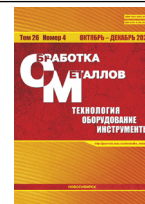




Обработка металлов (технология • оборудование • инструменты)

Сайт журнала: http://journals.nstu.ru/obrabotka_metallov



Систематика многоинструментных наладок на станках токарной группы

Низами Юсубов^{а, *}, Хейран Аббасова^б

Азербайджанский технический университет, пр. Гусейн Джавида, 25, г. Баку, AZ 1073, Азербайджан

^а  <https://orcid.org/0000-0002-6009-9909>,  nizami.yusubov@aztu.edu.az; ^б  <https://orcid.org/0000-0002-0407-5275>,  abbasova.heyran@aztu.edu.az

ИНФОРМАЦИЯ О СТАТЬЕ

УДК 62-113.2

История статьи:

Поступила: 17 июля 2024

Рецензирование: 19 августа 2024

Принята к печати: 17 сентября 2024

Доступно онлайн: 15 декабря 2024

Ключевые слова:

Систематика многоинструментных наладок

Станки токарной группы

Классификационная формула наладки

Параллельная многоинструментная обработка

Односуппортные двухкоординатные наладки

Двухсуппортные двухкоординатные наладки

Финансирование

Данная работа выполнена при финансовой поддержке Фонда Науки Азербайджана – Грант № AEF-MGC-2024-2(50)-16/01/1-M-01.

АННОТАЦИЯ

Введение. Анализ заводских токарно-автоматных операций позволил выявить значительное разнообразие многоинструментных наладок и определить их область применения. Для того чтобы разработать матричную теорию точности многоинструментной обработки и создать единый алгоритмический подход к моделированию погрешностей для всех возможных пространственных многоинструментных наладок, необходимо учитывать податливость технологической системы во всех координатных направлениях. В связи с этим требуется систематизировать большое количество существующих многоинструментных наладок и провести их классификацию, чтобы структурировать информацию и улучшить понимание их применения. **Цель работы:** разработать классификацию многоинструментных наладок на многосуппортных и многоспindelных токарных станках с ЧПУ, делающую возможным создание как матричной модели точности обработки для каждого класса классификации, так и единой обобщенной матричной модели точности обработки для всего класса классификации. **В работе исследованы** систематика многоинструментных наладок, ориентированная на разработку матричных моделей точности обработки. Поэтому рассматриваемая в работе классификация направлена на выявление особенностей силового нагружения и деформирования технологической системы при многоинструментной обработке. **Методами исследования** являются выявление параметров, по которым проводится классификация, и иерархия этих параметров, определяющая уровни и порядок систематики. Опираясь на принципы систематики многоинструментных наладок, используемых в традиционных токарных автоматах, проведен анализ их адаптации к возможностям современных токарных станков, предназначенных для многоинструментной обработки. **Результаты и обсуждение.** В результате исследования была разработана формализованная шестиступенчатая классификация многоинструментных наладок, которая включает следующие аспекты: способ установки заготовки, набор суппортов, типаж режущих инструментов, виды и направления подач суппортов, ориентация режущих инструментов относительно заготовки и способ включения инструментов в работу (параллельно, последовательно). Эта классификация учитывает технологические возможности по организации многоинструментной обработки для современных токарных станков с ЧПУ. К основным классам предлагаемой систематики многоинструментных наладок в настоящей работе относятся односуппортные однокоординатные наладки, односуппортные двухкоординатные наладки, двухсуппортные однокоординатные наладки, двухсуппортные двухкоординатные наладки и многосуппортные наладки. Предлагаемая систематика многоинструментных наладок на станках токарной группы ориентирована на разработку моделей точности обработки и может быть взята за основу при разработке рекомендаций по режимам резания для этих станков с ЧПУ. Предложенная классификация многоинструментных наладок составляет основу методического обеспечения САПР токарно-автоматных операций и является базой для создания САПР токарных операций нового поколения.

Для цитирования: Юсубов Н.Д., Аббасова Х.М. Систематика многоинструментных наладок на станках токарной группы // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2024. – Т. 26, № 4. – С. 92–111. – DOI: 10.17212/1994-6309-2024-26.4-92-111.

Введение

Многоинструментная обработка является одним из наиболее эффективных средств повышения производительности станочных операций

*Адрес для переписки

Юсубов Низами Дамир, д.т.н., профессор
Азербайджанский технический университет,
пр. Гусейн Джавида, 25,
AZ 1073, г. Баку, Азербайджан
Тел.: +994 (55) 324 50 12, e-mail: nizami.yusubov@aztu.edu.az

в машиностроении [1–10]. Следует отметить, что функции металлорежущих станков постоянно расширяются, чтобы удовлетворить требованиям по высокой производительности и точности при обработке сложных и труднообрабатываемых деталей на одном станке [1–6, 11–20]. Например, в статье [2] представлен полный обзор многофункциональных станков, используемых для обработки металлов резанием, их кинематических конфигураций, технологий управления

и программирования. В статье [8] рассмотрена проблема оптимизации режимов резания на многопозиционных станках и автоматических линиях, оснащенных многошпиндельными головками. В работе [14] токарная обработка проводилась на токарном станке с двумя режущими инструментами, установленными на суппорте, один спереди, другой сзади. В ряде исследований [21–34] решены конкретные вопросы, относящиеся к проблемам проектирования многоинструментной обработки или оптимизации технологического процесса. В [30] критически оценивался потенциал применения нескольких методов моделирования и оптимизации в процессах обработки металлов, классифицированных по нескольким критериям. Однако во всех этих работах не была исследована необходимость упорядочения множества многоинструментных наладок и введение системы при их рассмотрении, т. е. проведение классификации многоинструментных наладок и создания единой алгоритмической модели погрешностей обработки для всего множества пространственных многоинструментных наладок при учете податливости технологической системы по всем координатным направлениям.

Составляющая погрешности обработки, возникающая вследствие упругих перемещений элементов технологической системы под воздействием сил резания, которую часто называют деформационной составляющей, является наиболее управляемой в процессе обработки и на стадии проектирования. Варьируя режимы резания, геометрию режущего инструмента, исходную погрешность (на промежуточной стадии обработки), а также изменяя материал режущей части, можно существенно влиять на величину погрешности обработки [4, 9, 13, 15, 16, 25, 26, 33]. Поэтому математическая модель деформационной составляющей погрешности обработки составляет основу расчетной матричной теории точности обработки [13, 14, 15, 25, 26, 33, 35, 37].

Попытки систематизации многоинструментных наладок имеются в работах Кошина А.А. [35, 36]. Им введены четыре основных уровня классификации наладок и один дополнительный. Основные классификационные показатели: вид суппорта, вид режущего инструмента, его ориентация (прижимает или отжимает заготовку от суппорта) и способ установки заготовки.

Дополнительный показатель – вид дополнительного устройства, установленного на основном суппорте. В то же время нет возможности описания целого ряда признаков, характерных для многоинструментной обработки на современных станках с числовым программным управлением (ЧПУ).

Формализованная систематика многоинструментных наладок составляет основу методического обеспечения системы автоматизированного проектирования (САПР) токарно-автоматных операций [37]. Современные станки-автоматы, ориентированные на многоинструментную обработку и оснащенные системой ЧПУ, имеют гораздо более богатые технологические возможности по организации многоинструментной обработки. Поэтому требуется новая, более многофакторная и отражающая эти новые возможности систематика многоинструментных наладок.

Целью работы являлась разработка классификации многоинструментных наладок на многосуппортных и многошпиндельных токарных станках с ЧПУ, делающая возможным создание как матричной модели точности обработки для каждого класса классификации, так и единой обобщенной матричной модели точности обработки для всего класса классификации.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи.

1. Выявлены принципы классификации многоинструментных наладок.
2. Определены основные классы предлагаемой систематики многоинструментных наладок.

Методика исследований

Принципы классификации многоинструментных наладок

Основу систематики составляет комплекс классификационных показателей. Взяв за основу принципы систематики многоинструментных наладок на традиционных токарных автоматах [37], рассмотрим трансформацию показателей к возможностям современных станков токарной группы, ориентированных на многоинструментную обработку.

