

УДК 621.791.75:620.172.2:620.179.17

А.Н. Смирнов, Е.А. Ожиганов

**АКУСТИЧЕСКАЯ ЭМИССИЯ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СТЕПЕНЯХ ДЕФОРМАЦИИ И СПОСОБАХ СВАРКИ ОБРАЗЦОВ ИЗ СТЗСП.****Введение**

Повышение качества и надежности сварных соединений, эксплуатирующихся длительное время в сложных напряженных условиях в агрессивных средах, является актуальнейшей проблемой для многих отраслях промышленности, включая тепловую и атомную, газо- и нефтедобывающую. В России проводится большой комплекс работ по решению этой проблемы. Разрабатываются и внедряются новые методы сварки, контроля и диагностики, новые материалы и оборудование [1, 2, 3]. Однако, до настоящего времени более 50% сварных соединений выполняются ручной дуговой сваркой (РДС) в связи с ее уникальными возможностями проводить сварку в сложнейших условиях и в труднодоступных местах [4]. В связи с этим, большой интерес представляют разрабатываемые в последнее время различные способы ручной импульсно дуговой сварки (РИДС), обладающие целым рядом преимуществ по сравнению с РДС [2, 4]. В предлагаемой работе приведены результаты исследований бездефектных и дефектных (с искусственно заложенными дефектами) сварных соединений труб из СтЗсп (ГОСТ 380-2005), выполненных РДС и РИДС.

Цель настоящей работы заключается в изучении влияния способа ручной дуговой сварки и наличия дефектов в сварных соединениях на параметры сигналов акустической эмиссии при различных степенях деформации.

**Методика проведения исследования**

Для эксперимента была выбрана одна из самых распространенных – конструкционная углеродистая сталь СтЗсп, труба  $\varnothing 159 \times 5$  мм. Сварку проводили электродами Э50А на различных режимах: одну половину образцов РДС стационарной дугой, другую – с импульсной модуляцией тока. Тип соединения – С17 (ГОСТ 5264-80). В качестве материалов для искусственных дефектов применяли графит и стекло, которые закладывали в корень сварного шва. Готовые сварные соединения обследовали ВИК и ультразвуковым контролем. В сварных соединениях, с заложенными в корень шва графитом и стеклом, обнаружены дефекты, представляющие собой цепочки неметаллических включений, трещин не выявлено. Далее образцы подвергли механической обработке и снятию усиления шва, согласно ГОСТ 6996-66, для последующих испытаний.

Полученные плоские образцы без головок  $5,0 \times 15,0 \times 200,0$  мм, с поперечным сечением  $75 \text{ мм}^2$ , подвергли пластической деформации (одно-

осному растяжению) различной степени – 1, 2, 3, 5%, и в том числе разрушению. Для испытаний применяли разрывную машину РМ-50М. Средняя скорость нагружения составила 20 Н/с. При каждом режиме испытывали не менее пяти образцов.

Для решения задач по контролю качества сварных соединений всё большее распространение получают современные методы контроля, позволяющие автоматизировать процессы измерения и контролировать дефекты сварки в реальном времени. Одним из них является метод акустической эмиссии (АЭ). Метод АЭ основан на явлении испускания и распространения упругих акустических волн при нелинейных трансформациях структуры объекта контроля, в результате физического воздействия на него. При этом каждый параметр сигнала АЭ связан с каким-либо параметром процесса разрушения и является его акустическим отображением [2]. Следовательно, важность метода АЭ при исследовании процесса деформации сложно переоценить.

Регистрация АЭ-сигналов проводили многоканальной системой «А-line 32D» (Россия). Для контроля процесса нагружения использовали резонансные преобразователи акустической эмиссии (ПАЭ) GT200 с полосой пропускания 130...200 кГц. Усиление по каналам 26 дБ. Тип локации – линейная, расстояние между ПАЭ – 150 мм. ПАЭ устанавливали у мест захвата машины на недеформируемые участки образцов. В качестве контактного материала использовался «Литол-24». Калибровка системы проводили имитатором АЭ-сигналов, амплитудой 10 В на частоте 1 Гц. Следует отметить, что для исключения ложных сигналов акустических переотражений, из-за малых размеров исследуемых образцов, параметр «Dead-Time»<sup>1</sup> при настройке АЭ-системы был программно увеличен до 32000 мкс.

