

УДК 621.855

UDC 621.855

05.00.00 Технические науки

Technical sciences

ЗАВИСИМОСТЬ ДЕФОРМАЦИИ ПОЛЗУНА И ТОЧНОСТИ ОБРАБОТКИ НА МНОГОЦЕЛЕВОМ СТАНОЧНОМ КОМПЛЕКСЕ СЕРИИ VM

DEPENDENCE OF THE SLIDER DEFORMATION AND MACHINING PRECISION ON THE MULTIPURPOSE MACHINE-TOOL COMPLEX OF VM SERIES

Бережной Сергей Борисович
д.т.н., профессор
РИНЦ SPIN-код: 2983-3722
beregnoy@kubstu.ru

Berezhnoy Sergey Borisovich,
Dr.Sci.Tech., Professor
RSCI SPIN-code: 2983-3722
beregnoy@kubstu.ru

Чумак Павел Васильевич
аспирант
РИНЦ SPIN-код: 9130-9100
chumak1987@mail.ru

Chumak Pavel Vasilyevich
postgraduate student
RSCI SPIN-code: 9130-9100
chumak1987@mail.ru

Кубанский государственный технологический университет, Краснодар, Россия

*Kuban State University of Technology
Krasnodar, Russia*

Статья посвящена развитию высокотехнологичных отраслей металлообрабатывающей промышленности, применению безлюдных технологий. Рекомендуются мероприятия по улучшению точности и качества изготовления сложных и крупногабаритных деталей весом до 100 тонн. На сегодняшний день технический уровень многих отраслей народного хозяйства в значительной мере определяется уровнем производств средств производства. На основе развития машиностроения производится комплексная автоматизация и механизация производства и процессов в промышленности, строительстве, сельском хозяйстве, на транспорте и других отраслях. Выполнен анализ, форм сечений ползунов, погрешностей, влияющий на точность изготовления деталей. Проведено моделирование сил резания и деформаций ползунов. Решаются мероприятия повышения точности изготовления на базе многоцелевых станочных комплексов серии VM. Выполнен анализ зависимости сил резания, формы ползуна на его деформацию при различных видах обработки. Получен график зависимости силы резания и точности изготовления. Определена оптимальная форма сечения ползуна для увеличения жесткости и уменьшения деформации ползуна при резании металлов

The article is devoted to the development of high-tech metal-working industry, as well as to the use of unmanned technology. We recommended measures to improve the accuracy and quality of manufacturing of complex and large workpieces weighing up to 100 tons. To date, the technical level of many economy sectors is largely determined by the level of the production means. Based on the engineering development there is an overall automation and mechanization of production and industry processes, construction, agriculture, transport and other industries. We analyzed forms of slide sections, of errors affecting the accuracy of the workpieces manufacturing. We made simulation of the cutting forces and sliders deformations. Solved measures increase manufacturing accuracy based on multi-purpose machine tool systems of VM series. We held the analysis of the dependence of cutting forces, a slider form on its strain in different types of processing. We obtained a graph of cutting force and precision manufacturing. We defined the optimal shape of the slider cross section to increase the rigidity and reduce the slide deformation in metal cutting

Ключевые слова: ТОЧНОСТЬ ИЗГОТОВЛЕНИЯ, ПОГРЕШНОСТЬ, ПОЛЗУН, СУППОРТ, ПОПЕРЕЧИНА, ПРИВОД, СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ, СТАНОЧНЫЙ КОМПЛЕКС, ТОЧНОСТЬ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ, ПРОИЗВОДСТВО, ЗАГОТОВКА, МОДЕЛИРОВАНИЕ, ДЕФОРМАЦИЯ

Keywords: MANUFACTURING PRECISION, ACCURACY, SLIDER, SLIDES, CROSS, POWER, CONTROL SYSTEM, MACHINE CENTER, POSITIONING ACCURACY PRODUCTION, PROCESSING, SIMULATION, DEFORMATION

Станкостроение играет роль мультипликатора в экономике любого государства, так как его продукция предназначена для производства средств производства. В настоящее время Российская промышленность оснащена устаревшим оборудованием, 85% заводов имеют станки 1930-60 годов выпуска, поэтому предприятия производящие машиностроительную продукцию остро нуждаются в техническом перевооружении. Исследования посвящены вопросам модернизации металлообрабатывающего оборудования. На сегодняшний день все большее внедрение в производство находят станочные комплексы позволяющие выполнять большое количество операций без переустановки заготовки.

