

УДК 621.96:621.774

Роганов Л. Л.
Карнаух Д. С.
Карнаух С. Г.

ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА РАЗДЕЛЕНИЯ ТРУБ СПОСОБОМ ОТРЕЗКИ ЭКСЦЕНТРИЧНЫМ ЗАКРУЧИВАНИЕМ

Перспективными направлениями развития современного машиностроения являются: повышение качества, надёжности, экономичности и производительности оборудования, снижение его материалоёмкости и энергопотребления, а также изыскание новых методов, позволяющих обеспечить высокую производительность, требуемую точность и качество обработанных поверхностей.

При этом качество рабочих поверхностей заготовок предопределяет важнейшие эксплуатационные свойства будущих деталей – прирабатываемость, износостойкость, сопротивление схватыванию и др. Статистические данные показывают, что более 80 % деталей машин выходят из строя по причине износа и потери эксплуатационных качеств. Отсюда вытекает необходимость улучшения геометрических параметров рабочих поверхностей деталей [1].

Важнейшей заготовительной операцией является разделение проката и труб на мерные заготовки, от качества и способа получения которых зависит дальнейший ход техпроцесса. К наиболее перспективным способам получения мерных заготовок из сортового проката (труб) является отрезка сдвигом [1, 2]. Технично-экономическая эффективность технологии отрезки сдвигом обеспечивается за счёт: повышения производительности производства мерных заготовок; снижения трудоёмкости изготовления деталей в целом; снижения затрат на материалы, т. к. процесс проходит без потерь материала в стружку; снижения затрат на производство, снижения затрат на инструмент, электроэнергию, производственные площади, сокращения численности основных рабочих [2].

Существенный вклад в развитие теории и практики процессов безотходной отрезки металла внесли русские ученые – И. А. Тиме, Д. К. Чернов, З. Т. Мещерин, С. С. Соловцов и др., а также зарубежные исследователи – К. Кесслер, О. Келлер, Х. Гросс, Т. Накагава и др. [2–6]. На основе анализа существующих способов и схем, а также оборудования и оснастки для отрезки сортового проката сдвигом в работах [7–10] предложены рациональные схемы отрезки – эксцентричным закручиванием. Разработаны конструкции оборудования для реализации этого способа разделения. Даны рекомендации по выбору конструктивных и технологических параметров оборудования и процесса разделения.

Однако установленные рациональные технологические параметры процесса отрезки эксцентричным закручиванием касаются разделения проката сплошного сечения. Вопросы разделения труб при реализации способа отрезки эксцентричным закручиванием – не рассматривались.

Цель работы – теоретические и экспериментальные исследования энергосиловых параметров процесса разделения, а также геометрической точности разделяемых трубчатых заготовок способом эксцентричного закручивания.

В настоящее время появилось много программных разработок, которые позволяют моделировать различные технологические процессы. Программный комплекс Deform-3D – мощная система моделирования технологических процессов, предназначенная для анализа трёхмерного (3D) поведения металла при различных процессах обработки давлением, в том числе, и при разделении проката. Он позволяет заглянуть «внутрь» технологического процесса, проследить за течением металла, обнаружить дефекты, определить остаточные деформации, макро- и микроструктуру, фазовый состав и др. Главное преимущество этой программы заключается в том, что экономится много денег и времени [11].

Создание математической модели процесса отрезки трубчатых заготовок способом эксцентричного закручивания проводили на основе конечно-элементного исследования с помощью прикладных программ Deform-3D.

Схема процесса отрезки мерной трубчатой заготовки приведена на рис. 1. Труба 1 (наружный диаметр – 16 мм, внутренний диаметр – 12 мм, длина – 200 мм) размещается в двух втулочных ножах 2, 3. Нож 2 выполнен неподвижным, нож 3 – подвижным с возможностью вращательного движения относительно своей оси, смещённой от оси трубы 1 на величину эксцентриситета $e = 3$ мм. При включении привода подвижный нож 3 совершает вращательное движение относительно своей оси. При этом на начальном этапе отрезки труба 1 заклинивается между ножами 2, 3. Затем происходит пластическое внедрение режущих кромок ножей 2, 3 в трубчатую заготовку 1, с одновременным кручением отрезаемой части заготовки в плоскости разделения до разрушения.

