

10-2-2019

THEORETICAL AND EXPERIMENTAL DETERMINATION OF THE DEFORMATION FORCE WHEN CUTTING THE TEETH OF THE SAW BLADE OF COTTON PROCESSING MACHINES

D.U. Madrahimov

Tashkent institute of textile and light industry, Tashkent, Uzbekistan

Z.A. Shodmonkulov

Tashkent institute of textile and light industry, Tashkent, Uzbekistan

M.R. Muminov

Tashkent institute of textile and light industry, Tashkent, Uzbekistan

A.A. Abdullajonov

Tashkent institute of textile and light industry, Tashkent, Uzbekistan

Follow this and additional works at: <https://uzjournals.edu.uz/titli>

Recommended Citation

Madrahimov, D.U.; Shodmonkulov, Z.A.; Muminov, M.R.; and Abdullajonov, A.A. (2019) "THEORETICAL AND EXPERIMENTAL DETERMINATION OF THE DEFORMATION FORCE WHEN CUTTING THE TEETH OF THE SAW BLADE OF COTTON PROCESSING MACHINES," *Textile Journal of Uzbekistan*: Vol. 1 : No. 1 , Article 19.

Available at: <https://uzjournals.edu.uz/titli/vol1/iss1/19>

УДК 677.051.152+621.934.001

Теоретико-экспериментальное определение усилия деформирования при вырубке зубьев пильного диска хлопкоперерабатывающих машин**Д.У.Мадрахимов, З.А.Шодмонкулов, М.Р.Муминов, А.А.Абдуллажонов**

Annotatsiya: Maqolada paxtani qayta ishlash mashinalari arrali disklariga tish ochishdagi deformatsiya kuchini aniqlashning nazariy-tajribaviy natijalari keltirilgan. Tish ochishda deformatsiyalash kuchini nazariy aniqlash usuli yassi metall mahsulotlarni shtampovkalash jarayonida puansonning matritsaga nisbatan ko'chirilishida deformatsiyalash kuchining umumiy sxemalash tasavvurida asoslanadi. Ushbu kesish usuli bilan ajratish jarayoni ishlanayotgan metallning bikrlilik va qovushqoqlik, hamda yorishdagi deformatsiyadan iborat.

Deformatsiyalashning maksimal kuchini eksperimental aniqlash qalinligi 0,95 mm bo'lgan U8G po'lat yassi materialini yorish tenzometrlash usuli bilan amalga oshirilgan.

Аннотация: В статье приведены материалы по теоретико – экспериментальному определению усилия деформирования при вырубке зубьев пильного диска хлопкоперерабатывающих машин. Теоретическое определение усилия деформирования при вырубке базируется на общем схематическом представлении изменения усилия деформирования при перемещении пуансона относительно матрицы в процессе листовой штамповки металлических изделий. Данная разделительная операция резанием состоит из упругой и пластической деформации обрабатываемого металла, а также из скалывания.

Экспериментальное определение максимального усилия деформирования осуществлено тензометрированием при вырубке листового материала толщиной 0,95 мм из стали У8Г.

Abstract: The article contains materials on the theoretical and experimental determination of the deformation force when cutting the teeth of the saw blade of cotton processing machines. The theoretical definition of the deformation force during cutting is based on the general schematic representation of the change in the deformation force when the punch is moved relative to the matrix during the sheet metal stamping process. This cutting operation consists of the elastic and plastic deformation of the metal being processed, and also of shearing.

The experimental determination of the maximum deformation force was carried out by strain gauge when cutting a 0.95 mm thick sheet of U8G steel.

Ключевые слова: пуансон, матрица, зуб пильного диска, пластическая деформация, усилие деформирования, напряженное состояние, вырубка, срез.

