

Список литературы: 1. Полухин В.П., Полухин П.И., Николаев В.А. Составной рабочий инструмент прокатных станов. М., «Металлургия», 1977. 88с. 2. Зенкин А.С., Арпентьев Б.М. Сборка неподвижных соединений термическими методами. - М.: Машиностроение, 1987.- 128с. ил. 3. Бобровников Г.А. Прочность посадок осуществляемых с применением холода, Машиностроение, М., 1971, 90 с. 4. Лебедь В.Т., Кулаченко А.А. Технология тепловой сборки составных крупногабаритных деталей /Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Международный сб. научных трудов. - Донецк: ДонНТУ, 2004. Вып. 28., С. 84–94. 5. Солнцев Ю.П., Степанов Г.А. Материалы в криогенной технике: Справочник. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отделение, 1982.- 312с. 6. Справочник по физико-техническим основам криогеники/ М.П. Малкова, И.Б. Данилов, А.Г. Зельдович, А.Б. Фрадков /Под ред. М.П. Малкова.- М.: Энергоатомиздат, 1985, 431с. 7. Complex of certainly - element general-purpose programs, designed the company “Hibbit, Karlsson & Sorensen, Inc” (HKS, USA). License N 44 of JSC «NKMZ». November 2003.

Сдано в редакцию 15.05.07

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА СТАТИЧЕСКОЙ НАСТРОЙКИ ТОКАРНОГО СТАНКА НА ОПЕРАЦИЮ ПРОГРАММНОЙ ОБРАБОТКИ ВАЛКОВ СОРТОВОГО ПРОКАТА

Лещенко А.И. (ПГТУ, г. Мариуполь, Украина)

The given work is devoted to questions of accuracy of the form of surfaces of bar-rolling of hire at their processing on machine tools with NC. The received analytical dependences, allow to estimate numerical meanings of an error of the form depending on vector meanings of mistakes admitted at adjustment of the machine tool on operation. The occurrence of errors is submitted by a consequence of infringement of law of a mutual arrangement of coordinate systems of the machine tool and detail.

Задачи постоянного совершенствования прокатного производства, связаны с улучшения качества прокатных валков. На предприятии ОАО "Металлургический комбинат "Азовсталь" совместно со специалистами кафедры технологии машиностроения Приазовского государственного технического университета проведены работы по внедрению в производство технологического процесса чистовой обработки валков рельсобалочного производства на станке модели DXW1250/3 с УЧПУ CNC-645.

Механическая обработка прокатных валков диаметрами 0700 - 0900 мм, длиной до 3 м и массой 20 - 25 т требует значительных временных и материальных затрат при технологической наладке станка на программную операцию.

Целью работы, данного раздела является построение математической модели, определяющей макрогеометрическую точность цилиндрических поверхностей в зависимости от погрешностей статической настройки вальцетокарного станка. Если следовать классификации приведенной [1] то речь идет о параметрах погрешности статической настройки не зависящих от времени, таких как размерная настройка инструмента по двум координатным направлениям X, Z, установка вершины резца относительно оси центров станка, а также угол между осью детали и осью шпинделя. Следует отметить, что наладка станка на операцию, является основой для всей цепи формирования поверхностей детали, при этом ошибки статической настройки не

смогут исправить самые совершенные методы динамической корректировки процесса обработки резанием.

Теоретически, установка вала при токарной обработке по центровым отверстиям позволяет совместить ось детали с осью шпинделя, т.е. свести к нулю погрешности формы от несовпадения координатных осей Z детали (СКД) и станка (СКС). Однако достичь такого совмещения, особенно при обработке крупногабаритных валков, практически невозможно вследствие ряда причин:

- отклонение от соосности центровых гнезд и кромочного касания центров с центровыми отверстиями;
- погрешность углов центровых отверстий и конуса центров;
- нормируемое смещение оси шпинделя (оси $Z_{ст}$ станка) относительно оси заднего центра.

Все выше перечисленные причины активизируют свое влияние на точность базирования детали под действием силы тяжести в процессе стропления валков и осевого усилия гидрозажима заднего центра.

Исследование в этом вопросе дают весьма приблизительную оценку возникающей погрешности. Например [2] отмечает, что при отклонении от соосности или погрешности углов центровых гнезд заготовка смещается в продольном и поперечном направлении в результате смятия и износа их кромок (рис. 1).