Кинематика многоцелевых станочных комплексов – основной аспект при изготовлении и обработке сложных крупногабаритных деталей весом до 100 тонн, так как обработка крупногабаритных и массивных деталей влечет возникновению значительных инерционных моментов в станочных комплексах, что может привести к браку заготовки и поломке инструмента.

При металлообработке крупногабаритных деталей жесткость является важнейшим фактором влияющим на точность изготовления и позиционирование исполнительных органов, таких как ползун многоцелевого станочного комплекса серии VM [1], относящегося к VI технологическому укладу (рис.1).



Рисунок 1 – Многоцелевой станочный комплекс VM 32.

Нагружение ползуна представлено на рисунке 2. На деформацию ползуна влияет различный ряд внешних и внутренних сил при различных режимах обработки, одна из этих сил – сила резания R [1, 2, 3], которая раскладывается на– тангенциальную P_z , радиальную P_x и осевую P_y .

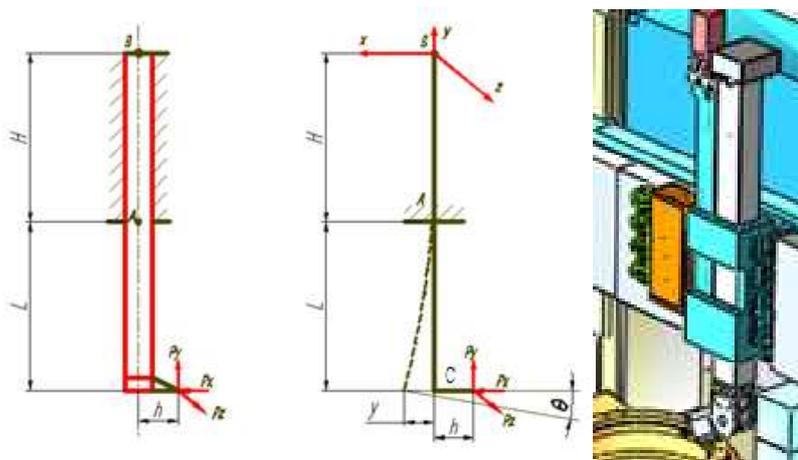


Рисунок 2 – Схема деформации ползуна.

В многоцелевом станочном комплексе VM32 применяется ползун квадратной формы сечения 250 x 250мм с отверстием по центру диаметром 200мм для сверлильно – фрезерного привода. По расчетам для квадратного сечения ползуна [4] прогиб $y=450\text{мкм}$, угол наклона упругой линии $\theta=0,025 \text{ град.}$ и угол закручивания $\varphi=0,0038 \text{ град.}$ при чистовой обработке.

Задача определить зависимость деформации ползуна и точности изготовления при различных видах обработки.

При расчетах деформации ползуна учитывают два отдельных его участка [1, 4, 5, 6] первый – консольная часть длиной L , а второй – часть закрепленная в суппорте размером H (рис. 2). Нагрузку на ползун в каждой из главных плоскостей изгиба можно представить в виде сосредоточенной силы P и изгибающего момента M в точке C ползуна, кроме этого в следствии несовпадения вершины резца с осью ползуна h дополнительно действует крутящий момент $T_{кр}$.

С целью моделирования в процессе нагружения ползуна воспользуемся программой Autodesk Inventor. Autodesk Inventor – мощный программный продукт для автоматизированного проектирования. Эта программа позволяет анализировать напряжение, деформацию, вибрацию, а также тепловую деформацию в деталях и сборках.

Исследуем три разных сечения ползуна (квадратное, прямоугольное и профильное), при наибольшем вылете рабочей части ползуна ($L=2780$ мм) из суппорта и полустиковой обработке при силе резания P_z .

Первый вариант с применением квадратной формы сечения ползуна 250 x 250 мм и отверстием по центру диаметр 202 мм.

