основе эмпирических моделей. В современных условиях прогнозирующее имитационное моделирование, которое можно использовать для оптимизации и конструктивных и геометрических параметров резцов и их лезвий, и элементов их крепления, и условий обработки и др., является более эффективным способом. Так, Вильсон А.Л [18] разработал методику прогнозирования периода времени до затупления режущей

кромки отрезных резцов, которая позволяет вовремя (при достижении заданного критерия) производить замену режущей пластины или инструмента. Посредством имитационного моделирования Фельдштейну Е.Э. [33] удалось определить наилучшее место на пластине, куда должна прикладываться сила зажима. Артамонов Е.В., Помигалова Т.Е., Утешев М.Х. на основе анализа напряженно-деформированного состояния методом конечных элементов предложили новые формы пластин, обеспечивающие их более высокую прочность [46].

ВЫВОДЫ

1. В работе выполнена классификация поверхностей, обрабатываемых канавочными резцами. В зависимости от формы канавки, направления подачи, режима нагружения лезвия, расположения и качества обрабатываемых поверхностей, точности и качества обработанной поверхности, а также соотношения ширины и глубины канавки разделены на три степени сложности. Показано, что наиболее трудоемкими являются канавки третьей степени сложности, для которых характерны большие отношения h/b , ударный режим нагружения лезвия, высокая точность и качество обработанных поверхностей.

2. Анализ современных исследований процессов обработки канавок и отрезания показал, что основными причинами низкой производительности при точении канавок и отрезании являются: усложненные условия образования и отвода стружки; большая вероятность случайной поломки режущей части резцов; повышенный износ режущего лезвия; высокий уровень вибраций.

3. Анализ показал, что повышение производительности процесса точения канавок (отрезания) возможно за счет совершенствования пластин путем оптимизации их геометрии, применения новых инструментальных материалов и покрытий, а также совершенствования конструкций державок, направленного на повышение жесткости, точности, демпфирующей способности как инструмента в целом, так и механизма крепления пластины.

4. Показано, что большинство из описанных решений получены на основе эмпирических моделей и что в современных условиях для оптимизации конструктивных и геометрических параметров резцов, их лезвий и элементов их крепления, а также условий обработки и др., более эффективным способом является прогнозирующее имитационное моделирование.

Учитывая, что наибольшей проблемой процессов обработки канавок являются случайные полоски, из-за усложненных условий отвода стружки дальнейшие исследования будут направлены на исследования процесса образования стружки и поиска эффективных путей эффективного управления этим процессом при точении канавок различных типов. Для решения этой задачи наиболее рациональным методом исследования является имитационное моделирование методом конечных элементов, например, с использованием модели [43].

SUMMARY

TO THE QUESTION ON INCREASE OF PRODUCTIVITY OF PROCESSING BY GROOVE AND DETACHABLE CUTTERS

*V.A. Zaloga, D.V. Krivoruchko, D.A. Minenko, N.P. Kutovoy,
Sumy State University, Sumy*

