

УПРОЧНЯЮЩАЯ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ЗУБЬЕВ ВТУЛОК ЗУБЧАТЫХ МУФТ

Михайлов А. Н., Гитуни А., Грубка Р.М. (ДонНТУ, г. Донецк, Украина)

Thermo mechanical processing tooth of cartridges gear coupling, which consists in simultaneous reception on lateral surfaces tooth of required geometry and giving to a product of necessary physical and mechanical properties.

1. Введение.

Зубчатые муфты предназначены для передачи крутящих моментов между валами и компенсации погрешностей их монтажа. Одним из основных достоинств зубчатых муфт является способность передавать значительные нагрузки при малых габаритах. Однако при неустановившихся режимах работы муфты, при пусках машины имеют место радиальные смещения осей втулки относительно обоймы, при этом резко возрастает нагруженность зубчатых элементов, что ведет к снижению нагрузочной способности зубчатых муфт.

Нагрузочная способность и способность к компенсации погрешностей монтажа валов зависят от геометрии боковой поверхности зубьев втулок зубчатых муфт и от физико-механических свойств материала, из которого они изготавливаются. Так в зависимости от формы боковой поверхности различают зубья с прямолинейной образующей, зубья с продольной или профильной модификациями, а также зубья с различного рода пространственными модификациями [1, 2, 3, 4, 5, 6]. Придание необходимых физико-механических свойств материалу осуществляется различными технологическими способами одним, из которых является термомеханическая обработка. Как известно, термомеханическая обработка (ТМО) является эффективным способом упрочнения сталей, которые работают при сложных нагружениях [7, 8], ТМО увеличивает работу распространения трещин, повышает ударную выносливость, возрастает предел прочности и износостойкость. Сущность ТМО заключается в том, что мартенсит получает наследственную мелкозернистую структуру от переохлажденного аустенита, а также происходит «наследование» дефектов от деформации в процессе закалки. Поэтому применение ТМО для повышения несущей способности зубчатых муфт за счет увеличения предела изгибной выносливости зубьев является одним из перспективных путей. В связи со всем выше перечисленным актуальным является разработка способов одновременного получения требуемой геометрии на боковых поверхностях зубьев втулок зубчатых муфт и придания требуемых физико-механических свойств материалу изделия.

Целью данной работы является разработка технологических методов получения зубьев втулок зубчатых муфт с заданной геометрией боковой поверхности и с требуемыми физико-механическими свойствами.

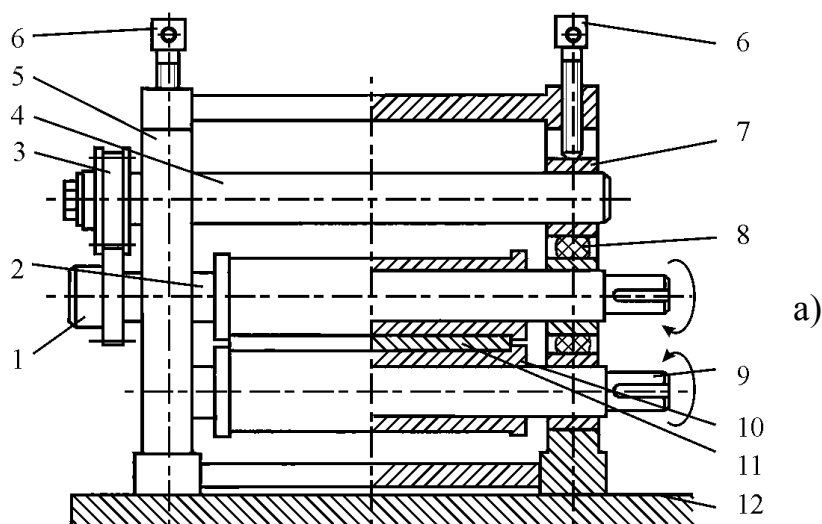
В основу данной работы поставлена задача разработки технологического обеспечения термомеханической обработки зубьев втулок зубчатых муфт с пространственной модификацией или приближенной к ней.

2. Содержание работы.