Ключевым вопросом систематики является выявление параметров, по которым проводится классификация, и иерархия этих параметров,

определяющая уровни и порядок систематики. Предлагаемая систематика многоинструментных наладок ориентирована на разработку моделей точности обработки. Основная особенность многоинструментной обработки – это силовое взаимовлияние инструментов наладки [31, 32]. Поэтому классификация направлена на выявление особенностей силового нагружения и деформирования технологической системы при многоинструментной обработке.

Основу схемы деформирования технологической системы при силовом нагружении в процессе обработки составляет способ закрепления заготовки. Именно он является общим, единым показателем для многоинструментной наладки. Способ установки во многом предопределяет возможные виды инструментов и схемы их размещения в наладке. Поэтому логично этот показатель поставить на первый уровень классификации многоинструментных наладок [31, 32].

Далее нужно описать виды режущих инструментов в наладке и их размещение относительно заготовки и друг друга, т. е. описать собственно структуру наладки. Основой структуры многоинструментной наладки является набор суппортов, на которых размещаются инструменты. Поэтому на втором уровне классификации должно быть описание суппортов, участвующих в наладке.

Третий уровень – это описание собственно режущих инструментов, формирующих наладку.

Введенные три фактора описывают типаж режущих инструментов и их расположение. Однако силовое воздействие инструментов на заготовку определяется силами резания, значения которых и направление действия определяются еще одним фактором – направлением подачи. Движение подачи относится к суппорту, поэтому целесообразно этот фактор приписать как дополнительный к описанию суппорта.

В многоинструментных наладках нередки случаи, когда режущий инструмент с помощью специальных державок разворачивается относительно базовых поверхностей суппорта. Поэтому вводим также показатель ориентации инструмента относительно базы суппорта или заготовки.

Классификация многоинструментных наладок на традиционных токарных автоматах охватывает наладки, где инструменты работают од-

новременно. Однако современные станки с ЧПУ, оснащенные инструментальным магазином, позволяют организовать многоинструментную обработку с последовательным использованием инструментов. Имея единую технологическую базу и работая от общей управляющей программы, эти наладки подчиняются закономерностям многоинструментной обработки в традиционном понимании этого термина. Более того, модели точности обработки позволяют учесть технологическую наследственность и выйти на проектирование многопереходной обработки. Поэтому предлагается расширить понятие многоинструментной наладки, включив сюда наладки как с одновременной работой инструментов, так и с последовательной.

Таким образом, получаем 6 уровней классификации многоинструментных наладок: способ установки заготовки, набор суппортов, типаж режущих инструментов, виды и направления подач суппортов, ориентация режущих инструментов относительно заготовки, способ включения инструментов в работу (параллельно, последовательно).

Обобщая принципы классификации многоинструментных наладок с учетом условий современных токарных станков с ЧПУ, можно разработать соответствующую классификационную формулу:

$$H \equiv Yk_y \bigcup_i \times \times \left\{ \bigcap_j \left[C_{ij} k_c(e_c) S_{ij} k_s(e_s) \left[\bigcap_k u_{ijk} k_u(e_u) \right] \right] \right\}, \quad (1)$$

где введены следующие обозначения: Y – признак способа установки; k_y – код способа установки; C_{ij} – признак суппорта; k_c – код вида суппорта; e_c – расположение суппорта; S_{ij} – признак подачи суппорта; k_s – код вида подачи суппорта; e_s – направление подачи суппорта; u_{ijk} – признак режущего инструмента; k_u – код режущего инструмента; e_u – ориентация режущего инструмента; k – номер режущего инструмента на данном суппорте; j – номер суппорта на данной рабочей позиции; i – номер рабочей позиции; $\bigcap_k$ – признак параллельной (одновременной) работы инструментов, описанных в квадратных скобках после этого знака; $\bigcap_j$ – признак параллельной (одновременной) работы суппортов, описанных в квадратных скобках после этого

знака; U_i – признак последовательной отработки всех рабочих позиций.

Для традиционных многошпиндельных токарных автоматов понятие рабочей позиции совпадает с общепринятым. Применительно к современным многоинструментным станкам с ЧПУ понятие рабочей позиции целесообразно расширить. Двухсуппортные станки с ЧПУ, оснащенные инструментальным магазином, позволяют организовать ряд последовательно сменяющих друг друга элементарных наладок с одновременной работой нескольких инструментов.

Таким образом, на современном станке с ЧПУ может быть организовано последовательное выполнение набора многоинструментных наладок, понимаемых в традиционном смысле. Поскольку аппарат расчетной теории точности многоинструментной обработки [31, 32] позволяет вести анализ и такой последовательности многоинструментных наладок, то имеет смысл ввести в рассмотрение обобщенную многоинструментную наладку, которая включает в себя

распределенную по времени последовательность традиционных многоинструментных наладок с одновременной работой нескольких инструментов. Каждый этап работы такой обобщенной наладки, относящийся к отдельному набору одновременно работающих инструментов, предлагается назвать позицией обобщенной многоинструментной наладки. Такое последовательное включение традиционных многоинструментных наладок отражено в классификационной формуле (1) оператором U с индексом i .

Наполнение классификационной формулы (1) обеспечивается системой кодификаторов. Кодификатор способов установки может быть взят из работ [35, 36], поскольку установки на станках с ЧПУ те же, что и на традиционных токарных станках – автоматах с кулачковым управлением, для которых разрабатывалась упомянутая классификация (табл. 1).

Кодификатор вида суппорта должен быть расширен для учета возможностей современных станков с ЧПУ (табл. 2)

Таблица 1

Table 1

Кодификатор способов установки заготовки
Codifier of workpiece mounting methods

№ / No.	Способ установки / Mounting method	Код k_y / Code k_y
1	В патроне, консольно	0
2	В цанге, консольно	1
3	В центрах	2
4	В патроне с задним центром	3
5	В центрах с люнетом	4

Таблица 2

Table 2

Кодификатор вида суппорта
Carriage type codifier

№ / No.	Вид суппорта / Carriage type	Код k_c / Code k_c
1	Продольный	0
2	Поперечный	1
3	Верхний	2
4	Нижний	3
5	Задний	4
6	Поворотный	5
7	Крестовый	6
8	Револьверный	7

Кодификатор режущего инструмента формируется из перечня инструмента, применяемого на всей группе токарных станков-автоматов, как традиционных (с кулачковым управлением), так и современных (с ЧПУ и инструментальными магазинами) [38].

Кодификатор вида подач для современных станков-автоматов токарной группы имеет гораздо более сложную структуру и не укладывается в рамки простой кодировочной таблицы. Во-первых, по своему характеру подачи могут быть постоянными на всем переходе (параметрическое управление) и переменными (функциональное управление). Переменные подачи задаются, как правило, в виде функции от траектории инструмента. Во-вторых, на схему распределения сил резания решающее влияние оказывает направление подачи.

В основном подачи подразделяют на продольные (вдоль оси заготовки) и поперечные (по нормали к оси заготовки). Это и было учтено в прежней систематике [35, 36] путем введения подач S_1 (продольная) и S_2 (поперечная). Однако на современных станках номенклатура подач гораздо шире. Имеются поворотные суппорты, где подача осуществляется вдоль направления, различным образом ориентированного относительно заготовки. Например, поворотный суппорт на вертикальных многошпиндельных полуавтоматах. При обработке конусных поверхностей суппорт разворачивается вдоль направляющей и осуществляет подачу в этом направлении. Такой

случай можно описать как подачу в направлении заданного вектора e_s .

Однако обработка конусной поверхности может осуществляться и другим образом – сложением двух координатных подач (продольной и поперечной). Такая схема работает на большинстве станков с ЧПУ. В итоге для описания характера подачи предлагается использовать код подачи k_s , причем специальным образом обозначать только функциональную подачу: $k_s = v$. Если подача носит параметрический характер, то код вида подачи в формуле (1) опускается.

Направление подачи задается вектором направления e_s . Предлагается для удобства чтения классификационной формулы (1) ввести специальные обозначения для ряда частных случаев (типовых) вектора e_s (табл. 3). Следует отметить, что согласно стандартам ИСО 841–74 и ГОСТ 23597–79 информацию об осях X , Y , Z , приведенную в табл. 3–11, для станков с ЧПУ следует принимать как $X \Rightarrow Z$, $Y \Rightarrow X$, $Z \Rightarrow Y$. Дело в том, что на станках с ЧПУ ось Z проходит вдоль оси шпинделя, а поперечное перемещение инструмента осуществляется по оси X . Соответствующим образом и обозначаются подачи.

