

ОЦЕНКА ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ТОЧНОСТИ РЕЗА ЛИСТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ ТОНКОСТРУЙНОЙ ПЛАЗМЕННОЙ РЕЗКИ*

Х.М. РАХИМЯНОВ, доктор техн. наук, профессор

А.А. ЛОКТИОНОВ, аспирант

Ю.В. НИКИТИН, канд. техн. наук, доцент

(НГТУ, г. Новосибирск)

Поступила 15 июня 2013 года

Рецензирование 15 августа 2013 года

Принята к печати 25 августа 2013 года

Локтионов А.А. – 630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20,
Новосибирский государственный технический университет,
e-mail: pushkin-lok@mail.ru

Проводятся исследования по оценке геометрической точности реза листовых материалов в соответствии с ISO 9013:2002. Для исследования выбран листовой прокат из конструкционной стали марки Ст. 3. Выбраны предельные значения толщин исходя из условия его гарантированной пробивки и раскроя согласно исследуемым технологиям. Показана геометрия реза для технологий тонкоструйной плазменной резки – HiFocus; HiFocus^{plus}; HiFocus F для различных толщин. Проведена сравнительная оценка перпендикулярности кромок реза для отмеченных технологий. Даны рекомендации по применению технологий тонкоструйной плазменной резки в зависимости от толщины и требуемой геометрии реза.

Ключевые слова: тонкоструйная плазменная резка, рез, формообразование, перпендикулярность, точность, качество, геометрия, сопло, катод.

Введение

Выбор заготовительной операции при создании технологического процесса обработки любой детали играет важную роль. От ее правильного выбора будет зависеть количество необходимых операций и себестоимость выпускаемой детали или узла.

В современном машиностроении заготовки делятся на три вида: штампованные, литые и из сортового проката, к числу которого относится и листовой прокат. При этом доля деталей из листового проката составляет порядка 40 % от всех выпускаемых изделий машиностроительной отрасли. Это различного рода звездочки, кожуха, корпуса и т. д. В массовом и крупносерийном производстве, характеризуемом постоянной номенклатурой выпускаемых изделий, в качестве заготовительной операции для такого рода деталей зачастую используют штампы. В случае серийного производства, занимающего почти 60 % отрасли машиностроения, использование штампов

нецелесообразно, так как номенклатура изделий разнообразна, а обрабатываемые партии имеют небольшой размер. В таком типе производства в качестве заготовительных операций чаще всего используют механические методы резки материалов. В этом случае зачастую при обработке на металлорежущих станках деталей до 60 % [1] от их веса уходит в стружку. Тем не менее исследования в этой области показывают [2], что за последние 30 лет есть некоторое уменьшение доли стружки в металлоотходах, что говорит о медленном росте качества заготовительного производства. Это связано, в первую очередь, с применением альтернативных лезвийным методам разрезки материалов – электрофизических, к которым относится и тонкоструйная плазменная резка. Особенно этот метод применим для изделий, которые идут под последующую сварку невысокой степени точности, так как данный метод резки обеспечивает точность обработки по 12–14 качеству, но позволяет исключать последующую механическую обработку.

* Исследования проведены при финансовой поддержке проекта, выполненного в рамках государственного задания Министерства образования и науки РФ в 2013 г. и в плановом периоде в 2013–2014 гг. (Шифр заявки 7.759.2011 «Повышение конструктивной прочности материалов конструкционного и инструментального назначения методами, основанными на высокоэнергетическом воздействии»).

При этом под точностью формообразования при тонкоструйной плазменной резке, согласно данным работы [3], понимают точность полученных линейных размеров и перпендикулярность или угловатость кромок реза. Данная статья посвящена оценке состояния режущих кромок по отношению к плоскости разрезаемого материала, которое количественно можно определить перпендикулярностью или угловатостью кромок реза. При износе расходных составляющих плазматрона эти показатели могут отклоняться от тех, которые заявлены в паспортных данных установки, что подтверждается данными работ [4, 5], свидетельствующих о том, что по мере износа происходит постепенное снижение показателей точности. Исследования физики процесса тонкоструйной плазменной резки отражены в работах [6, 7], которые подтверждают, что по мере износа изменяется истечение плазменного потока, что, в свою очередь, приводит к изменению геометрии реза.