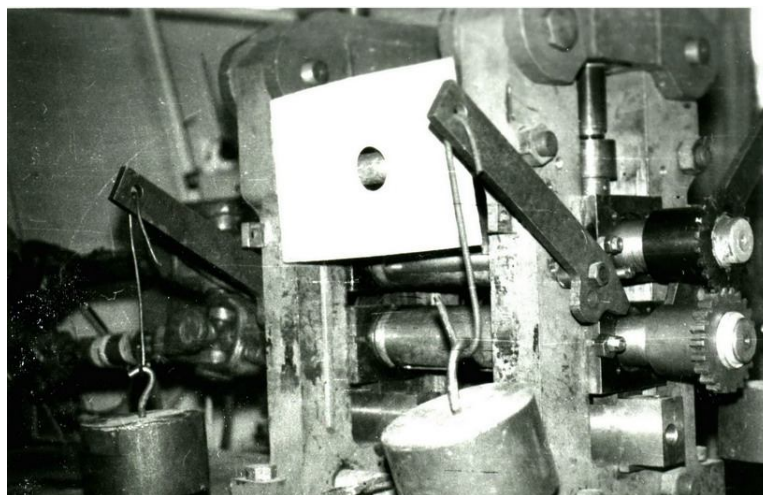
По конструктивным соображениям предусмотрено, что для обеспечения равнопрочности зацепления муфты ТМО производится только для зубьев втулки, так как нагрузочная способность её зубьев меньше, чем зубьев обоймы [9]. Сразу отметим, что для зубьев обоймы применима обычная термообработка, выбор вида которой вытекает из условия создания равнопрочности зубьев зацепления, а также обеспечения разницы в твердости рабочих поверхностей зубьев втулки и обоймы, необходимой для

качественной их приработки в соответствии с рекомендациями ГОСТ 5006-83 «Муфты зубчатые. Технические условия».

Использование ТМО для элементов зубчатых втулок в промышленных масштабах связано с большими трудностями из-за необходимости применения мощного оборудования для обработки давлением. В связи с этим было предложено ТМО зубьев втулок вести на модернизированном прокатном стане [7], который легко можно перемещать по цехам машиностроительных заводов благодаря размещению его на пространственной стержневой раме [10].



а)



б)

Рис. 1. Схема – а и общий вид устройства для чистовой горячей накатки зубьев втулок – б.

На рис. 1 изображены схема и общий вид устройства для чистовой горячей накатки зубьев втулок. Здесь нагретая с предварительно обработанными зубьями заготовка 1 насаживается на хвостовик среднего шпинделя 2 в зацепление с инструментом 3, закрепленным на хвостовике верхнего шпинделя 4. Установка шпинделей в станине 5 осуществлена на опорах 7, между которыми вставлены упругие элементы 8. Зазоры между заготовкой 1 и инструментом 3 регулируются винтами 6.

Процесс пластической деформации при ТМО профилей зубьев является свободным обкаточным процессом, основанным на принципе плоского станочного зацепления. Обрабатываемая зубчатая втулка совершает вокруг своей продольной оси вращательное движение, а инструмент – свободное обкаточное движение, в радиальном направлении – поступательное движение на определенную величину в зависимости от требуемой степени деформации зубьев изделия. Опыт ТМО зубчатых втулок показал, что припуск под качественное формообразование и упрочнение материала зубьев следует оставлять в пределах 30 – 40 допусков на колебание длины общей нормали.

Устройство снабжено дополнительным шпинделем 9 и двумя бандажами 10, между которыми в процессе обработки вводится прижимной калиброванный элемент 11. Станина 5 располагается на пространственной стержневой раме 9.

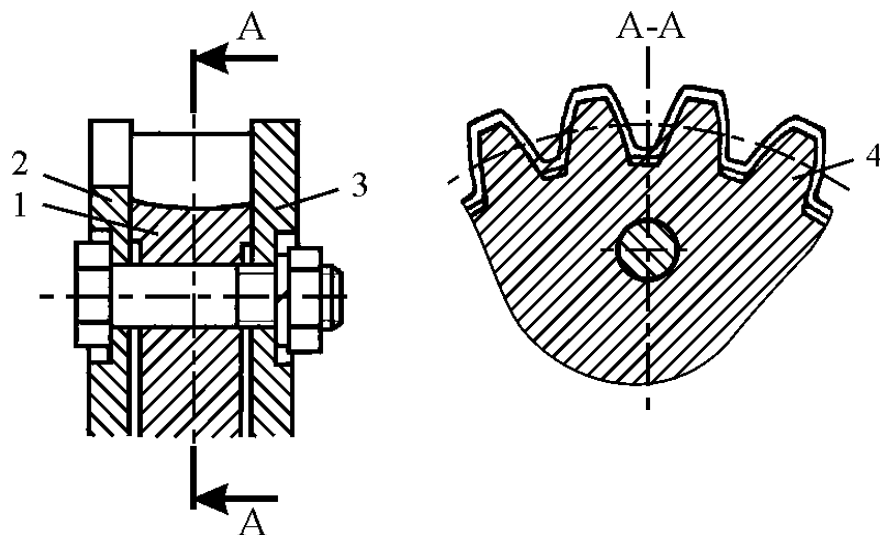


Рис. 2. Инструмент для чистовой горячей накатки зубьев втулок.

