

УДК 621.961.2

*д.т.н. Еронько С. П.,
к.т.н. Ткачев М. Ю.,
Ковалева О. А.
(ДонГТУ, г. Донецк, ДНР)*

РАЗРАБОТКА И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ЛЕТУЧИХ НОЖНИЦ ДЛЯ РЕЗКИ ТОНКОСТЕННЫХ ТРУБ

Освещены конструктивные особенности и представлены результаты экспериментальной проверки работоспособности усовершенствованных гидравлических ножниц, предназначенных для качественной резки тонкостенных труб на мерные длины в потоке сварочного стана.

Ключевые слова: тонкостенный полый профиль, трубосварочный стан, летучие ножницы, качество торцевых поверхностей.

Проблема и её связь с научными и практическими задачами. В настоящее время разделение на мерные длины тонкостенных труб в потоке сварочного стана осуществляют с помощью летучих дисковых пил или установок абразивной резки, обеспечивающих приемлемое качество торцевых поверхностей выпускаемых полых профилей. Вместе с этим быстрый износ рабочего инструмента при таких способах резки и сопровождающие их значительный шумовой эффект и образование большого количества раскалённых металлических и пылевидных частиц мотивируют продолжить исследования с целью разработки режущих систем, лишённых отмеченных недостатков [1].

Информация, полученная в ходе выполненного анализа научно-практических результатов в данной области [2–6], свидетельствует о перспективности использования на трубосварочных станах летучих ножниц, реализующих 2-стадийный процесс резки тонкостенных полых профилей. Суть его состоит в том, что вначале осуществляют предварительное ослабление поперечного сечения трубы путём её надреза горизонтально движущимся ножом, а затем в месте образовавшейся лыски оказывают силовое воздействие клиновым ножом, опускающимся сверху и разделяющим полый тонкостенный профиль на части. При указанной схеме резки удаётся избежать смятия торце-

вых поверхностей трубного профиля и улучшить его товарный вид [7, 8].

Постановка задачи. Целью данной работы является создание конструкции гидравлических летучих ножниц, обеспечивающих качественную резку на мерные длины тонкостенных труб в потоке сварочного стана за счёт реализации процесса двухстадийного разделения полого профиля, при котором исключается смятие его торцевых поверхностей.

Изложение материала и его результаты. Сотрудниками кафедры «Механическое оборудование заводов чёрной металлургии» им. профессора В. Я. Седуша Донецкого национального технического университета на основании результатов комплексных исследований, связанных с разработкой перспективных образцов малогабаритных устройств качественной резки тонкостенных труб [9, 10], предложена новая конструкция гидравлических летучих ножниц, предназначенных для применения в потоке трубосварочного стана для разделения на мерные длины готового полого профиля. На рисунке 1 приведена конструктивная схема разработанных ножниц. Они содержат ножевой режущий блок 4, размещённый на двух горизонтальных цилиндрических направляющих 5 с возможностью относительного возвратно-поступательного перемещения с помощью приводного гидrocилиндра 2, шток которого посредством

пальца 3 связан с корпусом режущего блока, а корпус в средней своей части шарнирно закреплён на основании 1. Режущий блок ножниц в соответствии с компоновочной схемой, показанной на рисунке 2, включает коробчатой формы корпус, состоящий из основания 17, двух пар продольных 11 и поперечных 3, 12 стенок, а также верхних брусьев 4, 10. Все элементы связаны между собой с помощью болтов.

На поперечных стенках посредством резьбовых соединений закреплены плунжерные гидроцилиндры 1, 13, расположенные горизонтально на одной оси. Плунжеры 2, 14 обоих цилиндров винтами соединены с горизонтальным П-образным суппортом 19, имеющим в верхней своей части две щелевые прорези, разделённые перемычкой, в пазу которой размещён подрезной нож 18.