Если подача формируется сложением координатных подач, то логично ее описать через операцию совмещения этих подач. Так, обработка конуса сложением продольной и поперечной подач опишется как $S(x) \cap S(y)$.

В качестве вектора e_s , характеризующего расположение суппорта, можно принять ради-

Таблица 3

Table 3

Специальные типовые обозначения вектора направления подачи
Special type designations of feed direction vector

№ / No.	Направление подачи и способ ее организации / Direction of feed and method of its organization	Задание вектора e_s / Assignment of the vector e_s
1	Подача вдоль оси X (продольная)	x
2	Подача вдоль оси Y (поперечная)	y
3	Подача вдоль оси Z (тангенциальная)	z
4	Подача в плоскости XY , перпендикулярно оси Z (разворот суппорта)	nz
5	Подача в плоскости XZ , перпендикулярно оси Y (разворот суппорта)	ny
6	Подача в плоскости YZ , перпендикулярно оси X (разворот суппорта)	nx
7	Подача в направлении, заданном вектором в пространстве XYZ	e_s

ус-вектор точки рабочей поверхности суппорта. Здесь также имеет смысл ввести ряд специальных типовых обозначений этого вектора (табл. 4).

При организации многоинструментных наладок нередки случаи, когда при установке на одном суппорте нескольких инструментов отдельные инструменты за счет применения специальных державок разворачивают относительно остальных инструментов. Например, ставят два проходных резца, развернутых друг относительно друга на 180° .

Для описания такой ситуации в формуле (1) введен вектор ориентации режущего инструмента e_u . Здесь вектор e_u характеризует направление оси режущего инструмента. По аналогии с векторами направления подачи e_s и расположения суппорта e_c в этом случае также можно ввести специальные обозначения для распространенных типовых ситуаций (табл. 5).

Поскольку разворот режущего инструмента относительно суппорта применяется нечасто, то предлагается ориентацию инструмента описывать только в случаях, когда имеет место этот

разворот. Если ориентация инструмента совпадает с ориентацией рабочих поверхностей суппорта, то элемент классификационной формулы (1), описывающий ориентацию инструмента, опускается.

Основная цель разработки моделей точности обработки в многоинструментных наладках состоит в создании эффективных алгоритмов управления процессом проектирования этих наладок и назначения режимов резания, обеспечивающих требуемую точность выполнения всех заданных размеров. Структура алгоритмов управления во многом определяется видом и количеством параметров управления. Поскольку частота вращения шпинделя при работе многоинструментной наладки одина для всех инструментов наладки, то скорость резания непосредственным фактором управления не является. Ее можно лишь учитывать для каждого инструмента. Прямым фактором управления является подача инструмента – конечно, при учете одновременности работы всех инструментов наладки.

Таблица 4

Table 4

Специальные типовые обозначения вектора расположения суппорта

Special type designations of the carriage location vector

№ / No.	Расположение суппорта / Carriage location	Пример суппорта / Carriage example	Задание вектора e_c / Assignment of the vector e_c
1	Суппорт на оси X	Револьверный	x
2	Суппорт на оси Y	Продольный на ТРА и ТМГА	y
3	Суппорт на оси Z	Вертикальный на ТРА	z
4	Суппорт на оси $-Y$	Задний на ТРА, суппорт, расположенный в верхней части двухсуппортного станка с ЧПУ	$-y$
5	Суппорт, расположенный в плоскости XY , перпендикулярный оси Z	Суппорт с функцией поворота на ТМВПА	nz
6	Суппорт, расположенный в плоскости XZ , перпендикулярный оси Y	Шпиндель с инструментами на станке с ЧПУ	ny
7	Суппорт, расположенный в плоскости YZ , перпендикулярно оси X	Поперечный суппорт на ТМГА, шпиндель с инструментами на станке с ЧПУ	nx
8	Суппорт, ориентированный в направлении, заданном вектором в пространстве XYZ	Шпиндель с инструментами на станке с ЧПУ	e_c

Таблица 5

Table 5

Специальные типовые обозначения вектора ориентации режущего инструмента
Special type designations for the orientation vector of the cutting tool

№ / No	Ориентация режущего инструмента / Orientation of the cutting tool	Задание вектора e_s / Assignment of the vector e_s
1	Вдоль оси X	x
2	Вдоль оси Y	y
3	Вдоль оси Z	z
4	В плоскости XY , перпендикулярно оси Z	nz
5	В плоскости XZ , перпендикулярно оси Y	ny
6	В плоскости YZ , перпендикулярно оси X	nx
7	В произвольном направлении в пространстве XYZ	e_u
8	Направление главной составляющей силы резания от режущего инструмента	В сторону увеличения +; в сторону уменьшения –

На станках токарной группы подача задается для суппорта в целом. Поэтому количество суппортов, используемых в наладке, уже предопределяет количество задаваемых подач, т. е. количество факторов управления. Вследствие этого целесообразно выделить три основных класса многоинструментных наладок: односуппортные, двухсуппортные и многосуппортные.

Как следует из классификационной формулы (1), на станках токарной группы, особенно современных станках с ЧПУ, по способу реализации подачи подразделяются на однокоординатные и двухкоординатные. Однокоординатные – это когда направление подачи совпадает с одной из координатных осей обрабатываемой заготовки. Двухкоординатная подача формируется сложением двух подач, каждая из которых осуществляется по своей координате. В этом случае, в отличие от первого, имеем два фактора управления – две координатные подачи.

Ниже рассмотрены основные классы предлагаемой систематики многоинструментных наладок.

Результаты и их обсуждение

Для создания матричной теории точности многоинструментной обработки было упорядочено множество многоинструментных наладок и проведена их классификация. В результате была разработана формализованная шестиуровневая классификация, включающая следующие

параметры: способ установки заготовки, набор суппортов, типы режущих инструментов, виды и направления подач суппортов, ориентация инструментов относительно заготовки и метод их активации (параллельно или последовательно). Эта классификация учитывает технологические возможности по организации многоинструментной обработки для современных токарных станков с ЧПУ. Основными классами разработанной систематики многоинструментных наладок являются односуппортные однокоординатные наладки, односуппортные двухкоординатные наладки, двухсуппортные однокоординатные наладки, двухсуппортные двухкоординатные наладки и многосуппортные наладки.

Разработанная классификация многоинструментных наладок на многосуппортных и многошпиндельных токарных станках с ЧПУ позволяет для каждого класса создать свою матричную модель точности, которая, несомненно, будет структурно проще, а также создать единую обобщенную модель. Поэтому рассматриваемая в работе классификация направлена на выявление особенностей силового нагружения и деформирования технологической системы при многоинструментной обработке.

Разработанная систематика многоинструментных наладок на станках токарной группы ориентирована на разработку моделей точности обработки и может быть взята за основу при разработке рекомендаций по режимам резания для этих станков с ЧПУ. С помощью такого подхода

можно системно решить задачу повышения эффективности при проектировании и разработке рекомендаций по режимам резания для станков с ЧПУ. Поскольку многоинструментная обработка включает в себя множество факторов, то ее проектирование неизбежно требует использования компьютерных технологий. Поэтому предложенная классификация многоинструментных наладок может служить основой для разработки методического обеспечения САПР токарных операций нового поколения.

На основе предложенной классификации в будущем предполагается создание комплекса матричных моделей точности для односуппортных и двухсуппортных многоинструментных наладок.

Основные классы предлагаемой систематики многоинструментных наладок

Односуппортные однокоординатные наладки. Односуппортные однокоординатные многоинструментные наладки на основе одного суппорта применяются на различных типах токарных станков с кулачковым управлением.

К ним относятся токарно-револьверные автоматы, токарные многошпиндельные горизонтальные автоматы и полуавтоматы, токарные многошпиндельные вертикальные полуавтоматы, а также автоматы для продольного фасонного точения и фасонно-отрезные автоматы. Такие наладки также используются на станках с ЧПУ. Они могут быть реализованы на суппортах любого типа – продольных, револьверных или поперечных. На токарно-револьверных станках поперечными суппортами считаются как верхний, так и задний.

Главной особенностью этого класса многоинструментных наладок является расположение всех инструментов наладки на одном суппорте и наличие только одного параметра управления – какой-либо координатной подачи.