Cause analysis of low productivity of cutting-off and grooving operations was represented in this paper. The investigation of grooves and its classification from their turning productivity point of view was performed. The general causes of low productivity of cutting-off and grooving operations was collected and shown from literature review. The general ways of the operation improvement were reviewed.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Высокопроизводительная обработка металлов резанием / под ред. Д.В. Виноградова. – М.: Полиграфия, 2003. -301 с.
2. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя / В.И. Анурьев; под ред. И.Н. Жестковой. – 8-е. изд., перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 2001. -Т. 1. - 920с.
3. Токарный инструмент, вращающийся инструмент, инструментальные системы: Общий каталог – [MITSUBISHI 2006-2007].
4. Сменные пластины и инструмент: каталог – [SANDVIC coromant 2000] - 172 с.
5. ISKAR UP GRADE: каталог – [Metric Version 2006 – Russian] - 176 с.
6. KENNAMETAL UNIVERSAL: Katalog 5090 – [D ZOLL & METRISCH 2005].
7. METALWORKING CUTTING TOOLS Shop version: Katalog – [TaeguTec 2008].
8. Металлорежущий инструмент: каталог – [KORLOY E-2 2004].
9. SECO TOOLS AB, 732 82: каталог – [Fagersta, Sweden 2005].
10. Хает Г.Л. Сборный твердосплавный инструмент / Г.Л. Хает, В.М. Гах, Е.Г. Громаков и др.; под общ. ред. Г.Л. Хает. – М.: Машиностроение, 1989. -256 с.
11. Хает Г.Л. Высокопроизводительная отрезка стали резами, оснащенными пластинами твердого сплава / Г.Л. Хает. – Краматорск: ЦНИИТМАШ, 1958. - 3 с.
12. Акимов А.В. Современные конструкции режущего инструмента / А.В. Акимов., С.С. Тамбовцев. – М.: ЦБТИ, 1955. - 62 с.
13. Лоладзе Т.Н. Износ режущего инструмента / Т.Н. Лоладзе. - М.: Машгиз, 1958. - 356 с.
14. Акимов А.В. Инструмент с многогранными неперетачиваемыми твердыми пластинами / А.В. Акимов, К.Г. Громаков, И.Л. Фадюшин и др.; под ред., И.Г. Баранова. – М.: ВНИИ, 1966.
15. Куклина Л.Г. Повышение прочности и износостойкости твердосплавного инструмента / Л.Г. Куклина, В.И. Сагалова, В.Б. Серебровского, С.П. Шабанова; под ред. С.П. Шабанова. - М.: Машиностроение, 1968. - 140с.
16. Хает Г.Л. Повышение работоспособности твердосплавных резцов / Г.Л. Хает, А.М. Пинахин, П.П. Шишкин // Станки и инструмент. - 1968. - №9. - С. 24-36.
17. Воронов А.Л. Качество поверхностей, обработанных резами с виброгасящими фасками /А.Л. Воронов // Технология машиностроения. - 1956. - №6. - С. 30-33.
18. Вильсон А.Л. Выбор инструмента и режима резания, обеспечивающего минимальные вибрации при обработке/А.Л. Вильсон// Станки и инструмент.-1987. - №4. - С.28-30.
19. Шилкин И.М. Повышение прочности резцов с многогранными пластинами / И.М. Шилкин, А.Я. Черноморец // Станки и инструмент. – 1977. - № 1. - С. 23-24.
20. Майборода В.С. Кинетика формирования микропрофиля поверхности твердосплавного режущего инструмента при магнитоабразивной обработке/ В.С. Майборода, Н.В. Ульяненко // Вісник СумДУ. Серія Технічні науки. – 2003. - № 2. - С. 104-111.
21. Лавренко В.И. Процессы шлифования и алмазный инструмент для обработки многогранных пластин / В.И. Лавренко, В.А. Скрябин, И.В. Лещук // Мир техники и технологий. – 2008. - №7. - С. 40-41.
22. Рогов В.А. Резцы с державками из новых конструкционных материалов / В.А. Рогов // Станки и инструмент. – 1996. - №5. - С. 20-23.
23. Рогов В.А. Токарные резцы скомбинированными державками / В.А. Рогов // Станки и инструмент. – 1994. -№5. - С. 13-15.
24. Батраков С.Б. Сборные токарные резцы с вибродемпфирующей державкой / С.Б. Батраков, Б.К. Тихомиров // Станки и инструмент. – 1990. - №12. - С. 28-30.
25. Каширин А. И. Исследование вибраций при резании металлов / А. И. Каширин. - Л.: Академии наук СССР, 1944. -132 с.
26. Heisel U. Thermomechanische Wechselwirkungen beim Zerspanen / U. Heisel, D.V. Kryvoruchko, V.A. Zaloha, M. Storchak, T. Stehle // ZWF. – 2009. - N. 4. - S.263-272.
27. Куклин Л.Г. Влияние качества поверхности твердого сплава на его усталостную прочность / Л.Г. Куклин // Станки и инструмент. – 1968. - №3. - С. 28-30.
28. Огарков Н.Н. Износ твердосплавных пластин с покрытиями при обработке чугунных прокатных валов / Н.Н. Огарков // Станки и инструмент. – 1984. - №3. - С. 33-33.
29. Салманов Н.С. Упрочнение твердосплавного инструмента / Н.С. Салманов // Станки и инструмент. – 1997. -№6. - С. 28-31.
30. Буряк В.Г. Статистический метод оценки режущих свойств инструмента / В.Г. Буряк, В.П. Маслов, Л.А. Михеенко // Станки и инструмент. – 1990. – №7. - С. 22-23.
31. Левин М.Ю. Прочность твердосплавных пластин для черновой обработки жаропрочных сплавов / М.Ю. Левин, В.М. Лобанов, П.Б. Гринберг // Станки и инструмент. – 1990. – №12. - С. 30-31.
32. Коробов Ю.М. Концентрированный износ резцов и его связь с термоэлектрическими явлениями / Ю.М. Коробов // Станки и инструмент. – 1969. -№7. - С. 21-22.
33. Фельдштейн Е.Э. Прогнозирование работоспособности сменных многогранных пластин режущих инструментов / Е.Э. Фельдштейн // Станки и инструмент. – 1998. -№10. - С. 14-19.
34. Чалый-Прилуцкий А.Н. Выбор и применение режущего инструмента. / А.Н. Чалый-Прилуцкий, В.И. Денисенко, З.Н. Пучкова, Б.И. Ерофеев; под ред. А.Н. Чалого-Прилуцкого. – Владимир:Ротапринт, 1973. - 143 с.
35. Старченко А.А. Повышение эффективности работы сборного режущего инструмента с использованием компьютерного моделирования / А.А. Старченко // Мир техники и технологий. – 2008. - №12. - С. 40-42.