**Результаты исследований и их обсуждение**

В образцах, заваренных различными способами сварки деформация (упругая и микропластическая) начинается при различных нагрузках, наблюдается значительный разброс значений (рис. 1). С увеличением степени деформации до 5% (пластические деформации) этот разброс уменьшается – образцы испытывали практически одни и те же напряжения. Разрушение образцов произо-

<sup>1</sup> Это время после окончания импульса АЭ, в течение которого канал АЭ не может регистрировать другие импульсы АЭ.

шло при напряжениях 460...500 МПа, это соответствует предельному напряжению для данной стали. Следует отметить, что разрушение всех образцов произошло по зоне термического влияния (ЗТВ).

При статическом нагружении поликристалли-

ческих металлов процесс пластической деформации можно условно разделить на три этапа: 1) этап макроупругой деформации (соблюдается закон Гука); 2) этап текучести (деформация Чернова-Людерса); 3) этап деформационного упрочнения, предшествующий разрушению. Существует

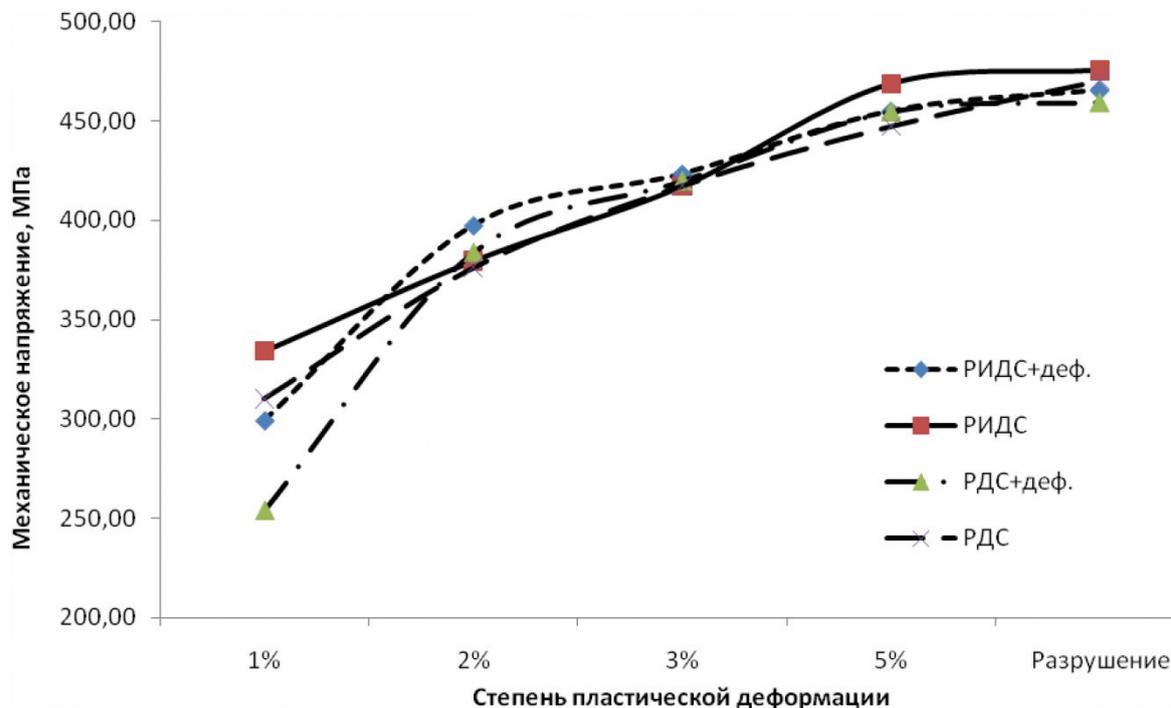


Рис. 1. Изменение степени деформации образцов из стали СтЗсп в зависимости от приложенной нагрузки после сварки различными способами.