Введение. Пильные диски хлопкоперерабатывающих машин – джинов, линтеров и волокноочистителей являются самыми массовыми и ответственными деталями, работоспособность которых влияет на эксплуатационную надежность оборудования и качество перерабатываемой продукции (волокно, линт, хлопковые семена). Технологический процесс переработки хлопка-сырца на этих машинах при прочих равных условиях в основном определяется качеством зубьев пильного диска, характеризуемом комплексом геометрических и физико-механических свойств поверхностного слоя на передней и задней поверхностях и вершины зуба. Таким образом, эффективность процессов джинирования, линтерования и волокноочистки предопределяется операцией вырубке зубьев пильного диска на специальном штампе, являющимся рабочим органом пилонасекательных станков.

Результаты исследований. Профиль зуба полностью формируется после двух ударов пуансона за время поворота заготовки пильного диска на окружной шаг t , равный 3,59 мм и 3,04 мм соответственно для джинной (рис.1, а) и линтерной пилы (рис.1, б). Геометрическими параметрами зуба являются: передний угол γ , угол заострения β и высота зуба h .

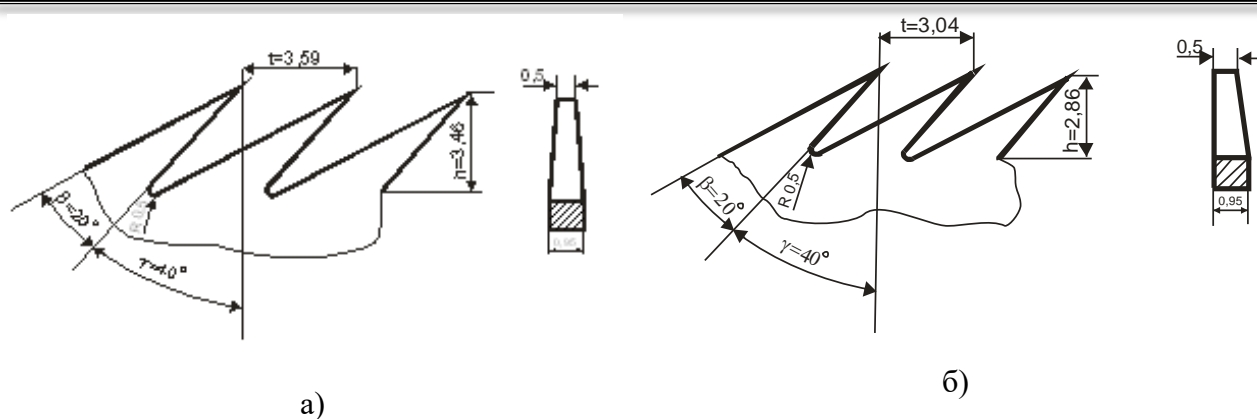


Рис.1. Геометрические параметры зубьев пильных дисков:
а – для джинов; б – для линтеров

В соответствии с технологией изготовления пильных дисков [1] боковые поверхности зубьев джинных и линтерных пил подвергают шлифованию абразивными кругами. При этом зубья джинных пил шлифуют с двух сторон и доводят толщину зуба на его вершине до значения 0,5 мм.

Необходимо отметить, что абразивная обработка стальных деталей, осуществляемая в условиях высокой температурной напряженности процесса, способствует значительному снижению качества поверхностного слоя [2]: формированию растягивающих остаточных напряжений, инициирующих появление микротрещин; образованию прижогов и областей повышенной хрупкости. Эффективным технологическим методом повышения работоспособности таких изделий является механическое упрочнение микрошариками в виде дробеметной обработки [3]. Мощный силовой фактор, развиваемый при поверхностно-пластическом деформировании, формирует в поверхностном слое деталей благоприятные сжимающие остаточные напряжения, которые способны нейтрализовать вредное воздействие растягивающих остаточных напряжений, и тем самым вызвать в поверхностном слое эффект «залечивания» дефектов структуры металла.

Вырубка зубьев, являясь разделительной операцией листовой штамповки, завершается разрушением металла в очаге деформации. Процесс резания штампами состоит из трех стадий: упругой деформации, пластической деформации и скалывания [4]. Знание деформирующей силы, необходимой для данной операции, позволит правильно выбрать машину для ее осуществления, т.е. определить характеристику потребного оборудования (усилие пресса, мощность электродвигателя и т.п.).