Производители установок тонкоструйной плазменной резки в технической документации зачастую указывают оценочные значения показателей точности реза. При этом совершенно не учитываются такие факторы, как степень износа расходных элементов плазматрона (катод, сопло, колпачок завихряющего газа).

Для существующего оборудования тонкоструйной обработки разработаны следующие технологии раскроя: HiFocus; HiFocus^{plus}; HiFocus F. Технология HiFocus применима для небольших толщин от 1 до 8 мм из конструкционных и нержавеющей сталей и сплавов на основе алюминия. Технология HiFocus^{plus} характеризуется большим диапазоном разрезаемых толщин (от 4 до 30 мм). Для отмеченных технологий характерна геометрия реза, представленная на рис. 1, а, причем скос наблюдается на левой кромке реза. Технология раскроя HiFocus F также применяется для раскроя конструкционных, нержавеющей

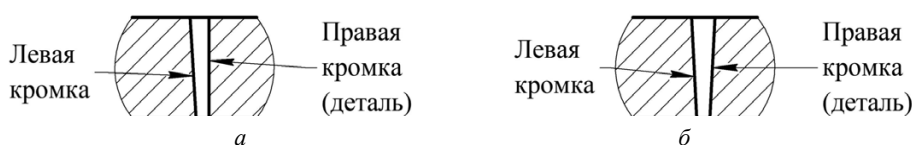


Рис. 1. Геометрия реза для разных технологий раскроя:
а – технология HiFocus и HiFocus^{plus}; б – технология HiFocus F

сталей и сплавов на основе алюминия в диапазоне от 2 до 25 мм. Причем для данной технологии характерен симметричный скос как на детали, так и на отходе (рис. 1, б).

Сравнительная оценка перпендикулярности кромок реза для технологий HiFocus, HiFocus^{plus}, HiFocusF в данной работе производилась с расходными элементами плазматрона без износа для обеспечения идентичности физических процессов при резке. Экспериментальные исследования посвящены определению значений точности реза, в частности, перпендикулярности кромок для различных технологий при отсутствии износа расходных элементов.

Методика экспериментального исследования

Для проведения эксперимента был выбран прокат из конструкционной стали марки Ст. 3 (ГОСТ 14637-89). Предельные значения толщин разрезаемого материала выбирались исходя из условия его гарантированной пробивки и раскроя согласно исследуемым технологиям. Так, для технологии HiFocus был выбран листовой прокат толщиной 3, 5, 8 мм, который включает в себя весь рекомендуемый производителем диапазон толщин разрезаемых материалов. Для технологии раскроя HiFocus^{plus} толщины составляли 4, 10, 20 мм, для технологии HiFocusF – 3, 10, 20 мм.

Расходные элементы плазматрона были выбраны исходя из рекомендаций на данное оборудование и используемых технологий раскроя и представлены в табл. 1.

Таблица 1

Технологии резки	Толщина, мм	Катод	Газификатор	Сопло	Колпачок сопла	Колпачок завихряющего газа	Защитный колпачок
HiFocus	3	S002	Z101	S2008	S3004	Z4020	Z501
	5						
	8						
HiFocus ^{plus}	4	S002	Z102	S2008	S3028	Z4020	Z501
	10			S2012		Z4022	
	20					Z4025	
HiFocus F	3	S012	Z111	S2114	S3008	Z4030	Z501
	10					Z4140	
	20					Z4140	

