

УДК 621.961

Федоринов В. А
Карнаух С. Г.
Кулик А. Н.

РАЗДЕЛЕНИЕ ПОЛОС НА МЕРНЫЕ ЗАГОТОВКИ В УСЛОВИЯХ МЕЛКОСЕРИЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Машиностроение играет ведущую роль в социально-экономическом развитии Украины и по праву считается фундаментом всей промышленности Украины. Это технологическая база национальной экономики, так как без развития этой отрасли невозможно перейти на производство высокотехнологической продукции. И, кроме этого, уровень развития машиностроения является одним из основных показателей экономического и, прежде всего, промышленного развития страны. Основным локомотивом в решении указанных выше проблем на пути инновационного развития машиностроения является малый и средний бизнес.

Анализ современного состояния технологий обработки материалов давлением, используемых в заготовительном производстве, показывает, что их дальнейшее развитие непосредственно связано с решением проблем повышения качества заготовок, получаемых из сортового и плоского проката, снижения себестоимости, сокращения расхода материалов и энергии [1, 2].

В машиностроении используются разные способы разделения сортового проката на мерные заготовки: отходные и безотходные. К безотходным способам относят отрезку сдвигом и ломку в холодном состоянии, которые реализуются, как на специальном, так и на универсальном оборудовании [1–5]. Безотходные способы разделения являются материалосберегающими и экономичными, а потому перспективными для дальнейшей разработки и совершенствования.

Большой вклад в современное развитие теории, технологии и оборудования в области разделения сортового проката внесли отечественные ученые: А. И. Целиков, К. Н. Богоявленский, П. Е. Кислый, В. Г. Кононенко, В. Т. Мещерин, Е. А. Попов, В. П. Романовский, С. С. Соловцов, В. А. Скороход, В. А. Тимощенко, Е. М. Третьяков и др.

При всем их многообразии механических схем резки трудно выделить такие, которые были бы лишены в той или иной мере недостатков, среди которых: неудовлетворительное качество торцов, получаемых при резке заготовок, недостаточная геометрическая точность, низкая производительность, высокая металло- и энергоемкость, стоимость, а также сложность установок для разделения сортового проката.

Решению этих проблем может способствовать разработка способов, объединяющих в себе преимущества, характерные для существующих различных механических схем резки и создание для их реализации новых экономичных, универсальных, быстроперенастраиваемых устройств, простых в эксплуатации и обслуживании.

Это особенно актуально для мелкосерийного и серийного многономенклатурного производства заготовок, когда использование дорогостоящих и достаточно затратных в обслуживании типовых сортовых кривошипных ножниц для резки сортового проката, сложных штампов становится нерентабельным и экономически невыгодным.

Цель данной работы – совершенствование оснастки с ручным приводом для разделения полос в условиях единичного и мелкосерийного производства, обеспечивая силу, приложенную к ножницам, соответствующую требованиям к ручным инструментам. Это можно обеспечить устройством, основанным на способе разделения сочетающим сдвиг и кручение.

Предложена конструкция устройства для разделения полос (рис. 1) способом разделения сдвигом и кручением.