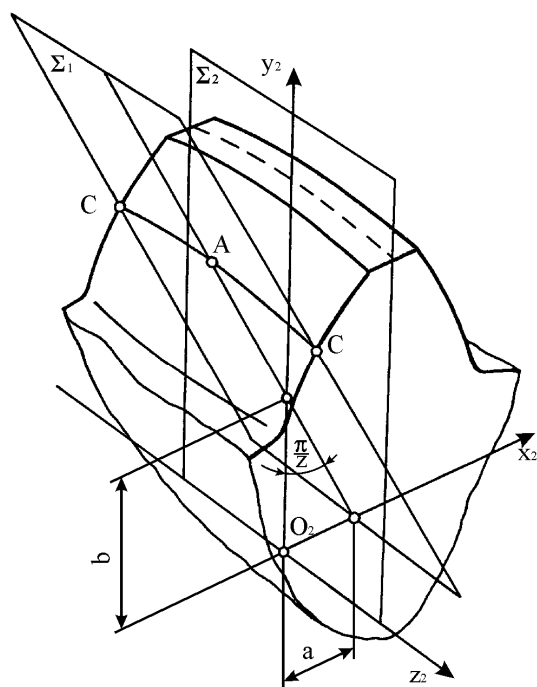


Рис. 3. К определению оптимальных параметров линии смещения исходного контура зубьев.

втулок. Инструмент состоит из скрепленных между собой профилирующего зубчатого венца 1, размещенного между двумя торцовыми дисками 2 и 3. С целью обеспечения

ТМО зубчатых элементов втулок производится в следующем порядке. Вначале осуществляется нагрев заготовок до 1200°C для создания однородности аустенита (гомогенизации), затем подстуживание до $1100 - 1000^{\circ}\text{C}$ [1]. После этого заготовка устанавливается на хвостовик среднего шпинделя и

производится деформация с обжатием зубчатых элементов втулки 1 инструментом 3. Поджатие заготовки 1 к инструменту 3 производится за счет введения прижимного калиброванного элемента 11 между бандажами 10, при выводе которого за счет упругих элементов 8 производится возврат шпинделя 2 в исходное положение. Вращательное движение зацеплению изделия с инструментом сообщается только зубчатой втулке 1, в связи с этим перенос погрешностей кинематической цепи и ошибок установки на изделия исключен. Отсутствие жесткой кинематической связи между обрабатываемой заготовкой и инструментом и наличие жесткой технологической системы подачи заготовки способствуют снижению технологических погрешностей изготовления изделий.

На рис. 2 показан инструмент для чистовой горячей накатки зубьев

The diagram illustrates the geometric model of the instrument's center of mass. It shows a semi-elliptical cross-section with several key points and dimensions:

- O₂**: The origin of the coordinate system.
- x₂, y₂**: The main axes of the coordinate system.
- Σ₁, Σ₂, Σ₃**: Specific points or sections along the upper boundary of the shape.
- P, A, B, C**: Points located within or on the boundary of the shape.
- r₂**: A radial distance from O₂ to point A.
- Y_{Σ₂}**: A vertical distance from the horizontal axis to the level of Σ₂.
- X_{Σ₂}^A**: A horizontal distance from the vertical axis to the vertical line passing through A.
- a**: A horizontal distance from the vertical axis to the vertical line passing through C.
- Центрида инструментальной рейки**: Center of mass of the instrument scale, indicated by a dashed arrow pointing towards the top right.

После деформации заготовки осуществляется немедленная закалка, позволяющая предотвратить развитие рекристаллизации, а также зафиксировать особое структурное состояние металла, возникающее под действием деформации. В результате ТМО аустенитная сталь получает мартенситную микроструктуру с зубчатыми границами зерен и блоками внутри зерен [7]. По данным работы [11], эффект упрочнения ряда аустенитных сталей сохраняется до 900 – 950°C.