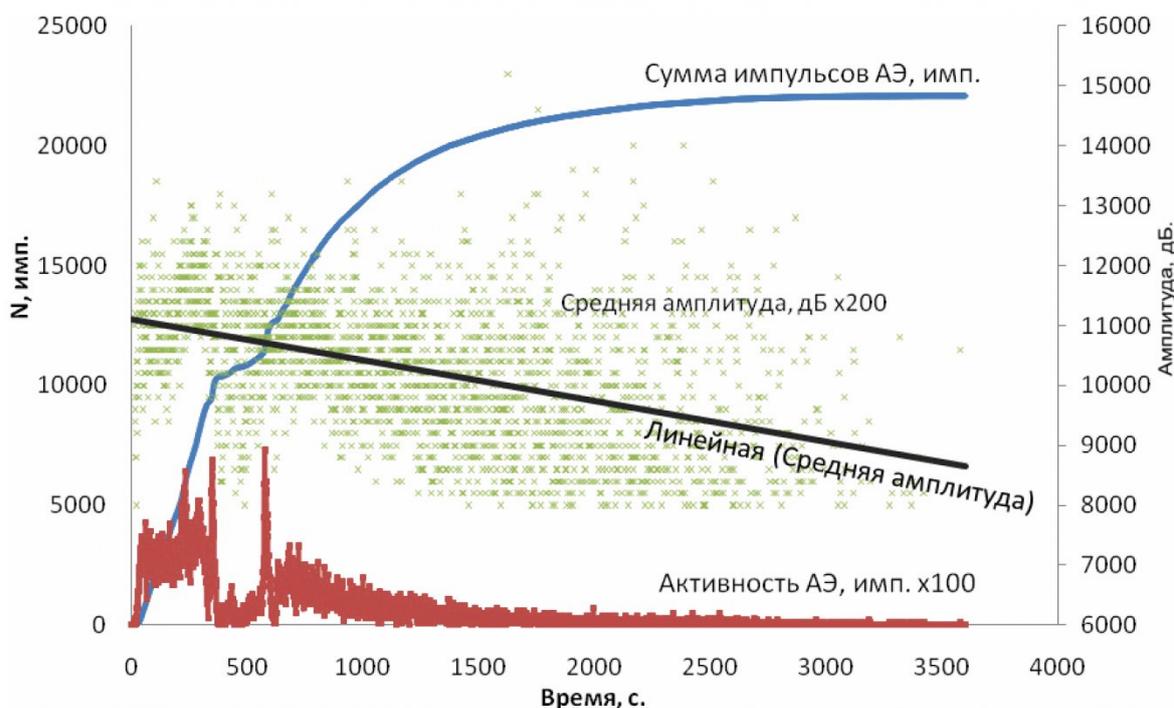


Рис.2. Изменение параметров АЭ при растяжении бездефектного образца СтЗсп, выполненного РДС до разрушения.