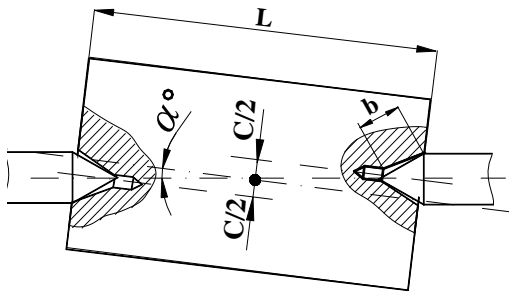


Рис. 1. Образование угла перекоса оси детали, при ее базировании в центрах.

Приводится формула для расчета угла перекоса заготовки $\alpha = \arctg\left(\frac{c}{L}\right)$, и

величины поперечного смещения $\delta = b \frac{\sin(\alpha)}{\sin(\pi/3)}$ заготовки от начала смятия

кромки до образования контакта по поверхности центровых гнезд, где b длина образующей конуса центрального гнезда.

Величину δ трудно измерить и включить в схему геометрического расчета предельного значения погрешности угла перекоса оси при базировании детали.

Автор [3] отмечает, что если при отклонении от соосности центровых гнезд или смещение осей шпинделя и заднего центра, осевая сила сдвигает заготовку к шпинделю станка то у переднего центра отсутствует смещение в поперечном направлении, в то время как у заднего оно может достигать значительной величины. Приведен пример: при отклонении от соосности центровых отверстий в 0.1 мм и длине образующей гнезда 5 мм смещение достигает 0.05 мм.

Действующие стандарты (ГОСТ8161-75) предполагают контроль шаблонами на прилегание в осевом сечении формообразующей поверхности валков. Контроль прилегания осуществляется «на просвет» и может быть измерен микрометрическими щупами. Такой метод контроля ставит задачу: получить уравнение кривой ограничивающей осевое сечение детали, как функцию координат управляющей программы, вылетов инструмента и угла между осью детали осью шпинделя. Такая функция даст возможность аналитического анализа образующих цилиндрических поверхностей различного типа в зависимости от погрешностей статической настройки.

Для решения этой задачи применяется метод, при котором формирование поверхности детали рассматривается через взаимодействие двух координатных систем: коор-

динатной системы станка $X_{ст}Y_{ст}Z_{ст}$ и координатной системы детали $X_{д}Y_{д}Z_{д}$. В последней собственно и должен выполняться контроль геометрических параметров детали.

При токарной обработке на станках с УЧПУ программные перемещения суппорта обрабатываются приводами подач в координатной системе станка $X_{ст}Y_{ст}Z_{ст}$, где плоскость $X_{ст}Z_{ст}$ определяется векторами продольного и поперечного перемещений суппорта, при этом ось $Z_{ст}$ совпадает с осью шпинделя. Условно принимаем, что базовая точка суппорта $O_{и}$ (рис. 2а) лежит в плоскости $X_{ст}Z_{ст}$ и является началом системы координат инструмента $X_{и}Y_{и}Z_{и}$ инструмента. Положение режущей кромки резца определяет вектор:

$$\vec{F}_{и} = \begin{pmatrix} \vec{F}_{и}^x \\ \vec{F}_{и}^y \\ \vec{F}_{и}^z \end{pmatrix} \quad \text{где } \vec{F}_{и}^x \text{ и } \vec{F}_{и}^z \text{ вектора вылеты инструмента, } \vec{F}_{и}^y \text{ - вектор погрешности настройки резца.}$$

При технологической наладке вершина резца, должна быть выставлена по оси центров т.е лежать в плоскости $X_{ст}Z_{ст}$, тогда $\vec{F}_{и}^y = 0$, однако практически это труднодостижимо, особенно при наладке тяжелых станков. Поэтому необходимо учитывать вектор погрешности $\vec{F}_{и}^y$, настройки вершины резца относительно плоскости $X_{ст}Z_{ст}$,

Рассмотрим пример образования погрешности угла конусности конической поверхности и отклонение профиля осевого сечения этой поверхности от прямолинейности (рис. 2б).

Базовая точка суппорта $O_{и}$ перемещается в горизонтальной плоскости $X_{ст}Z_{ст}$ по траектории заданной в программе отрезком прямой проходящим через две точки (z_1x_1) и (z_2x_2) с угловым коэффициентом k .