Таким образом, ТМО зубчатых элементов втулок с использованием описанной схемы горячей деформации способствует повышению несущей способности зубчатых муфт за счет увеличения предела изгибной выносливости зубьев и обеспечения равнопрочности зацепления.

По технологическим соображениям [12] предусмотрено, что при накатке форма боковой поверхности зубьев изделий будет

Рис. 4. Сечение боковой рациональной поверхности зуба: а – наклонной плоскостью; б – плоскостью и делительной поверхностью.

149

отображать их форму с оптимальными параметрами линии смещения исходного контура.

Методика расчета оптимальных геометрических параметров линии смещения исходного контура основывается на сечении пространственно-модифицированной поверхности Σ_2 плоскостью Σ_1 (рис.3), проходящей через точку A под углом π/z , и последующему определению проекции линии их пересечения $C-C$ на плоскости Σ_3 проходящей через продольную ось изделия и точку касания центроид (рис.4а). Линия смещения исходного контура зубьев касательна в точке P к делительному цилиндру зубьев.

Точка A определяется пересечением линий $a-a$ и $b-b$, образованных от пересечения делительной поверхности Σ_4 с поверхностью Σ_2 и плоскости Σ_5 , проходящей по координатной плоскости $x_2O_2y_2$, с поверхностью Σ_2 (рис. 4б).

При нахождении координат x_2^A и y_2^A точки A используем систему уравнений:

$$\left. \begin{aligned} x_2 &= x_1 + 2A_1r_b \cos \psi \sin^2 \frac{\omega}{2}; \\ y_2 &= y_1 + 2A_1r_b \sin \psi \sin^2 \frac{\omega}{2}; \\ z_2 &= A_2 - (x_1 \cos \psi + y_1 \sin \psi) \sin \omega; \\ A_1 &= \cos(\psi + \varphi - \varphi_c) [\operatorname{ctg}(\psi + \varphi - \varphi_c) + \varphi]; \\ A_2 &= \frac{r_b \cos \omega \operatorname{tg} \frac{\omega}{2}}{\sin(\psi + \varphi - \varphi_c)}. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где x_2, y_2, z_2 - координаты точки на боковой поверхности зуба втулки;

x_1, y_1, z_1 - координаты точки на боковой поверхности зуба обоймы;

ψ - текущее значение угла поворота контактирующей пары зубьев;

φ - угол развернутости эвольвенты;

φ_c - угол смещения начала эвольвенты;

ω - значение угла перекоса зубьев втулки относительно зубьев обоймы.

При $z_2 = 0$ подставляем в левой части уравнений вместо x_2 и y_2 параметрические уравнения делительной поверхности с центром направляющей окружности в точке O_2 (рис.3.б), образующая которого параллельна оси z_2 :

$$\left. \begin{aligned} x_2 &= r_2 \cos u; \\ y_2 &= r_2 \sin u. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

где r_2 - радиус делительной поверхности зубьев втулки;

u - угол поворота радиуса-вектора делительной поверхности.

Далее, используя первое и второе уравнение системы (1) с уравнениями (2), находим связь параметров φ и ψ , которую обозначим функцией $f_n(\varphi, \psi) = 0$. В третьем уравнении системы (1) при $z_2 = 0$ также находим связь параметров $f_n(\varphi, \psi) = 0$.

Произведя соответствующие преобразования, получим систему уравнений, которая определяет связь параметров φ и ψ для точки A :

$$\left. \begin{aligned} &\varphi^2 - 0,1324733 + 4\sin^2 \frac{\omega}{2} \sin(\psi + \beta_n) \cos(\psi + \\ &+ \beta_n) [\operatorname{ctg}(\psi + \beta_n) + \varphi] [1 - \varphi \operatorname{ctg}(\psi + \beta_n)] + \\ &+ 4\sin^4 \frac{\omega}{2} \cos^2(\psi + \beta_n) [\operatorname{ctg}(\psi + \beta_n) + \varphi]^2 = 0; \\ &\psi = \frac{1}{2} \left\{ \arccos \left[\cos \left(\arcsin \frac{\varphi}{\sqrt{1+\varphi^2}} \right) - \frac{2\operatorname{tg} \frac{\omega}{2} \operatorname{ctg} \omega}{\sqrt{1+\varphi^2}} \right] - \right. \\ &\left. - 2\beta_n + \arcsin \frac{\varphi}{\sqrt{1+\varphi^2}} \right\}; \\ &\beta_n = \varphi - \varphi_c. \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Тогда, решая трансцендентную систему уравнений (3) с помощью ЭВМ, находим однозначные значения параметров φ и ψ , которые подставляем в первые два уравнения системы (1) и определяем координаты x_2^A и y_2^A точки A .

