

С. В. Анахов¹, И. Ю. Матушкина², А. В. Матушкин²

S. V. Anakhov¹, I. Yu. Matuskina², A. V. Matushkin²

¹ФГАОУ ВО «Российский государственный профессионально-педагогический университет», Екатеринбург

²ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина», Екатеринбург

Russian State Vocational Pedagogical University, Ekaterinburg

Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin, Ekaterinburg

s_anakhov@yahoo.com 227433@rambler.ru

ОБ ИЗМЕНЕНИИ РЕГЛАМЕНТНЫХ НОРМ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПЛАЗМЕННОЙ ПРЕЦИЗИОННОЙ «ФИНИШНОЙ» РЕЗКИ МЕТАЛЛОВ*

ABOUT THE CHANGE OF REGULATORY NORMS IN THE PRODUCTION OF WELDED JOINTS USING PLASMA PRECISION «FINISHING» METAL CUTTING

Аннотация. Показана возможность изменения отраслевых стандартов на производство сварных соединений, так как качество сварных швов, полученных после прецизионной плазменной резки по технологии узкоструйной плазмы без удаления зон термического влияния не уступает показателям, достигаемым после механической разделки.

Abstract. The possibility of changing the industry standards for the production of welded joints is shown, since the quality of welds obtained after precision plasma cutting using narrow-jet plasma technology without removing thermal influence zones is not inferior to the indicators achieved after mechanical cutting.

Ключевые слова: плазматрон; проектирование; сварной шов; зона термического влияния; структурные превращения; дефекты; качество; эффективность.

Keywords: plasmatron; design; welding seams; heat-affected zone; structure transformation; defects; quality; efficiency.

Плазменная резка металлов – одна из наиболее востребованных операций в заготовительных технологиях при подготовке кромок соединительных деталей для последующей сварки [1]. Однако, широкое внедрение технологий плазменной резки оказывается зачастую ограничено существующими регламентами на производство сварных работ на трубопроводном транспорте, машиностроительных и металлургических производствах, которые заставляют производителей осуществлять механическую обработку поверхностей разделочных швов. Данные регламенты опираются на выводы, полученные в 70-80-е годы XX века,

*Статья опубликована при поддержке гранта РФФ № 23-29-00111.

и не учитывают появления новых высокоэффективных плазмотронов и технологий плазменной резки металлов, позволяющих минимизировать размер зоны термического влияния (далее – ЗТВ) за счет существенного снижения тепловложения в зону резки, повышения скорости и качества резки под сварку.

Внедрение новых плазмотронов и технологий для электродуговой «чистой» плазменной резки металлов может сделать процесс получения сварных соединений более экономичным, производительным и менее энергозатратным за счет исключения операций механической обработки поверхности разделочных швов. Оценка экономического эффекта при отказе от механической обработки разделочных швов для крупного предприятия трубного металлопроката показывает возможность годовой экономии свыше 3 млн. руб. (в расчете на одну установку резки) за счет экономии металла, энерго- и трудозатрат и повышения производительности процесса [2]. Известные случаи отказа от подобных операций, как правило, основаны на частной инициативе отдельных производителей и не подкреплены серьёзным научным обоснованием. Однако, для комплексного обоснования подобной возможности необходимо проведение исследований по установлению связи между геометрическими (толщина и качество реза), физико-химическими (наличия окалины и т. д.), микроструктурными характеристиками металла (размер зерна, распределение зерен по размеру, пористость, состояние примесей и т. д.) и прочностью и долговечностью сварного соединения и т. д. Должны быть также определены оптимальные технологические режимы и номенклатура металлов, пригодных для «чистой» разделки. Следует в этой связи обратить внимание на проблему малого числа отечественных плазмотронов, обеспечивающих решение поставленных задач, так как достигаемые ими параметры производительности, энергоэффективности и качества в среднем на 10–30 % хуже показателей лучших зарубежных образцов, а, следовательно, сфера их применимости, особенно в технологиях производства сварных соединений, оказывается гораздо более узкой и ограниченной рядом регламентных норм. На взгляд авторов, существенный вклад в повышение экономической эффективности технологий производства сварных соединений может принести замена дорогостоящих импортных плазмотронов (Hypertherm, Kjellberg, ESAB и др.) на существенно менее дорогие плазмотроны авторской разработки, имеющие сопоставимые показатели эффективности работы. Особый вклад применение новых плазморезательных технологий может дать при их внедрении в технологии подготовки и производства сварных работ на трубопроводном транспорте и сопутствующих производствах (в том числе в условиях Сибири, Арктики и Дальнего Востока). Последнее обстоятельство связано с невозможностью воздушной транспортировки газовых баллонов для производства газопламенных и