Таблица 2

Технологии резки	Толщина, мм	Ток, А	Скорость резки, м/мин	Время пробивки, с	Высота пробивки, мм	Высота реза, мм	Напряжение, В
HiFocus	3	50	2,2	0,1	2	2	110
	5	45	0,8	0,2	3,5	2	132
	8	45	0,55	0,2	4	2	130
HiFocus ^{plus}	4	50	2,2	0,2	3	1,5	119
	10	130	2,4	0,4	4	2	133
	20	130	1	0,6	6,5	2,5	150
HiFocus F	3	130	6	0,1	4	2	11
	10	130	2,3	0,3	5	3	127
	20	130	0,9	0,6	6	4	138

Кроме этого в соответствии с технологиями раскроя и разрезаемыми толщинами были использованы рекомендуемые изготовителем в технической документации режимы обработки, представленные в табл. 2.

При проведении эксперимента применялись газы с определенным давлением и расходом, приведенные в табл. 3.

Поскольку в исследованиях оценивается геометрическая точность при раскрое, то важным этапом является точность установки исследуемого образца. С этой целью был изготовлен специальный предметный столик, который обеспечивает базирование детали. Предметный столик устанавливался на стол машины термической резки (рис. 2).

Поверхность предметного столика была выставлена параллельно направляющим машины термической резки по координатам X и Y с целью

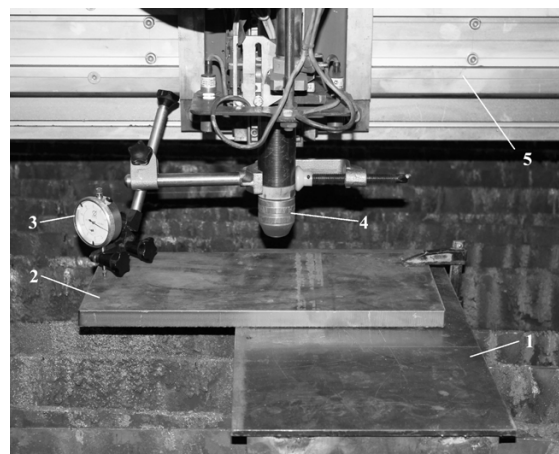


Рис. 2. Установка образца на предметный столик

- 1 – предметный столик; 2 – разрезаемый образец;
3 – индикатор часового типа; 4 – плазматрон;
5 – направляющая по координате Y

Таблица 3

Технологии резки	Толщина, мм	Зажигающий газ – воздух (давление/расход)	Режущий газ – кислород (давление/расход)	Завихряющий газ 1 – кислород (давление/расход)	Завихряющий газ 2 – азот (давление/расход)
HiFocus	3	5 бар/20 дел. шкалы	5 бар/25 дел. шкалы	5 бар/20 дел. шкалы	5 бар/10 дел. шкалы
	5	5 бар/20 дел. шкалы	5 бар/25 дел. шкалы	5 бар/20 дел. шкалы	5 бар/15 дел. шкалы
	8	5 бар/20 дел. шкалы	5 бар/30 дел. шкалы	5 бар/20 дел. шкалы	5 бар/15 дел. шкалы
HiFocus ^{plus}	4	5 бар/15 дел. шкалы	10 бар/20 дел. шкалы	–	5 бар/50 дел. шкалы
	10	5 бар/25 дел. шкалы	10 бар/60 дел. шкалы	–	5 бар/45 дел. шкалы
	20	5 бар/25 дел. шкалы	10 бар/60 дел. шкалы	–	5 бар/90 дел. шкалы
HiFocus F	3	6 бар/20 дел. шкалы	6 бар/60 дел. шкалы	6 бар/10 дел. шкалы	6 бар/70 дел. шкалы
	10	6 бар/40 дел. шкалы	6 бар/70 дел. шкалы	6 бар/20 дел. шкалы	6 бар/75 дел. шкалы
	20	6 бар/40 дел. шкалы	6 бар/80 дел. шкалы	6 бар/20 дел. шкалы	6 бар/85 дел. шкалы