В табл. 6 приведены примеры типичных наладок этого класса. Типовые наладки в них обозначены в соответствии с предложенной системой (1).

Для удобства работы в качестве приложения к каждому классификатору разработаны иллюстрированные определители наладок (табл. 7).

Таблица 6

Table 6

Элементы классификатора базовых многоинструментных односуппортных наладок для продольного суппорта

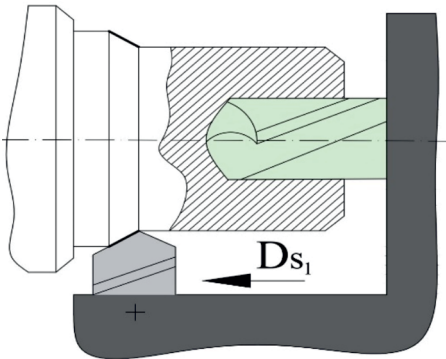
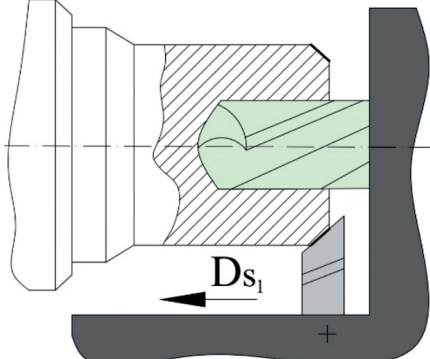
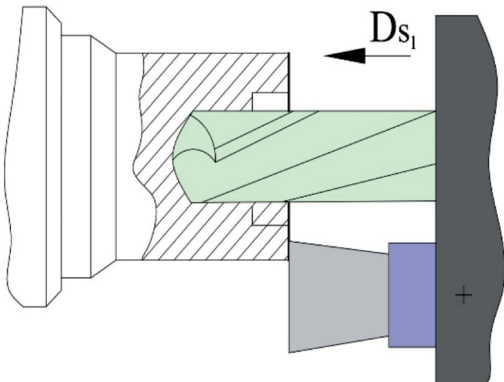
Elements of the classifier of basic multi-tool single-carriage setups for a longitudinal carriage

Инструмент		Резец для проходного точения	Резец для заточки фасок
		1	2
Обозначение наладок			
Резец для проходного точения	1	$Y0C0(y)S(x)[u_1 1(y) \cap u_2 1(y)]$ $Y0C0(y)S(x)[u_1 1(y) \cap u_2 1(-y)]$	
Резец для заточки фасок	2	$Y0C0(y)S(x)[u_1 2(y) \cap u_2 1(y)]$ $Y0C0(y)S(x)[u_1 2(y) \cap u_2 1(-y)]$	$Y0C0(y)S(x)[u_1 2(y) \cap u_2 2(y)]$ $Y0C0(y)S(x)[u_1 2(x) \cap u_2 2(x(-y))]$
...	...	...	...
Резец фасонный (резец для точения фасонных поверхностей)	5	$Y0C0(y)S(x)[u_1 5(x) \cap u_2 1(y)]$ $Y0C0(y)S(x)[u_1 5(x) \cap u_2 1(-y)]$	$Y0C0(y)S(x)[u_1 5(x) \cap u_2 2(y)]$ $Y0C0(y)S(x)[u_1 5(x) \cap u_2 2(x(-y))]$
...	...	...	...
Сверло	12	$Y0C0(y)S(x)[u_1 12(x) \cap u_2 1(y)]$ $Y0C0(y)S(x)[u_1 12(x) \cap u_2 1(-y)]$	$Y0C0(y)S(x)[u_1 12(x) \cap u_2 2(y)]$ $Y0C0(y)S(x)[u_1 12(x) \cap u_2 2(x(-y))]$
...	...	...	...

Фрагменты иллюстрированного определителя. Элементарные многоинструментные наладки на продольном суппорте (деталь установлена в патроне)

Fragments of the illustrated determinant. Elementary multi-tool setups on a longitudinal carriage (the part is mounted in the chuck)

Проходной резец	
$Y0C0(y)S(x)[u_1 4(x) \cap u_2 1(y)]$	$Y0C0(y)S(x)[u_1 4(x(-y)) \cap u_2 1(y)]$
Фасочный резец	
$Y0C0(y)S(x)[u_1 4(x) \cap u_2 2(y)]$	$Y0C0(y)S(x)[u_1 4(x(-y)) \cap u_2 2(y)]$
Широкий резец	
$Y0C0(y)S(x)[u_1 4(x) \cap u_2 4(y)]$	$Y0C0(y)S(x)[u_1 4(x) \cap u_2 4(x(-y))]$

Сверло	
$Y0C0(y)S(x)[u_112(x) \cap u_21(y)]$	$Y0C0(y)S(x)[u_112(x) \cap u_22(y)]$
	
$Y0C0(y)S(x)[u_112(x) \cap u_24(y)]$	
	

Примечание: красным цветом выделены рекомендуемые наладки, черным – возможные, но не рекомендуемые.

Односуппортные двухкоординатные наладки. Наладки такого типа используются на токарных станках с ЧПУ для обработки конусных и фасонных поверхностей. В этих наладках контурная подача формируется путем суммирования координатных подач – продольной (по оси X) и поперечной (по оси Y). При обработке конусных поверхностей подача остается постоянной на протяжении всего цикла обработки, т. е. управление осуществляется параметрически.

При обработке фасонных поверхностей координатные подачи согласованно изменяются в соответствии с изменением обрабатываемого фасонного контура, т. е. управление функциональное.

Эти различия существенны при разработке алгоритмов управления. Для модели точности существенно, что они имеют два фактора управления.

В табл. 8 приведены примеры применяемых наладок этого класса.

Двухсуппортные однокоординатные наладки. Многоинструментные наладки данного типа используются на двухсуппортных и многосуппортных токарных станках. В первую очередь это касается традиционных токарных автоматов и полуавтоматов с кулачковым управлением, таких как токарно-револьверные автоматы, многошпиндельные горизонтальные токарные автоматы и полуавтоматы, многошпиндельные вертикальные токарные полуавтоматы, а также автоматы для продольного точения фасонных поверхностей и фасонно-отрезные автоматы. Нередки эти наладки на двухсуппортных токарных станках с ЧПУ.

Характерной особенностью двухсуппортных однокоординатных наладок является наличие двух параметров управления – подачи

Примеры односуппортных двухкоординатных наладок

Examples of single-carriage two-coordinate setups

Название наладки	Инструмент	Схема наладки
Обработка наружного конуса одним инструментом с подачами по координатным осям X и Y : S_x и S_y	Резцы для проходного точения на станках с ЧПУ	$Y0C0(y)S(x)[u17(y)]$
Обработка внутреннего конуса одним инструментом с подачами по координатным осям X и Y : S_x и S_y	Резцы для расточки на станках с ЧПУ	$Y0C0(y)S(x)[u19(y)]$
Одноинструментное наружное фасонное точение с двумя подачами: S_x и S_y	Резцы для станков с ЧПУ для контурного точения	$Y0C0(y)S(x)[u18(y)]$

каждого суппорта. Однако эти параметры не равноправны. Подача того суппорта, на котором установлен инструмент, формирующий рассматриваемый размер, является фактором прямого, непосредственного управления. Подача же другого суппорта, инструменты которого формируют другие размеры, оказывает лишь косвенное влияние на точность рассматриваемого размера.

В табл. 9 приведены примеры применяемых многоинструментных наладок этого класса.

Двухсуппортные двухкоординатные наладки. Эти наладки могут быть выполнены на

современных двухсуппортных токарных станках с ЧПУ. В общем случае на каждом суппорте обработка может вестись с управлением по двум координатным подачам. Однако даже наличие такого управления только на одном суппорте, при наличии в наладке и второго суппорта, относит наладку к этому классу.

