



УДК 629.128:62-529

А.Н. Винцов, инженер-технолог АО «Судостроительный завод «Вымпел» (г. Рыбинск),
Е.Г. Бурмистров, д.т.н., проф. каф. ПиТПС ФГБОУ ВО «ВГУВТ»
603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова,5

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПЛАЗМЕННОЙ РЕЗКИ НА МАШИНАХ С ЧПУ

Ключевые слова: высококонцентрированные источники энергии; плазменная резка; «серповидность» кромок; контролируемое тепловложение.

Рассматривается проблема обеспечения прямолинейности реза на большой длине листа при термической резке с использованием высококонцентрированных источников энергии. Делается вывод о нелинейном характере зависимости между длиной реза и стрелкой «серповидности». Определяется спектр направлений дальнейших исследований по выявлению факторов и характера их влияния на эту зависимость. Определена приближённая математическая зависимость для описания характера и величины деформации кромки листа в зависимости от размера листа.

Плазменная резка металла машинами-автоматами является одним из основных технологических процессов на судостроительном предприятии. В связи с этим ей уделяется повышенное внимание. Качество заготовки деталей важно для всех этапов производства. Однако, на начальных этапах, особенно на этапе предварительной сборки судовых конструкций, оно имеет первостепенное значение. Подготовка сопряжений без предварительного причерчивания и подрезки кромок, отсутствие необходимости в подстругивании кромок и т.п., всё это существенно снижает трудозатраты на изготовление корпусных конструкций, позволяет механизировать и частично автоматизировать процесс их сборки, повышает качество сборочных единиц в целом. Кроме того, точность деталей в значительной мере определяет сроки и общую трудоёмкость постройки судна и, в конечном счёте, его строительную себестоимость и конкурентоспособность верфи по этому показателю.

Таким образом, высокоточная вырезка деталей из листов может рассматриваться как одно из конкурентных преимуществ верфи.

Для увеличения объёмов производства и производительности ручного труда применяют различные машины термической резки на основе высококонцентрированных источников энергии (ВКИЭ). Современные производства уже нельзя представить без таких машин, а также роботизированных комплексов плазменного раскроя металла, полуавтоматов и постов для ручной плазменной резки. Отечественный рынок станков плазменной резки представлен такими производителями как «РИТМ», «МИКРОН» и т.п. Но импортное оборудование, хотя и имеет более высокую стоимость, с лёгкостью вытесняет российских производителей как более надёжное, простое в обслуживании и быстрокупаемое. Однако, практика применения различных способов резки на судостроительных верфях выявила проблемы, которые крайне негативно отражаются на качестве изготавливаемых деталей. Из известных проблем две обозначены, но решения пока нет: 1) сложность обеспечения прямолинейности реза на большой длине листа при

резке на плазморезательных автоматах; 2) отклонение резака от заданной траектории при лазерной резке окружностей большого диаметра (см. рис. 1).

В связи с тем, что у лазерной резки, при всех её достоинствах (меньшее тепловое воздействие, более высокая скорость и точность, большая производительность и т.д.), ограничен диапазон разрезаемых толщин листов ($s \leq 10 \dots 14$ мм) в судостроении пока она широкого распространения не получила. Кроме того, оборудование для лазерной резки является более дорогостоящим. То есть, и по экономическим соображениям она пока уступает плазменнорезательному оборудованию (см. рис. 2).

