

УДК 621.9.23

В.С. Гузенко, доцент, канд. техн. наук,**Е.В. Мироненко, профессор, д-р техн. наук,****С.Л. Миранцов, доцент, канд. техн. наук***Донбасская государственная машиностроительная академия**ул. Шкадинова, 72, г. Краматорск, Донецкая обл., Украина, 84313**ief@dgma.donetsk.ua***АНАЛИТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК РЕЗЦОВ С РАСШИРЕННЫМИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ**

В данной статье рассматривается статический и динамический анализ конструкций инструмента с расширенными технологическими возможностями на примере резцов для многонаправленной токарной обработки.

Ключевые слова: *токарная обработка, многонаправленная обработка, резец, прочность, жесткость, динамические характеристики.*

Одним из путей повышения производительности механической обработки является использование станков с ЧПУ, применение прогрессивного сборного инструмента с расширенными технологическими возможностями, обладающего высокой прочностью и жесткостью конструкции, а также использование концентрации операций в пределах технологического перехода. Примером подобного инструмента, в том числе позволяющего концентрировать операции, являются резцы для многонаправленной токарной обработки (МТО), которые применяются как для наружного продольного точения, растачивания, так и для операций отрезания или прорезки канавок [1 – 3].

Целью настоящей работы является исследование прочностных, жесткостных и динамических характеристик данной конструкции инструмента.

Исследование конструкции сборного резца для МТО проводилось по трем направлениям:

- статический прочностной анализ конструкции (определение напряжений в элементах сборной конструкции);
- статический жесткостной анализ конструкции (определение упругих перемещений элементов крепления режущей части);
- динамический (гармонический) анализ конструкции.

В связи со сложностью проведения экспериментальных исследований по указанным направлениям исследования выполнялись аналитически с использованием моделей и пакета Ansys.

Для выполнения анализа использовалась модель инструмента, которая представляет собой трехмерную конструкцию резца для МТО, нагруженную силами резания и закрепления. В качестве граничных условий при моделировании было принято:

- корпус инструмента зафиксирован без перемещений;
- между соприкасающимися гранями и поверхностями элементов сборной конструкции имеет место контакт с трением, то есть соприкасающиеся поверхности могут перемещаться друг относительно друга и между ними может возникать зазор.

При выборе режимов обработки, при которых проводился анализ, были использованы следующие рекомендации [4]:

$$f_{\max} \leq 0,075W, \quad a_{p \max} \leq 0,8W,$$

где $f_{\max}$ ($s_{\max}$), $a_{p \max}$ ($t_{\max}$) – рекомендуемые максимальные значения подачи инструмента и глубины резания соответственно; W – ширина режущей пластины инструмента.

Таким образом, при продольном точении наружной поверхности $t_{\max} = 4$ мм, $s_{\max} = 0,37$ мм/об, а при прорезании канавок и отрезании максимальное значение подачи инструмента составляет $s_{\max} = 0,37$ мм/об при $t_{\max} = 5$ мм.

Статический анализ выполнялся в три этапа:

- определение напряжений в режущей пластине инструмента при продольном точении наружной поверхности;
- определение напряжений в режущей пластине инструмента при прорезании резцом канавок;
- определение перемещений, возникающих в элементах конструкции.

Исходные данные для статического анализа инструмента при наружном продольном точении представлены в таблице 1.

Таблиця 1 – Исходные данные и результаты расчета напряжений при наружном продольном точении

№	Значения элементов режима резания		Составляющие силы резания, Н			Максимальные значения напряжений на передней поверхности режущей пластины, МПа			
	t , мм	s , мм/об	P_x	P_y	P_z	$\sigma_x \max$	$\sigma_y \max$	$\sigma_z \max$	$\sigma_{\text{экв}} \max$
1	2,5	0,15	616	139	642	564	158	362	1462
2		0,25	803	236	1081	567	177	490	2159
3		0,35	957	335	1524	568	274	601	2933

Анализ числовых значений напряжений показал, что максимальные значения напряжений наблюдаются как в корпусе инструмента, так и на передней поверхности режущей пластины. Наличие области действия максимальных значений напряжений в корпусе инструмента обусловлено сложным характером деформирования конструкции при действии составляющей силы резания P_x на вспомогательную режущую кромку пластины. При этом режущая пластина, закрепленная в корпусе инструмента между V-образными прижимной и опорной поверхностями совершает дополнительное угловое перемещение в направлении действия силы P_x .