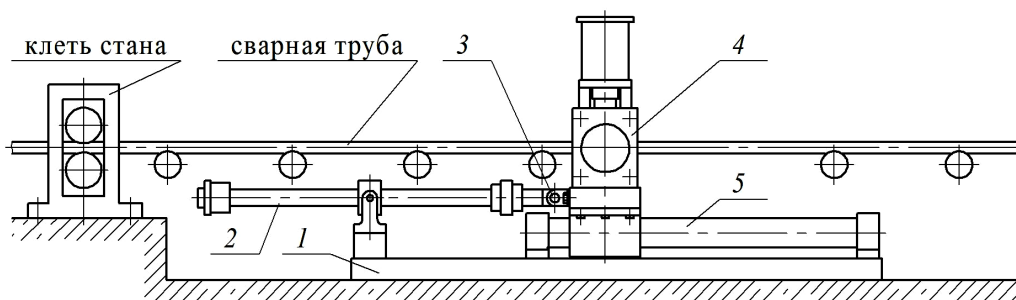


Рисунок 1 Структурная схема летучих ножниц трубосварочного стана

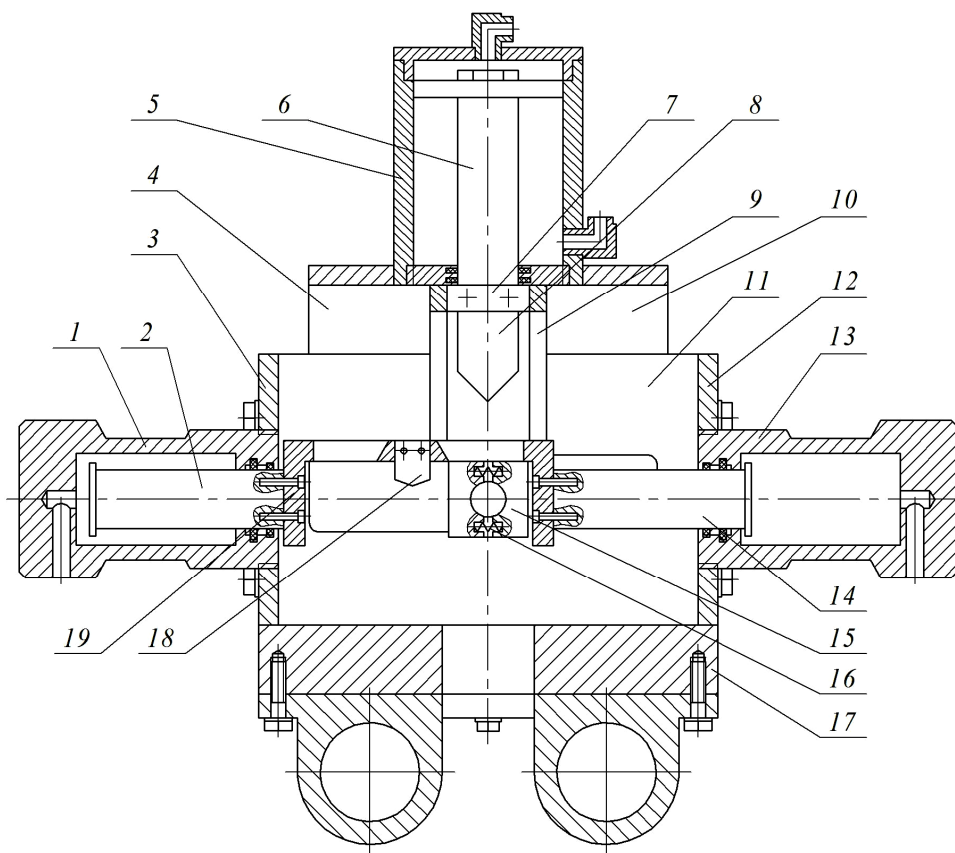


Рисунок 2 Конструктивная схема режущего блока летучих ножниц трубосварочного стана

На верхних брусках 4, 10 корпуса блока закреплён вертикально расположенный гидроцилиндр двухстороннего действия 5. Его шток 6 несёт суппорт 7, удерживающий клиновой нож 8 и снабжённый четырьмя вертикальными брусками 9 квадратного сечения. Нижние части брусков имеют клиновидную форму и контактируют скошенными поверхностями с тыльными сторонами двух пар калиброванных ножей-зажимов 15. Между ножами-зажимами каждой из пар поддерживается заданный зазор за счёт распирающего усилия, создаваемого двумя пружинами 16, находящимися в соосных цилиндрических углублениях. При этом обе пары ножей-зажимов образуют продольный зазор для беспрепятственного прохода между ними последовательно подрезного 18 и клинового 8 ножей.