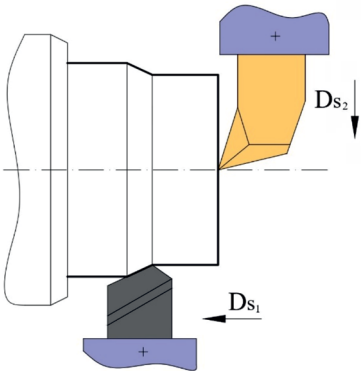
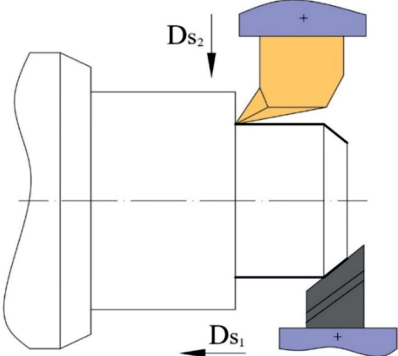
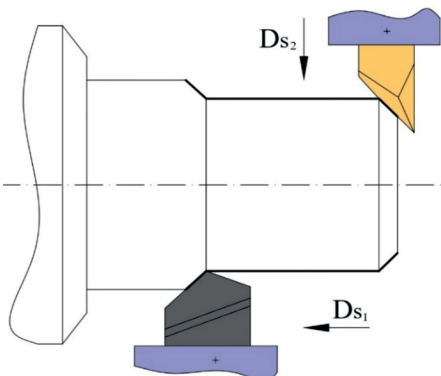
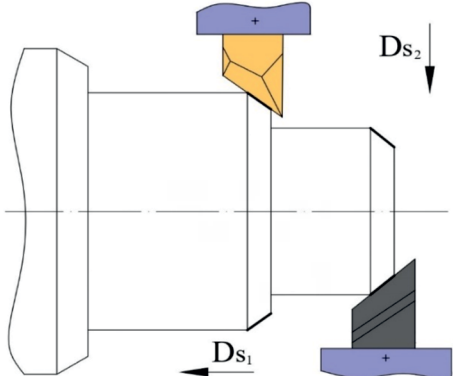
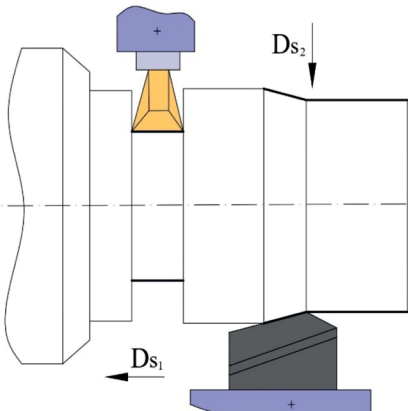
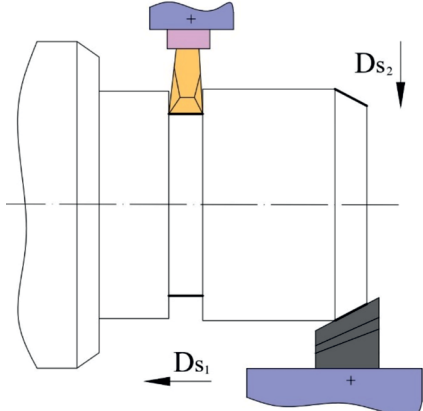
В табл. 10 приведены примеры возможных и применяемых наладок этого класса.

Многосуппортные наладки. Наладки этого класса могут быть осуществлены на традиционных станках с кулачковым управлением –

Таблица 9

Table 9

Примеры элементарных двухсуппортных однокоординатных наладок (деталь установлена в патроне)
Examples of elementary two-carriage one-coordinate setups (the part is mounted in the chuck)

Инструмент, установленный на поперечном суппорте	Инструмент, установленный на продольном суппорте	
	Резец для проходного точения	Резец для обработки фасок
Резец для подрезки поверхностей		
	$Y0C_1 0(y)S_1(x)[u1(y)] \cup \\ \cup Y0C_2 1(y)S_2(y)[u9(-y)]$	$Y0C_1 0(y)S_1(x)[u2(y)] \cup \\ \cup Y0C_2 1(y)S_2(y)[u9(-y)]$
Фасочный резец		
	$Y0C_1 0(y)S_1(x)[u1(y)] \cup \\ \cup Y0C_2 1(y)S_2(y)[u2(-y)]$	$Y0C_1 0(y)S_1(x)[u2(y)] \cup \\ \cup Y0C_2 1(y)S_2(y)[u2(-y)]$
Канавочный резец		
	$Y0C_1 0(y)S_1(x)[u1(y)] \cup \\ \cup Y0C_2 1(y)S_2(y)[u3(-y(-x))]$	$Y0C_1 0(y)S_1(x)[u2(y)] \cup \\ \cup Y0C_2 1(y)S_2(y)[u3(-y(-x))]$

Возможные и применяемые варианты двухсуппортных двухкоординатных наладок
Possible and applicable variants of two-carriage two-coordinate setups

Инструмент, установленный на поперечном суппорте	Инструмент, установленный на продольном суппорте	
	Резцы проходные токарные, использующиеся на станках с ЧПУ	Резцы токарные для расточки поверхностей на станках с ЧПУ для обработки контурных поверхностей
Резец для подрезки поверхностей		
	$Y0C_1 0(y)S_1(x)[u17(y)] \cup$ $\cup Y0C_2 1(y)S_2(y)[u9(-y)]$	$Y0C_1 0(y)S_1(x)[u18(y)] \cup$ $\cup Y0C_2 1(y)S_2(y)[u9(y)]$
Фасочный резец		
	$Y0C_1 0(y)S_1(x)[u17(y)] \cup$ $\cup Y0C_2 1(y)S_2(y)[u2(-y)]$	$Y0C_1 0(y)S_1(x)[u18(y)] \cup$ $\cup Y0C_2 1(y)S_2(y)[u2(y)]$
Канавочный резец		
	$Y0C_1 0(y)S_1(x)[u17(y)] \cup$ $\cup Y0C_2 1(y)S_2(y)[u3(-y(-x))]$	$Y0C_1 0(y)S_1(x)[u18(y)] \cup$ $\cup Y0C_2 1(y)S_2(y)[u3(y(-x))]$

токарно-револьверных автоматах и автоматах продольного фасонного точения. Есть возможность реализации таких наладок и на современных двухсуппортных станках с ЧПУ, если ис-

пользовать дополнительный инструментальный шпиндель с самостоятельным приводом.

В табл. 11 приведены примеры возможных и применяемых наладок этого класса.

Таблица 11

Table 11

Примеры многосуппортных наладок
Examples of multi-carriage setups

Схема наладки	Обозначение
	$Y0C_1 7(x)S_1(x)[u1(y)] \cup Y0C_2 1(y)S_2(y)[u3(-y(-x))] \cup \\ \cup Y0C_3 2(y)S_3(y)[u5(y)]$
	$Y0C_1 7(x)S_1(x)[u7(y)] \cup Y0C_2 0(y)S_2(x)[u1(-y)] \cup \\ Y0C_3 1(y)S_3(y)[u5(y)] \cup Y0C_4 3(z)S_4(y)[u2(y)]$
	$Y0C_1 7(x)S_1(x)[u12(x) \cap u21(y)] \cup Y0C_2 2(z)S_2(y)[u5(y)] \cup \\ \cup Y0C_3 1(y)S_3(y)[u13(-y) \cap u22(-y)]$
	$Y0C_1 7(x)S_1(x)[u5(y)] \cup Y0C_2 1(y)S_2(y)[u4(-y(-x))] \cup \\ \cup Y0C_3 2(z)S_3(y)[u9(-y)]$

Выводы

1. Разработана новая многофакторная систематика многоинструментных наладок с учетом богатых технологических возможностей по организации многоинструментной обработки для современных станков с ЧПУ.

2. Проведена классификация многоинструментных наладок с выявлением применимости типов наладок и формированием классов наладок, имеющих общий механизм формирования погрешности. Обосновано создание эффективных алгоритмов управления процессом проектирования этих наладок.

3. Предлагаемая систематика многоинструментных наладок на токарных станках предназначена для создания матричной модели точности обработки. Основная особенность многоинструментной обработки заключается в силовом взаимодействии инструментов наладки. Поэтому классификация многоинструментных наладок направлена на выявление особенностей силового нагружения и деформации технологической системы при такой обработке. Это может служить основой для разработки рекомендаций по режимам резания на станках с ЧПУ.

4. Разработанная классификация многоинструментных наладок составляет основу методического обеспечения САПР токарно-автоматных операций и является базой для создания САПР токарных операций нового поколения.