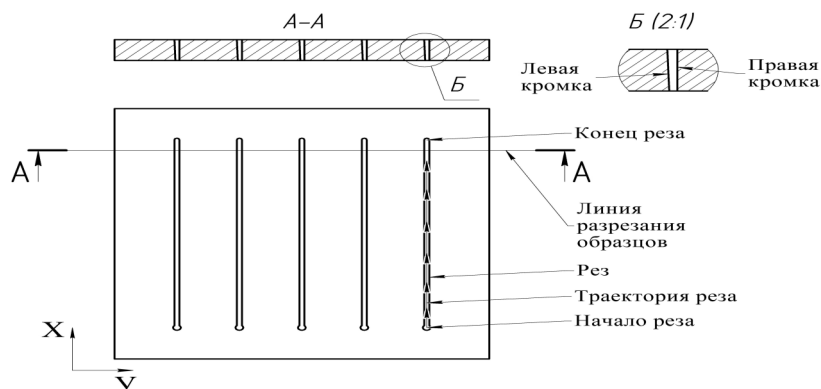


Рис. 3. Схема резки образцов

уменьшения погрешности установки разрезаемого образца. Оценка параллельности по указанным координатам осуществлялась с помощью индикатора часового типа с ценой деления 0,01 мм. Перемещение выполнялось по одной координате с фиксацией наибольшего и наименьшего отклонения показаний индикатора. В случае превышения суммы по модулю значения более 20 мкм на длине 200 мм, производилась корректировка положения предметного столика. Аналогичные действия осуществлялись для второй координаты.

С целью уменьшения погрешности установки самого плазмотрона осуществлялся контроль перпендикулярности его положения в двух направлениях по отношению к поверхности предметного столика. Контроль выполнялся при помощи механического угломера с ценой деления 2 мин. Производилось закрепление образцов на предметном столике.

На каждом образце для каждой толщины и выбранной технологии раскроя материала с целью установления достоверности полученной геометрии реза производилось по пять разрезов (рис. 3).

Линия разрезания образцов для оценки геометрии реза была выбрана исходя из того, что процесс разделения происходил в квазистационарном режиме в отмеченной области. После осуществления пяти разрезов образец разрезался по указанной линии (рис. 3) и производилась его шлифовка.

Определение отклонения углов кромок реза от перпендикулярности выполнялось согласно методике, описанной в ISO 9013:2002.

Результаты и обсуждение

Внешний вид образцов, разделенных по линии разреза A-A (рис. 3), представлен на рис. 4, 5 и 6 после различных технологий.

Для определения неперпендикулярности кромок реза осуществлялось сканирование поверхностей полученных образцов. Далее изображение обрабатывалось в графическом редакторе Компас-3D V13. В соответствии с ISO 9013:2002, как показано на рис. 7, измерение выполнялось на ограниченном участке поверхности реза.

От верхнего и нижнего краев поверхности реза отбрасывалась величина Δa в соответствии с разрезаемой толщиной. После этого производилось совмещение вспомогательной линии с кромкой реза. Далее осуществлялось измерение угла между совмещенной линией и горизонтальной, как показано на рис. 7. После этого определялась неперпендикулярность.

Численные значения отклонения от перпендикулярности кромок (правой и левой) для всех исследуемых технологий представлены на рис. 8.