сварочных работ и необходимостью использования эффективных технологий воздушной плазменной резки.

Очевидно, что технологические и эксплуатационные свойства получаемых сварных соединений тесно связаны с параметрами качества разделочных швов (точность, геометрия, шероховатость) и структурой поверхности шва (размер и микроструктура зон термического влияния, параметры газонасыщения и т. д.). В этой связи следует обратить внимание на требования, предъявляемые к качеству разделочных швов. В России принята система оценки точности и качества поверхности реза, предложенная в 70–80-е годы XX века. Согласно ГОСТ 14792–80 [3] качество кислородной и плазменно-дуговой резки оценивается по четырем показателям - точности размеров; неперпендикулярности кромок; микрошероховатости поверхности реза; зоне термического влияния. Первые два показателя характеризуют точность резки, а остальные - чистоту поверхности и структурные изменения в металле соответственно. Для каждого показателя установлены три нормируемых класса точности и качества – от высших требований (1-й класс) до минимальных (3-й класс). ГОСТ 14792 распространяется на детали и заготовки, вырезаемые из листовой стали различных типов: низкоуглеродистой, низколегированной, высоколегированной коррозионно-стойкой, жаростойкой и жаропрочной, а также на детали из листов алюминия и его сплавов (в пределах толщин 5–100 мм для кислородной и 5–60 мм для плазменной резки).

Следует обратить внимание, что зона термического влияния – важный с точки зрения обоснования необходимости «финишной» обработки параметр – устанавливается только для плазменно-дуговой резки. Трещины в зоне термического влияния и в зоне оплавленного металла не допускаются. В табл. 1 даны нормы на ширину зоны термического влияния, установленные для алюминиевых сплавов. Указанные нормы удваиваются при резке углеродистых сталей и уменьшаются в два раза при резке аустенитных сталей.

Таблица 1

Нормы на ширину зоны термического влияния по ГОСТ 14792

Классы	Нормы при толщине разрезаемого металла (для алюминиевых сплавов), мм		
	5–12	13–30	31–60
1	0,1	0,2	0,4
2	0,4	0,8	1,6
3	0,8	1,6	3,3

Существенную конкуренцию плазменно-дуговым технологиям резки при производстве сварных соединений оказывают лазерные, гидроабразивные, газовые методы разделки металлов. Однако, до настоящего времени

в России не разработан отдельный стандарт, оценивающий качество заготовок, вырезаемых лазерным лучом. Требования к качеству таких заготовок определяются заказчиком, либо используются стандарты предприятий и руководящая документация.

Следует при этом заметить, что с 2002 г. введен в действие международный стандарт ISO 9013:2002 [4], оценивающий геометрические характеристики и качество термических (кислородных, лазерных, плазменных) резов. В России данный стандарт используется преимущественно на предприятиях, ориентирующихся на зарубежный рынок. Стандарт ISO 9013:2002 дает терминологические определения и описывает критерии оценки качества резки поверхностей, классификацию качества и размерный допуск. Его применяют в случае лазерной резки материалов толщиной 0,5–40 мм. ISO 9013-2002 оценивает все термические резы по следующим показателям – допуску наклона кромки; ширине реза; отставанию прорезания; среднему значению шероховатости боковых стенок; неперпендикулярности; оплавлению кромок; эрозии на кромках. Как видно из данного списка, в числе определяемых параметров отсутствует значение величины зоны термического влияния, что, на взгляд авторов, обуславливает необходимость дополнительных исследований с точки зрения обеспечения качества сварных швов, получаемых после плазменной и кислородной резки. Можно в качестве примера обратить внимание и на стандарт кампании Trumpf (Германия), который также регламентирует критерии для оценки качества заготовок, вырезаемых лазерной резкой. Приведенные в нем критерии повторяют, а частично и дополняют ISO 9013-2002, но специализированы для лазерной резки - образование грата; ширина реза; коррозия и эрозия на кромках; шероховатость боковых стенок; отставание прорезания; перпендикулярность и допуск наклона.