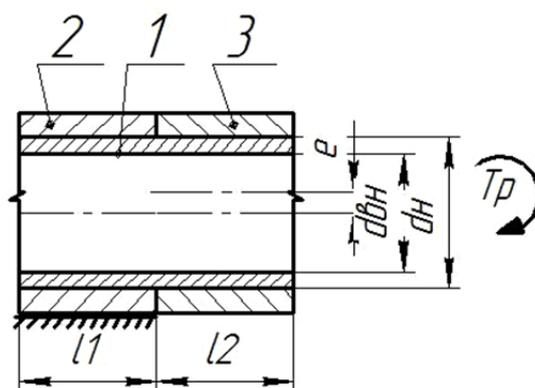


Рис. 1. Схема процесса отрезки (1 – труба; 2, 3 – ножи)

С учетом специфики процесса суммарный момент разделения M равен:

$$M = M_{кр} + M_{отр} + M_{тр},$$

где $M_{кр}$ – момент кручения отрезаемой части трубчатой заготовки;

$M_{отр}$ – момент отрезки трубчатой заготовки;

$M_{тр}$ – момент трения.

Материал трубчатой заготовки – Сталь 20.

Поскольку в Deform не предусмотрено использование марок сталей, применяемых в производстве на Украине, то выбирали наиболее подходящую, из имеющих сталей в базе данных самой программы – С 25 – ISO.

Для моделирования процесса отрезки задавали следующие параметры:

- угловая скорость подвижного ножа – 3 с^{-1} ;
- температура – $20 \text{ }^\circ\text{C}$;
- критерий разрушения – Normalized C&L.

Результаты расчетов представлены на рис. 2, 3.

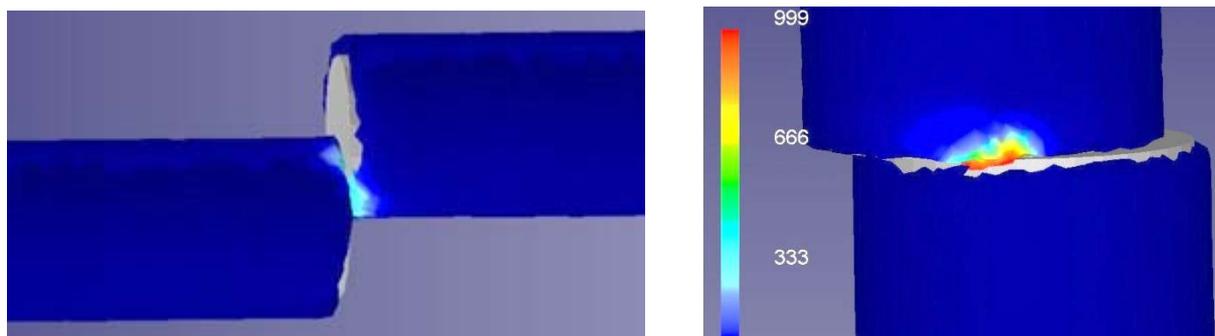


Рис. 2. Распределение напряжений по сечению трубчатой заготовки из стали 20

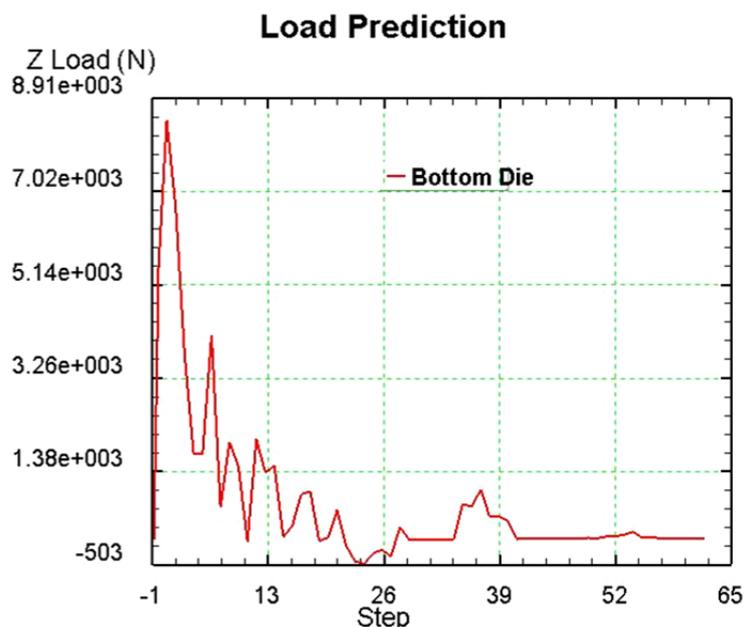


Рис. 3. Изменение силы отрезки при разделении трубчатой заготовки из стали 20

Таким образом, расчетная максимальная сила отрезки трубы составила $F_{max} \approx 8,7$ кН.