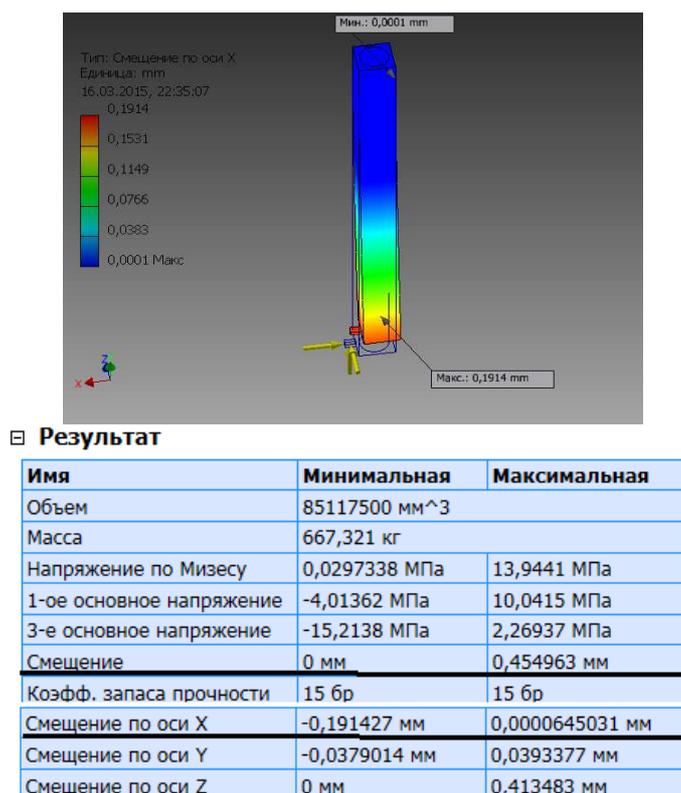


Рисунок 3 – Расчетная модель ползуна квадратной формы сечения 250 x 250 мм.

Цветная палитра позволяет определить места наиболее нагруженных и опасных участков в ползуне. По результатам расчета в программе Autodesk Inventor получаем значения смещения (прогиба), которые представлены выше. По полученным результатам расчета можно увидеть, что максимальное смещение (прогиб) составил 0,4549 мм.

Во втором варианте с применением прямоугольной формы сечения ползуна 250 x 280 мм и отверстием по центру диаметр 202 мм.

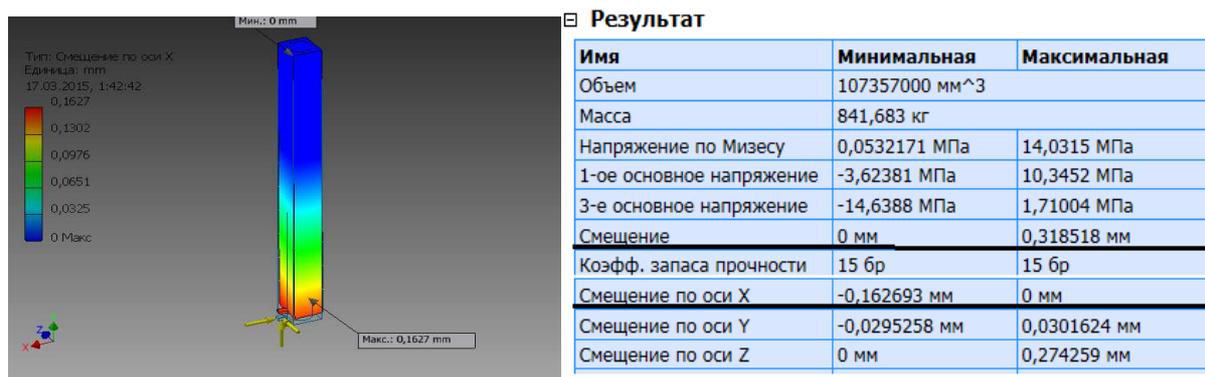


Рисунок 4 – Расчетная модель ползуна прямоугольной формы сечения 250 x 280 мм.

Цветная палитра позволяет определить места наиболее нагруженных и опасных участков в ползуне. По результатам расчета в программе Autodesk Inventor получаем значения смещения (прогиба), которые представлены выше. По полученным результатам расчета можно увидеть, что максимальное смещение (прогиб) составил 0,3185 мм.