Для определения влияния элементов режимов резания на величину и характер распределения эквивалентных и нормальных напряжений было выполнено моделирование напряженно-деформированного состояния инструмента и режущей пластины при разных значениях глубины резания $t = (0,5 \dots 2,5)$ мм и подачи $s = (0,15 \dots 0,35)$ мм/об.

Анализ результатов моделирования напряженного состояния режущей пластины показал, что максимальные значения эквивалентных $\sigma_{\text{экв}}$ и нормальных напряжений σ_x , σ_y , σ_z наблюдаются в стороне от контактной зоны передней поверхности со стружкой в областях «1» (рисунок 1).

При этом максимальные значения имеют растягивающие нормальные напряжения σ_x и σ_z . Наибольшая зона действия максимальных растягивающих напряжений характерна для напряжений σ_x (рисунок 1, а). Растягивающие напряжения σ_z локализуются на границе передней поверхности режущей пластины (рисунок 1, в).

Подобное распределение напряжений в режущей пластине обусловлено специфическим для данного случая характером нагружения составляющими силы резания P_x , P_y и P_z , которые вызывают в пластине изгибающие моменты, действующие в разных плоскостях. Кроме того, из рисунка 1, а следует, что область сопряжения вогнутой V-образной и передней поверхности режущей пластины выступает в качестве концентратора растягивающих напряжений σ_x . При увеличении подачи инструмента, также как и для случая поперечного резания, происходит рост числовых значений эквивалентных напряжений и расширение области действия растягивающих нормальных напряжений.

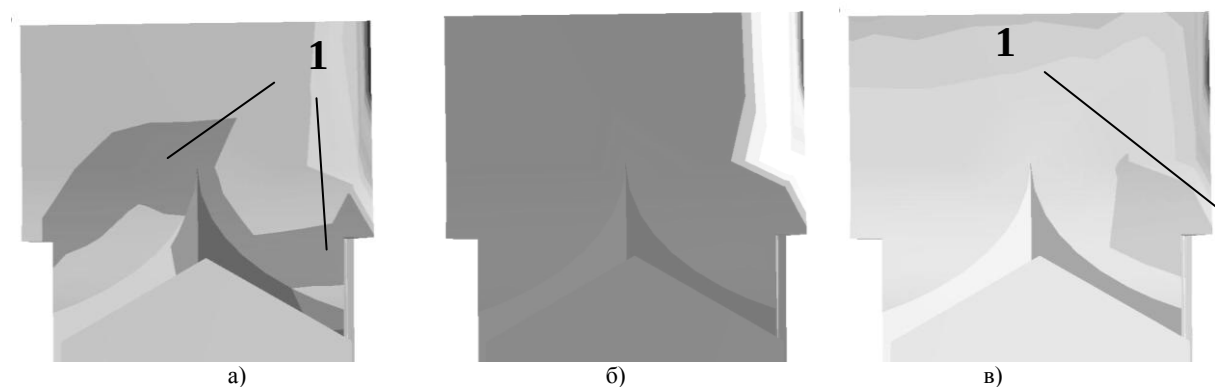


Рисунок 1 – Распределения нормальных напряжений на передней поверхности режущей пластины при продольном точении: $t = 2,5$ мм; $s = 0,35$ мм/об.

а – напряжения σ_x ; б – напряжения σ_y ; в – напряжения σ_z

На рисунке 2 представлены зависимости нормальных σ_z и эквивалентных $\sigma_{\text{экв}}$ напряжений от подачи инструмента. Указанные напряжения также определялись на передней поверхности пластины в сечении, перпендикулярном главной режущей кромке и проходящем через область «1», показанную на рисунке 1, в.

Анализ зависимостей, представленных на рисунке 2, показывает, что максимальные значения нормальных растягивающих напряжений наблюдаются на расстоянии 2,2 мм от главной режущей кромки, а максимальные значения $\sigma_{\text{экв}}$ – на расстоянии 1,8 мм.