Для проверки результатов теоретических расчетов проведены экспериментальные исследования разделения труб способом эксцентричного закручивания. Для этого использовалась специально разработанная экспериментальная установка [12]. Установка (рис. 4, а) состоит из одноступенчатого цилиндрического зубчатого редуктора, на выходном валу 6 которого закреплен подвижный нож-втулка 4, при этом неподвижный нож-втулка 2 закреплен в неподвижной обойме 3, которая, в свою очередь, закреплена на корпусе редуктора 5. В подвижном 4 и неподвижном 2 ножах-втулках выполнены отверстия для размещения трубчатой заготовки таким образом, что ось отверстия смещена относительно осей ножей-втулок 2, 4 на величину эксцентриситета e . В исходном положении ножи 2, 4 расположены соосно.

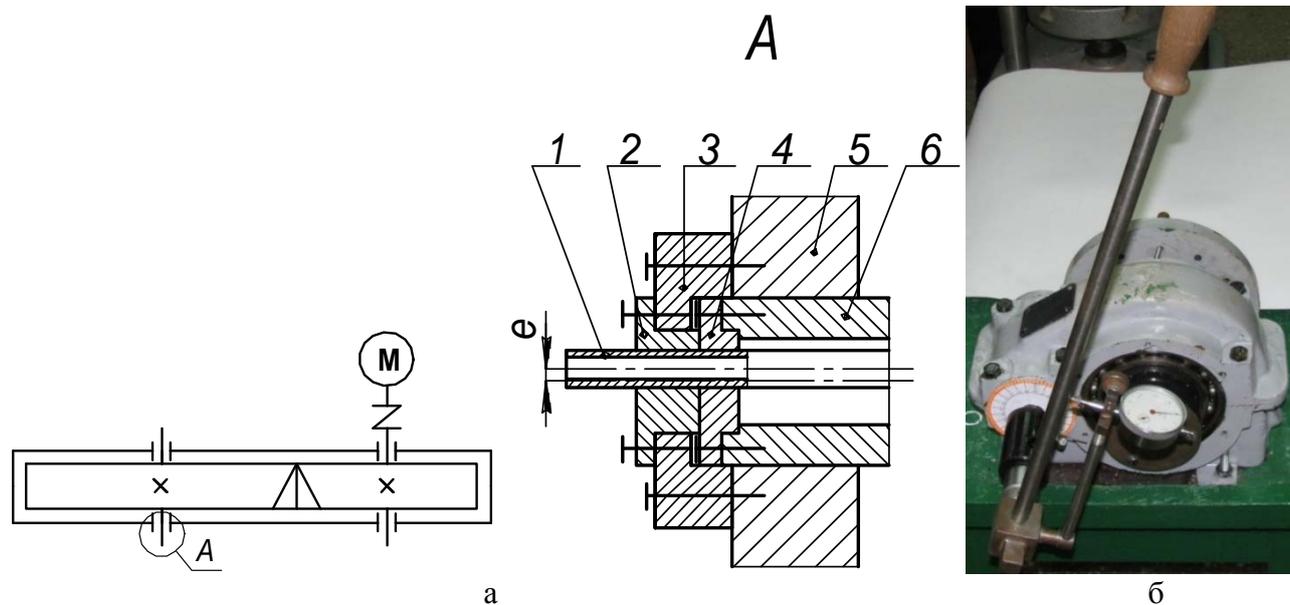


Рис. 4. Конструктивная схема (а) и фотография (б) экспериментальной установки

Установка работает следующим образом. В полость ножей-втулок 2, 4 подается трубчатая заготовка 1 до упора (не показан). При включении привода подвижный нож 4 совершает вращательное движение относительно своей оси. При этом на начальном этапе отрезки

заготовка заклинивается между ножами 2, 4. Затем происходит пластическое внедрение режущих кромок ножей в заготовку 1 и кручение отрезаемой части в плоскости разделения до разрушения. После совершения подвижным ножом 4 полного оборота на 360° оси режущих ножей 2, 4 вновь совпадают друг с другом и цикл работы повторяется.

Передаточное число редуктора $U = 4,3$.

В эксперименте использовались трубчатые образцы с размерами: наружный диаметр 16 мм и длиной 200 мм. Материал образцов – сталь 20 (толщина стенки $\delta = 2,0$ мм).

В подвижном и неподвижном ножах, совместно за один проход, сверлили отверстие для размещения трубчатой заготовки, ось которого смещена относительно осей вращения ножей на величину $e = 3$ мм.