В третьем варианте с применением профильной формы сечения ползуна 250x280 мм и отверстием по центру диаметр 202 мм.

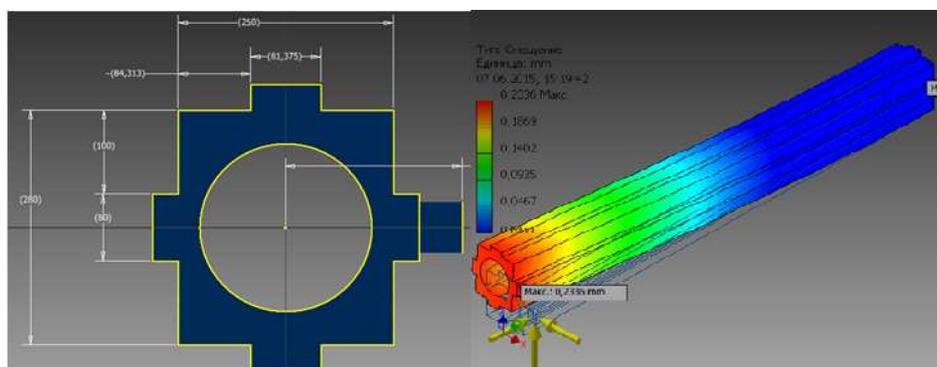


Рисунок 5 – Расчетная модель ползуна профильной формы сечения 250 x 280 мм.

Цветная палитра позволяет определить места наиболее нагруженных и опасных участков в ползуне. По результатам расчета в программе Autodesk Inventor получаем значения смещения (прогиба), которые представлены ниже.

□ **Результат**

| Имя | Минимальная | Максимальная |
|--------------------------|---------------------------|----------------|
| Объем | 134271000 мм ³ | |
| Масса | 1052,69 кг | |
| Напряжение по Мизесу | 0,0129811 МПа | 6,88766 МПа |
| 1-ое основное напряжение | -1,33273 МПа | 5,64432 МПа |
| 3-е основное напряжение | -7,63027 МПа | 1,23943 МПа |
| Смещение | 0 мм | 0,23363 мм |
| Коэф. запаса прочности | 15 бр | 15 бр |
| Смещение по оси X | -0,122438 мм | 0,000135973 мм |
| Смещение по оси Y | -0,0217322 мм | 0,0222098 мм |
| Смещение по оси Z | 0 мм | 0,200222 мм |

Рисунок 6 – Результаты расчета смещения (прогиба) ползуна профильной формы сечения 250 x 280 мм.

По полученным результатам расчета можно увидеть, что максимальное смещение (прогиб) составил 0,2336 мм.

Применив полученные данные по расчету ползуна в программе Autodesk Inventor рассчитаем податливость и прогиб ползуна прямоугольной формы сечения при различных силах резания и вылетах [7]. Параметры для расчета и первый вариант расчета приведены на рисунке 7.

Вариант 1

Исходные данные:

| | | | | | | | |
|---|----------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Приложенная сила, Н | P | 50000 | 28500 | 13400 | 4300 | 2000 | 900 |
| Вылет ползуна от торца салазки, мм | l | 450 | 750 | 1000 | 1500 | 2000 | 2635 |
| Вылет ползуна от центра нижней опоры гидростатики, мм | l ₁ | 575 | 875 | 1125 | 1625 | 2125 | 2760 |
| Сечение прямоугольной балки, мм | | | | | | | |
| ширина | b | 320 | 320 | 320 | 320 | 320 | 320 |
| высота | h | 280 | 280 | 280 | 280 | 280 | 280 |
| Диаметр круглого отверстия, мм | d | 202 | 202 | 202 | 202 | 202 | 202 |
| Модуль упругости, МПа | E | 2,1E+05 | 2,1E+05 | 2,1E+05 | 2,1E+05 | 2,1E+05 | 2,1E+05 |