36. Шустиков А.Д. Влияние точности базовых поверхностей узла крепления режущей пластины на качество сборных резцов / А.Д. Шустиков, В.В. Соловьев // Станки и инструмент. – 1987. – №12. - С. 18-19.
37. Сахоров Г.Н. Совершенствование элементов крепления в сборном режущем инструменте / Г.Н. Сахоров, В.А. Ильиных, В.Ю. Конохов // Станки и инструмент. – 1990. – №11. - С. 22-26.
38. Королев Е.Г. Выбор параметров вспомогательного инструмента по необходимой точности закрепления режущего инструмента / Е.Г. Королев // Станки и инструмент. – 1992. – №8. - С. 23-27.
39. Жарков И.Г. Вибрации при обработке лезвийным инструментом / И.Г. Жарков. - Л.: Машиностроение, 1986. -184 с.
40. Эльясберг М.Е. Автоколебания металлорежущих станков / М.Е. Эльясберг // Теория и практика. – СПб.: ОЖБС, 1993. - 180 с.
41. Абрамов Ю.А. Справочник технолога машиностроителя: справочник / Ю.А. Абрамов, В.Н. Андреев, Э.Г. Горбунов, К.Г. Громаков и др.]; под ред., А.Г. Косилова, Р.К. Мецерыкова. - М.: Машиностроение, 1985. - Т. 2. - 496 с.
42. Зыкин А.С. Отрезной резец для резки слитков титановых сплавов / А.С. Зыкин, А.И. Амелкин // Станки и инструмент. – 1968. – №12. - С. 35-36.
43. Залого В.А. Имитационная модель прямоугольного свободного резания / В.А. Залого, Д.В. Криворучко, С.Н. Хвостик // Вісник СумДУ. Серія Технічні науки. - 2005. - № 11. - С. 113- 122.
44. Кедров С.С. Колебания металлорежущих станков / С.С. Кедров. - М.: Машиностроение, 1978. - 198 с.
45. Кудинов В.А. Динамика станков / В.А. Кудинов. - М.: Машиностроение, 1967. - 367 с.
46. Артамонов Е.В. Исследование напряжений, деформаций и прочности сменных режущих пластин методом конечных элементов / Е.В. Артамонов, Т.Е. Помигалова, М.Х. Утешев. - Тюмень: ТГНУ, 2002. - 140 с.

Поступила в редакцию 21 октября 2009 г.