В 2022 году Техническим комитетом по стандартизации ТК 364 «Сварка и родственные процессы» был внесен, а позднее утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 30 июня 2022 г. № 549-ст ГОСТ ИСО 9013–2022 «Резка термическая. Классификация резов. Геометрические характеристики изделий и допуски по качеству» [5]. Данный стандарт был подготовлен Национальным Агентством Контроля Сварки (СРО Ассоциация «НАКС») на основе собственного перевода на русский язык англоязычной версии стандарта ISO 9013:2017 «Резка термическая. Классификация резов. Геометрические характеристики изделий и допуски по качеству» (ISO 9013:2017 «Thermal cutting – Classification of thermal cuts – Geometrical product specification and quality tolerances», IDT). Международный стандарт разработан техническим комитетом ISO/TC 44 «Сварка и родственные процессы», подкомитетом SC 8 «Оборудование для

газовой сварки, резки и родственных процессов». В данном стандарте при оценке качества поверхности реза термически разрезанных материалов обращают внимание на значения двух основных параметров – допуск перпендикулярности или наклона и средняя высота профиля $Rz5$. Дополнительно используют значения таких параметров как отставание реза; оплавление верхней кромки; возможное формирование грата или расплавленных капель на нижней кромке реза. Следует, однако, обратить внимание на стандартизацию допусков на размеры деталей без финишной обработки. Как указывается в данном ГОСТ, разрезаемые детали должны быть совместимы при сборке. Номинальный размер детали определяется сборочным размером, уменьшенным на предельное отклонение (рис. 1). Фактический размер изделия, выполненного термической резкой, всегда соответствует наибольшему допустимому размеру для наружных размеров и наименьшему для внутренних. Такой допуск требуется при подготовке сварного соединения, так как вырезанная деталь должна подходить для сборки. Если деталь не предназначена для сборки, то номинальный размер разрезаемой детали определяют по размеру A (рис. 1, б). Для соблюдения сборочных размеров необходимо для наружных размеров вырезаемой детали с припуском на обработку Bz прибавить допуск перпендикулярности или наклона и нижнее предельное отклонение, а для внутренних размеров вырезаемой детали с припуском на обработку Bz вычесть допуск перпендикулярности или наклона и верхнее предельное отклонение (рис. 1, б).

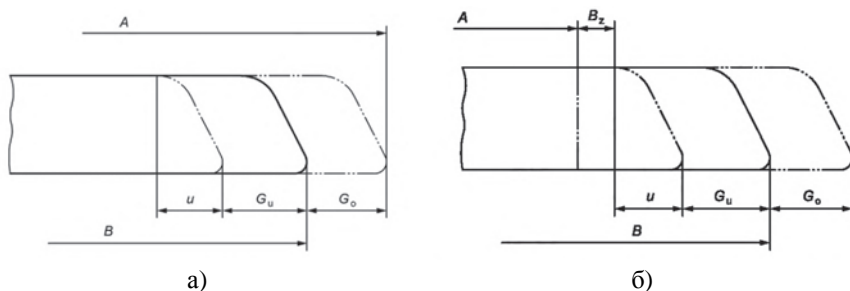


Рис. 1. Допуски на размеры деталей:

- а) без финишной обработки; б) с финишной обработкой; A – сборочный размер;
 B – номинальный размер вырезанной детали; Bz – припуск на механическую обработку;
 G_o – верхний предел отклонения; G_u – нижний предел отклонения;
 u – допуск перпендикулярности или наклона

Как отмечается в стандарте, количество срезаемого эффективного материала зависит от припуска на обработку, допуска перпендикулярности или наклона и средней высоты профиля для соответствующего процесса резки. Значение B – является результатом расчетов с использованием значений A , Bz ,

и Gu. Если на чертеже нет каких-либо указаний о припуске, то на практике припуск на механическую обработку в зависимости от толщины листа назначают по табл. 2.