Порядок функционирования летучих ножниц следующий. Перед началом реза во время движения трубы, находящейся между двумя парами разведённых ножей-зажимов, подвижные части режущего блока ножниц занимают положение, показанное на рисунке 2. Когда труба выйдет из режущего блока на расчётную длину, он с помощью приводного гидроцилиндра 2 (рис. 1) начинает движение вслед за нею по горизонтальным цилиндрическим направляющим. В момент выравнивания скоростей движения трубы и режущего блока в верхнюю полость его вертикального силового цилиндра 5 насосом маслостанции подаётся под давлением рабочая жидкость, в результате чего шток 6 начинает движение вниз вместе с суппортом 7, несущим клиновой нож 8 и четыре вертикальных бруска 9. Когда нижние клиновидные концы этих брусков, воздействуя на тыльные части ножей-зажимов 15 и преодолевая усилия их распорных пружин 16, зафиксируют в калибрах трубу, в полость левого плунжерного цилиндра 1 под давлением подаётся рабочая жидкость с расходом, обеспечивающим ускоренное перемещение плунжера 2 и горизонтального суппорта 19 из левого крайнего положения в правое с принудительным вталкиванием

плунжера второго цилиндра 14. При этом нож 18 осуществляет надрез трубы, ослабляющий её поперечное сечение в месте внедрения клинового ножа 8, который, опускаясь с некоторой задержкой по времени, проходит через левую прорезь горизонтального суппорта между двумя парами сомкнутых ножей и осуществляет полное отделение части полого профиля, после чего ускоренно возвращается в верхнее исходное положение вместе с суппортом 7 и вертикальными брусками 9, освобождаящими ножи-зажимы 15 для их размыкания распорными пружинами 16. Режущий блок сразу же с помощью приводного гидроцилиндра перемещается назад в исходную позицию. Последующий рез трубы будет происходить аналогичным образом с той лишь разницей, что для предварительного выполнения на поверхности полого профиля лыски в нужный момент времени должен включиться в работу правый плунжерный гидроцилиндр 13, ускоренно переводящий из правого в крайнее левое положение горизонтальный суппорт 19, несущий нож 18.

Проверку правильности технических решений, заложенных в конструкцию разработанных ножниц, и эффективности их функционирования провели на лабораторном комплексе, включавшем экспериментальный образец гидравлического режущего устройства (рис. 3) и систему централизованного управления синхронной работой его гидравлических цилиндров Ц1–Ц4, структурная схема которой показана на рисунке 4. В данной системе использован командоаппарат, включающий валы 3 и 5, установленные параллельно в подшипниковых опорах и связанные между собой посредством зубчатой пары 9 с передаточным числом, равным 2. Вращение обоих валов осуществляет мотор-редуктор (условно не показан), который позволяет обеспечить плавное изменение в нужных пределах их угловой скорости. Вал 3 несёт кулачки 2 и 10, с которыми находятся в контакте толкатели золотников 1 и 11, управляющих работой горизон-

тальных плунжерных гидроцилиндров Ц2 и Ц3, перемещающих суппорт с подрезным ножом. На валу 5 размещены кулачки 4 и 8, контактирующие с толкателями золотников 6 и 7, регулирующих подачу рабочей жидкости соответственно в полости горизонтального Ц4 и вертикального Ц1 поршневых гидроцилиндров. Необходимые последовательность и продолжительность срабатывания всех золотников, включающих в работу соответствующие силовые гидроцилиндры летучих ножниц, задаются профилем кулачков и их относительным разворотом между собой.