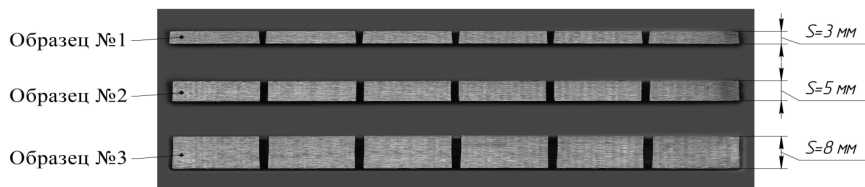


Рис. 4. Технология HiFocus

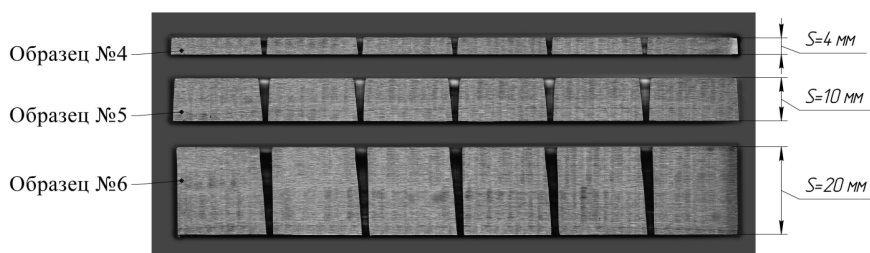


Рис. 5. Технология HiFocus^{plus}

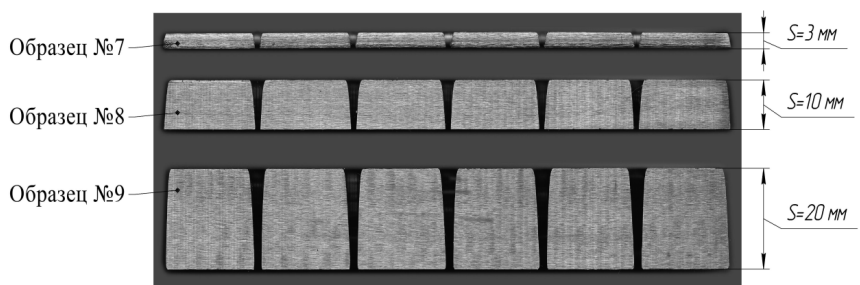


Рис. 6. Технология HiFocus F

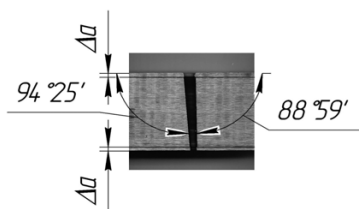


Рис. 7. Определение перпендикулярности

Анализ полученных данных показал, что наименьшее отклонение от перпендикулярности соответствует технологиям HiFocus и HiFocus^{plus}. Причем для отмеченных технологий представляет интерес правая кромка по направлению реза, так как она является частью детали. Особенностью данных технологий является применение конструктивных решений в части расходных элементов плазматрона, а именно колпачка сопла, в котором отверстия для продувки завихряющих газов расположены под определенным углом к оси плазматрона.

Данное конструктивное решение обеспечивает перпендикулярность правой кромки (кромки детали) при условии, что для наружных контуров перемещение плазматрона осуществляется по часовой стрелке, для внутренних – против часовой стрелки. В этом случае достигается качество, регламентируемое производителем оборудования. Для технологии HiFocus^{plus} неперпендикулярность варьируется от 3 до -1° для правой кромки и от 6,5 до $4,5^\circ$ – для левой. Для следующей технологии (HiFocusF) характерен симметричный скос как на левой, так и на правой кромке, варьируемый в диапазоне от 10 до 4° . В отличие от ранее рассмотренных технологий в данной технологии нет необходимости соблюдения правильности обхода разрезаемого контура. Это связано с тем, что неперпендикулярность кромок реза практически одинакова, что находит свое подтверждение на рис. 8.

Выводы

Таким образом, технология резки HiFocus применима для разделения материалов толщиной до 8 мм, причем в области от 4 до 8 мм наблюдается наименьшее отклонение от перпендикулярности. Для технологии резки HiFocus^{plus}, применяемой для раскроя толщин от 4 до 20 мм, требуется соблюдение правильности обхода контура для минимизации отклонения от перпендикулярности. Технология резки HiFocus F имеет большее значение отклонения от перпендикулярности как для правой, так и для левой