Таблица 2

Припуски на механическую обработку

Толщина разрезаемой детали, а	Припуск на механическую обработку для каждой поверхности реза Vz, мм
$2 \leq a \leq 20$	2
$20 \leq a \leq 50$	3
$50 \leq a \leq 80$	5
$a > 80$	7

Среди имеющих отношение к исследуемой проблеме стандартов можно отметить также ГОСТ Р ИСО 17658–2022 «Сварка. Дефекты кислородной, лазерной и плазменной резки. Термины» (ISO 17658:2002, IDT) [6], устанавливающий в обобщенном и сгруппированном виде термины для дефектов кислородной, лазерной и плазменной резки металлических материалов (иные неблагоприятные воздействия, возникающие в результате дополнительных внешних нагрузок или деформаций, не рассматриваются, условия и причины их возникновения не приведены). Согласно данному стандарту, дефектами являются неровности или отклонения от установленной формы и расположения реза. Дефекты сгруппированы следующим образом: дефекты кромок реза; дефекты поверхности реза; шлак; трещины; прочие дефекты. Однако, применяемая система группирования не является системой оценки качества.

Как видно из данного обзора, перечисленные требования к качеству реза относятся только к термическим методам разделки металлов. Известно, что качество и точность заготовок, полученных гидроабразивной резкой, зависят от кинематических и динамических погрешностей в технологической системе гидрорезательного оборудования и характеризуются для конструкционных материалов: заходной шириной линии реза (на верхней кромке); выходной шириной линии реза (на нижней кромке); конусностью; углом наклона плоскости реза; шириной зоны повреждения материала в заходной зоне линии реза; глубиной зоны повреждения материала в заходной зоне линии реза; штрихами обработки на поверхности реза. Ввиду того, что технологии гидроабразивной резки применяются преимущественно для разделки тонколистовых металлов их рассмотрение при производстве сварных соединений из металлов средних и больших толщин нецелесообразно.

Поскольку требования по дополнительной механической обработке поверхностей разделочных швов в вышеприведенных стандартах содержатся

в обобщенном для различных видов термической резки технологий, либо отсутствуют, следует при оценке эффективности плазменной резки обратить внимание на ряд отраслевых стандартов. Такие требования содержатся, например, в СТО Газпром 2-2.2-136-2007 (Инструкция по технологиям сварки при строительстве и ремонте промышленных и магистральных газопроводов) [7] и РД 153-006-02 ОАО «ТРАНСНЕФТЬ» (Инструкция по технологии сварки при строительстве и капитальном ремонте магистральных нефтепроводов) [8]. В данных регламентах устанавливаются требования на механическое удаление дефектов наружной поверхности концов труб (риски, продиры, царапины), таким образом, чтобы шероховатость поверхности после шлифовки была не более Rz40. При механизированной орбитальной газовой или воздушно-плазменной резке СТО требует производить последующую механическую обработку резаных торцов труб станком подготовки кромок или шлифмашинками на глубину от 0,5 до 1,0 мм. Кроме того, устанавливается и процедура первичной аттестации сварных соединений, включающая в себя механические испытания на статическое растяжение, на статический и ударный изгиб. Вырезку темплетов для испытаний следует производить с учетом припуска на величину заготовки, при котором обеспечивается отсутствие в рабочей части образца металла с измененными в результате резки свойствами. Величина припуска должна составлять не менее 5 мм – при кислородной или плазменной резке; не менее 3 мм – при механической резке. В результате, соблюдение описанных требований должно обеспечить качественную сварку разделочных швов, в которых отсутствуют неизбежно образующиеся в приповерхностных слоях ЗТВ.