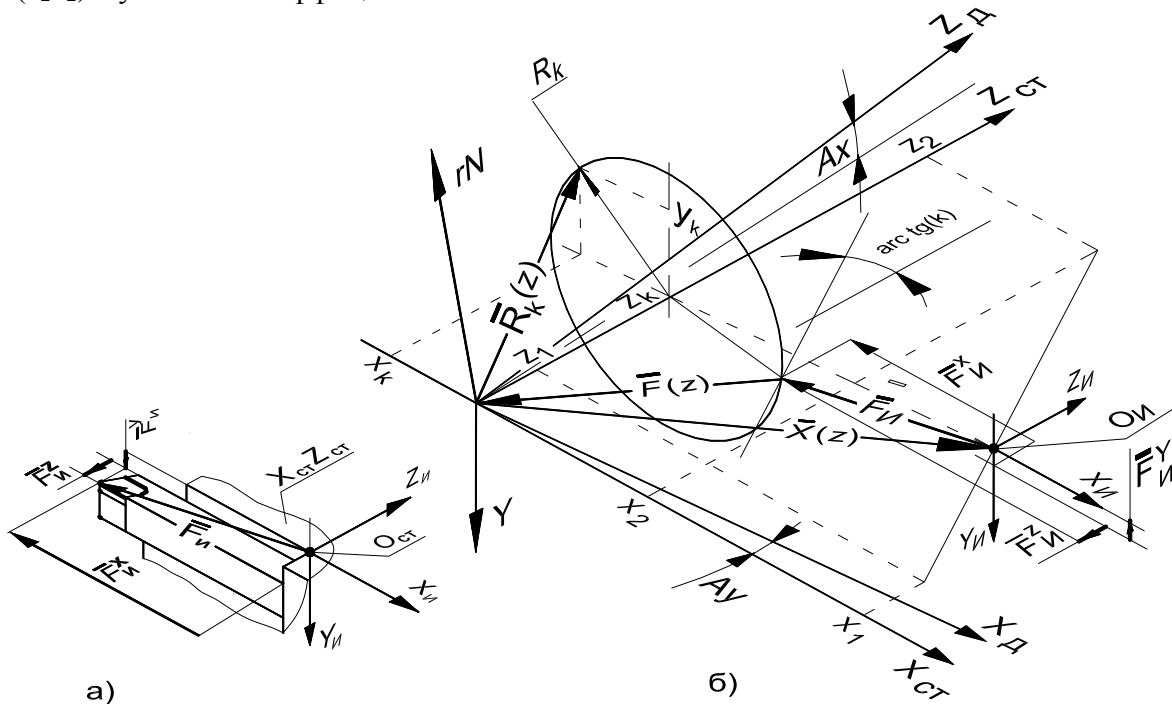


Рис. 2 Погрешность формы цилиндрической поверхности детали, от статической настройки инструмента $\vec{F}_{и}^x, \vec{F}_{и}^y, \vec{F}_{и}^z$ (а) и углов оси детали с осью шпинделя: A_x в вертикальной плоскости и A_y в горизонтальной (б).

Уравнение прямой $X(z) = k \cdot (z - z_1) + x_1$ с угловым коэффициентом $k = \frac{x_2 - x_1}{z_2 - z_1}$, проходящей через указанные точки, можно записать в векторной форме:

$$\overline{X(z)} = \begin{pmatrix} k \cdot (z - z_1) + x_1 \\ 0 \\ z \end{pmatrix}.$$

Формообразование конической поверхности детали происходит вершиной резца, перемещающейся по эквидистанте программной траектории на расстоянии вектора вылета инструмента $\overline{F_{II}}$.

Уравнение размерной цепи формообразования имеет вид: $\overline{F(z)} + \overline{F_{II}} + \overline{X(z)} = 0$, решив которое относительно $\overline{F(z)}$

$$\overline{F(z)} = -(\overline{X(z)} + \overline{F_{II}}) = - \begin{pmatrix} k \cdot (z - z_1) + x_1 + \overline{F_{II}}^x \\ \overline{F_{II}}^y \\ z + \overline{F_{II}}^z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \overline{F(z)}_x \\ \overline{F(z)}_y \\ \overline{F(z)}_z \end{pmatrix},$$

получим векторное уравнение траектории перемещения режущей кромки резца формирующей образующую конической поверхности.