Перед началом проведения эксперимента, используя предварительно рассчитанную и построенную циклограмму (рис. 5), определили требуемые профили кулачков командоаппарата (рис. 6) и после их изготовления осуществили настройку функционирования структурных элементов ла-

бораторного комплекса. Она включала согласование относительных скоростей движения трубы, подлежащей разделению на мерные длины, и режущего блока, выполняющего эту операцию, а также фиксацию кулачков командоаппарата в нужном относительном положении на несущих их валах и последующий подбор частот вращения, обеспечивающих требуемую длительность двухстадийного процесса поперечной резки трубного профиля. При этом скорость перемещения трубы задавали частотой вращения роликов устройства, имитирующего работу последней клетки трубосварочного стана, а скорость возвратно-поступательного движения режущего блока ножниц регулировали путём изменения объёмного расхода жидкости, поочередно подаваемой насосом в рабочие полости горизонтально установленного приводного гидроцилиндра Ц4.

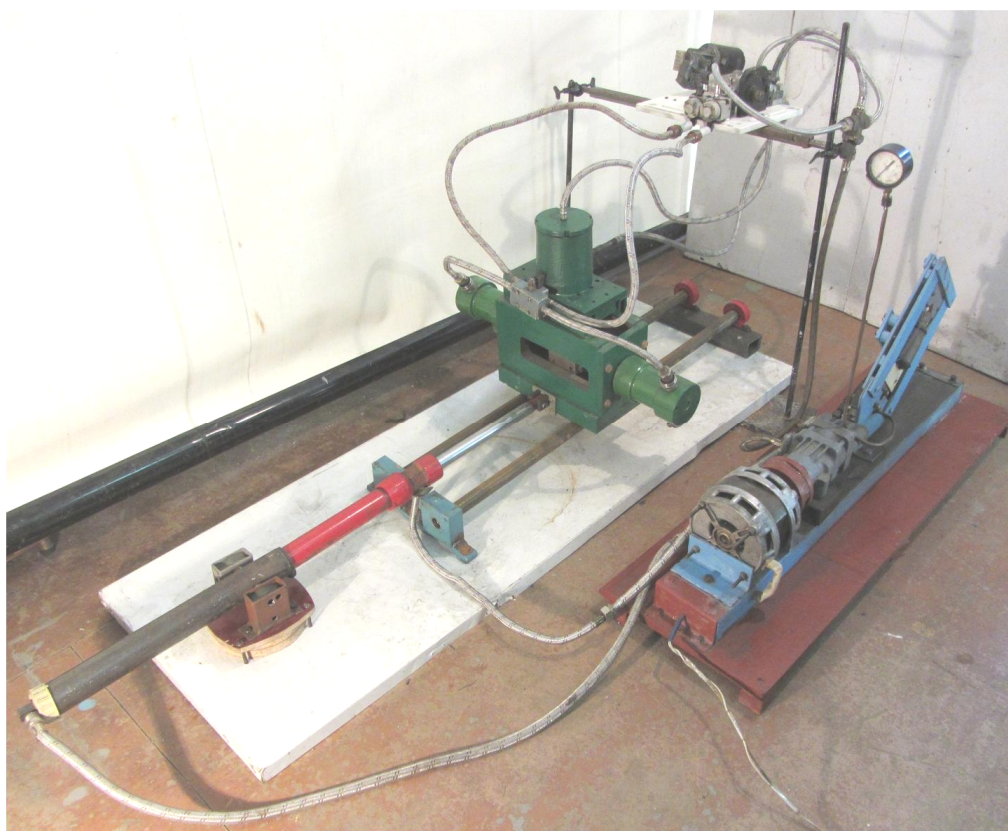
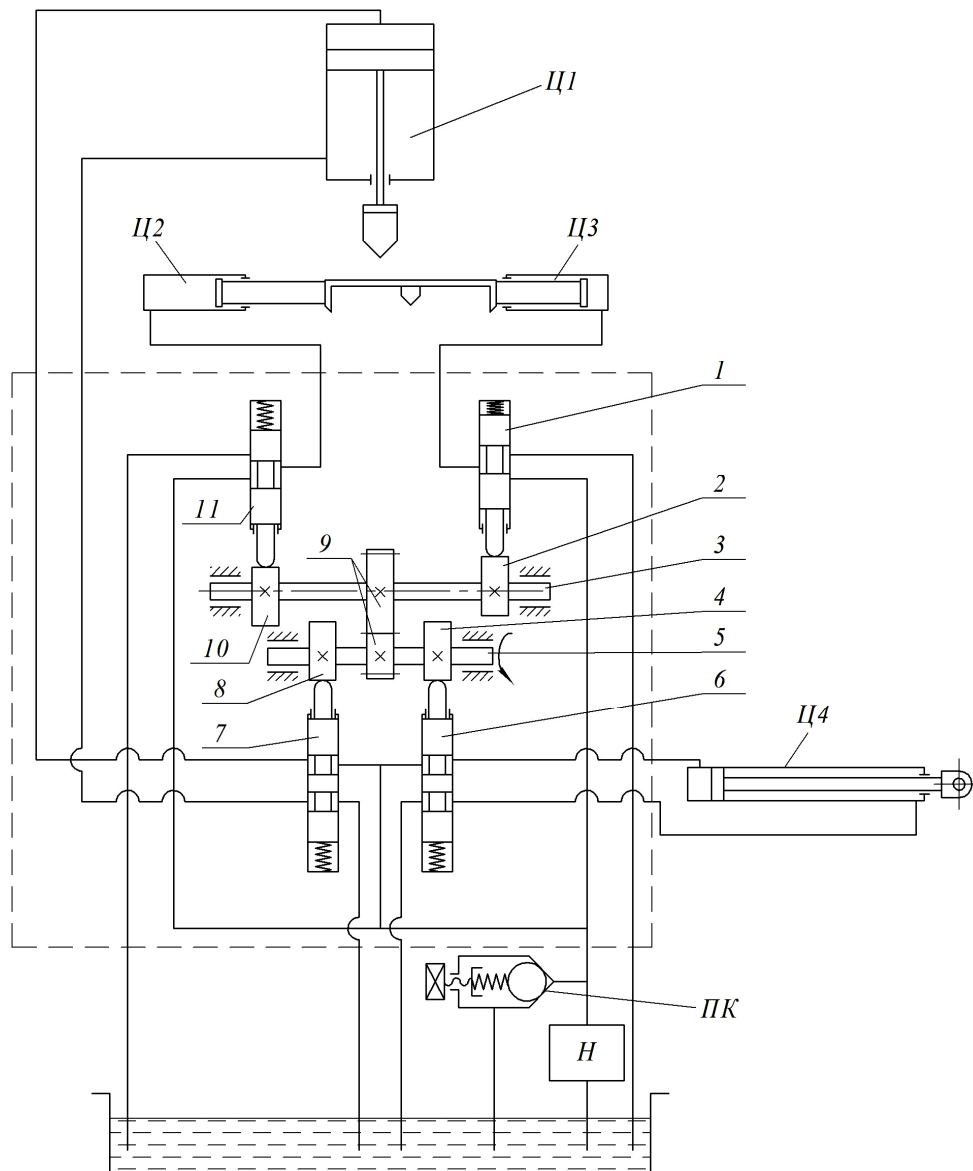


Рисунок 3 Экспериментальный образец летучих ножниц для резки тонкостенных труб



Ц1 — вертикальный поршневой гидроцилиндр; Ц2, Ц3 — плунжерные гидроцилиндры;
Ц4 — горизонтальный поршневой гидроцилиндр; Н — насос; ПК — предохранительный клапан

Рисунок 4 Структурная схема системы управления работой гидроцилиндров летучих ножниц