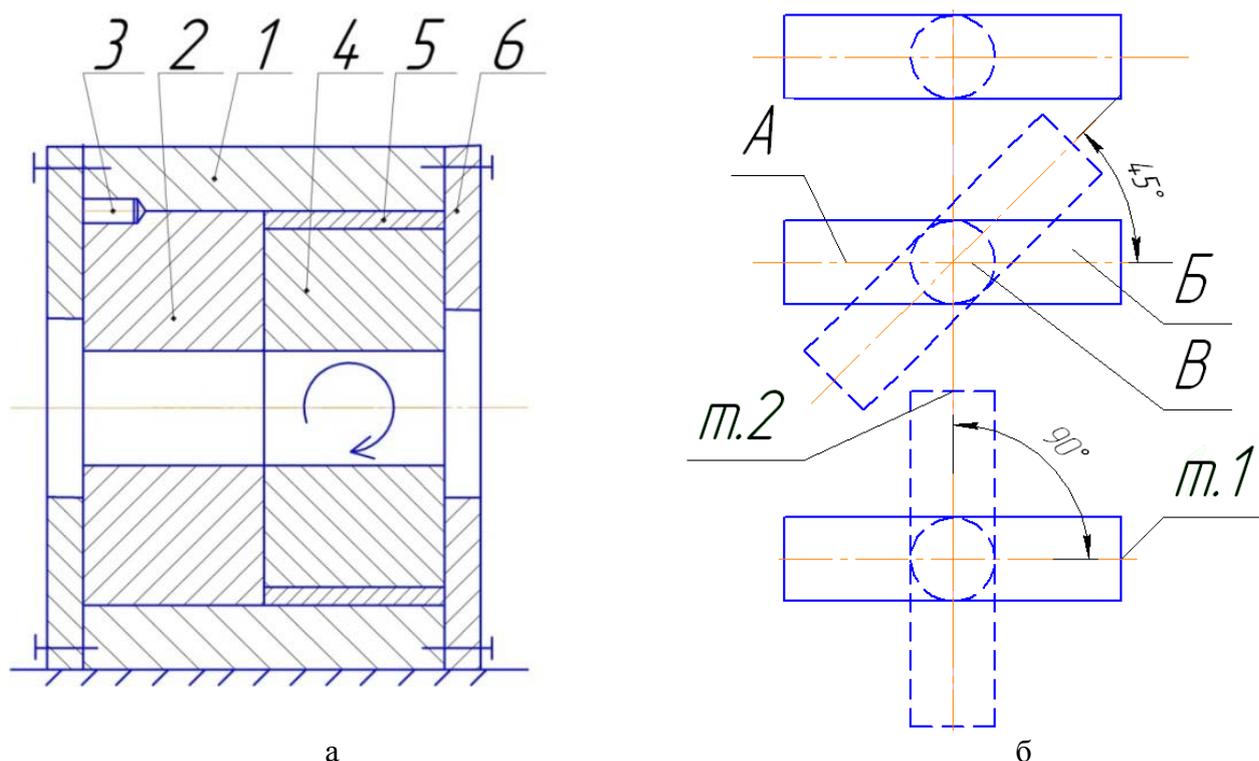


Рис. 1. Устройство для разделения полос
а – общий вид; б – этапы разделения полос сдвигом с кручением

Устройство (рис. 1, а) содержит корпус 1, в котором размещены: втулочный нож 2, выполненный неподвижным с помощью шпонки 3, и втулочный нож 4, который установлен в подшипнике 5 с возможностью вращательного движения. Вращательное движение ножу 4 придается с помощью рычага (не показан). Зазор между ножами 2, 4 регулируется с помощью торцевых крышек 6. В профильных отверстиях ножей 2, 4 размещается разделяемая полоса.

Устройство работает следующим образом.

В исходном положении полоса подается от прокатного стана в профильные отверстия втулочных ножей 2, 4. Под действием силы, приложенной к рычагу, подвижной нож 4 вращается вокруг своей оси в подшипнике 5 на угол 90° . При этом полоса в плоскости реза надрезается режущими кромками ножей 2, 4 (зоны А и Б, рис. 1, б), образуя концентраторы напряжений, и одновременно скручивается (зона В, см. рис. 1, б). При этом т.1 профиля проката, после поворота на угол 90° , занимает положение, которое определяется т.2. Далее подвижной нож 4 с помощью силы, приложенной к рычагу, вращается в обратном направлении на угол -90° . При этом заготовка полностью отделяется от полосы. Цикл работы устройства возобновляется.

Одновременное приложение крутящего момента с нанесением на прокат концентраторов напряжений позволяет уменьшить силу разделения проката. Реверсивное вращение подвижного ножа позволяет решить проблему разделения вязких материалов, у которых на торцах заготовок (за счет высокой температуры) может происходить сваривание наружных волокон (вследствие трения), так как при этом реализуется эффект Баушингера.