Радиус окружности конической поверхности, в текущей плоскости перпендикулярной оси конической поверхности равен $Rk = \sqrt{(\overline{F(z_k)})_x^2 + (\overline{F(z_k)})_z^2}$, где $\overline{F(z_k)}_x$, $\overline{F(z_k)}_z$ проекции $\overline{F(z)}$ на координатные оси.

Радиус – вектор формообразования конической поверхности равен:

$$\overline{R(z_k)} = \begin{pmatrix} X_k \\ Y_k \\ Z_k \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_k \\ \sqrt{R_t^2 - X_k^2} \\ Z_k \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_k \\ -\sqrt{(k \cdot (Z_k - F_{II}^z - z) + x_1 + F_{II}^x)^2 + (F_{II}^y)^2} - X_k^2 \\ Z_k \end{pmatrix}, \quad (1)$$

где $X_k, Y_k, Z_k = z + F_{II}^z$ текущие координаты конической поверхности.

Рассмотрим отклонение от номинального значения, параметров конической поверхности валка вследствие угла перекося оси заготовки Z_d относительно оси шпинделя $Z_{ст}$. В этом случае можно говорить о составляющих угла перекося: в горизонтальной плоскости A_y – угол поворота вокруг оси $Y_{ст}$ и вертикальной A_x – поворот вокруг оси X .

Уравнение осевой плоскости детали $X_d Z_d$ в векторной форме можно представить, как скалярное произведение векторов

$$rN \cdot rP(z) = 0, \quad (2)$$

где rP – вектор лежащий в плоскости $X_d Z_d$, а $rN = \begin{pmatrix} rN_x \\ rN_y \\ rN_z \end{pmatrix}$ вектор нормали к этой

плоскости.

Если выразить проекции вектора нормали rN_x, rN_y, rN_z через углы A_x, A_y , а $rP(z)$ представить как векторное уравнение линии пересечения конической поверхности (1) и плоскости $X_d Z_d$, то уравнение (2) принимает вид:

$$\begin{pmatrix} \sin(A_x) \cdot \sin(A_y) \\ \cos(A_x) \\ \sin(A_x) \cdot \cos(A_y) \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} X_k \\ -\sqrt{\left(k \cdot (Z_k - F_{II}^z - z_1) + x_1 + F_{II}^x\right)^2 + \left(F_{II}^y\right)^2 - X_k^2} \\ Z_k \end{pmatrix} = 0$$

Уравнение линии пересечения конической поверхности (1) плоскостью $X_d Z_d$ т. е. в алгебраическом виде имеет вид:

$$X_k \cdot \sin(A_x) \cdot \sin(A_y) - \cos(A_x) \cdot \sqrt{\left(k \cdot (Z_k - F_{II}^z - z_1) + x_1 + F_{II}^x\right)^2 + \left(F_{II}^y\right)^2 - X_k^2} + Z_k \cdot \sin(A_x) \cdot \cos(A_y) = 0 \quad (3)$$

где X_k, Z_k текущие координаты линии пересечения в СКС.

Для анализа геометрических параметров образующей детали необходимо выполнить переход от координат в СКС к координатам в СКД. При повороте координатных систем соотношение значений координат определяется формулами:

$$\begin{aligned} X_k &= X_d \cdot \cos(A_y) + Z_d \cdot \sin(A_y) \cdot \cos(A_x) \\ Z_k &= Z_d \cdot \cos(A_y) \cdot \cos(A_x) - X_d \cdot \sin(A_y) \end{aligned} \quad (4)$$

Подставив формулы (4) в уравнение (3) и выполнив преобразования, получим в СКД виде уравнение линии пересечения конической поверхности и плоскости X_d, Z_d :

$$A_d \cdot X_d^2 + 2 \cdot B_d \cdot X_d \cdot Z_d + C_d \cdot Z_d^2 + 2 \cdot D_d \cdot X_d + 2 \cdot E_d \cdot Z_d + F_d = 0 \quad (5)$$