В процессе вырубки-пробивки листового металла возникает сложное неоднородное силовое поле, сконцентрированное вблизи режущих кромок пуансона и матрицы. На рис.2 приведена схема сил, действующих при вырубке (разделении) материала [4]. Пуансон и матрица вдавливаются в листовую заготовку не по всей торцовой поверхности, а лишь по некоторому пояску шириной b . Давление пуансона и матрицы по ширине пояска распределено неравномерно и оно может быть заменено равнодействующими удельных усилий P_1 и P_2 , приходящихся на единицу длины вырубаемого контура металлического изделия. Следовательно, при вырубке-пробивке возникающая пара сил P_1 и P_2 с плечом a создает изгибающий момент M вдоль контура вырубаемой детали, под действием которого заготовка получает пространственный изгиб (выпучивание). При этом в наружной (выпуклой) стороне заготовки возникает напряженное состояние двухосного растяжения, а на внутренней стороне – состояние двухосного сжатия.

Под действием изгиба заготовки толщиной δ возникает сжимающее давление металла на наружную поверхность пуансона и распирающее давление на кромки матрицы (на рис.2 показаны реактивные удельные силы Q и R). Кроме нормальных сил P_1 , P_2 , Q и R на контактную поверхность заготовки действуют касательные усилия μP_1 , μP_2 , μQ и μR , создаваемые силами трения (μ – коэффициент трения между инструментом и обрабатываемым

металлом). Наиболее значительны из них силы μR и μQ , действующие в плоскости среза при движении пуансона относительно матрицы с односторонним зазором $z/2$.

Силы контактного трения μP_1 , μP_2 , μQ и μR соответствуют закону Кулона-Амонтона, причем надо учесть, что μ – коэффициент трения при пластическом деформировании, определяемый экспериментально для условий пластического течения металла. Необходимо иметь в виду, что значения коэффициента трения, принятые для условий трения в машинных парах, не пригодны для определения элементарных сил контактного трения (контактных касательных напряжений) при пластическом деформировании.

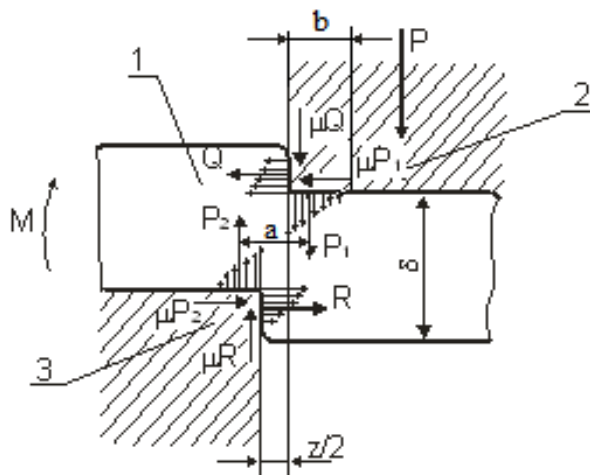


Рис.2. Схема сил, действующих на заготовку при вырубке: 1 – заготовка; 2 - режущая кромка пуансона; 3 – режущая кромка матрицы

Нормальное давление равно нормальному напряжению σ_n на контактной поверхности, а элементарная сила трения, возникающая на контактной поверхности инструмента, вызывает появление касательного напряжения τ_k . Поэтому с учетом коэффициента трения μ можно записать.

$$\tau_k = \mu \sigma_n, \text{ Н / мм}^2 \quad (1)$$

Относительно формулы (1) следует отметить, что в соответствии с энергетическим условием пластичности максимальная величина касательного напряжения $\tau_{k \max}$ не может быть больше, чем $\sigma_s^*/2$ при плоском деформированном состоянии и $\sigma_s/2$ при среднем главном напряжении $\sigma_{сг}$, равному одному из крайних главных нормальных напряжений [5]:

$$\tau_{k \max} \leq \frac{\sigma_s^*}{2}, \quad \tau_{k \max} \leq \frac{\sigma_s}{2}, \quad (2)$$

где σ_s – напряжение текучести (не условное, а истинное напряжение при линейном пластически напряженном состоянии); $\sigma_s^* = (2/\sqrt{3}) \cdot \sigma_s$ -напряжение текучести при плоском деформированном состоянии.