Найдя координаты x_2^A и y_2^A точки A , запишем параметрические уравнения наклонной плоскости Σ_1 , проходящей через эту точку под углом π/z (рис.4а) [13]:

$$\left. \begin{aligned} x_2^{h.n.} &= W; \\ y_2^{h.n.} &= b + W \frac{b}{a}, \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

где W - параметр плоскости;

a и b - суть величины отрезков, которые плоскость отсекает на координатных осях $x_2^{h.n.}$ и $y_2^{h.n.}$ (рис.4а).

Значения a и b определяются на основании (рис.4а) по следующим формулам:

$$\left. \begin{aligned} a &= \frac{y_2^A}{\operatorname{tg} \frac{\pi}{z}} - x_2^A, \\ b &= y_2^A - \frac{x_2^A}{\operatorname{tg} \frac{\pi}{z}}. \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Положив в уравнениях (4) $x_2^{h.n.} = x_2$, $y_2^{h.n.} = y_2$ и учитывая (5), подставим их значения в левые части первых двух уравнений системы (1), найдем связь параметров $f_{h.n.}(\varphi, \psi) = 0$, которая имеет следующий вид:

$$\begin{aligned} &a(\cos \beta_n + \varphi \sin \beta_n) - b(\sin \beta_n - \varphi \cos \beta_n) - \frac{ab}{\eta_b} + \\ &+ 2\sin^2 \frac{\omega}{2} \cos(\psi + \beta_n) [\operatorname{ctg}(\psi + \beta_n) + \varphi] (a \sin \psi - b \cos \psi) = 0. \end{aligned} \quad (6)$$

Решив трансцендентное уравнение (6) с помощью ЭВМ и определив зависимость параметров φ и ψ , подставляем их значения во второе и третье уравнение системы (1), найдем значения координат линии $C-C$ (рис.3).

Тогда значения координат линии смещения исходного контура, касательной к делительному цилиндру в точке P , лежащих в плоскости Σ_3 , определяются на основании (рис.4а) следующими зависимостями

$$\left. \begin{aligned} f_{н.п.}(\varphi, \psi) &= 0; \\ y_{см.и.к} &= \frac{1}{\cos \frac{\pi}{z}} y_2 - \overline{BC}, \\ z_{см.и.к} &= z_2. \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

Здесь BC определяется из рис.4а, при этом учитываем, что $AB=r_2$:

$$\overline{BC} = \frac{y_2^A}{\cos \frac{\pi}{z}}. \quad (8)$$

С учетом (8), уравнения (7) в параметрической форме будут иметь:

$$\left. \begin{aligned} f_{н.п.}(\varphi, \psi) &= 0; \\ y_{см.и.к} &= \frac{1}{\cos \frac{\pi}{z}} (y_2 - y_2^A) + r_2; \\ z_{см.и.к} &= z_2. \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

Из системы (9) следует, что при $y_2=y_2^A$ происходит касание в точке P линии смещения исходного контура зубьев с делительной поверхностью, при этом $z_{см.и.к}=0$. Реализуя накатником боковую поверхность зубьев, линия смещения исходного контура которых определяется по уравнениям системы (9), получим форму зубьев, близкую по своим геометрическим параметрам к пространственно-модифицированным. Такая форма зубьев обусловлена технологическими соображениями их дальнейшей обработки, следующей за ТМО: шлифование зубьев, пространственная модификация зубьев хонингованием и т.п.

3. Заключение.

В представленной работе разработан способ термомеханической обработки зубьев втулок зубчатых муфт с получением пространственной геометрии на боковых поверхностях зубьев и требуемых физико-механических свойств изделия. Для реализации данного способа разработана принципиальная схема устройства, на основании которой было предложено вести ТМО зубьев на модернизированном прокатном стане. А так же разработан инструмент для чистовой горячей накатки зубьев втулок, форма боковой поверхности зубьев которого зависит от вида пространственной геометрии. Для профилирования боковой поверхности зубьев инструмента предложена методика расчета оптимальных геометрических параметров линии смещения исходного контура.

Обработка по данному способу позволяет получать на зубьях зубчатых колес пространственную геометрию, которая обеспечивают повышение несущей и компенсирующей способности зубчатых муфт за счет того, что в соединении обеспечивается линейное касание рабочих поверхностей зубьев втулки и обоймы и выравнивание характеристик распределения нагрузки в зацеплении.