где

$$A_d = \cos(A_y)^2 - k^2 \cdot \sin(A_y)^2 \quad B_d = \cos(A_x) \cdot \cos(A_y) \cdot \sin(A_y) \cdot (k^2 + 1)$$

$$C_d = \sin(A_x)^2 + \sin(A_y)^2 \cdot \cos(A_x)^2 - k^2 \cdot \cos(A_x)^2 \cdot \cos(A_y)^2$$

$$E_d = -k \cdot \cos(A_x) \cdot \cos(A_y) \cdot (x_1 + F_{II}^x \cdot k \cdot z_1 - k \cdot F_{II}^z)$$

$$D_d = k \cdot \sin(A_y) \cdot (x_1 + F_{II}^x \cdot k \cdot z_1 - k \cdot F_{II}^z) \quad F_d = -(x_1 + F_{II}^x \cdot k \cdot z_1 - k \cdot F_{II}^z)^2 - (F_{II}^y)^2$$

$$X(Z_d) = -\frac{B_d \cdot Z_d + D_d}{A_d} + \sqrt{\frac{(B_d \cdot Z_d + D_d)^2}{A_d^2} - C_d \cdot Z_d^2 - 2 \cdot E_d \cdot Z_d - F_d} \quad (6)$$

Исследование граничной линии осевого сечения детали, проводим по инварианту уравнения (5) второй степени $P(k, A_x, A_y) = A_d \cdot C_d - B_d^2$.

$$A_d \cdot C_d - B_d^2 = \cos(A_y)^2 \cdot \sin(A_x)^2 - k^2 \cdot (\sin(A_y)^2 + \cos(A_y)^2 \cdot \cos(A_x)^2).$$

1. При $k=0$, т.е. для цилиндрической поверхности $A_d \cdot C_d - B_d^2 > 0$, тип линии ограничивающий осевое сечение детали эллиптический.

2. Если $k = \sqrt{\frac{\cos(Ay)^2 \cdot \sin(Ax)^2}{\sin(Ay)^2 + \cos(Ay)^2 \cdot \cos(Ax)^2}}$, то $A_d \cdot C_d - B^2 = 0$, а сечение в плоскости X_d, Z_d ограничено параболой.
3. Наиболее вероятное значение инварианта $A_d \cdot C_d - B^2 < 0$, характерное для гиперболического типа линии. Именно эта особенность отмечена в работе [3], что в данной модели является только частным случаем.
4. Осевое сечение детали ограничивает кривая второго порядка, с радиусом кривизны

$$R = \frac{\left[1 + \left(\frac{dX(Z_d)}{d(Z_d)} \right)^2 \right]^{\frac{3}{2}}}{\frac{d^2 X(Z_d)}{d(Z_d)^2}} > 10^6 \quad \begin{array}{l} 50 < Z_d < 3000 \\ \text{при } 0.1^\circ < Ay < 0.2^\circ \\ -0.2^\circ < Ax < -0.1^\circ \end{array}$$

что практически соответствует прямой линии, однако угол конусности имеет отклонение от заданного программой углового коэффициента k .

Определим первую производную $X(Z_d)$ (6) и запишем ее как функцию углового коэффициента k , конической поверхности.

$$\frac{dX(Z_d)}{d(Z_d)} = -\frac{B_d(k)}{A_d(k)} + \frac{B_d(k)[B_d(k)Z_d + D_d(k)] + D_d(k) - A_d(k)C_d(k)Z_d - A_d(k)E_d(k)}{A_d(k) \cdot \sqrt{[B_d(k)Z_d + D_d(k)]^2 - A_d(k)[C_d(k)Z_d + 2E_d(k)Z_d + F_d(k)]}}$$

Тогда функция угловой погрешности равна:

$$\Delta F(k) = \left[\arctg(k) - \arctg\left(\frac{dX(Z_d)}{d(Z_d)}\right) \right] \cdot \frac{180}{\pi},$$

а график ее изменения представлен на рис. 3.