Таким образом, выражения (2) можно представить в виде

$$\tau_{k \max} \leq \frac{\beta \sigma_s}{2}, \quad (3)$$

где β – переменный коэффициент, изменяющийся в незначительных пределах от 1 до $2/\sqrt{3} = 1,155$ и достигающий наибольшего значения при плоском деформированном состоянии [5].

Силы контактного трения μR и μQ (рис.2), развиваемые на режущих поверхностях матрицы и пуансона при движении последнего и создающие касательное напряжение, в совокупности с нормальными силами P_1 и P_2 уравниваются деформирующим усилием P (усилием вырубки):

$$|\mu\bar{R} + \mu\bar{Q} + \bar{P}_1 + \bar{P}_2| = \bar{P}, \text{ Н} \quad (4)$$

График изменения усилия деформирования в процессе движения пуансона при вырубке имеет вид, показанный на рис.3 и характеризуется относительно плавным увеличением усилия до максимального значения. Далее следует резкое снижение усилия вырубке при деформировании малопластичных материалов, а для пластичных материалов после достижения P_{\max} происходит плавное снижение усилия на небольшом участке с последующим его резким падением. Резкое снижение усилия соответствует разрушению заготовки при вырубке (появление скалывающих трещин в материале в окрестности режущих кромок матрицы и пуансона и перерождение их в единую трещину, ведущую к срезу). Изменение усилия до этой точки характеризуется сопротивлением деформированию в области пластических деформаций.

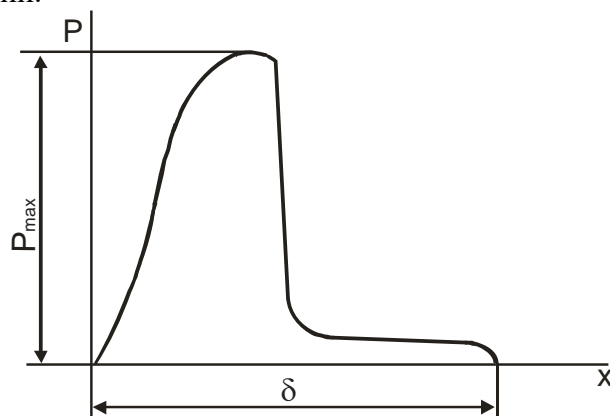


Рис.3. Схематичное изменение усилия деформирования P при перемещении x пуансона в процессах вырубке и пробивки металлических изделий

Оценка усилия деформирования при вырубке [5], когда происходит относительное смещение частей заготовки в направлении, перпендикулярном к поверхности заготовки при сравнительно малой ширине очага деформации, строится на предположении, что основной деформацией является сдвиговая деформация и что на локальной поверхности, проходящей через режущие кромки пуансона и матрицы, действуют максимальные касательные напряжения τ_s в условиях пластических деформаций.

Усилие деформирования P можно представить из выражения для касательного напряжения

$$\tau_s = \frac{P}{A_c}, \text{ Н/мм}^2 \quad (5)$$

где $A_c=L(\delta-x)$ – площадь сдвига, мм^2 ; L – длина линии разделения, мм ;

δ – толщина заготовки, мм ; x – величина внедрения пуансона в заготовку (рабочий ход пуансона), мм .

Таким образом, усилие деформирования при вырубке составит

$$P = L(\delta - x) \cdot \tau_s, \text{ Н} \quad (6)$$

Для плоской деформации в соответствии с выражением (3) имеем $\tau_s \approx 0,58\sigma_s$.