Технические параметры маслонасоса (обеспечиваемые им давление и объёмная подача рабочей жидкости) назначали с учётом силовых и скоростных характеристик гидроцилиндров, приводящих в действие структурные механизмы опытного образца исследуемых летучих ножниц. На основании ранее полученных расчётных данных (табл. 1) о технологических нагрузках, возникающих при надрезе и полном разделении на мерные длины тонко-

стенных труб с различной комбинацией наружного и внутреннего диаметров [8], и скорости выполнения указанных операций установили, что при проведении лабораторного эксперимента исследуемые летучие ножницы необходимо снабдить маслонасосом, развивающим давление 1 МПа и объёмную подачу 11 л/мин. Указанным условиям отвечал шестерённый насос Г11-1 (Ш), использовавшийся в качестве привода ножниц.

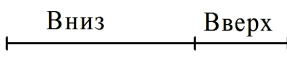

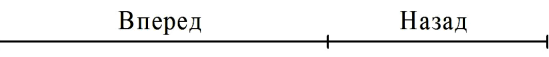
Гидроцилиндр летучих ножниц	Направление движения штока (плунжера)
Вертикальный поршневой	
Плунжерный левый	
Плунжерный правый	
Горизонтальный поршневой	
Продолжительность работы, с	

Рисунок 5 Циклограмма работы гидроцилиндров при выполнении реза трубы летучими ножницами

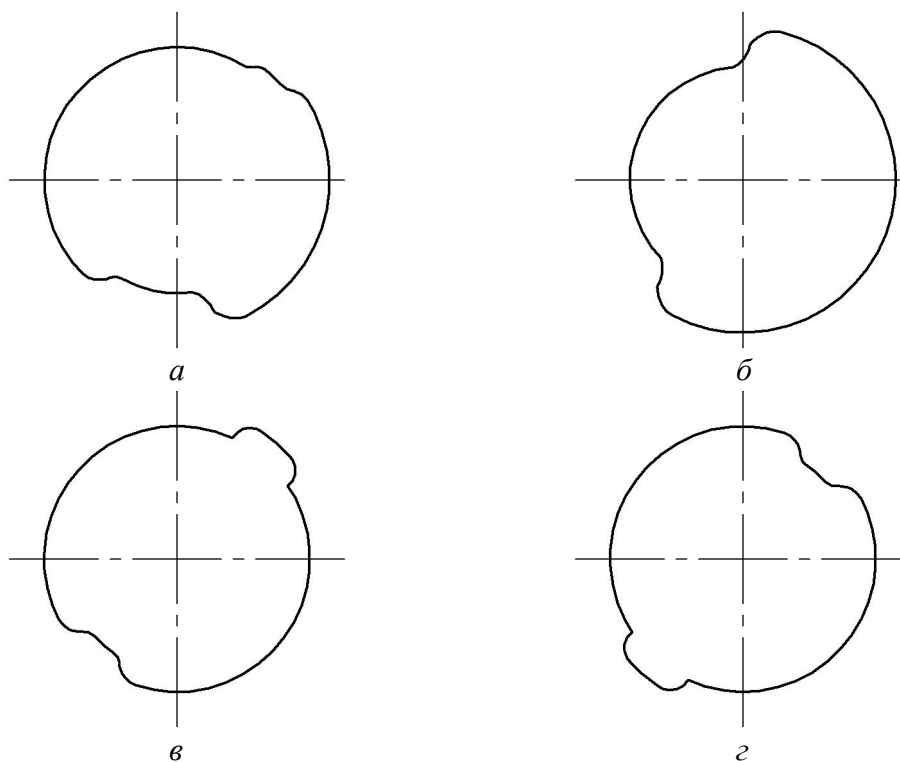


Рисунок 6 Профили кулачков, управляющих работой золотников для регулирования подачи жидкости в полости вертикального (а), горизонтального (б) и плунжерных (в, г) гидроцилиндров

С целью уменьшения площади, занимаемой лабораторным комплексом, и снижения материальных затрат при проведении контрольных испытаний разработанных летучих ножниц резку тонкостенной трубы осуществляли на минимально возможные мерные длины, соответствующие скорости движения

полого профиля (данные табл. 2). Поскольку длина трубных профилей, используемых в эксперименте, составляла 1 м, при их порезке на мерные длины в зависимости от скорости движения из исходного образца трубы получали от 4 до 8 элементов, имеющих соответствующий линейный размер (рис. 7).