Силовые параметры процесса разделения измеряли с помощью одноручного динамометра с индикаторной головкой, который предварительно тарировался. Измерение геометрических параметров, характеризующих геометрическую точность отрезанных заготовок, производили методом прямого измерения с использованием универсального измерительного инструмента по известной схеме измерения [4].

Выборка результатов экспериментов представлена в табл. 1.

Таблица 1

Результаты экспериментальных исследований

№ опыта	Угол поворота динамометра, град	Угол поворота подвижного ножа-втулки, град	Показания индикатора, ед.	Момент отрезки, Н мм
1	0	0	0	0
2	15	3,5	10	24295,0
3	30	7,0	15	36442,5
4	45	10,5	17	41301,5
5	60	14,0	20	48590,0
6	75	17,5	23	55878,5
7	90	21,0	30	72885,0
8	105	24,5	40	97180,0
9	120	28,0	45	109327,5
10	135	31,5	50	121475,0
11	180	42,0	55	133622,5
12	225	52,5	58	140911,0
13	270	63,0	55	133622,5
14	315	73,5	50	121475,0
15	360	84,0	25	60737,5
16	405	94,0	17	41301,5
17	450	105,0	14	34013,0
18	495	115,0	10	24295,0
19	540	126,0	5	12147,5
20	585	136,0	0	0

Зависимость момента на подвижном ноже-втулке от угла поворота ножа для заготовок из стали 20 представлена на рис. 5.

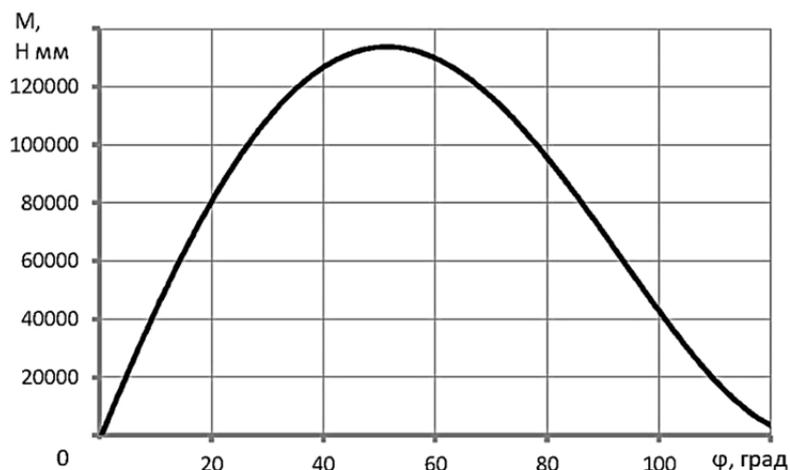


Рис. 5. Зависимость момента на подвижном ноже-втулке от угла поворота ножа

Полученные результаты экспериментальных исследований хорошо согласуются с теоретическими данными, которые рассчитаны с помощью специализированной программы Deform-3D, а также по зависимостям, полученным в работе [7].

При этом момент отрезки трубчатой заготовки составляет примерно 70 % от суммарного момента разделения:

$$M_{отр} \approx F_{max} (d/2 + e) = 8700 \cdot (16/2 + 3) \approx 95700 \text{ Н}\cdot\text{мм},$$

а остальные затраты связаны с потерями на кручение и трение в ножах, что соответствует физическим процессам, происходящим при разделении.

Результаты проведенных измерений относительных средних величин искажений геометрической формы заготовок [4], полученных отрезкой эксцентричным закручиванием, представлены в табл. 2.

Таблица 2

Показатели геометрической точности заготовок

Материал	Величина искажений									
	φ, град		U = U/d		S = S/d		M = M/d		b = B/d	
	φ _n	φ _з	u _n	u _з	s _n	s _з	m _n	m _з	b _n	b _з
Сталь 20	2,00	1,00	0,02	0,01	0,05	0,03	0,01	0,01	0,06	0,04

Отрезанные трубчатые заготовки имеют удовлетворительные показатели геометрической точности [12]. Фотография отрезанной заготовки представлена на рис. 6.

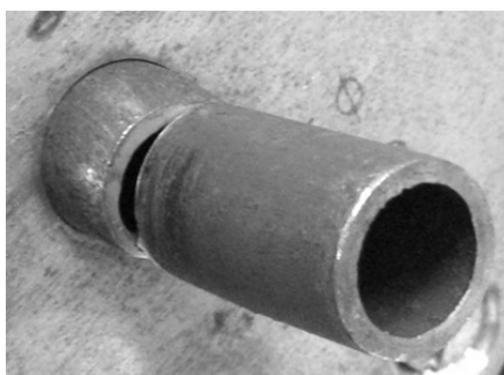


Рис. 6. Фотография отрезанной заготовки из стали 20

ВЫВОДЫ

Определены энергосиловые параметры процесса разделения труб эксцентричным закручиванием с использованием специализированного программного комплекса Deform-3D, позволяющего моделировать технологический процесс разделения для различных схем нагружения и материалов.