Напряжение текучести σ_s с учетом деформационного упрочнения в любой момент растяжения (до начала образования шейки) определяется по формуле, предложенной С.И. Губкиным [5]:

$$\sigma_s = \frac{\sigma_0}{1 - \psi_{uu}} \left(\frac{\psi}{\psi_{uu}} \right)^{\frac{\psi_{uu}}{1 - \psi_{uu}}}, \quad (7)$$

где σ_0 – предел прочности, равный условному напряжению в момент, соответствующему началу образования шейки на образце; $\psi = (F_0 - F)/F$ – относительное уменьшение первоначальной площади поперечного сечения F_0 до значения F (относительное сужение); ψ_{uu}

= $\psi_{ш}$ в момент начала образования шейки на образце в процессе растяжения. Следует отметить, в расчетной практике обработки металлов давлением для анализа характера и степени влияния упрочнения на величину необходимых для деформирования усилий широко используются кривые упрочнения, полученные при испытании на линейное растяжение. Для практической реализации кривых упрочнения последние аппроксимируют, применяя линейную или степенную аппроксимацию. В зависимости от принятого показателя степени деформации различают кривые упрочнения первого и второго рода, отличающиеся тем, что в первом случае напряжения текучести σ_s дается в зависимости от относительного удлинения ϵ , а во втором – от относительного сужения ψ .

С учетом приведенного, усилие деформирования при вырубке определяется по формуле

$$P = 0.58L(\delta - x) \frac{\sigma_s}{1 - \psi_{ш}} \left(\frac{\psi}{\psi_{ш}} \right)^{\frac{\psi_{ш}}{1 - \psi_{ш}}} \quad (8)$$

Если допустить, что уменьшение площади поперечного сечения при линейном растяжении подобно по упрочняющему эффекту уменьшению площади сдвига при вырубке, то имеем

$$\psi = \frac{x}{\delta} \quad (9)$$

Поэтому формулу (8) преобразуем с учетом (9):

$$P = \frac{0.58L(\delta - x) \cdot \sigma_s}{1 - \psi_{ш}} \left(\frac{x}{\delta \psi_{ш}} \right)^{\frac{\psi_{ш}}{1 - \psi_{ш}}} \quad (10)$$

Из формулы (10) следует, что $P=0$ при $x=\delta$ (в конце деформирования) и при $x=0$ (в начале деформирования). Чтобы найти максимальное значение усилия деформирования при вырубке, приравняем к нулю первую производную $dP/dx=0$.

$$\begin{aligned} \frac{dP}{dx} &= \left(\frac{0.58L(\delta - x) \cdot \sigma_s}{1 - \psi_{ш}} \cdot \left(\frac{x}{\delta \psi_{ш}} \right)^{\frac{\psi_{ш}}{1 - \psi_{ш}}} \right)' = \left(\frac{0.58L\sigma_s}{1 - \psi_{ш}} \cdot (\delta - x) \cdot \left(\frac{x}{\delta \psi_{ш}} \right)^{\frac{\psi_{ш}}{1 - \psi_{ш}}} \right)' = \\ & \frac{0.58L\sigma_s}{1 - \psi_{ш}} \left(- \left(\frac{x}{\delta \psi_{ш}} \right)^{\frac{\psi_{ш}}{1 - \psi_{ш}}} + (\delta - x) \cdot \frac{\psi_{ш}}{1 - \psi_{ш}} \left(\frac{x}{\delta \psi_{ш}} \right)^{\frac{\psi_{ш}}{1 - \psi_{ш}} - 1} \cdot \frac{1}{\delta \psi_{ш}} \right) = 0 \end{aligned}$$

после преобразования данного выражения получим:

$$\begin{aligned} \frac{0.58L\sigma_s}{1 - \psi_{ш}} \cdot \left(\frac{x}{\delta \psi_{ш}} \right)^{\frac{\psi_{ш}}{1 - \psi_{ш}}} \cdot \left(\frac{-x + \delta \psi_{ш}}{(1 - \psi_{ш}) \cdot x} \right) &= 0, \quad (11) \\ -x + \delta \psi_{ш} &= 0, \quad \frac{x}{\delta} = \psi_{ш}. \end{aligned}$$