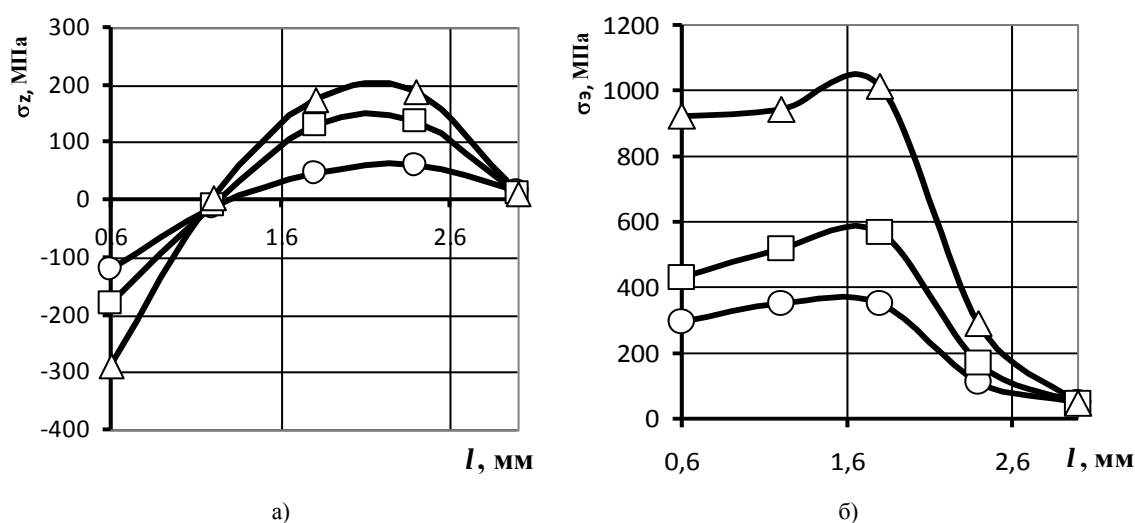


Рисунок 2 – Зависимость напряжений на передней поверхности режущей пластины от подачи инструмента: $\bigcirc$ – $s = 0,15$ мм/об; $\square$ – $s = 0,25$ мм/об; Δ – $s = 0,35$ мм/об.
а – нормальные напряжения σ_z ; б – эквивалентные напряжения $\sigma_{\text{э}}$

Результаты аппроксимации зависимости эквивалентных и нормальных напряжений от подачи в «опасных сечениях» при продольном точении представляют собой выражения:

$$\sigma_{\text{э}} = 3436,2s^{1,2}; \sigma_z = 154,7\ln(s) + 351,9.$$

Основным фактором, определяющим величину упругих перемещений, является величина составляющих силы резания, поэтому моделирование проводилось при разных значениях глубины резания и подачи.

Абсолютные значения перемещений определялись на вершине режущей пластины и корпусе инструмента.

Исходные данные и результаты расчетов приведены в таблице 2. Абсолютные значения перемещений определялись на вершине режущей пластины (точка 1, рисунок 3) и корпусе инструмента (точка 2, рисунок 3).

Таблица 2 – Исходные данные и результаты статических исследований сборной конструкции резца для МТО

№	Значения элементов режима резания		Составляющие силы резания, Н			Максимальная направленная деформация, мм		
	t, мм	s, мм/об	Px	Py	Pz	X	Y	Z
режущая пластина инструмента								
1	0,50	0,80	169	195	661	0,023	-0,0053	0,0077
2	1,50	0,80	574	396	1822	0,116	-0,0103	0,0401
3	2,50	0,80	1014	551	2919	0,225	-0,0148	0,0758
корпус инструмента								
1	0,50	0,80	169	195	661	0,023	-0,0031	0,0017
2	1,50	0,80	574	396	1822	0,095	-0,0071	0,0251
3	2,50	0,80	1014	551	2919	0,177	-0,0111	0,0439