Список литературы

1. Shinno H., Hashizume H. Structured method for identifying success factors in new product development of machine tools // *CIRP Annals – Manufacturing Technology*. – 2002. – Vol. 51 (1). – P. 281–284. – DOI: 10.1016/S0007-8506(07)61517-0.

2. Moriwaki T. Multi-function machine tool // *CIRP Annals – Manufacturing Technology*. – 2008. – Vol. 57 (2). – P. 736–749. – DOI: 10.1016/j.cirp.2008.09.004.

3. Brecher C., Esser M., Witt S. Interaction of manufacturing process and machine tool // *CIRP Annals – Manufacturing Technology*. – 2009. – Vol. 58 (2). – P. 588–607. – DOI: 10.1016/j.cirp.2009.09.005.

4. Design methodologies: industrial and educational applications / T. Tomiyama, P. Gu, Y. Jin, D. Lutters, Ch. Kind, F. Kimura // *CIRP Annals – Manufacturing*

Technology. – 2009. – Vol. 58 (2). – P. 543–565. – DOI: 10.1016/j.cirp.2009.09.003.

5. Shinno H., Yoshioka H., Sawano H. A framework for systematizing machine tool engineering // *International Journal of Automation Technology*. – 2013. – Vol. 7 (6). – P. 760–768. – DOI: 10.20965/ijat.2013.p0760.

6. Usubamatov R., Harun A., Sanuddin A. Optimisation of machining parameters by criterion of maximum productivity // *International Journal of Production Research*. – 2014. – Vol. 52 (10). – P. 2946–2953. – DOI: 10.1080/00207543.2013.857440.

7. Usubamatov R., Zain Z., Sin T. Optimization of multi-tool machining processes with simultaneous action // *International Journal of Advanced and Manufacturing Technology*. – 2016. – Vol. 82. – P. 1227–1239. – DOI: 10.1007/s00170-015-6920-x.

8. Levin G., Rozin B., Dolgui A. Optimization of multi-tool cutting modes in multi-item batch manufacturing system // *IFAC Proceedings Volumes*. – 2013. – Vol. 46 (9). – P. 766–771. – DOI: 10.3182/20130619-3-RU-3018.00357.

9. Cakir M.C., Gurarda A. Optimization of machining conditions for multi-tool milling operations // *International Journal of Production Research*. – 2000. – Vol. 38 (15). – P. 3537–3552. – DOI: 10.1080/002075400422789.

10. Dolgui A., Levin G., Rozin B. Optimisation of the aggregation and execution rates for intersecting operation sets: an example of machining process design // *International Journal of Production Research*. – 2000. – Vol. 58 (9). – P. 2658–2676. – DOI: 10.1080/00207543.2019.1629668.

11. Daoud Z., Purcheck G. Multi-tool job sequencing for tool-change reduction // *International Journal of Production Research*. – 1981. – Vol. 19 (4). – P. 425–435. – DOI: 10.1080/00207548108956670.

12. Torres W., Brand M., Serebrenik A. A systematic literature review of cross-domain model consistency checking by model management tools // *Software and Systems Modeling*. – 2021. – Vol. 20 (3). – P. 897–916. – DOI: 10.1109/SYSCON.2017.7934729.

13. Yusubov N., Abbasova H. Models for machining accuracy in multi-tool adjustment // *International Journal of Automotive and Mechanical Engineering*. – 2020. – Vol. 17 (3). – P. 8067–8085. – DOI: 10.15282/ijame.17.3.2020.01.0605.

14. Double tool turning: machining accuracy, cutting tool wear and chip morphology / R. Kalidasan, S. Senthilvelan, U.S. Dixit, J. Vaibhav // *International Journal of Precision Technology*. – 2016. – Vol. 6 (2). – P. 142. – DOI: 10.1504/IJPTTECH.2016.078189.

15. Optimal process parameters for parallel turning operations on shared cutting surfaces / C. Brecher, A. Eppele, S. Neues, M. Fey // *International Journal of*

Machine Tools and Manufacture. – 2015. – Vol. 95. – P. 13–19. – DOI: 10.1016/j.ijmachtools.2015.05.003.

16. Double-sided milling of thin-walled parts by dual collaborative parallel kinematic machines / R. Fu, P. Curley, C. Higgins, Z. Kilic, D. Sun, A. Murphy, Y. Jin // *Journal of Materials Processing Technology*. – 2022. – Vol. 299. – P. 117395. – DOI: 10.1016/j.jmatprotec.2021.117395.

17. Asymmetrical nonlinear impedance control for dual robotic machining of thin-walled workpieces / X. Zhao, B. Tao, L. Yang, H. Ding // *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*. – 2020. – Vol. 63. – P. 101889. – DOI: 10.1016/j.rcim.2019.101889.

18. Yan Y., Xu J., Wiercigroch M. Stability and dynamics of parallel plunge grinding // *International Journal of Advanced and Manufacturing Technology*. – 2018. – Vol. 99. – P. 881–895. – DOI: 10.1007/s00170-018-2440-9.

19. Yamato S., Nakanishi K., Suzuki N. Development of automatic chatter suppression system in parallel milling by real-time spindle speed control with observer-based chatter monitoring // *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*. – 2021. – Vol. 22. – P. 227–240. – DOI: 10.1007/s12541-021-00469-2.

20. Weck M., Staimer D. Parallel kinematic machine tools – current state and future potentials // *CIRP Annals – Manufacturing Technology*. – 2002. – Vol. 51 (2). – P. 671–683. – DOI: 10.1016/S0007-8506(07)61706-5.

21. Azvar M., Budak E. Multi-dimensional chatter stability for enhanced productivity in different parallel turning strategies // *International Journal of Machine Tools and Manufacture*. – 2017. – Vol. 123. – P. 116–128. – DOI: 10.1016/j.ijmachtools.2017.08.005.

22. Kanakaraju V., Hassan F., Kalidasan R. Numerical analysis of surface integrity in parallel turning. Part A: Influence of cutting tool nose radius // *Materials Today: Proceedings*. – 2021. – Vol. 38 (1). – P. 186–190. – DOI: 10.1016/j.matpr.2020.06.511.

23. Numerical analysis of surface integrity in parallel turning. Part B: Influence of cutting tool chamfer angle and chamfer width / F. Hassan, V. Kanakaraju, R. Kalidasan, G. Norkey // *Materials Today: Proceedings*. – 2021. – Vol. 44 (1). – P. 266–270. – DOI: 10.1016/j.matpr.2020.09.464.

24. Brecher C., Trofimov Y., Bäuml S. Holistic modelling of process machine interactions in parallel milling // *CIRP Annals – Manufacturing Technology*. – 2011. – Vol. 60 (1). – P. 387–390. – DOI: 10.1016/j.cirp.2011.03.025.

25. Yusubov N.D., Abbasova H.M., Khankishiyev I.A. Entwicklung einer projektierungstheorie für die mehrwerkzeuggestaltung mit den möglichkeiten der modernen CNC-werkzeugmaschinen // *Forschung*

im Ingenieurwesen. – 2021. – Vol. 85. – P. 661–678. – DOI: 10.1007/s10010-021-00478-7.

26. Yusubov N.D. Matrix models of the accuracy in multitool two-support setup // *Russian Engineering Research*. – 2009. – Vol. 29. – P. 268–271. – DOI: 10.3103/S1068798X09030125.

27. Increasing the productivity of multitool machining on automated lathes by optimizing the machining plan / S.A. Bogatenkov, N.S. Sazonova, N.D. Yusubov, P.V. Mammadov, R.I. Bazhenov // *Russian Engineering Research*. – 2021. – Vol. 41 (11). – P. 1071–1074. – DOI: 10.3103/S1068798X21110046.

28. Increasing the productivity of multitool machining on automated lathes by optimizing the tool positions / S.A. Bogatenkov, N.S. Sazonova, V.I. Guzeev, N.D. Yusubov, G.M. Abbasova // *Russian Engineering Research*. – 2021. – Vol. 41 (11). – P. 1075–1079. – DOI: 10.3103/S1068798X21110058.

29. Usher J.M., Bowden R.O. The application of genetic algorithms to operation sequencing for use in computer-aided process planning // *Computers & Industrial Engineering*. – 1996. – Vol. 30 (4). – P. 999–1013. – DOI: 10.1016/0360-8352(96)00048-4.