Для проверки результатов теоретических расчетов проведены экспериментальные исследования разделения труб на установке оригинальной конструкции. Полученные результаты хорошо согласуются с расчетными данными. При этом момент отрезки трубчатой заготовки составляет примерно 70 % от суммарного момента разделения, а остальные затраты связаны с потерями на кручение и трение в ножах, что соответствует физическим процессам, происходящим при разделении.

Отрезанные трубчатые заготовки имеют удовлетворительные показатели геометрической точности.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Финкель В. М. *Холодная ломка проката* / В. М. Финкель, Ю. И. Головин, Г. Б. Родюков. – М. : Металлургия, 1982. – 192 с.
2. Соловцов С. С. *Производство точных заготовок отрезкой и вырубкой* / С. С. Соловцов // *Кузнечно-штамповочное производство*. – 2005. – № 9. – С. 22–24.
3. Лисунец Н. Л. *Проблемы дозирования заготовок под объемную штамповку* / Н. Л. Лисунец // *Кузнечно-штамповочное производство*. – 2009. – № 9. – С. 43–47.
4. Соловцов С. С. *Безотходная разрезка сортового проката в штампах* / С. С. Соловцов. – М. : Машиностроение, 1985. – 176 с.
5. Тимощенко В. А. *Обобщение и разработка разделительных процессов обработки металлов давлением* : дис. д-ра техн. наук : 05.03.05 / Тимощенко В. А. – Кишинев, 1987. – 512 с.
6. Карнаух С. Г. *Совершенствование безотходных энергосберегающих способов разделения сортового металлопроката и оборудования для получения заготовок высокого качества* : дис. канд. техн. наук : 05.03.05 / С. Г. Карнаух. – Краматорск, 1999. – 221 с.
7. Ломсадзе З. Дж. *Определение энергосиловых параметров процесса резки круглого проката эксцентричным закручиванием* / З. Дж. Ломсадзе, В. Н. Чейшвили, Т. М. Сулухия // *Труды ГТУ*. – 1990. – № 9. – С. 15–18.
8. А. с. 1465195 СССР, МКИ В 23 D 23/00. *Устройство для резки проката* / З. Д. Ломсадзе, А. А. Костава, Д. М. Сулухия и др. (СССР). – № 4279681/37-27; заявл. 08.07.87; опубл. 15.03.98; Бюл. № 10.
9. Карнаух С. Г. *Разработка новых способов разделения сортового проката и оборудования для их реализации с использованием методики синтеза комбинированных методов обработки* / С. Г. Карнаух, Н. В. Чоста // *Вісник Донбаської державної машинобудівної академії* : зб. наук. пр. – Краматорськ : ДДМА, 2006. – № 1(3). – С. 105–111.
10. Роганов Л. Л. *Разработка нового типа кузнечно-прессового оборудования для разделительных операций* / Л. Л. Роганов, С. Г. Карнаух, Н. В. Чоста // *Металлообработка*. Санкт-Петербург. – 2010. – № 6 (60). – С. 28–34.
11. Филина А. В. *Моделирование процесса получения точных коротких заготовок в закрытых штампах* / А. В. Филина // *Технология машиностроения*. – 2009. – № 12. – С. 13–16.
12. Роганов Л. Л. *Экспериментальные исследования процесса разделения труб способом отрезки эксцентричным закручиванием* / Л. Л. Роганов, Д. С. Карнаух // *Обработка материалов давлением* : сб. науч. тр. – Краматорск : ДГМА, 2010. – № 1 (22). – С. 174–178.
13. Федина Т. С. *Разделение труб на заготовки* / Т. С. Федина // *Сборник аналитических материалов*. – ЦНИИИТИКПК. – 1989. – № 2. – 11 с.

Роганов Л. Л. – д-р техн. наук, проф. каф. МТО ДГМА;

Карнаух Д. С. – аспирант ДГМА;

Карнаух С. Г. – канд. техн. наук, доц., зав. каф. ОПМ ДГМА.

ДГМА – Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск.

E-mail: omd@dgma.donetsk.ua

Статья поступила в редакцию 09.02.2012 г.