Расчет:

| | | | | | | | |
|---|----------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Момент инерции сечения, мм ⁴ | J _x | 5,04E+08 | 5,04E+08 | 5,04E+08 | 5,04E+08 | 5,04E+08 | 5,04E+08 |
| Момент инерции сечения, мм ⁴ | J _y | 6,83E+08 | 6,83E+08 | 6,83E+08 | 6,83E+08 | 6,83E+08 | 6,83E+08 |
| Изгиб. момент в сечении, Н/м | M _и | 28750,0 | 24937,5 | 15075,0 | 6987,5 | 4250,0 | 2484,0 |
| Прогиб конца ползуна, мм | v _x | 0,0300 | 0,0602 | 0,0601 | 0,0596 | 0,0605 | 0,0596 |
| Прогиб конца ползуна, мм | v _y | 0,022 | 0,044 | 0,044 | 0,044 | 0,045 | 0,044 |

| | | | | | | | |
|--------------------------------------|----------------|-------|------|------|-------|-------|-------|
| Вылет ползуна (Extending of ram), мм | l | 450 | 750 | 1000 | 1500 | 2000 | 2635 |
| Податливость (Give), mkm/kN | C _x | 0,442 | 2,11 | 4,49 | 13,85 | 30,24 | 66,26 |
| Податливость (Give), mkm/kN | C _y | 0,442 | 1,56 | 3,31 | 10,22 | 22,31 | 48,87 |

Рисунок 7 – Расчет ползуна, вариант №1.

По данным расчета получим зависимость податливости ползуна от его вылета.

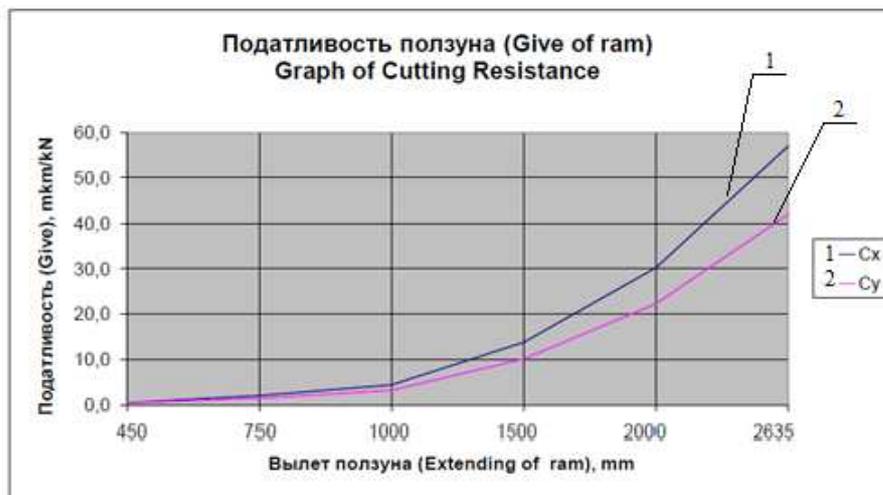


Рисунок 8 – Зависимость податливости ползуна от его вылета по оси x и оси y, первый вариант.

По данным расчета получим зависимость смещения (прогиба) ползуна от его вылета

| Вылет ползуна (Extending of ram), мм | l | 450 | 750 | 1000 | 1500 | 2000 | 2635 |
|--------------------------------------|-------|------|------|------|------|------|------|
| Прогиб конца ползуна, мкм | v_x | 30,0 | 60,2 | 60,1 | 59,6 | 60,5 | 59,6 |
| Прогиб конца ползуна, мкм | v_y | 22,1 | 44,4 | 44,3 | 43,9 | 44,6 | 44,0 |

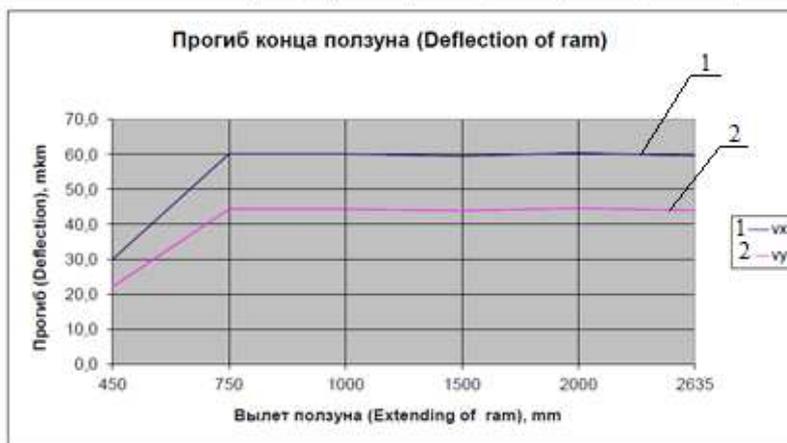


Рисунок 9 – Зависимость прогиба (смещения) ползуна от его вылета по оси x и оси y, первый вариант.