При этом металл, подвергнутый пластической деформации за счет нагрузки одного знака, обнаруживает, при изменении знака нагрузки, пониженное сопротивление начальным пластическим деформациям. Данный эффект обеспечивает снижение энергосиловых параметров разделения полос и удовлетворительное качество разделяемых заготовок. Установка для разделения полос имеет простую конструкцию и низкую себестоимость.

Опасное состояние материала для сложного напряженного состояния, согласно энергетической теории прочности, наступает при достижении удельной потенциальной энергией некоторого предела – сопротивления срезу $\tau_{ср}$. Сопротивление срезу относится к

механическим характеристикам и объединяет все виды сопротивления отрезаемого металла, а также учитывает упрочнение металла к моменту скола. На сопротивление срезу $\tau_{ср}$ оказывают влияние физико-механические характеристики разделяемого материала, значение зазора между ножами, скорость деформирования, условия трения и др. С увеличением прочности и с уменьшением пластичности материала, а также с увеличением скорости деформирования значение $\tau_{ср}$ возрастает, с увеличением зазора между ножами – уменьшается. Сопротивление срезу определяется на основании обобщения экспериментальных данных по специальным таблицам, составленным для различных листовых металлов в нагартованном и отожженном состоянии, а также для различного рода неметаллических материалов. Сопротивление срезу приближенно может быть определено как функция временного сопротивления σ_b , например, для полос из углеродистых сталей $\tau_{ср}=(0,6...0,8) \sigma_b$.

Исследование процесса разделения втулочными ножами было выполнено в системе Abaqus [6]. При моделировании использовалась расчетная схема (рис.2) которая представляла собой разделяемую заготовку прямоугольного сечения и два втулочных ножа. Для заготовки производили дискретизацию объема (построение конечно-элементной сетки) на элементарные объемы (конечные элементы – восьмиугольные линейные твердотельные редуцированные элементы с контролем разрушения C3D8R[7]). Для моделирования ножей были использованы твердотельные недеформируемые элементы.

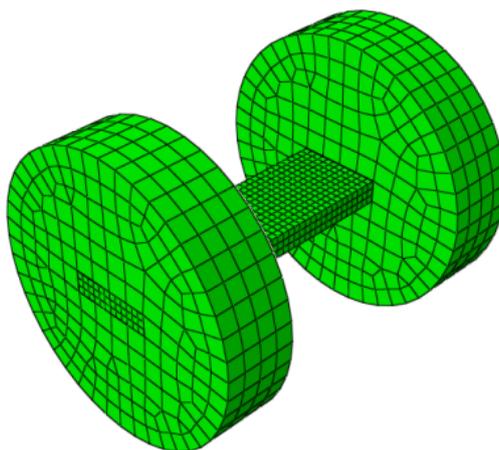


Рис.2. Конечно-элементная модель процесса разделения втулочными ножами

При моделировании были использованы следующие граничные условия: ножи имели одну вращательную степень свободы и угловую скорость вращения 1 рад/с. Контакт между заготовкой и ножами задавался при помощи модели контакта «Поверхность к поверхности».

Для оценки полученных результатов выходными параметрами были выбраны деформации и напряжения в узлах конечных элементов разрезаемой заготовки, изменение момента, приложенного к втулочным ножам.

На рис. 3 представлены поля распределения напряжений и деформаций в сечении, равноудаленном от режущих плоскостей втулочных ножей.

Из анализа представленных результатов видно, что при относительно большом зазоре между ножами максимальное напряжение возникает посередине длинной стороны. Это приводит к скручиванию заготовки, деформации профиля, но не приводит к ее разделению.

С уменьшением расстояния между ножами (рис. 4), максимальное напряжение локализуется в участках, близких к углам прямоугольного профиля заготовки, и при достижении значения сопротивления среза, происходит разделение вначале в углах, а затем и в остальной части заготовки.