Очевидно, что при оценке свойств разделочных швов, влияющих на качество последующих сварных соединений следует помимо упомянутых выше нормативных требований (ширина реза; величина скоса кромок; шероховатость кромок и наличие грата; величина тепловых деформаций, связанных с напряжениями в кромках реза) учитывать и такие параметры как структурные и химические изменения металла; изменения механических свойств металла кромок. При выборе оборудования и технологии следует учитывать влияние большого количества различных технологических факторов – таких как тип плазмотрона, диаметр и длина канала его сопла, сила тока и напряжение режущей дуги, расход плазмообразующих газов, скорость их истечения из сопла и т. д. [1]. При идеальном режиме резки все параметры режимов должны иметь сбалансированные номинальные значения, обеспечивающие максимальную скорость резки при получении детали требуемых размеров и при минимальном воздействии этих параметров на металл в области кромки. В реальных условиях все перечисленные выше элементы и параметры имеют откло-

нения от номинальных значений, возникающих под воздействием многочисленных случайных факторов, которые в совокупности влияют на все составляющие режима резки, из-за чего реальный режим имеет отклонения от идеального в значительных пределах.

Результаты авторских исследований структуры разделочных швов, полученных после резки стали 09Г2С разработанным новым плазмотроном типа ПМВР-5.3 [9], свидетельствуют о возможности подготовки заготовок под сварку без предварительного механического удаления слоя металла кромки реза. Для повышения эффективности системы газовихревой стабилизации (далее – ГВС) в плазмотроне ПМВР-5.3 использован симметричный вход плазмообразующего газа (далее – ПОГ) в систему деления потока и газодинамический стабилизатор потока, использующий два (формирующий и стабилизирующий) завихрителя с переменным числом каналов завихрения (рис. 2.).

Исследования показали, что достигнутое преимущество в эффективности ГВС позволяет получить высокое качество реза на сталях типа 09Г2С толщиной до 40 мм с более высокой производительностью и меньшими энергетическими затратами [10]. Аналитическими методами доказана высокая степень прецизионности резки новым плазмотроном – малая ширина реза, отсутствие оплавления и скругления верхней кромки, а также грата в нижней части реза и брызг в верхней части реза, практически нулевое угловое отклонение, минимальные величины микрорельефа поверхности и ширины зоны термического влияния. Обращено внимание на микрорельеф поверхности после плазменной резки, который по всем показателям качества соизмерим с механической обработкой поверхности после фрезерования и соответствует второму классу качества по чистоте поверхности.



Рис. 2. Плазмотрон ПМВР-5.3
для прецизионной воздушно-плазменной резки металлов

Металлографический и микрорентгеноспектральный анализ, а также определение твердости показали наличие трех субзон в образовавшейся зоне

термического влияния со значительными структурными изменениями в двух из них и изменения в элементном составе поверхностного слоя разделочного шва. В частности, значительное насыщение поверхностных слоев углеродом привело к резкому повышению твердости наружных кромок реза на глубину 25 мкм. За счет интенсивного теплоотвода в этой зоне произошла самозакалка стали с образованием прослойки бесструктурного мартенсита на глубину до 10 мкм, под которой в структуре присутствует, по-видимому, бейнит, представляющий собой феррито-карбидную смесь высокой дисперсности. Важно, однако, отметить практически одинаковый характер распределения твердости на верхней и нижней кромки реза толстолистовой стали, что обусловлено высокой эффективностью ГВС плазмотрона всем протяжении газо-плазменного воздействия (в пределах толщины разрезаемого металла).

По результатам исследований можно считать доказанным, что применение нового плазмотрона позволяет произвести качественный раскрой листовой стали в диапазоне толщин вплоть до 40 мм и более. Однако, при больших толщинах формируется весьма протяженная ЗТВ со значительными изменениями в структуре основного металла и ряда других показателей, из-за чего сварку заготовок без предварительной механической обработки целесообразно производить при толщине реза не более 20 мм, а при больших толщинах рекомендуется в соответствии с вышеупомянутыми регламентами снятие фаски с поверхности реза на глубину не менее 1,0 мм.