30. Indrajit M., Pradip K.R. A review of optimization techniques in metal cutting processes // *Computers & Industrial Engineering*. – 2006. – Vol. 50 (1–2). – P. 15–34. – DOI: 10.1016/j.cie.2005.10.001.

31. Usubamatov R., Ismail K.A., Sah J.M. Mathematical models for productivity and availability of automated lines // *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. – 2013. – Vol. 66. – P. 59–69. – DOI: 10.1007/s00170-012-4305-y.

32. Ozturk E., Comak A., Budak E. Tuning of tool dynamics for increased stability of parallel (simultaneous) turning processes // *Journal of Sound and Vibration*. – 2016. – Vol. 360. – P. 17–30. – DOI: 10.1016/j.jsv.2015.09.009.

33. Юсубов Н.Д., Аббасова Х.М. Полнофакторная матричная модель точности выполняемых размеров на многоцелевых станках с ЧПУ // *Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты)*. – 2021. – Т. 23, № 4. – С. 6–20. – DOI: 10.17212/1994-6309-2021-23.4-6-20.

34. Kurt A., Sürücü S., Kirik A. Developing a mathematical model for the cutting forces prediction depending on the cutting parameters // *Technology*. – 2010. – Vol. 13 (1). – P. 23–30.

35. Кошин А.А. Теория точности и оптимизация многоинструментной токарной обработки: дис. ... д-ра техн. наук: 05.02.08. – Челябинск, 1997. – 290 с.

36. Кошин А.А. Обработка на токарных станках: наладка, режимы резания: справочник. – Челябинск: Сити-Принт, 2012. – 744 с.

37. Кошин А.А., Юсубов Н.Д. Элементы матричной теории точности многоинструментной обработки в пространственных наладках // Вестник машиностроения. – 2013. – № 9. – С. 13–17.

38. Юсубов Н.Д., Аббасова Х.М., Дадашов Р.Э. Модели сил резания при механической обработке

на современных станках токарной группы // Всероссийский форум молодых исследователей – 2023: сборник статей Всероссийской научно-практической конференции, Петрозаводск, 30 марта 2023 г. – Петрозаводск, 2023. – С. 236–246.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

© 2024 Авторы. Издательство Новосибирского государственного технического университета. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0>).



Obrabotka metallov -

Metal Working and Material Science

Journal homepage: http://journals.nstu.ru/obrabotka_metallov



Systematics of multi-tool setup on lathe group machines

Nizami Yusubov^{a, *}, Heyran Abbasova^b

Department of Machine Building, Azerbaijan Technical University, 25 H. Cavid avenue, Baku, AZ1073, Azerbaijan

^a  <https://orcid.org/0000-0002-6009-9909>,  nizami.yusubov@aztu.edu.az; ^b  <https://orcid.org/0000-0002-0407-5275>,  abbasova.heyran@aztu.edu.az

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 17 July 2024

Revised: 19 August 2024

Accepted: 17 September 2024

Available online: 15 December 2024

Keywords:

Systematics of multi-tool setup

Lathe group machines

Classification formula for setup

Parallel multi-tool machining

Single-carriage two-coordinate setups

Two-carriage two-coordinate setups

Funding

This work was supported by the Azerbaijan Science Foundation - Grant № AEF-MGC-2024-2(50)-16/01/1-M-01.

ABSTRACT

Introduction. The analysis of factory lathe-automatic operations revealed a significant variety of multi-tool setups and identified its areas of application. To develop a matrix theory of accuracy for multi-tool machining and create a unified algorithmic approach to errors modeling for all possible spatial multi-tool setups, it is necessary to consider the flexibility of the technological system in all coordinate directions. In this regard, it is required to systematize a large number of existing multi-tool setups and classify it to structure the information and improve the understanding of its application. **Purpose of the work** is to develop a classification of multi-tool setups on multi-carriage and multi-spindle CNC lathes, enabling the creation of both a matrix model of machining accuracy for each classification class and a unified generalized matrix model of machining accuracy for the entire classification class. **The work investigates** the systematics of multi-tool setups, oriented toward the development of matrix models of machining accuracy. Therefore, the classification considered in this work is aimed at identifying the characteristics of force loading and deformation of the technological system during multi-tool machining. **The research methods** involve identifying the parameters used for classification and the hierarchy of these parameters, which determines the levels and order of the systematics. Based on the principles of systematics of multi-tool setups used in traditional automatic lathes, an analysis of its adaptation to the capabilities of modern lathes designed for multi-tool machining is conducted. **Results and discussion.** As a result of the research, a formalized six-level classification of multi-tool setups is developed, which includes the following aspects: the method of workpiece mounting, the set of carriages, the types of cutting tools, the types and directions of carriage feeds, the orientation of cutting tools relative to the workpiece, and the method of tool engagement (parallel, sequential). This classification takes into account the technological capabilities for organizing multi-tool machining on modern CNC lathes. The main classes of the proposed systematics of multi-tool setups in the presented work include single-carriage single-coordinate setups, single-carriage two-coordinate setups, dual-carriage single-coordinate setups, dual-carriage two-coordinate setups, and multi-carriage setups. The proposed systematics of multi-tool setups on lathe group machines is aimed at developing machining accuracy models and can serve as a basis for developing recommendations on cutting modes for these CNC machines. The proposed classification of multi-tool setups forms the foundation of the methodological support for the CAD system of lathe-automatic operations and serves as the basis for creating next-generation CAD systems for lathe operations.

For citation: Yusubov N.D., Abbasova H.M. Systematics of multi-tool setup on lathe group machines. *Obrabotka metallov (tekhnologiya, oborudovanie, instrumenty)* = *Metal Working and Material Science*, 2024, vol. 26, no. 4, pp. 92–111. DOI: 10.17212/1994-6309-2024-26.4-92-111. (In Russian).

References

1. Shinno H., Hashizume H. Structured method for identifying success factors in new product development of machine tools. *CIRP Annals – Manufacturing Technology*, 2002, vol. 51 (1), pp. 281–284. DOI: 10.1016/S0007-8506(07)61517-0.
2. Moriwaki T. Multi-function machine tool. *CIRP Annals – Manufacturing Technology*, 2008, vol. 57 (2), pp. 736–749. DOI: 10.1016/j.cirp.2008.09.004.
3. Brecher C., Esser M., Witt S. Interaction of manufacturing process and machine tool. *CIRP Annals – Manufacturing Technology*, 2009, vol. 58 (2), pp. 588–607. DOI: 10.1016/j.cirp.2009.09.005.

* Corresponding author

Yusubov Nizami D., D.Sc. (Engineering), Professor
Azerbaijan Technical University,
25 H. Javid avenue,
AZ 1073, Baku, Azerbaijan