Параметры для расчета и второй вариант расчета приведены на рисунке 10.

Вариант 2

Исходные данные:

| | | | | | | | |
|------------------------------------|-------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Приложенная сила, Н | P | 50000 | 28500 | 13400 | 4300 | 2000 | 1050 |
| Вылет ползуна от торца салазки, мм | l | 500 | 750 | 1000 | 1500 | 2000 | 2500 |
| Вылет ползуна от центра нижней | l_1 | 625 | 875 | 1125 | 1625 | 2125 | 2625 |
| Сечение прямоугольной балки, мм | | | | | | | |
| ширина | b | 320 | 320 | 320 | 320 | 320 | 320 |
| высота | h | 280 | 280 | 280 | 280 | 280 | 280 |
| Диаметр круглого отверстия, мм | d | 202 | 202 | 202 | 202 | 202 | 202 |
| Модуль упругости, МПа | E | 2,1E+05 | 2,1E+05 | 2,1E+05 | 2,1E+05 | 2,1E+05 | 2,1E+05 |

Расчет:

| | | | | | | | |
|---|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Момент инерции сечения, мм ⁴ | J_x | 5,04E+08 | 5,04E+08 | 5,04E+08 | 5,04E+08 | 5,04E+08 | 5,04E+08 |
| Момент инерции сечения, мм ⁴ | J_y | 6,83E+08 | 6,83E+08 | 6,83E+08 | 6,83E+08 | 6,83E+08 | 6,83E+08 |
| Изгиб. момент в сечении, Н/м | $M_{из}$ | 31250,0 | 24937,5 | 15075,0 | 6987,5 | 4250,0 | 2756,3 |
| Прогиб конца ползуна, мм | v_x | 0,0385 | 0,0602 | 0,0601 | 0,0596 | 0,0605 | 0,0599 |
| Прогиб конца ползуна, мм | v_y | 0,028 | 0,044 | 0,044 | 0,044 | 0,045 | 0,044 |

| | | | | | | | |
|-----------------------------------|-------|-------|------|------|-------|-------|-------|
| Вылет ползуна (Extending of ram), | l | 500 | 750 | 1000 | 1500 | 2000 | 2500 |
| Податливость (Give), mkm/kN | C_x | 0,568 | 2,11 | 4,49 | 13,85 | 30,24 | 57,00 |
| Податливость (Give), mkm/kN | C_y | 0,568 | 1,56 | 3,31 | 10,22 | 22,31 | 42,05 |

Рисунок 10 – Расчет ползуна, вариант №2.

По данным расчета получим зависимость податливости ползуна от его вылета.

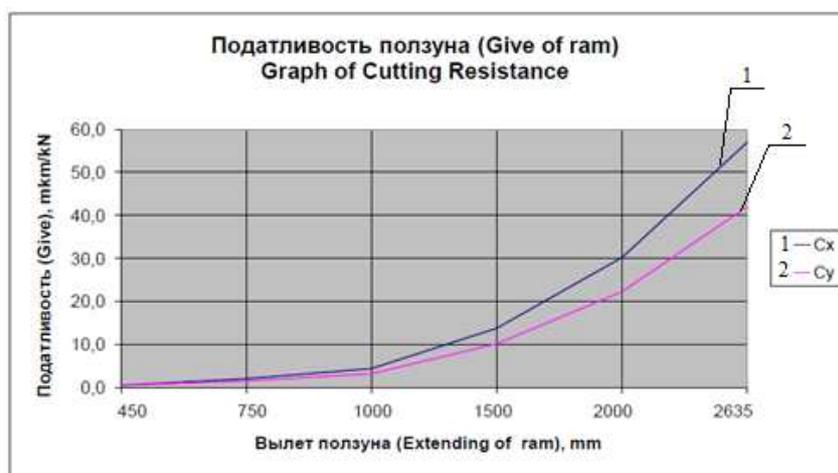


Рисунок 11 – Зависимость податливости ползуна от его вылета по оси x и оси y, второй вариант.