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

Таблица 1

Расчётные значения параметров гидравлического привода режущего механизма ножниц

Размеры трубы, мм		Максимальная сила реза P , Н	Скорость движения ножа, м/с	Параметры привода		
D	d			Диаметр поршня цилиндра, мм	Рабочее давление насоса, МПа	Объёмная подача насоса, л/мин
10	9	4300	0,1	75	1,0	11
	8	8300		100		19
	6	11200		120		27
20	18	7200		65	2,0	8
	16	12000		90		15
	14	15000		100		19
30	28	9800		70	2,5	9
	26	14000		85		14
	24	17000		90		15

Таблица 2

Кинематические параметры разработанных летучих ножниц при проведении контрольных испытаний

Скорость движения трубы, м/с	Время движения режущего блока в исходную позицию после выполнения реза трубы, с	Требуемое время для выравнивания скоростей трубы и режущего блока при движении в попутном направлении, с	Мерная длина куска трубы, м
0,05	2	0,2	0,11
0,075	2	0,3	0,18
0,1	2	0,5	0,25



Рисунок 7 Тонкостенные трубы после разделения на части по двухстадийной схеме резки на гидравлических летучих ножницах

Наряду с этим в ходе экспериментов был выявлен недостаток у применявшегося блока управления, связанный с износом рабочих поверхностей его кулачков и необходимостью тщательной настройки их относительного положения, поскольку даже при незначительном угловом отклонении хотя бы одного из них происходил сбой в работе режущего блока. Результаты лабораторных испытаний разработанных летучих ножниц будут учтены при проектировании их промышленного образца.

Выводы и направление дальнейших исследований. Результаты лабораторных экспериментов подтвердили работоспо-

собность основных структурных элементов предложенной системы летучих ножниц для качественной резки тонкостенных труб в потоке сварочного стана. Дальнейшие её исследования будут связаны с повышением надёжности блока управления последовательностью работы силовых гидроцилиндров за счёт использования схемы с электромеханическим управлением «по пути», обеспечивающим подачу сигналов о выполнении предшествующей команды при обработке заданной последовательности перемещений горизонтально движущегося подрезного ножа и вертикально опускающегося клинового ножа.