Предложенный способ термомеханической обработки зубьев с пространственной модификацией может быть использован при обработки зубчатых венцов цилиндрических зубчатых колес тяжело нагруженных и высокоскоростных механизмов.

Список литературы: 1. Мирзаджанов Д. Б. Конструктивные методы выравнивания зазоров и скоростей скольжения на боковых поверхностях зубьев муфт.-

Вестн. машиностроения. 1986, №8, С.15-18. 2. А.С. 1425374 СССР F 16 D 3/18. Зубчатая муфта / А.Н. Михайлов (СССР). – 4138360/31-27 заявлено 20.10.86. Оpubл. 23.09.88. – Бюл. № 35, с.3. 3. А.С. 1481524 СССР F 16 D 3/18. Зубчатый венец / А.В. Лукичев, В.А. Финиченко, Н.А. Чернышев, Ю.Б. Похинов и др.(СССР). – 4245051/31-27 заявлено 14.05.87. Оpubл. 23.05.89. – Бюл. № 19, с. 6. 4. Михайлов А.Н., Рыбина С.А., Перов Д. В., Оливер Т. Основы синтеза геометрии внутренних пространственных зацеплений с равным числом внутренних и наружных зубьев / В кн. Прогрессивные технологии и системы машиностроения. Международный сб. трудов. - Донецк: ДонГТУ, 2000. Выпуск 10.-С.149-161. 5. Грубка Р.М., Михайлов А.Н. Синтез структуры групповой пространственной геометрии зубьев втулок зубчатых муфт //Прогрессивные технологии и системы машиностроения Донецк: ДонНТУ. Вып. 27, 2004. – С. 71 – 75. 6. А. с. 68689 України, МКИ F16D3/18. Зубчаста муфта. Заявл. 29.09.2003. Оpubл. 16.08.2004. Бюл. №8, 2004. 7. Полухин П. И., Горелик С. С., Воронцов В. К. Физические основы пластической деформации. – М.: Металлургия, 1982. – 584с. 8. Термическая обработка в машиностроении. Справочник под ред. Лахтина Ю. М., Рахштадта А. Г. – М.: Машиностроение, 1980. – 783с. 9. Робер А. И., Плотников В. С. Расчет зубчатых шпинделей с бочкообразными зубьями. – Вестн. машиностроения, 1972, № 1, с. 26 – 28. 10. А. с. 804031 (СССР). Прокатный стан / Гринавцев В. Н., Снеговский Ф. П., Багненко Ф. М. и др. –Оpubл. в Б. И., № 6. 11. Лозинский М. Г. Новые методы повышения прочности сталей. – Вестн. машиностроения, 1961, № 1, с.64-67. 12. Михайлов А.Н., Финиченко В.А., Чернышов Н. А. Оптимизация параметров линии смещения исходного контура при обработке бочкообразных зубьев зубчатых муфт. - Киев, 1984.- 9с. Рукопись депонирована в УкрНИИНТИ, № 1531. 13. Бахвалов С.В., Бабушкин Л.И., Иваницкая В.П. Аналитическая геометрия.- М.: Просвещение, 1970. – 21с.

Сдано в редакцию 29.01.07

СТАТИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ МАЛЫХ ПАРТИЙ

Мовшович А.Я., Лагода А.Н. (ГП “Харьковский научно-исследовательский институт технологи машиностроения, г. Харьков)

Elaboration method operative diagnostic exactness of making machine-building production in condition petty serial production was urgent issue. The order of this work way elaboration statistical method diagnostic exactness lathes. It porosity for map kumulation sum pursue “diagnosis” machinery.

Введение. Качество продукции (включая новизну, технический уровень, отсутствие дефектов при исполнении, надежность в эксплуатации) является одним из важнейших средств конкурентной борьбы, завоевания и удержания позиций на рынке. Поэтому фирмы уделяют особое внимание обеспечению высокого качества продукции, устанавливая контроль на всех стадиях производственного процесса, начиная с контроля качества используемых сырья и материалов и заканчивая определением соответствия выпущенного продукта техническим характеристикам и параметрам не только в ходе его испытаний, но и в эксплуатации, а для сложных видов оборудования – с предоставлением определенного гарантийного срока после установки оборудования на предприятии заказчика. Поэтому управление качеством продукции стало основной частью производственного процесса и направлено не столько на выявление дефектов