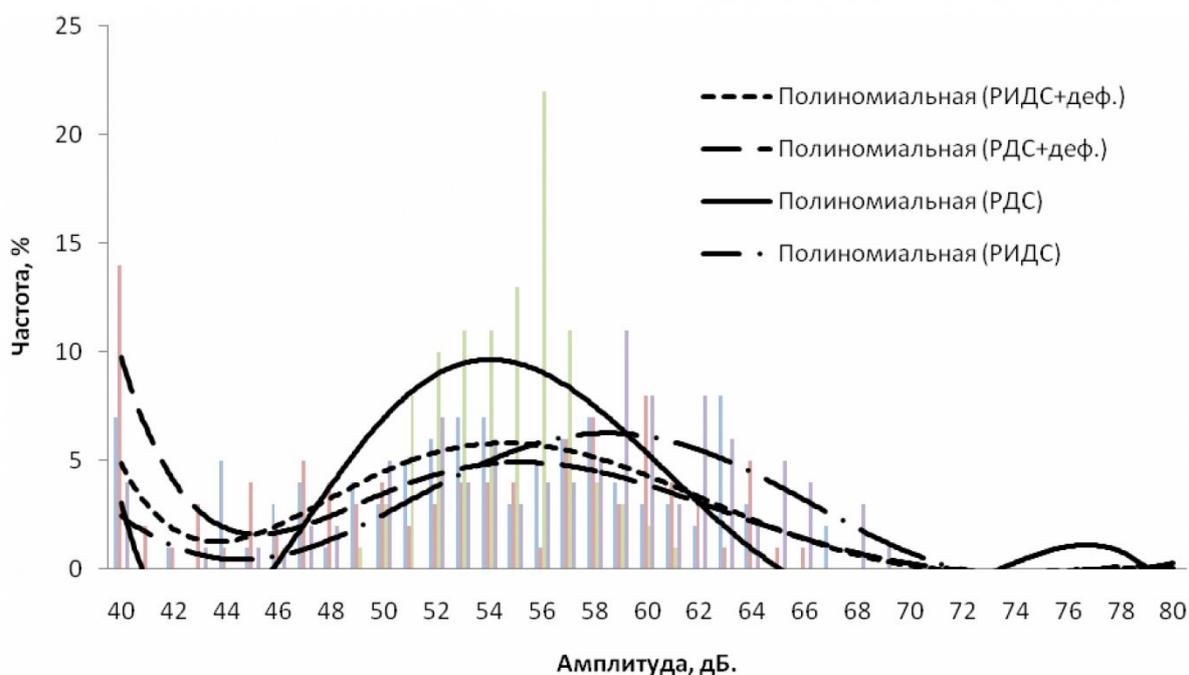
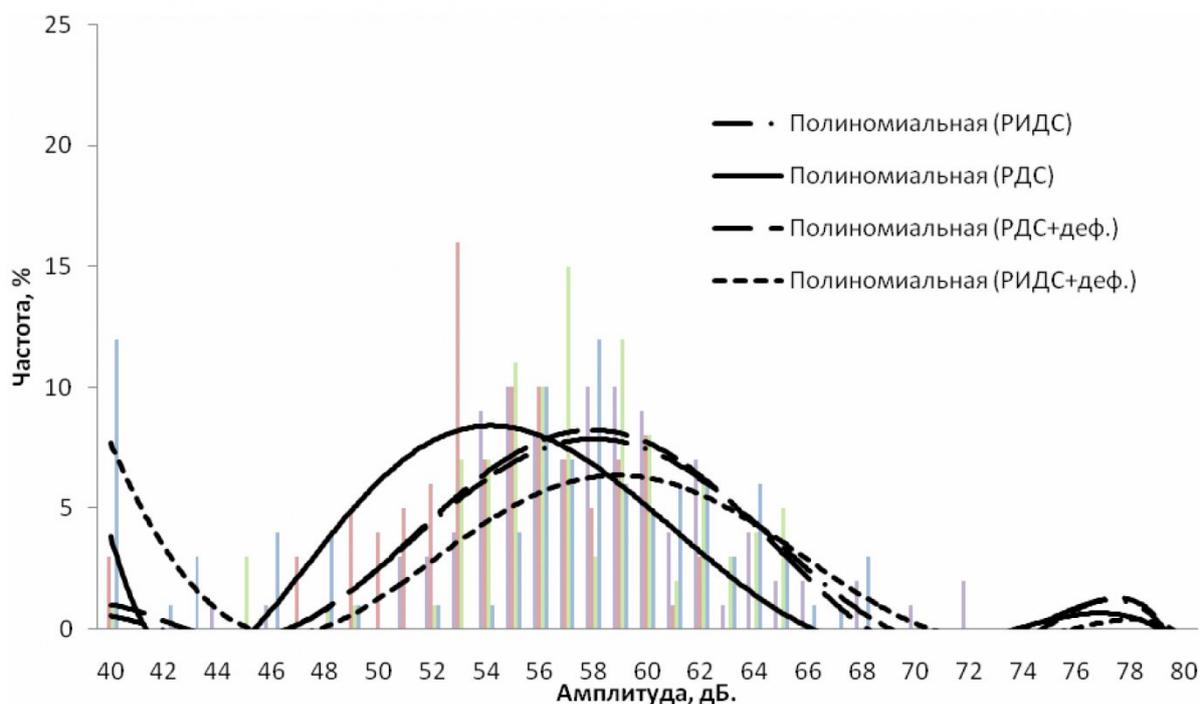
прямая связь между степенью деформации и уровнем скорости счета АЭ [5].

Теоретически, упругие деформации не вызывают АЭ, поскольку активность АЭ-сигнала напрямую связана с характером пластического деформирования. Регистрацию АЭ в области упругих деформаций (рис. 2), до 500 секунды, можно объяснить появлением в материале пластически деформируемых микрообъемов уже при низкой нагрузке [6]. Резкое изменение кривой

суммы импульсов

АЭ с увеличением нагрузки и снижением значений амплитуды, после 500 секунды, говорит о смене механизмов деформации стали от упругих к пластическим. Так, по достижении предела упругости, происходит спад активности АЭ, который остается низким вплоть до разрушения образца.