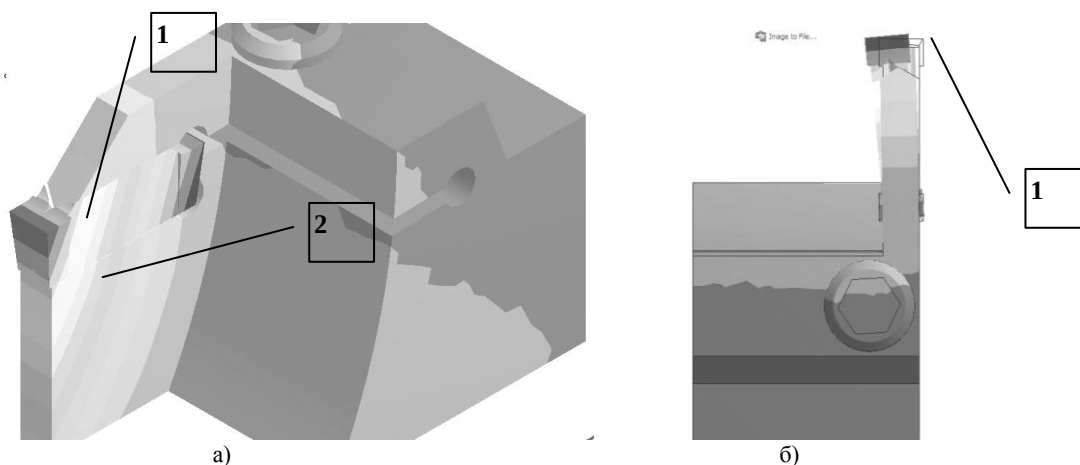


Рисунок 3 – Распределение перемещений элементов конструкции резца в направлении оси X: а – изометрия; б – вид сверху (деформация увеличена)

Анализ полученных результатов показал, что максимальное значение перемещения режущей кромки резца наблюдается в направлении оси X и составляет 0,23 мм при максимальном значении силы резания с режимом обработки $t = 2,5$ мм, $s = 0,80$ мм/об. В качестве примера на рисунке 3 представлено распределение перемещений элементов конструкции резца в направлении оси X.

Зависимость перемещений и углов поворота режущей кромки в направлении оси X от глубины резания представлена на рисунке 4.

Как видно из распределения перемещений элементов инструмента, представленного на рисунке 3, б (вид сверху), при нагружении режущей пластины силами резания, характерными для продольного точения, помимо линейных перемещений в направлении оси X наблюдается поворот режущей пластины.

Анализ значений угла поворота режущей пластины показал, что максимальное значение угла наблюдаются при повороте вокруг оси Z и составляет $0,65^\circ$ при максимальном значении силы резания с режимом обработки $t = 2,5$ мм, $s = 0,80$ мм/об. Наличие упругих смещений вершины режущей пластины и ее поворота требует при обработке определенной корректировки положения инструмента. Это особенно важно учитывать при обработке деталей на станках с ЧПУ по программе.

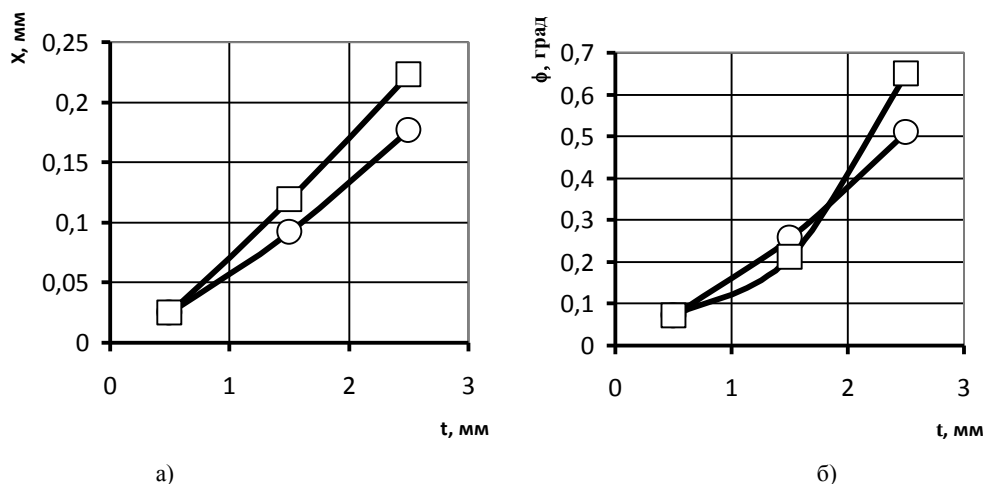


Рисунок 4 – Зависимость упругих перемещений элементов конструкции инструмента в направлении оси X (а) и углов поворотов (б) от глубины резания при продольном точении ($s = 0,80$ мм/об)

Динамический анализ. В любой сборной конструкции длительная циклическая нагрузка вызывает соответствующий отклик. Результаты гармонического анализа могут использоваться для определения установившегося отклика конструкции на возбуждение при действии гармонических нагрузок и тем самым выявить, преодолит ли объект резонансные частоты, усталость и другие негативные последствия вынужденных колебаний.