Tel.: +994 (55) 324 50 12, e-mail: nizami.yusubov@aztu.edu.az

4. Tomiyama T., Gu P., Jin Y., Lutters D., Kind Ch., Kimura F. Design methodologies: industrial and educational applications. *CIRP Annals – Manufacturing Technology*, 2009, vol. 58 (2), pp. 543–565. DOI: 10.1016/j.cirp.2009.09.003.
5. Shinno H., Yoshioka H., Sawano H. A frame-work for systematizing machine tool engineering. *International Journal of Automation Technology*, 2013, vol. 7 (6), pp. 760–768. DOI: 10.20965/ijat.2013.p0760.
6. Usubamatov R., Harun A., Sanuddin A. Optimisation of machining parameters by criterion of maximum productivity. *International Journal of Production Research*, 2014, vol. 52 (10), pp. 2946–2953. DOI: 10.1080/00207543.2013.857440.
7. Usubamatov R., Zain Z., Sin T. Optimization of multi-tool machining processes with simultaneous action. *International Journal of Advanced and Manufacturing Technology*, 2016, vol. 82, pp. 1227–1239. DOI: 10.1007/s00170-015-6920-x.
8. Levin G., Rozin B., Dolgui A. Optimization of multi-tool cutting modes in multi-item batch manufacturing system. *IFAC Proceedings Volumes*, 2013, vol. 46 (9), pp. 766–771. DOI: 10.3182/20130619-3-RU-3018.00357.
9. Cakir M.C., Gurarda A. Optimization of machining conditions for multi-tool milling operations. *International Journal of Production Research*, 2000, vol. 38 (15), pp. 3537–3552. DOI: 10.1080/002075400422789.
10. Dolgui A., Levin G., Rozin B. Optimisation of the aggregation and execution rates for intersecting operation sets: an example of machining process design. *International Journal of Production Research*, 2000, vol. 38 (9), pp. 2658–2676. DOI: 10.1080/00207543.2019.1629668.
11. Daoud Z., Purcheck G. Multi-tool job sequencing for tool-change reduction. *International Journal of Production Research*, 1981, vol. 19 (4), pp. 425–435. DOI: 10.1080/00207548108956670.
12. Torres W., Brand M., Serebrenik A. A systematic literature review of cross-domain model consistency checking by model management tools. *Software and Systems Modeling*, 2021, vol. 20 (3), pp. 897–916. DOI: 10.1109/SYSCON.2017.7934729.
13. Yusubov N., Abbasova H. Models for machining accuracy in multi-tool adjustment. *International Journal of Automotive and Mechanical Engineering*, 2020, vol. 17 (3), pp. 8067–8085. DOI: 10.15282/ijame.17.3.2020.01.0605.
14. Kalidasan R., Senthilvelan S., Dixit U.S., Vaibhav J. Double tool turning: machining accuracy, cutting tool wear and chip morphology. *International Journal of Precision Technology*, 2016, vol. 6 (2), p. 142. DOI: 10.1504/IJPTech.2016.078189.
15. Brecher C., Epple A., Neues S., Fey M. Optimal process parameters for parallel turning operations on shared cutting surfaces. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 2015, vol. 95, pp. 13–19. DOI: 10.1016/j.ijmachtools.2015.05.003.
16. Fu R., Curley P., Higgins C., Kilic Z., Sun D., Murphy A., Jin Y. Double-sided milling of thin-walled parts by dual collaborative parallel kinematic machines. *Journal of Materials Processing Technology*, 2022, vol. 299, p. 117395. DOI: 10.1016/j.jmatprotec.2021.117395.
17. Zhao X., Tao B., Yang L., Ding H. Asymmetrical nonlinear impedance control for dual robotic machining of thin-walled workpieces. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 2020, vol. 63, p. 101889. DOI: 10.1016/j.rcim.2019.101889.
18. Yan Y., Xu J., Wiercigroch M. Stability and dynamics of parallel plunge grinding. *International Journal of Advanced and Manufacturing Technology*, 2018, vol. 99, pp. 881–895. DOI: 10.1007/s00170-018-2440-9.
19. Yamato S., Nakanishi K., Suzuki N. Development of automatic chatter suppression system in parallel milling by real-time spindle speed control with observer-based chatter monitoring. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, 2021, vol. 22, pp. 227–240. DOI: 10.1007/s12541-021-00469-2.
20. Weck M., Staimer D. Parallel kinematic machine tools – current state and future potentials. *CIRP Annals – Manufacturing Technology*, 2002, vol. 51 (2), pp. 671–683. DOI: 10.1016/S0007-8506(07)61706-5.
21. Azvar M., Budak E. Multi-dimensional chatter stability for enhanced productivity in different parallel turning strategies. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 2017, vol. 123, pp. 116–128. DOI: 10.1016/j.ijmachtools.2017.08.005.
22. Kanakaraju V., Hassan F., Kalidasan R. Numerical analysis of surface integrity in parallel turning. Part A: Influence of cutting tool nose radius. *Materials Today: Proceedings*, 2021, vol. 38 (1), pp. 186–190. DOI: 10.1016/j.matpr.2020.06.511.
23. Hassan F., Kanakaraju V., Kalidasan R., Norkey G. Numerical analysis of surface integrity in parallel turning. Part B: Influence of cutting tool chamfer angle and chamfer width. *Materials Today: Proceedings*, 2021, vol. 44 (1), pp. 266–270. DOI: 10.1016/j.matpr.2020.09.464.
24. Brecher C., Trofimov Y., Bäuml S. Holistic modelling of process machine interactions in parallel milling. *CIRP Annals – Manufacturing Technology*, 2011, vol. 60 (1), pp. 387–390. DOI: 10.1016/j.cirp.2011.03.025.



25. Yusubov N.D., Abbasova H.M., Khankishiyev İ.A. Entwicklung einer projektierungstheorie für die mehrwerkzeugbearbeitung mit den möglichkeiten der modernen CNC-werkzeugmaschinen. *Forschung im Ingenieurwesen*, 2021, vol. 85, pp. 661–678. DOI: 10.1007/s10010-021-00478-7.
26. Yusubov N.D. Matrix models of the accuracy in multitool two-support setup. *Russian Engineering Research*, 2009, vol. 29, pp. 268–271. DOI: 10.3103/S1068798X09030125.
27. Bogatenkov S.A., Sazonova N.S., Yusubov N.D., Mammadov P.V., Bazhenov R.I. Increasing the productivity of multitool machining on automated lathes by optimizing the machining plan. *Russian Engineering Research*, 2021, vol. 41 (11), pp. 1071–1074. DOI: 10.3103/S1068798X21110046.
28. Bogatenkov S.A., Sazonova N.S., Guzeev V.I., Yusubov N.D., Abbasova G.M. Increasing the productivity of multitool machining on automated lathes by optimizing the tool positions. *Russian Engineering Research*, 2021, vol. 41 (11), pp. 1075–1079. DOI: 10.3103/S1068798X21110058.
29. Usher J.M., Bowden R.O. The application of genetic algorithms to operation sequencing for use in computer-aided process planning. *Computers & Industrial Engineering*, 1996, vol. 30 (4), pp. 999–1013. DOI: 10.1016/0360-8352(96)00048-4.
30. Indrajit M., Pradip K.R. A review of optimization techniques in metal cutting processes. *Computers & Industrial Engineering*, 2006, vol. 50 (1–2), pp. 15–34. DOI: 10.1016/j.cie.2005.10.001.
31. Usubamatov R., Ismail K.A., Sah J.M. Mathematical models for productivity and availability of automated lines. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2013, vol. 66, pp. 59–69. DOI: 10.1007/s00170-012-4305-y.
32. Ozturk E., Comak A., Budak E. Tuning of tool dynamics for increased stability of parallel (simultaneous) turning processes. *Journal of Sound and Vibration*, 2016, vol. 360, pp. 17–30. DOI: 10.1016/j.jsv.2015.09.009.
33. Yusubov N., Abbasova H. Full-factor matrix model of accuracy of dimensions performed on multi-purpose CNC machines. *Obrabotka metallov (tekhnologiya, oborudovanie, instrumenty) = Metal Working and Material Science*, 2021, vol. 23 (4), pp. 6–20. DOI: 10.17212/1994-6309-2021-23.4-6-20.
34. Kurt A., Sürücüler S., Kirik A. Developing a mathematical model for the cutting forces prediction depending on the cutting parameters. *Technology*, 2010, vol. 13 (1), pp. 23–30.
35. Koshin A.A. *Teoriya tochnosti i optimizatsiya mnogoinstrumentnoi tokarnoi obrabotki*. Diss. dokt. tekhn. nauk [Accuracy theory and optimization of multi-tool turning. Dr. eng. sci. diss.]. Chelyabinsk, 1997. 290 p. (In Russian).
36. Koshin A.A. *Obrabotka na tokarnykh stankakh: naladka, rezhimy rezaniya* [Processing on lathes: adjustment, cutting conditions]. Handbook. Chelyabinsk, Siti-Print Publ., 2012. 744 p.
37. Koshin A.A., Yusubov N.D. Elementy matrichnoi teorii tochnosti mnogoinstrumentnoi obrabotki v prostanstvennykh naladkakh [Elements of matrix theory of multitool processing accuracy in three-dimensional setups]. *Vestnik mashinostroeniya = Russian Engineering Research*, 2013, no. 9, pp. 13–17. (In Russian).
38. Yusubov N.D., Abbasova Kh.M., Dadashov R.E. [Models of cutting forces during mechanical machining on modern machines of turning group]. *Vserossiiskii forum molodykh issledovatelei – 2023* [All-Russian forum of young researchers – 2023]. Petrozavodsk, 2023, pp. 236–246. (In Russian).

Conflicts of Interest

The authors declare no conflict of interest.

© 2024 The Authors. Published by Novosibirsk State Technical University. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>).