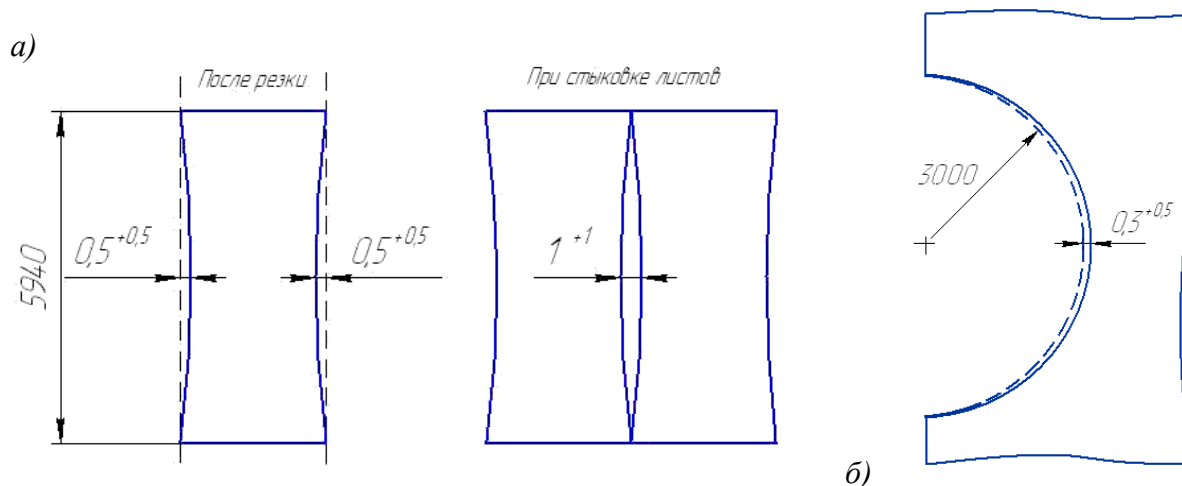


Рис. 1. Дефекты кромок деталей, вырезанных плазменной резкой – серповидность кромок при прямолинейной резке крупногабаритных деталей (а) и лазерной резкой – отклонения от заданной траектории при вырезке окружностей большого диаметра (б)

В настоящее время в судостроении больше необходимо обеспечение точности изготовления крупногабаритных листов с прямолинейными кромками, чем высокоточная вырезка сложных деталей и последующая их обработка. Это связано с тем, что отклонение от прямолинейности кромок листов наружной обшивки, настилов платформ и палуб доставляют серьёзные неудобства при последующей сборке их в более сложные конструкции (сборочные единицы): увеличивается трудоёмкость работ, а, соответственно, и стоимость изделия.

Поэтому, прямолинейную резку следует выделять в отдельную рабочую стадию заготовки деталей. Для повышения качества деталей (в части обеспечения прямолинейности их кромок при плазменной резке) необходимо проводить комплексные исследования как самой плазменной дуги, так и воздействия средне- и высокотемпературной плазмы на металл (с точки зрения влияния на физико-механические свойства, кинетику протекания процессов образования внутренних напряжений и деформаций и т.п.).



Рис. 2. Подготовка к плазменной резке на судостроительных верфях.

На территории Российской Федерации качество деталей оценивается по ГОСТ 14792-80. За рубежом действует стандарт ISO 9013:2002, имеющий более широкий диапазон неровностей кромок заготовок после термической обработки. Поэтому наличие таких отклонений от прямолинейности требует устанавливать допуски на отклонение при сборке и дальнейшую подготовку кромок под сварку, что в свою очередь влечёт за собой необходимость установления допусков на отклонения геометрических размеров сварных швов и т.д. Это, опять же, ведёт к увеличению трудоёмкости, себестоимости сборочных и сварочных работ, дополнительным материальным и энергетическим затратам, и, как следствие, снижению качества изготавливаемых изделий.

Для устранения указанного недостатка рекомендована плазменная резка с технологическими перемычками, которые впоследствии дорезаются самим оператором (см. рис. 3). Это частично снижает остроту проблемы, но не решает её, т.к. процесс в этом случае уже нельзя считать полностью автоматизированным – в нём ручная дорезка перемычек.

Качество термической обработки металла является комплексным параметром и может определяться влиянием таких факторов как: тип и расположение резака (плазмотрона), напряжение и степень обжата дуги, тип, чистота, давление, состояние и качество расходных материалов, расход плазмообразующего газа, марка, толщина и состояние поверхности разрезаемого материала, размер отверстия сопла, скорость [5].