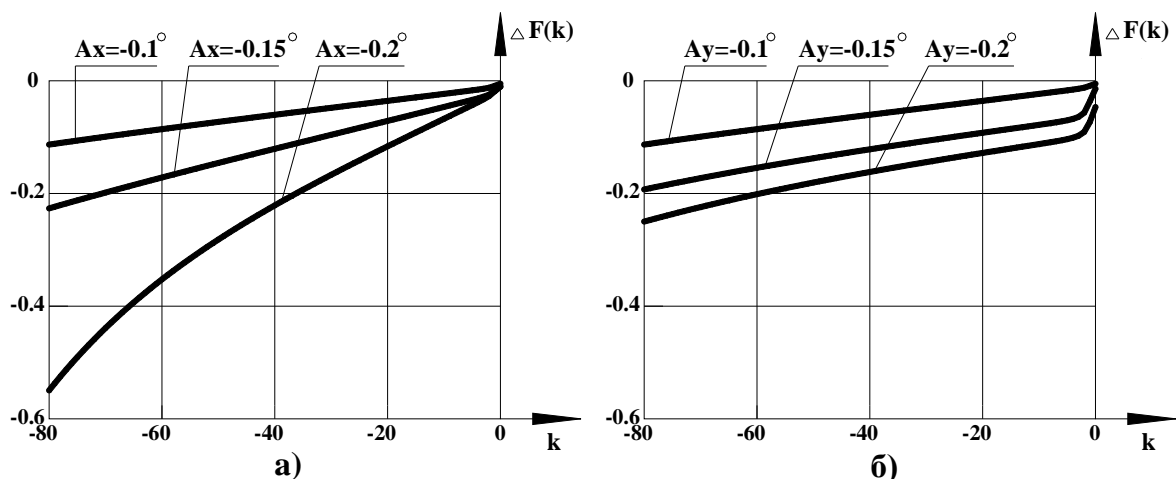


Рис.3. График зависимости угловой погрешности $\Delta F(\text{град})$ от углового коэффициента конической поверхности k , для а) $Ay=0.1^\circ=\text{const}$ при различном Ax и б) $Ax=-0.1^\circ=\text{const}$ при различном Ay

Можно сделать вывод, что для поверхностей близких к цилиндрическим погрешность конусности от исследуемых факторов меньше, чем для поверхностей близких к торцевым, причем большее влияние на погрешность имеет поворот заготовки в вертикальной плоскости.

При зажиме пиноли заднего центра станка [4], его смещение в горизонтальной и вертикальной плоскостях, измеренное индикаторами закрепленными на корпусе задней бабки, составило 0.004-0.008 мм. С целью проверки созданной модели на адекватность проводилось точение подобных конических поверхностей ручьев валка, с глубиной резания 0.08 мм. Контроль геометрии проточенных поверхностей подтвердил закономерность математического моделирования возникающей погрешности конусности, для различных значений продольной координаты Z.

ВЫВОДЫ

Данная работа посвящена вопросам точности формы и размеров поверхностей крупногабаритных валков сортового проката (массой 20 - 25 т) при их обработке на станках с УЧПУ. Полученные аналитические зависимости позволяют оценить численные значения погрешности формы цилиндрических поверхностей в зависимости от векторных значений ошибок допущенных при наладке станка на операцию. Возникновение погрешностей представлено следствием нарушения закономерности взаимного расположения координатных систем – СКД и СКС, принятого при разработке управляющей программы и наладке на операцию. Результатом данной работы является практическая возможность прогнозировать наследие ошибок статической настройки станка в общей величине погрешности формы цилиндрических поверхностей.

Список литературы: 1. Ратмиров В.А. Повышение точности и производительности станков с программным управлением. – М.: Машиностроение, 1970. – 68 с. 2. Колкер Я.Д. Базирование и базы в машиностроении. - К.: Вища школа, 1991. – 31 с. 3. Корсаков В.С. Точность механической обработки. – М.: Машгиз, 1961. - 254. с. 4. Трошенский С.П. Расчеты точности обработки на металлорежущих станках. – М.: Машиностроение, 1964. – 38 с.

Сдано в редакцию 30.05.07

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ГРОХОТИЛЬНЫХ УСТАНОВОК В УСЛОВИЯХ ОБОГАТИТЕЛЬНОЙ ФАБРИКИ №3

Луик С.О. (ЯГУ, МПТИ (ф), г. Мирный, Россия)

There are the results of experimental researches of efficiency of screens at sifting a material of various sizes and various types of ores in conditions of factory №3 in this work. Recommendations on increase of efficiency of screening are given.

В последние десятилетия наблюдается истощение запасов полезных ископаемых и как результат начинают разрабатываться техногенные месторождения, а также месторождения с низким содержанием ценного компонента. В связи с этим особые требования предъявляются к процессу грохочения, как к одной из важнейших технологических операций, от качества исполнения которой во многом зависит эффективность дальнейшей переработки сырья.

Несмотря на многочисленные исследования процесса грохочения, конструкций грохотов и просеивающих поверхностей, многие задачи остаются нерешенными, а используемые машины и технологии далеки от совершенства. Среди вопросов