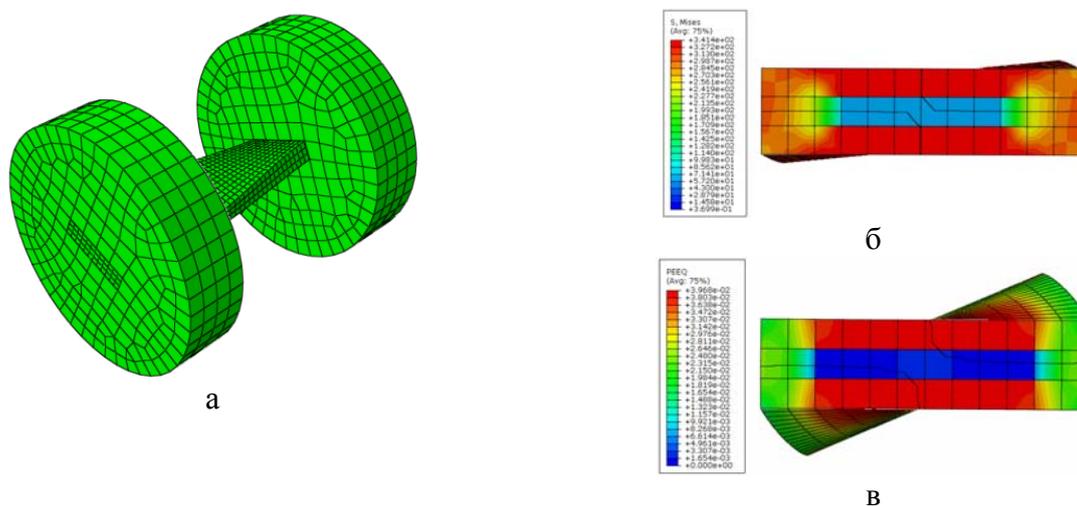


Рис. 3. Деформированная модель (а), распределение напряжений (б) и деформаций в среднем сечении заготовки при значительном зазоре между ножами

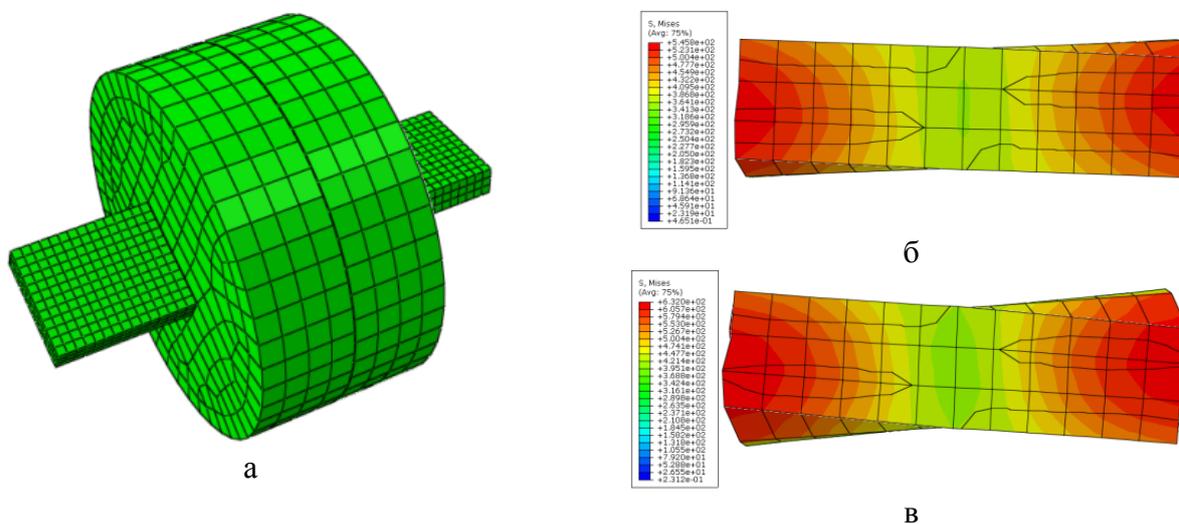


Рис. 4. Деформированная модель (а) и распределение напряжений в среднем сечении заготовки при зазоре между ножами 0 мм и повороте ножей на 10° (б) и 30°(в)