Таким образом, максимальное усилие деформирования соответствует значению $\psi_{ш}=x/\delta$, а величина P_{\max} равна

$$P_{\max} = 0.58\delta L \sigma_s \quad (12)$$

Рассмотрим расчетную схему вырубке зубьев джидных пил (рис.4). Два последовательных удара пуансона формируют один зуб пильного диска. Протяженность задней поверхности зуба больше передней и поэтому процесс вырубке пространства между зубьями начинается с периферии (со стороны задней поверхности у вершины формируемого зуба). Следующий этап вырубке характеризуется одновременным деформированием участков передней и задней поверхности зуба. На последнем этапе деформирования вырубается впадина зуба, выполненная по дуге окружности с радиусом $0,5 \pm 0,1$ мм.

Для силового анализа процесса вырубki необходимо прежде всего рассмотреть схему взаимодействия пуансона и матрицы. Пуансон при рабочем ходе (движение вниз) входит в контакт с обрабатываемой поверхностью заготовки торцевой плоскостью, наклоненной относительно горизонтальной плоскости пильного диска на угол 10° . Подобная установка пуансона предохраняет вершину инструмента от преждевременного хрупкого разрушения под действием ударных нагрузок. Режущие кромки на торцевой поверхности пуансона из-за ее наклона в начальный момент деформирования создают линейный контакт с обрабатываемым материалом и поэтому значения удельных нагрузок будут значительно больше, чем при плоском контакте пуансона с заготовкой. Данная схема взаимодействия пуансона и матрицы интенсифицирует процесс перехода сдвиговой деформации в срез металла.

Рассмотрим кинетику формообразования зубьев при их вырубке (рис.4). Процесс вырубki условно можно разделить на пять этапов (положений пуансона относительно заготовки).

Этап 1. Пуансон касается заготовки в точке А задней поверхности зуба, что соответствует положению инструмента 1-1.

Этап 2. Происходит деформирование металла на участке АС с образованием площади вырубаемой поверхности I (положение инструмента 2-2).

Этап 3. Начало деформирования равных площадей (II) на передней и задней поверхности (СД=ЕД), представленных на рис.4 в виде развертки для удобства анализа кинетики формообразования (положение инструмента 3-3).

Этап 4. Вырубка всей толщины зуба у вершины (точка Е) и соответствующая площадь среза III, определяемая на схеме линией 4-4.

Этап 5. Вырубка вершиной пуансона оставшейся части металла во впадине зуба в соответствии с линией 5-5.

При анализе кинетики формообразования зубьев в процессе вырубki необходимо учесть не только суммарную площадь передней и задней поверхности зуба, но и участки срезанных металлов, которые составляют отходы производства. Это вызвано тем, что общая сила деформирования P расходуется также на деформацию и срез участков заготовки ЕФ и АВ (рис.4). Применение формулы (12) для расчета максимального усилия деформирования P_{\max} предполагает вырубку одновременно по всему контуру вырубаемой детали определенной толщины.

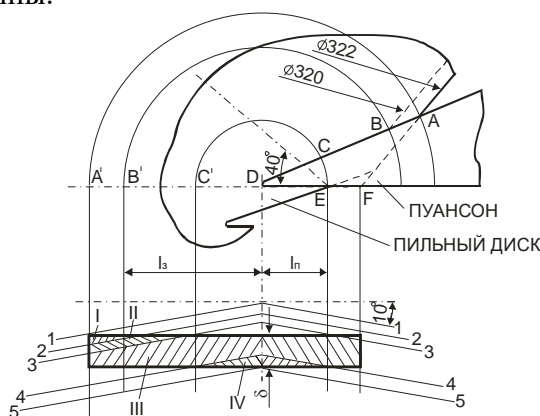


Рис.4. Формообразование и развертка поверхностей зубьев пильного диска при вырубке из листового металла

Рассчитаем максимальное усилие деформирования в процессе вырубki зубьев длинных пил при следующих данных: длина передней поверхности зуба $l_n=3,4$ мм; длина задней поверхности зуба $l_3=5,8$ мм; толщина пильного диска $\delta=0,95$ мм; радиусом закругления впадины $r=0,5$ мм пренебрегаем; материал пильного диска - У8Г, механические свойства: предел прочности (временное сопротивление разрыву) $\sigma_B=1082\dots1150$ Н/мм², относительное удлинение $\delta=6\%$ (не менее), твердость HRA 67...70, предел текучести $\sigma_T=900$ Н/мм².