В качестве модели и расчетной схемы при выполнении гармонического анализа инструмента использовалась трехмерная модель. На элементы конструкции накладывались граничные условия:

– корпус инструмента зафиксирован без перемещений;

– между соприкасающимися гранями и поверхностями элементов сборной конструкции имеет место контакт с трением, то есть соприкасающиеся поверхности могут перемещаться друг относительно друга и между ними может возникать зазор.

Гармонический анализ выполнялся при помощи пакета Ansys Workbench.

В результате проведенных исследований были получены амплитудно-частотные характеристики колебаний рассматриваемого инструмента, измеренные на передней поверхности режущей пластины.

На рисунках 5 и 6 представлены амплитудно-частотные характеристики колебаний сборной конструкции резца для МТО в направлении осей X и Z соответственно.

Анализ представленных зависимостей показывает, что в направлении оси X явление резонанса в режиме вынужденных колебаний резца может наступить на частотах около 5 кГц и 10 кГц. При этом максимальная амплитуда колебаний режущей пластины, согласно результатам исследований, достигает 9 мм и 2 мм соответственно.

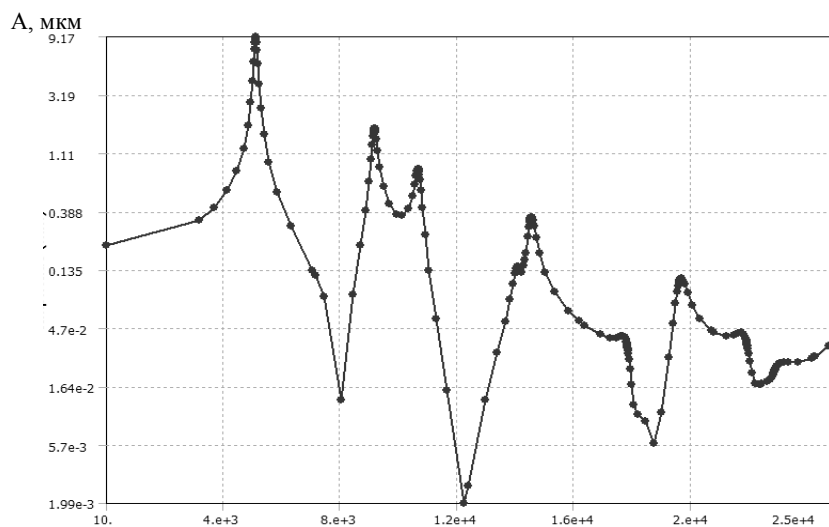


Рисунок 5 – Амплитудно-частотная характеристика перемещений передней поверхности режущей пластины в направлении оси X при продольном резании резцом с $t = 2,5$ мм; $s = 0,80$ мм/об

f, Гц

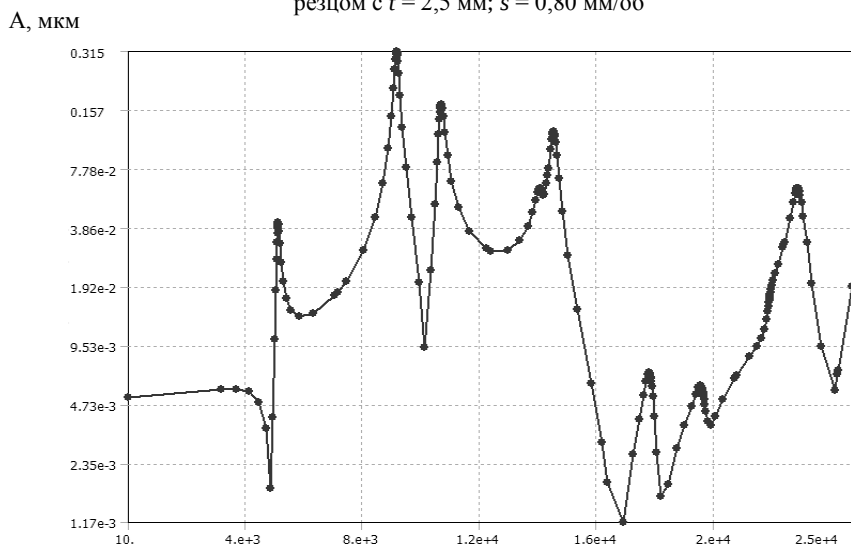


Рисунок 6 – Амплитудно-частотная характеристика перемещений передней поверхности режущей пластины в направлении оси Z при продольном резании резцом с $t = 2,5$ мм; $s = 0,80$ мм/об

f, Гц

Это свидетельствует о потере работоспособности инструмента в случае наступления резонанса. В направлении оси Z резонанс может наступить при действии циклической нагрузки на частотах около 9 кГц и 11 кГц. При этом максимальная амплитуда колебаний может достигать 0,31 мм и 0,16 мм соответственно.