По данным расчета получим зависимость смещения (прогиба) ползуна от его вылета

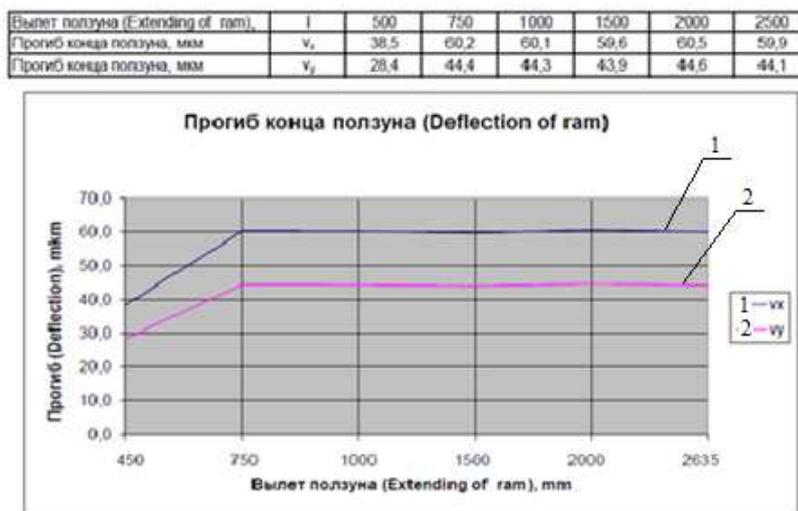


Рисунок 12 – Зависимость прогиба (смещения) ползуна от его вылета по оси x и оси y, второй вариант.

По полученным данным в расчетах податливости и прогиба ползуна при различных вылетах и силах резания можно построить диаграмму допускаемых усилий резания от вылета ползуна (рис. 13). Диаграмма дает нам допустимую область, в которой будет достигаться заданная точность при обработке.