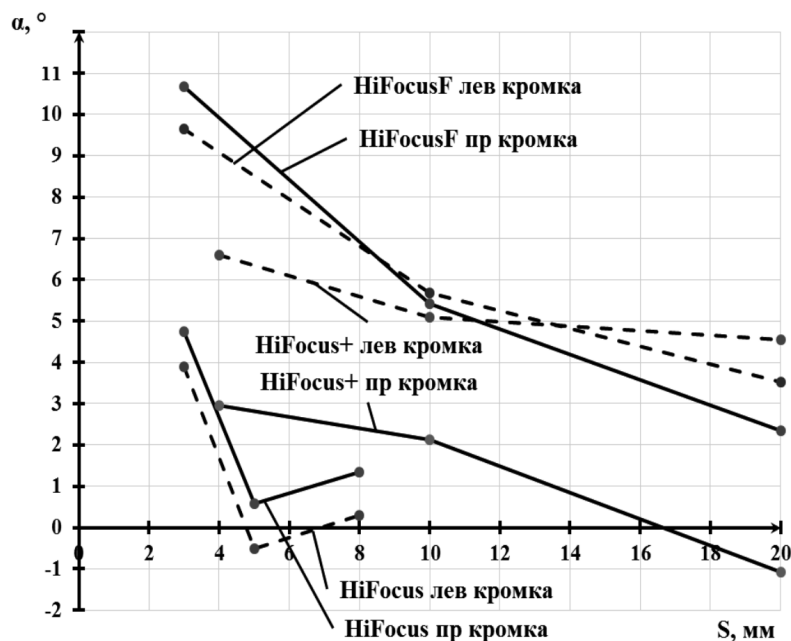


Рис. 8. Отклонение от перпендикулярности кромок реза для различных технологий резки HiFocus

кромки реза. Поскольку скос на кромках симметричен, то для данной технологии нет необходимости в соблюдении правильности обхода контура. Однако ввиду большого отклонения от перпендикулярности, достигающего 10° , данная технология потребует последующей механической обработки.

Список литературы

1. Кован В.М. Расчет припусков на обработку в машиностроении. – М.: Государственное научно-техническое издательство машиностроительной и судостроительной литературы, 1953. – 208 с.
2. Шмунк М.М. Оценка эффективности использования металла в Российском машиностроении // Вестник ОГУ. – 2008. – № 11. – С. 90–93.
3. ISO 9013:2002 «Резка тепловая. Классификация резов, полученных тепловым способом. Геометрические характеристики изделий и допуски на характеристики».
4. Локтионов А.А. Износ расходных элементов плазматрона при термической резке листового материала / А.А. Локтионов, Х.М. Рахимьянов, А.И. Журавлев // Жизненный цикл конструкционных материалов (от получения до утилизации): материалы докладов II Всерос. с междунар. участием науч.-техн. конф. (Иркутск, 25-27 апреля 2012 г.) / под ред. профессора С.А. Зайдеса. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2012. – С. 61–65.
5. Разновидности катодов, применяемых для плазменной резки, и влияние степени износа их на точность формообразования / Х.М. Рахимьянов, А.А. Локтионов // Проблемы повышения эффективности металлообработки в промышленности на современном этапе: материалы 10-й Всероссийской науч.-практ. конф., 28 марта, г. Новосибирск. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2012. – С. 68–71.

6. *Моделирование* тепловых процессов тонкоструйной плазменной резки. / А.Х. Рахимьянов, С.В. Лунин, Х.М. Рахимьянов // *Инновации в машиностроении : труды 2-й междунар. науч.-практ. конф.*, Кемерово, 6–8 окт. 2011. – Кемерово: Изд-во КузГТУ, 2011. – С. 161–165.

7. *Моделирование* процессов тонкоструйной плазменной резки для обеспечения точности формирования криволинейных контуров. / Х.М. Рахимьянов, А.И. Журавлев, А.А. Локтионов, А.Х. Рахимьянов // *Научный вестник НГТУ*. – 2009. – № 4(37). – С. 123–134.