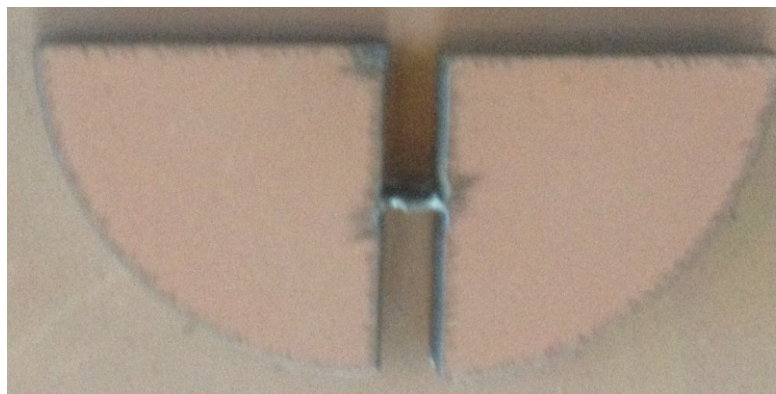


Рис. 3. Технологические мостики на деталях после плазменной резки

Существует несколько предположений о возможных причинах отклонения реза от заданной прямолинейной траектории: 1) значительные тепловые деформации из-за неравномерного распределения по ширине и толщине разрезаемого металла вводимой в заготовку (лист) теплоты; 2) наличие люфтов и зазоров в кинематических цепях автомата; 3) случайные изменения (колебания) параметров режима резки; 4) негоризонтальность и непараллельность направляющих портала автомата; 5) несистемные сбои шаговых двигателей приводов автомата; 6) плохое заземление разрезаемого листа и его неплотное прилегание к раскройному столу; 7) неточности механического позиционирования автомата относительно листа и раскройного стола; 8) некорректная разработка управляющих программ [6].

Искать решения возникновения отклонений кромок листа от прямолинейности можно как в направлении исследования взаимодействия физико-механических свойств судостроительных сталей и теплофизических свойств источников теплоты, так и в направлении исследования влияния ограничивающих поверхностей заготовки на распространение теплоты, расчётов максимальных температур, оценки длительности нагрева выше определённой температуры, расчётов мгновенных скоростей охлаждения и др.

Данную проблему можно решить с использованием элементов теории распространения теплоты при резке подвижным непрерывно действующим источником теплоты, теории сварочных деформаций и напряжений и т.п.

Проведённые ранее исследования в этой области, не привели к выявлению каких-либо математических зависимостей, так или иначе обозначающих закономерности между прямолинейностью реза, длиной листа, погонной энергией высококонцентрированного

источника теплоты и т.п. Основываясь на собственном опыте авторов и комментариях специалистов, можно предположить характер такой зависимостей, в частности, зависимости между отклонением от прямолинейности и линейными размерами листа (рис. 4, а) и отклонением от заданной траектории при лазерной резке окружностей большого диаметра (рис. 4, б).