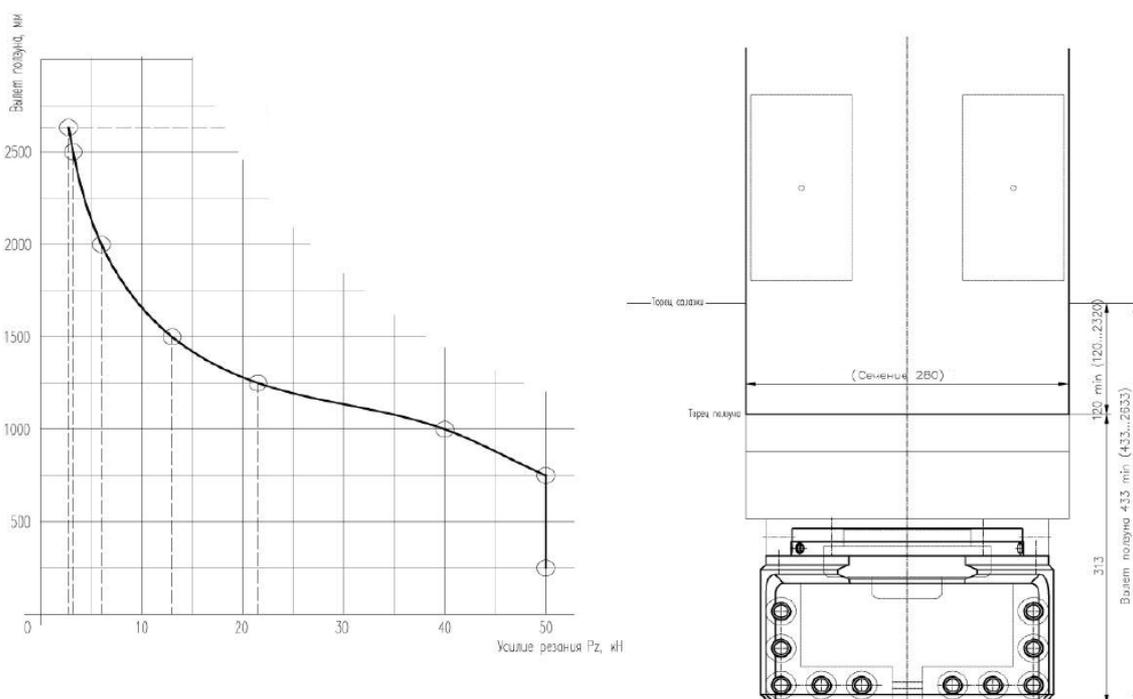


Рисунок 13 – Диаграмма допускаемых усилий резания от вылета ползуна

Изготовление ползуна очень кропотливый и трудоемкий процесс. Первоначально заготовку отливают нужной формы и подвергают определенной термообработке, после заготовка подвергается кузнечно – прессовой операции, обретая окончательную форму, затем путем последовательных операций сверления, растачивания и протяжки в сечении ползуна проделывают отверстие нужного диаметра и ступеней для сверлильно – фрезерного привода.

Из трех рассмотренных вариантов мы видим что третий вариант наиболее благоприятен и менее податлив деформации при обработке заготовки в токарном режиме, но изготовление такого профиля пока не имеет возможности, поэтому мы остановимся на втором варианте с прямоугольным профилем сечения 250 x 280 мм и отверстием 202 мм.

Литература

1. Бережной С.Б., Влияние деформации ползуна многоцелевого станочного комплекса серии VM на точность обработки / Бережной С.Б., Чумак П.В. // Научный журнал КубГАУ [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2015. – №111(07). – IDA [article ID]: 1171603073. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2015/07/pdf/55.pdf>.
2. Руководство по эксплуатации станочного многофункционального комплекса VM 32, ООО «СП Седин-Шисс» 2008г.
3. Барановский Ю.В., Режимы резания металлов. Справочник. - М.: Машиностроение, 1972. - 497 с.
4. Чумак П.В., Технологические возможности многоцелевых станочных комплексов серии VM; С.Б. Бережной, П.В. Чумак; Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник) № 3 2014г., г.Краснодар Издательский Дом – Юг., с. 61-67
5. Каминская В.В., Левина З.М., Решетов Д.Н. Станины и корпусные детали металлорежущих станков: Москва 1960.
6. Решетова Д.Н. Детали и механизмы металлорежущих станков. В 2-х т.- М.: Машиностроение, 1972.- 663 с.
7. Левина З.М. Расчет и выбор конструктивных параметров направляющих качения: Руковод. материалы.- М.: ЭНИМС, 1961.-104 с.

References

1. Berezhnoj S.B., Vliyanie deformacii polzuna mnogocelevegogo stanochnogo kompleksa serii VM na tochnost' obrabotki / Berezhnoj S.B., Chumak P.V. // Nauchnyj zhurnal KubGAU [Elektronnyj resurs]. – Krasnodar: KubGAU, 2015. – №111(07). – IDA [article ID]: 1171603073. – Rezhim dostupa: <http://ej.kubagro.ru/2015/07/pdf/55.pdf>.
2. Rukovodstvo po jekspluatácii stanochnogo mnogofunkcional'nogo kompleksa VM 32, ООО «SP Sedin-Shiss» 2008g.

3. Baranovskij Ju.V., Rezhimy rezanija metallov. Spravochnik. - M.: Mashinostroenie, 1972. - 497 s.
4. Chumak P.V., Tehnologicheskie vozmozhnosti mnogocelevyh stanochnyh kompleksov serii VM; S.B. Berezhoj, P.V. Chumak; Nauka. Tehnika. Tehnologii (politehnicheskij vestnik) № 3 2014g., g.Krasnodar Izdatel'skij Dom – Jug,. s. 61-67
5. Kaminskaja V.V., Levina Z.M., Reshetov D.N. Staniny i korpusnye detali metallovezhushhih stankov: Moskva 1960.
6. Reshetova D.N. Detali i mehanizmy metallovezhushhih stankov. V 2-h t.- M.: Mashinostroenie, 1972.- 66Z s.
7. Levina Z.M. Raschet i vybor konstruktivnyh parametrov napravljajushhih kachenija: Rukovod. materialy.- M.: JeNIMS, 196I.-104 s.