Таким образом, при продольном точении резцом для МТО рассматриваемой конструкции может наблюдаться потеря его работоспособности при действии циклических нагрузок с частотой около 5 кГц.

Для предотвращения этого явления конструктивные геометрические параметры сборной конструкции при проектировании определяют таким образом, чтобы «увести» область наступления резонанса в диапазон частот выше 12 кГц.

На основании проведенных аналитических исследований резцов для МТО можно сделать следующие выводы:

1. Максимальные значения напряжений наблюдаются как в корпусе инструмента, так и на передней поверхности режущей пластины. Наличие области действия максимальных напряжений в корпусе инструмента обусловлено сложным характером деформирования конструкции при действии составляющей силы резания P_x на вспомогательную режущую кромку пластины.

2. Максимальные значения имеют растягивающие нормальные напряжения σ_x и σ_z . Наибольшая зона действия максимальных растягивающих напряжений характерна для напряжений σ_x . Растягивающие напряжения σ_z локализуются на границе передней поверхности режущей пластины. При этом максимальные значения нормальных растягивающих напряжений наблюдаются на расстоянии 2,2 мм от главной режущей кромки, а эквивалентных напряжений σ_3 – на расстоянии 1,8 мм.

3. При продольном точении резцом для МТО наблюдаются упругие смещения вершин режущей пластины в направлении оси X и поворот пластины, максимальные значения которых наблюдаются при $t = 2,5$ мм, $s = 0,80$ мм/об и составляют 0,23 мм и $0,65^\circ$ соответственно. Это требует корректировки положения инструмента при обработке для получения заданной точности.

4. Анализ амплитудно-частотных характеристик показал, что в направлении оси X явление резонанса в режиме вынужденных колебаний резца может наступить на частотах около 5 кГц и 10 кГц. При этом максимальная амплитуда колебаний режущей пластины, согласно результатам исследований, достигает 9 мм и 2 мм соответственно. Это свидетельствует о потере работоспособности инструмента в случае наступления резонанса.

Исследования рассмотренных резцов для многонаправленной токарной обработки можно в дальнейшем применить для научных разработок в области ресурсосберегающих технологий, поскольку использование подобного инструмента позволяет сократить время обработки за счет интенсификации режимов резания, возможности концентрации операций, что в конечном итоге ведет к снижению энергопотребления.

Библиографический список использованной литературы

1. Музыкант Я.А. Конструкции инструмента и технология многонаправленной токарной обработки (МТО) на станках с ЧПУ и ОЦ / Я.А. Музыкант // Технология металлов. — 2007. — №5. — С. 31.
2. Гузенко В.С. Аналитические исследования жесткостных и динамических характеристик резцов МТО / В.С. Гузенко, С.Л. Миранцов, Я.А. Музыкант // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем: зб. наук. пр. — Краматорськ: ДДМА, 2008. — Вип. №23. — С. 78–82.
3. Аналитические исследования прочностных характеристик резцов для многонаправленной токарной обработки / В.С. Гузенко, С.Л. Миранцов, О.Е. Мironenko, Я.А. Музыкант // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем: зб. наук. пр. — Краматорськ, 2009. — Вип. № 24. — С. 106–111.
4. ISCAR. Общий каталог. © ISCAR LTD.

Поступила в редакцию 13.06.2010 г.

Гузенко В.С., Мironenko О.Е., Міранцов С.Л. Аналітичні дослідження характеристик різців з розширеними технологічними можливостями

В статті розглядається статичний та динамічний аналіз конструкцій інструменту з розширеними технологічними можливостями на прикладі різців для багатонаправленої токарної обробки.

Ключові слова: токарна обробка, багатонаправлена обробка, різець, міцність, жорсткість, динамічні характеристики.

Guzenko V.S., Mironenko O.E., Mirantsov S.L. Analytical research of characteristics for cutters with the expanded technological capacities

Static and dynamic analysis of designs of tools with expanded technological capacities using an example of cutters for the multi-directed turning is considered in given article.

Keywords: turning, the multi-directed processing, cutter, durability, rigidity, dynamic characteristics.