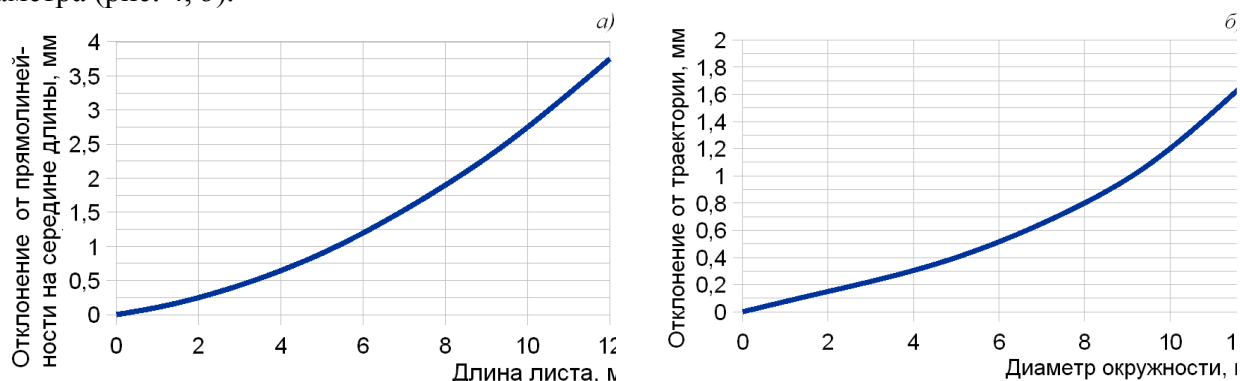


Рис. 4. Отклонение от прямолинейности при плазменной резке (а) и отклонение от заданной траектории при лазерной резке окружностей больших диаметров (б) (по эмпирическим данным авторов)

Из анализа представленных графиков однозначно следует существование зависимости между размерами детали и состоянием кромок (в данном случае их «серповидностью» и овальностью, соответственно). Причём, вид функций указывает на некоторый, видимо параболический характер этой зависимости.

Для выявления математических зависимостей необходимо провести ряд исследований, требующих дополнительного изучения, в частности, зависимости стрелки «серповидности» от длины реза, ширины детали, толщины и материала листа, электрических параметров работы машины тепловой резки (МТР) и т.п. Очевидно, что во всех случаях математическая зависимость будет иметь вид некоторой сложной параболической функции вида:

$$f(x) = ax^2 + b,$$

для которой экспериментальным путём потребуется определить значения коэффициентов a и b .

Установление таких зависимостей позволит разработать номограммы для уточнения технологических параметров режимов резки, которые возможно будет учитывать при разработке управляющих программ для МТР с ЧПУ. Это тем более актуально, что электроника современных МТР допускает контролируемое увеличение силы тока в начале резки и его уменьшение в конце реза. Как следствие, возможно контролируемое тепловложение в металл по оси реза на всей его длине, контроль ширины зоны термического влияния и распределения температурных напряжений, вызывающих характерные деформации металла (в данном случае, в виде «серповидности» кромок).

Список литературы:

- [1]. И.Г. Ширшов, В.Н. Котиков Плазменная резка. Изд. Машиностроение, 1987.
- [2]. К.В. Васильев Плазменно-дуговая резка. Изд.Машиностроение, 1974г.
- [3]. В.В. Овчинников. Газорезчик .Изд. В.В. Овчинников, 2007.
- [4]. http://www.autowelding.ru/publ/1/plazmenno_dugovaja_rezka_metallov/20.
- [5]. <http://c-avt.com/reshenie-problem-pri-plazmennoi-rezke/>.
- [6]. <http://forum.ostmetal.info/threads/vozdušno-plazmennaja-rezka.1360>.
- [7]. <http://cnc-plasma.ru/article1.php>.

SOME FEATURES OF PLASMA CUTTING ON CNC MACHINES
A.A. Vinci, engineer-technologist at JSC Shipbuilding Plant Vympel (Rybinsk),
E.G. Burmistrov, Doctor of Technical Sciences, prof. Caf. PiTPS FGBOU IN
«VGUVT»

Key words: highly concentrated energy sources; Problems of plasma cutting; "Crescent" edges; Controlled heat input.

The problem of ensuring the straightness of the cut on a large length of the sheet during thermal cutting with the use of highly concentrated energy sources is considered. A conclusion is made about the nonlinear nature of the relationship between the length of the cut and the arrow of "sickle-eye". The range of directions of further research is determined to identify the factors and the nature of their influence on this dependence. An approximate mathematical dependence is also determined, with the help of which the behavior of the edge of the sheet will be described later, depending on its size