Obrabotka metallov

N 3 (60), July–September 2013, Pages 25-30

Evaluation of geometric precision cut of sheet materials with different high-precision plasma cutting technologies

Kh.M. Rakhimyanov, A.A. Loktionov, Yu.V. Nikitin

Novosibirsk State Technical University, Prospekt K. Marksa, 20,

Novosibirsk, 630073, Russia

E-mail: pushkin-lok@mail.ru

Abstract

Studies on evaluating geometric precision cutting of sheet materials in accordance to ISO 9013:2002 are presented. For the study, sheet material of structural steel St 37-3 is selected. Limits of thickness, based on the terms of sheet material guaranteed punching and cutting, according to the study of technologies are selected. The geometry of the high-precision plasma cutting technology cut - HiFocus; HiFocus^{plus}; HiFocus F for different thicknesses is showed. A comparative evaluation of the perpendicularity of the cut edges for the marked technologies is carried out. Recommendations for use of the high-precision plasma cutting, depending on the thickness and the required geometry of the cut are given.

Keywords: the high-precision plasma cutting, cut, forming, perpendicularity, accuracy, quality, configuration, nozzle, cathode.

References

1. Kovan V.M. *Raschet pripuskov na obrabotku v mashinostroenii* (Calculation of machining allowances in mechanical engineering), Moscow, Gosudarstvennoe nauchno-tehnicheskoe izdatel'stvo mashinostroitel'noj i sudostroitel'noj literatury, 1953. 208 p.

2. Shmunk M.M. *Vestnik OSU*, 2008, no. 11, pp. 90-93.

3. ISO 9013:2002 *Rezka teplovaja. Klassifikacija rezov, poluchennyh teplovym sposobom. Geometricheskie harakteristiki izdelij i dopuski na harakteristiki* (Thermal cutting. Classification of thermal cuts. Geometrical product specification and quality tolerances), 2002. 35 p.

4. Loktionov A.A., Rahimjanov H.M., Zhuravlev A.I. *Iznos rashodnyh jelementov plazmotrona pri termicheskoj rezke listovogo materiala* [Wear of consumable elements plasmatron at thermal cutting of a sheet material]. *Zhiznennyj cikl konstrukcionnyh materialov (ot poluchenija do utilizacii): materialy dokladov II Vserossijskoj nauchno-tehnicheskoy konferencii (s mezhdunarodnym uchastiem* [The life cycle of construction materials (from fabrication to utilization): Proceedings of the 2nd All-Russian scientific and technical Conference (with international participation)]. Irkutsk, ISTU, 2012, pp. 61-65.

5. Rahimjanov H.M., Loktionov A.A. *Raznovidnosti katodov, primenjaemyh dlja plazmennoj rezki, i vlijanie stepeni iznosa ih na tochnost' formoobrazovanija* [Varieties of the cathodes applied to a plasma cutting, and agency of their wear rate on exactitude of a morphogenesis]. *Problemy povyshenija jeffektivnosti metalloobrabotki v promyshlennosti na sovremennom jetape: materialy 10-oj Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii* [Problems of increasing the efficiency of metal-working in the industry at the present stage: Materials of the 10th All-Russian scientific-practical conference]. Novosibirsk, NSTU, 2012, pp. 68-71.

6. Rahimjanov A.H., Lunin S.V., Rahimjanov H.M. *Modelirovanie teplovyh processov tonkostrujnoj plazmennoj rezki* [Modeling of thermal processes at the high-precision plasma cutting]. *Innovacii v mashinostroenii : trudy 2-oj mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii* [Proceedings of the 2nd International Scientific and Practical Conference “Innovation in Engineering”]. Kemerovo, KuzSTU, 2011, pp. 161–165.

7. Rakhimyanov Kh.M., Zhuravlev A.I., Loktionov A.A., Rakhimyanov A.Kh. *Nauchnyj vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo tehnikeskogo universiteta*, 2009, no. 4(37), pp.123-134.