Расчет максимального усилия деформирования производится с учетом половины площади вырубаемой поверхности зуба. Так как сила деформирования монотонно возрастает примерно до внедрения пуансона в срединную поверхность заготовки (рис.3), то формула (12) принимает вид:

$$P = 0.58 \frac{(l_n + l_s) \cdot \delta}{2} \cdot \sigma_s \quad (13)$$

где $(l_n + l_s) \cdot \delta = A$ - площадь вырубаемой поверхности, мм².

$$P_{\max} = \frac{0.58(3.4 + 5.8) \cdot 0.95}{2} (1082 \dots 1150) = 2742 \dots 2915 \text{ Н}$$

Полученное значение усилия деформирования рассчитано без учета среза небольшой части металла, соответствующей участкам EF и АВ (рис.4). Если длину этих участков принять равной разности половины диаметра заготовки (Ø322) и половины диаметра пильного диска (Ø320), то необходимо ввести в формулу (13) дополнительную половину площади, равную $A=(1 \cdot 0,95)/2=0,475$ мм². Тогда максимальное усилие деформирования при вырубке может составить $P_{\max}=3041 \dots 3232$ Н.

Полученные данные теоретических исследований усилия деформирования сравнивались с результатами экспериментального определения. Для этого использовались специальные матрицы с упругими элементами, имеющими наклеенные тензодатчики. Выходные концы тензодатчиков были соединены в полумостовую схему, которая была подсоединена с усилителем УТ-4 и далее через цифровой преобразователь АЦПЕ-154 оцифрованный электрический сигнал с помощью специальной программы записывался на компьютере с изображением на мониторе.

Экспериментальное определение максимального усилия деформирования при вырубке листового материала толщиной 0,95 мм из стали У8Г при скорости пуансона 15,2 м/с дало значение, равное 3200 Н.

Таким образом, расхождение усилия вырубке зубьев джидных пил при сопоставлении теоретических и экспериментальных данных составило не более |5%|, что является хорошим результатом в расчетной практике и дает основание для широкого применения при разработке технологических процессов и проектировании штамповой оснастки пилонасекательных станков.

Выводы. 1. Выполнено теоретическое обоснование и получена зависимость для расчета деформирующего усилия при вырубке зубьев пильных дисков из листового материала с помощью оснастки, состоящей из пуансона и матрицы.

2. На базе силового анализа процесса вырубке рассмотрена схема взаимодействия пуансона и матрицы. Представлены кинетика формообразования и развертка поверхностей зубьев пильного диска при их вырубке.

3. Хорошая сходимость результатов расчета и экспериментального определения деформирующего усилия подтверждает обоснованность данного подхода, основанного на схематичном изменении силы, возникающей при вырубке-пробивке в процессе перемещения пуансона.

Литература:

1. Первичная обработка хлопка-сырца. Учеб. пособие. Под общ. ред. Э.З. Зикриева. – Ташкент: «Мехнат», 1999. – 398 с.

2. <https://lib-bkm.ru/load/11-1-0-2103/> Маталин А.А. Технология машиностроения. Л.: Машиностроение.

3. Шин И.Г., Джураев А.Д. Эффективность дробеударного упрочнения зубьев дисковых пил машин первичной обработки хлопка // Проблемы текстиля. – 2009. - №1. – С.7-11.

4. Воронцов А.Л. Теория малоотходной штамповки. – М.: Машиностроение, 2005. – 859 с.

5. <https://lib-bkm.ru/12579/> Колмогоров В.Л. Механика обработки металлов давлением. – М. Металлургия.