Амплитуда сигналов АЭ определяется как максимальное значение АЭ импульса, вызванное процессами релаксации напряжений в деформиру-



емых областях в результате взаимодействия дислокаций. Следует отметить, что сигналы АЭ, при упругой деформации имеют сравнительно меньший разброс амплитуд по сравнению с пластической. Кроме того, амплитудное распределение с максимумом в среднем диапазоне, характерно для материалов с высокими показателями вязкости [6].

При малых значениях деформации (до 2%) на бездефектных образцах, выполненных РДС были зафиксированы наименьшие значения амплитуды АЭ (рис. 3), образцы выполненные РИДС имели

времен прихода (РВП) сигнала на ПАЭ; амплитудный, основанный на зависимости затухания акустической волны от расстояния между источником АЭ и ПАЭ. Для объекта исследований сравнительно небольших и средних размеров применяется локализация по РВП, которая позволяет определить координаты источника АЭ наиболее точно.

При локализации источников АЭ (рис. 5) большая часть их сконцентрирована по краям образца, в месте крепления, в области наибольшей концентрации напряжений. С увеличением

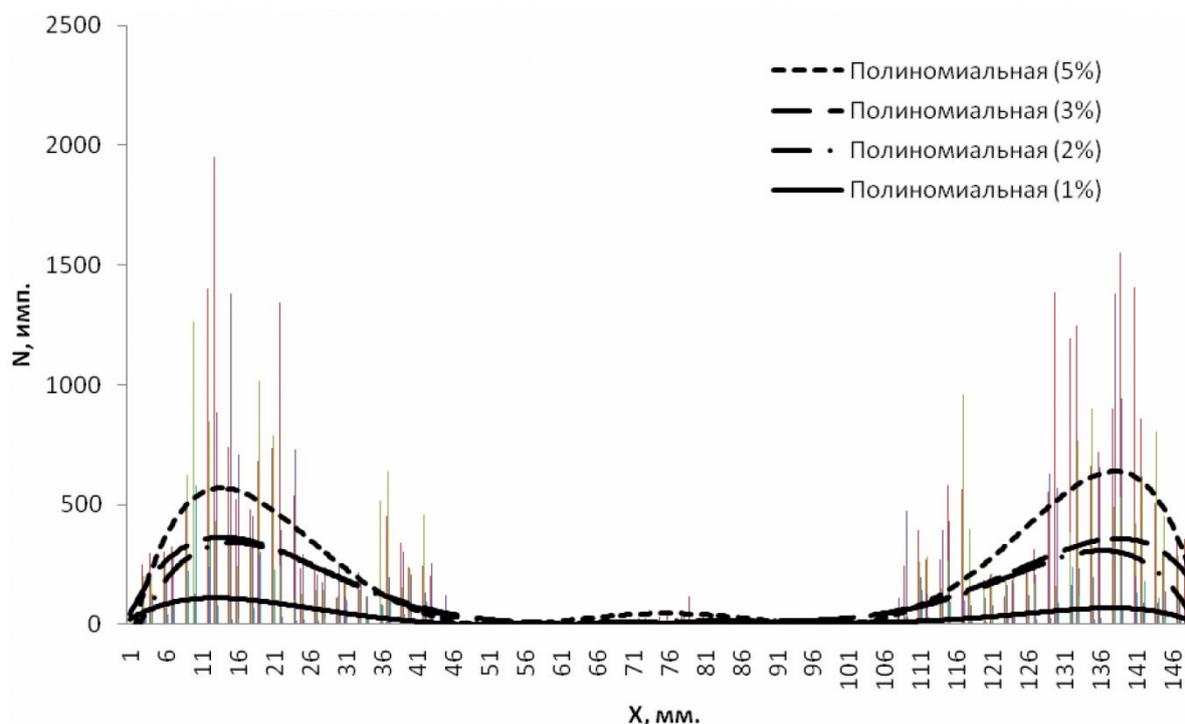


Рис. 5. Аппроксимация локаций АЭ сигнала образцов из СтЗсп, выполненных импульсной сваркой с искусственными дефектами при изменении степени деформации.