Если материал разделяемых полос вязкий, а ось вращения втулочных ножей совпадает с осью симметрии разрезаемой заготовки, то в участке, прилегающем к оси вращения (зона В, рис. 1) деформация скручивания может не привести к разделению, и рекомендуемая схема нагружения не гарантирует удовлетворительную геометрическую точность разделяемых заготовок. В этом случае рекомендуется использовать другую конструкцию установки для разделения полос (рис. 5). В ней ось вращения втулочных ножей может располагаться за пределами, или на периметре заготовки.

В корпусе 1 смонтированы неподвижный и подвижный втулочные ножи 2, режущие элементы которых 3 установлены с возможностью смещения в направлении, перпендикулярном оси вращения втулочного ножа. Режущие элементы фиксируются во втулках с помощью упоров 4. В исходном положении профильные отверстия режущих элементов совпадают.

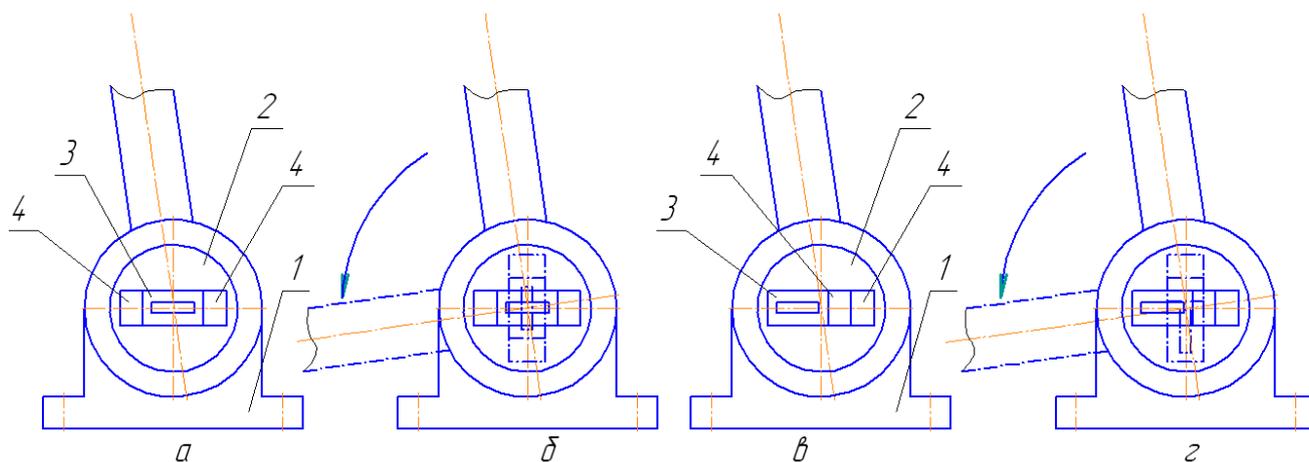


Рис. 5. Устройство для разделения полос из пластичных материалов

Если положение режущего элемента в центре втулочного ножа (рис. 5, а) не обеспечивает надежного разделения заготовки при повороте последнего (рис. 5, б), режущие элементы в неподвижном и подвижном втулочных ножах смещают (рис. 5, в) и фиксируют упорами 4. При повороте втулочного ножа со смещенными режущими элементами (рис. 5, г) происходит гарантированное разделение заготовки.

Моделирование процесса резания осуществляли путем сдвига оси вращения втулочных ножей с оси симметрии заготовки.