Список литературы

1. *Анахов, С. В.* Плазменные инструменты в машиностроительных технологиях / С. В. Анахов, Ю. А. Пыкин, А. В. Матушкин. – Екатеринбург : Изд-во Рос. гос. проф.-пед. ун-та, 2023. – 189 с.
2. *Пыкин, Ю. А.* Об эффективности применения плазменных технологий в разделке трубного проката / Ю. А. Пыкин, С. В. Анахов, И. Ю. Пышминцев, Д. В. Овчинников, В. А. Елькин // Производство проката. – 2014. – № 1. – С. 38–45.
3. *ГОСТ 14792–80.* Детали и заготовки, вырезаемые кислородной и плазменно-дуговой резкой. Точность, качество поверхности реза : государственный стандарт Союза ССР : утвержден и введен в действие Постановлением Госстандарта СССР от 27 марта 1980 г. № 1390 : дата введения 1981-07-01 / разработан Министерством химического и нефтяного машиностроения. – Текст : электронный // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов : [сайт]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200003161>.
4. *ISO 9013:2002.* Thermal cutting – Classification of thermal cuts – Geometrical product specification and quality tolerances : международный стандарт : дата введения 2002-09-01. – Текст : электронный // ISO : [сайт]. – URL: <https://www.iso.org/standard/29998.html>.
5. *ГОСТ Р ИСО 9013–2022.* Резка термическая. Классификация резов. Геометрические характеристики изделий и допуски по качеству : национальный стандарт Российской Федерации : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 30 июня 2022 г. № 549-ст : дата введения 2022-09-01 / подготовлен Национальным Агентством Контроля Сварки. – Текст : электронный //

Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов : [сайт]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200189229>.

6. *ГОСТ Р ИСО 17658-2022*. Сварка. Дефекты кислородной, лазерной и плазменной резки. Термины : национальный стандарт Российской Федерации : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 30 июня 2022 г. № 551-ст : дата введения 2022-09-01 / подготовлен Национальным Агентством Контроля Сварки.– Текст : электронный // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов : [сайт]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200189231>.

7. *СТО Газпром 2-2.2-136-2007*. Инструкция по технологиям сварки при строительстве и ремонте промышленных и магистральных газопроводов : дата введения 2007-09-22.– Текст : электронный // Библиотека ГОСТов, стандартов и нормативов : [сайт]. – URL: <http://www.infosait.ru>.

8. *РД 153-006-02* ОАО «ТРАНСНЕФТЬ». Инструкция по технологии сварки при строительстве и капитальном ремонте магистральных нефтепроводов : дата введения 2002-04-30. – Текст : электронный // Информационная система МЕГАНОРМ : [сайт]. – URL: <https://meganorm.ru>.

9. *Патент № 2754817* Российская Федерация, МПК В23К 10/00 (2006.01), H05H 1/26 (2006.01), F23D 14/42 (2006.01). Плазмотрон : № 2021107721 : заявл. 24.03.2021 : опублик. 07.09.2021 / Пыкин Ю. А., Анахов С. В., Матушкин А. В. ; заявитель ООО НПО «Полигон».

10. *Anakhov, S. V. Development of Equipment and Technology for Precision Air-Plasma Cutting of Plate Steel / S. V. Anakhov, B. N. Guzanov, A. V. Matushkin.* – DOI: 10.3103/S096709122201003X // *Steel in Translation.* – 2022. – Vol. 52. – № 1. P. 19–26.

УДК 378.016

Б. Н. Гузанов¹, А. Д. Колясникова²

B. N. Guzanov, A. D. Kolyasnikova

¹ФГАОУ ВО «Российский профессионально-педагогический университет», Екатеринбург

²АО «Уральский завод гражданской авиации», Екатеринбург

*Russian State Professional Pedagogical University, Ekaterinburg
Ural Works of Civil Aviation, Ekaterinburg*

guzanov_bn@mail.ru, kolyasnikovaad@mail.ru

ПРОФИЛЬНО-СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ ЭКСПЕРТА МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ СЛУЖБЫ

PROFILE SPECIFIC COMPETENCIES OF THE EXPERT OF THE METROLOGICAL SERVICE

***Аннотация.** В статье рассмотрены особенности деятельности специалистов метрологических служб. Проанализированы требования к подготовке специалистов, занятых в организации и проведении метрологической экспертизы. Особое внимание уделено определению профильно-специализированных компетенций экспертов-метрологов, рассмотрены примеры. В результате показана необходимость проектирования профильно-*