большие значения амплитуды АЭ (на 4 дБ) при практически равных дисперсиях. В образцах с искусственными дефектами, выполненных РИДС регистрировали амплитуды выше, чем в бездефектных образцах (РИДС) на 2 дБ при больших дисперсиях.

С увеличением степени деформации более 2% (рис. 4.) средние значения амплитуды АЭ сигналов от бездефектных образцов, выполненных РДС и РИДС не изменились, однако в образцах, заваренных РИДС произошло увеличение дисперсии. Средние значения амплитуды АЭ от образцов с искусственными дефектами, выполненные РДС и РИДС, снизились до значений 54, 55 дБ, при увеличении дисперсии почти в два раза.

Одним из важнейших параметров метода АЭ для понимания процессов происходящих в исследуемом объекте, являются его координаты. Существуют два основных способа локализации АЭ-источников: временной, основанный на разности

нагрузки, количество этих сигналов растет. После преодоления предела текучести, т.е. на стадии деформационного упрочнения, сигналы АЭ начинают фиксироваться из зоны сварного шва в центре образца, в месте будущего разрушения. Следует отметить, что на этапе текучести (деформация от 2% до 3%) приращению количества источников сигналов АЭ на диаграмме локаций практически не происходит.

#### Выводы

1. При испытании образцов, заваренных различными способами сварки, деформация в первую очередь наблюдается у дефектных образцов, заваренных РДС при напряжениях 250 МПа, бездефектные образцы, выполненные РИДС, начинают деформироваться при напряжениях 335 МПа. Напряжения начала деформирования дефектных образцов находятся в этом интервале. На начальном этапе разброс напряжений достигает 85 Мпа и при деформации более 2% кривые сближаются и

все исследованные образцы (заваренные в различных условиях) разрушаются в одном диапазоне напряжений.

2. Средние значения амплитуд АЭ бездефектных образцов, выполненных РДС и РИДС при деформации до 2% и свыше 2%, имеют одинаковую величину (54 и 58 дБ соответственно). В образцах с искусственными дефектами, выполненными РДС и РИДС, средние значения амплитуд уменьшились при деформации свыше 2% до 54, 55 дБ, при увеличении дисперсии амплитуды

АЭ почти в два раза. Данный факт может указывать на увеличение число различных источников АЭ (пластическая деформация, упрочнение, развитие дефектов и т.д.). Локализация зоны фактического разрушения образцов по РВП начинается только на стадии деформационного упрочнения (степень деформации более 3%).

3. Для выявления причин вышеуказанных эффектов в настоящее время проводятся металлофизические исследования результатам которых будет посвящена следующая публикация.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Смирнов А.Н. Диагностирование технических устройств опасных производственных объектов / Смирнов А.Н., Герике Б.Л., Муравьев В.В. – Новосибирск: Наука, 2003. 244 с.
2. Ожиганов Е.А. Оценка качества сварки модулированным током конструкционных сталей методом акустической эмиссии в режиме реального времени // Вестник КузГТУ 2012. №6. С.109-111.
3. Никитенко М.С. Разработка комплекса средств технической диагностики, восстановления и упрочнения элементов горнодобывающего оборудования / М.С. Никитенко, К.В. Князьков, Н.В. Абабков, Е.А. Ожиганов // Институт угля СО РАН: Отдельный выпуск Горного информационно-аналитического бюллетеня (научно-технического журнала). 2013, №ОВ6. С 447-458.
4. Князьков В.Л. Повышение эффективности ручной дуговой сварки трубопроводов / В.Л. Князьков, А.Ф. Князьков – Кемерово: ГУ КузГТУ, 2008. – 104 с.
5. Акустическая эмиссия в экспериментальном материаловедении / Н.А. Семашко, В.И. Шпорт, Б.Н. Марьин и др. / под ред. Н.А. Семашко, В.И. Шпорта. – М.: Машиностроение, 2002. 240 с.
6. Оглезнева Л.А. Акустические методы контроля и диагностики. Часть II / Л.А. Оглезнева, А.Н. Калиниченко. – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2009. 292 с.

Авторы статьи:

Смирнов  
Александр Николаевич,  
д.т.н., профессор каф. «Технология  
машиностроения» КузГТУ.  
Тел. 8 (3842) 44-14-93

Ожиганов  
Евгений Анатольевич,  
аспирант каф. «Технология  
машиностроения» КузГТУ.  
Тел. 8 (3842) 44-15-92