Рис. 6 демонстрирует положение ножей в процессе резания, а на рис. 7 представлено положение ножей и деформированное состояние заготовки.

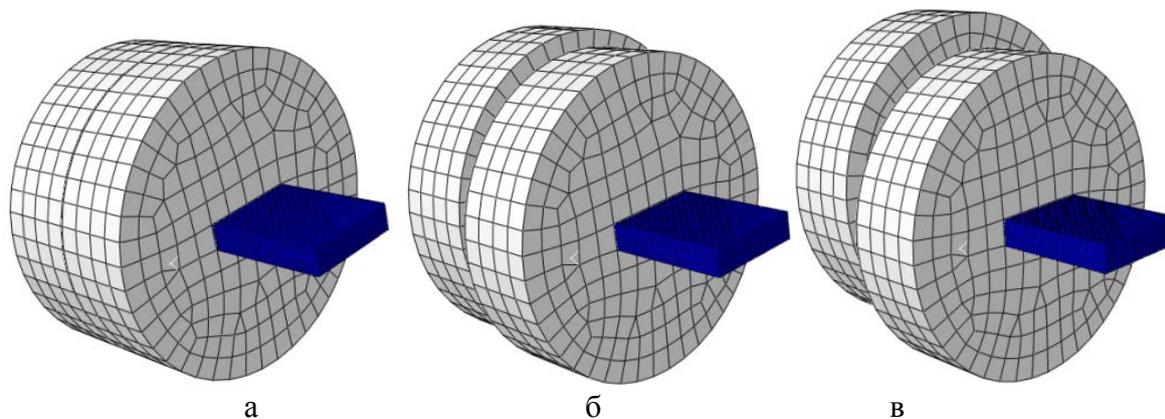


Рис. 6. Положение ножей в процессе реза со сдвигом оси вращения (а – 0,2 с; б – 0,4 с; в – 0,6 с)

Графики изменения расчетных значений моментов резания при моделировании процесса разделения в случае несовпадения оси симметрии заготовки с осью вращения втулочного ножа представлены на рис. 8. Увеличение смещения приводит к увеличению требуемого момента и соответствующего увеличения силы на рукоятке. Но время, затраченное на разделение, при этом уменьшается. Равенство площадей под кривыми говорит о неизменности затраченной работы при разделении одинаковых образцов.

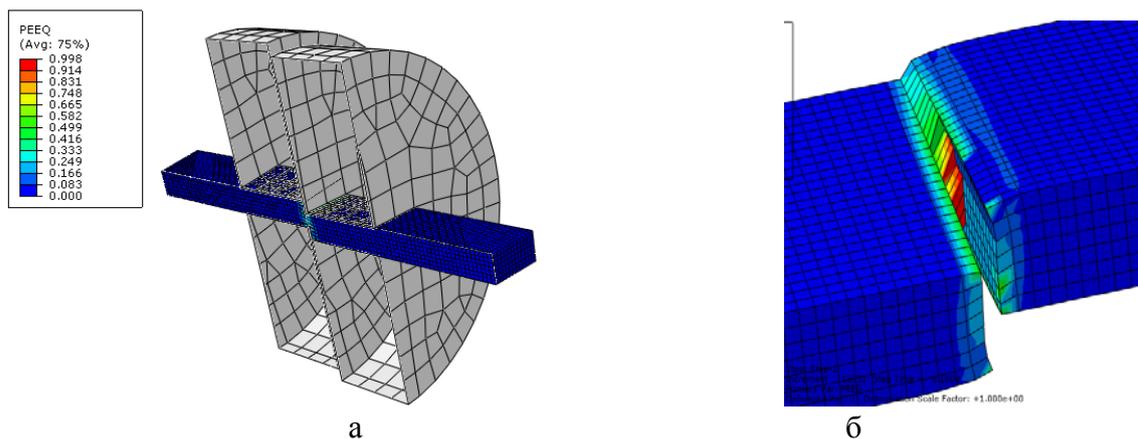


Рис. 7. Положение ножей (а) и деформированное состояние заготовки (б) при резе с эксцентриситетом

Процесс разделения проката не стационарный, поскольку в каждый момент времени очаг деформации, а, следовательно, и все кинематические, геометрические и энергосиловые параметры изменяются. Можно выделить три стадии протекания процесса. На первой стадии площадь контакта между деформирующим инструментом и разделяемым металлом локализована в линию. По мере внедрения ножей возникает пластическая деформация местного характера – деформация смятия. Дальнейшее развитие пластической деформации приводит к срезу в плоскости действия ножей.