Библиографический список

1. Кравченко, В. М. Повышение стойкости дисков летучей пилы для порезки тонкостенных труб [Текст] / В. М. Кравченко, В. А. Сидоров, В. В. Буцукин // *Защита металлургических машин от поломок : сборник научных трудов*. — Мариуполь : ГВУЗ «ПГТУ». — 2010. — Вып. 12. — С. 222–225.
2. Стеблюк, В. И. Методы усовершенствования способов резки труб на короткие заготовки [Текст] / В. И. Стеблюк // *Обработка материалов давлением : сборник научных трудов*. — Краматорск : Донбасская государственная машиностроительная академия. — 2009. — № 1. — С. 287–290.
3. Стеблюк, В. И. Последовательность резки тонкостенной трубчатой заготовки сдвигом вращающихся оправок [Текст] / В. И. Стеблюк, Д. Н. Савченко, Д. Б. Шкарлута // *Вестник Национального технического университета Украины «Харьковский политехнический институт»*. — Харьков : ХТУ «ХПИ». — 2010. — № 43. — С. 141–146.
4. Экспериментальные исследования усовершенствованного метода резки трубчатых заготовок одновременным сдвигом и кручением [Текст] / В. И. Стеблюк [и др.] // *Вестник Донбасской государственной машиностроительной академии*. — Краматорск : ДГМА. — 2010. — № 1 (22). — С. 179–182.
5. Карнаух, С. Г. Разработка оборудования для разделения сортового проката (труб) на мерные заготовки с применением нитинола [Текст] / С. Г. Карнаух, Д. С. Карнаух, Н. В. Чоста // *Сборник научных трудов Донбасской государственной машиностроительной академии*. — Краматорск : ДГМА, 2015. — № 2. — С. 323–326.
6. Титов, В. А. Особенности расчёта параметров процесса резки тонкостенных труб на детали и полуфабрикаты [Текст] / В. А. Титов, Д. М. Савченко, А. И. Петришин // *World science*. — 2018. — № 3 (31). — С. 35–41.
7. Теоретические и экспериментальные исследования силовых параметров процесса резки тонкостенных труб клиновыми ножами [Текст] / С. П. Еронько [и др.] // *Вестник Донецкого национального технического университета*. — 2016. — № 5. — С. 15–21.
8. Исследование энергосиловых параметров ножниц для качественной резки тонкостенных труб [Текст] / С. П. Еронько [и др.] // *Сборник научных трудов Донбасского государственного технического университета*. — Алчевск : ГОУ ВПО ЛНР «ДонГТУ», 2018. — Вып. 11 (54). — С. 110–118.
9. Малогабаритные ножницы для качественной резки тонкостенных труб [Текст] / С. П. Еронько [и др.] // *Современные проблемы горно-металлургического комплекса. Наука и*

производство : матер. 15-й всероссийской науч.-практ. конф. с межд. участием. — Старый Оскол : Старооскольский технологический институт им. А. А. Угарова. — 2018. — С. 48–53.

10. Разработка режущего блока летучих ножниц трубосварочного стана [Текст] / С. П. Еронько [и др.] // Инновационные перспективы Донбасса : сборник трудов 5-й межд. науч.-практ. конф. В 6-ти т. Т. 3. Инновационные технологии проектирования, изготовления и эксплуатации промышленных машин и агрегатов. — Донецк : ДонНТУ, 2019. — С. 22–27.

© Еронько С. П.

© Ткачѐв М. Ю.

© Ковалѐва О. А.

Рекомендована к печати д.т.н., проф. каф. ММК ДонГТУ Харламовым А. Ю., д.т.н., проф. каф. МОЗЧМ им. В. Я. Седуша ДонНТУ Сидоровым В. А.

Статья поступила в редакцию 18.11.19.

д.т.н. Еронько С. П., к.т.н. Ткачов М. Ю., Ковальова О. О. (ДонНТУ, м. Донецьк, ДНР)

РОЗРОБКА ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ГІДРАВЛІЧНИХ ЛЕТУЧИХ НОЖИЦЬ ДЛЯ РІЗАННЯ ТОНКОСТІННИХ ТРУБ

Наведено результати розробки гідравлічних ножниць для двохстадійного різання тонкостінних труб в потоці зварювального стану і системи управління їх роботою, яка оснащена командоапаратом. Пристрій ножниць дозволяє проводити різ труби без змінання торцевих поверхонь за рахунок попереднього ослаблення її перерізу на першому етапі операції.

Ключові слова: тонкостінний порожнистий профіль, трубозварювальний стан, летучі ножниці, якість торцевих поверхонь.

Doctor of Technical Sciences Eron'ko S. P., PhD in Engineering Tkachov M. Yu., Kovaleva O. A. (DonNTU, Donetsk, DPR)

DEVELOPMENT AND EXPERIMENTAL RESEARCHES OF HYDRAULIC FLYING SHEARS FOR CUTTING THIN-WALLED PIPES

There have been given the results of the development of hydraulic shears for two-stage cutting of thin-walled pipes in the flow of a welding mill and a control system for their operation equipped with a command apparatus. The shears allows you to cut the pipe without crumbling the end surfaces due to the preliminary weakening of its cross section at the first stage of the operation.

Key words: thin-walled hollow section, pipe-welder, flying shears, quality of end surfaces.