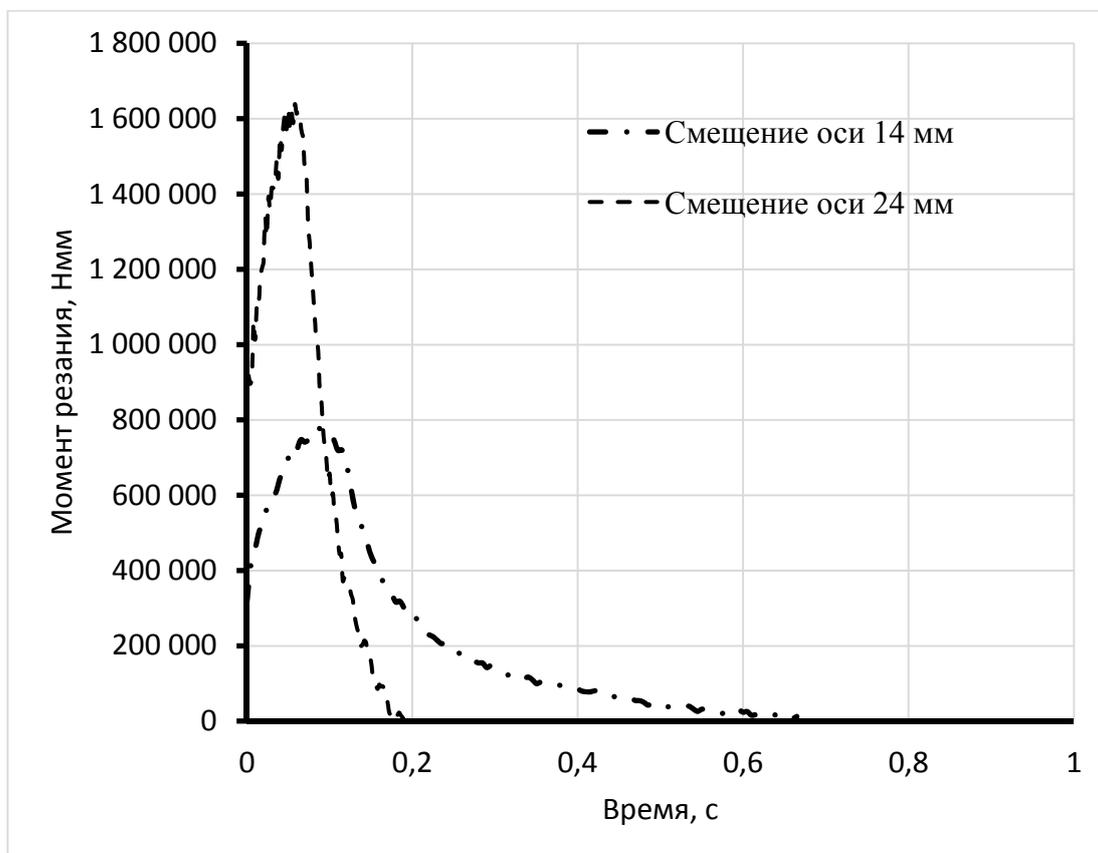


Рис. 8. Расчетные графики изменения момента резания стальной заготовки сечением 6 x 24 мм при смещенной оси вращения ножей

Предложенные конструкции установок могут быть рекомендованы для внедрения в условиях единичного и мелкосерийного производства на предприятиях малого бизнеса, когда главными факторами при выборе оборудования являются окупаемость и доступность.

ВЫВОДЫ

На основе анализа перспективных направлений развития заготовительного производства предложены новые конструкции оборудования для разделения полос с высокими технико-экономическими характеристиками. Заготовки, получаемые с использованием данных установок, имеют удовлетворительное качество и геометрическую точность. Установки для разделения полос имеют простую конструкцию и низкую себестоимость и могут быть рекомендованы для внедрения в условиях единичного и мелкосерийного производства для малого бизнеса.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Веселовский С. И. *Разрезка материалов* / С. И. Веселовский : М., Машиностроение, 1973. – 360 с.
2. Жуков Г. Г. *Механизация и автоматизация заготовительных операций на машиностроительных заводах* / Г. Г. Жуков. – М. – Л. : Машиностроение, 1966. – 112 с.
3. Соловцов С. С. *Безотходная разрезка сортового проката в штампах* / С. С. Соловцов . – М.: Машиностроение, 1985. – 176 с.
4. Финкель В. М. *Холодная ломка проката* / В. М. Финкель, Ю. И. Головин, Г. Б. Родюков.- М.: Металлургия, 1982. – 192 с.
5. Карнаух С. Г. *Совершенствование безотходных способов разделения сортового проката и оборудования для получения заготовок высокого качества* / С. Г. Карнаух – Краматорск : ДГМА, 2010. – 196 с.
6. Боровик П. В. *Новые подходы к математическому моделированию технологических процессов обработки металлов давлением : монография* / П. В. Боровик, Д. А. Усатюк. – Алчевск: ДонГТУ, 2011. – 299 с.
7. Боровик П. В. *Теоретичні дослідження процесів обробки металів тиском на основі методу скінчених елементів : навч. посіб. / П. В. Боровик. – Алчевск: ДонГТУ, 2012. – 170 с.*

REFERENCES

1. Veselovskij S. I. *Razrezka materialov* / S. I. Veselovskij : M., Mashinostroenie, 1973. – 360 s.
2. Zhukov G. G. *Mehanizacija i avtomatizacija zagotovitel'nyh operacij na mashinostroitel'nyh zavodah* / G. G. Zhukov. – M. – L. : Mashinostroenie, 1966. – 112 s.
3. Colovcov S. S. *Bezohtodnaja razrezka sortovogo prokata v shtampah* / S. S. Solovcov . – M.: Mashinostroenie, 1985. – 176 s.
4. Finkel' V. M. *Holodnaja lomka prokata* / V. M. Finkel', Ju. I. Golovin, G. B. Rodjukov.- M.: Metallurgija, 1982. – 192 s.
5. Karnauh S. G. *Sovershenstvovanie bezothodnyh sposobov razdelenija sortovogo prokata i oborudovanija dlja poluchenija zagotovok vysokogo kachestva* / S. G. Karnauh – Kramatorsk : DGMA, 2010. – 196 s.
6. Borovik P. V. *Novye podhody k matematicheskomu modelirovaniju tehnologicheskikh procesov obrabotki metallov davleniem : monografija* / P. V. Borovik, D. A. Usatjuk. – Alchevsk: DonGTU, 2011. – 299 s.
7. Borovik P. V. *Teoretichni doslidzhennja procesiv obrobki metaliv tiskom na osnovi metodu skinchenih elementiv : navch. posib. / P. V. Borovik. – Alchevsk: DonGTU, 2012. – 170 s.*

Федоринов В. А. – канд. техн. наук, проф. ДГМА

Карнаух С. Г. – канд. техн. наук, доц. ДГМА;

Кулик А. Н. – канд. техн. наук, доц. ДГМА;

ДГМА – Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск.

E-mail: vladimir.fedorinov@dgma.donetsk.ua, sergey.karnauh@dgma.donetsk.ua,
alexander.kulik@dgma.donetsk.ua