

ЛИНЕЙНЫЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ ПРИВОД ДЛЯ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЙ (ПРОБЛЕМЫ И РЕАЛИЗАЦИЯ)

Мошкин В.И.¹, Угаров Г.Г.²

¹Курганский государственный университет, г. Курган, Россия, wimosh@mail.ru

²Саратовский государственный технический университет, г. Саратов, Россия, epp@sstu.ru

Аннотация – Рассмотрены вопросы исследования линейных электромагнитных приводов для импульсных технологий. Выявлен ряд новых требований к отдельным классам импульсных машин. Обоснована приоритетная роль импульсных линейных электромагнитных двигателей в составе привода для реализации энергосберегающих электротехнологий.

Ключевые слова: силовая электромагнитная импульсная система, импульсный линейный электромагнитный двигатель, наплавочные процессы, безотходное формообразование.

Современная социально-экономическая ситуация в России требует технологической модернизации производственных процессов и создания конкурентоспособной техники для прогрессивных технологий в машиностроении, строительстве, горнодобывающей и химической промышленности, геологоразведке, приборостроении, перерабатывающих отраслях, электромонтажном производстве и пр. Среди многочисленных технологических процессов в этих и других отраслях наиболее важные процессы связаны с изменением состояния, формы и других характеристик естественных или искусственных материалов. Наиболее эффективно такие процессы осуществляются с помощью импульсных технологий, характеризующихся дискретным подводом энергии к объекту воздействия и реализуемых посредством ударных машин и других устройств импульсного действия [1-8]. Импульсный подвод концентрированных потоков энергии в ряде случаев имеет значительные преимущества перед непрерывным характером энергопотребления технологическим объектом: появляется возможность обработки материалов, лишенных такой возможности при традиционных способах, получение новых структур материалов. Как правило, импульсные установки имеют по сравнению с устройствами, работающими в непрерывном режиме при равной потребляемой мощности меньше габариты, более высокие энергетические показатели. Такой способ подвода энергии позволяет за счет управляемой дозировки длительности и интенсивности воздействия резко повысить плотность энергии, вводимой в

технологический объект. В ряде случаев определяющую роль в импульсных процессах и технологиях играет механическая энергия. К машинам, генерирующим механическую энергию, относятся пневматические, гидравлические, дизель-молоты, электрические. Среди электрических импульсных машин основная роль принадлежит электромагнитным машинам с возвратно-поступательным движением якоря. В этих машинах якорь, единственная движущаяся деталь, может одновременно быть основным рабочим органом, например, бойком в молотках, пуансоном в прессах. По сравнению с другими электрическими машинами электромагнитные имеют большие потенциальные возможности в приводе машин ударного и вибрационного действия [6-8].

Технологические требования для отдельных импульсных процессов в виде диапазонов энергий и частот воздействия приведены в таблице 1. По нашему мнению, именно эти параметры определяют главным образом осуществимость и эффективность импульсного технологического процесса.

В условиях истощения сырьевых ресурсов, экологических и социально-экономических затруднений особую значимость обретают ресурсосберегающие технологии, основанные на использовании концентрированных потоков энергии, среди которых доминируют процессы плазменной (дуговой) наплавки. Хронически нарастающий дефицит запасных частей и металла, низкие значения коэффициента его использования (0,3 при изготовлении деталей из поковок и 0,55 - из проката), а также недостаточная надёжность и долговечность деталей создают высокую напряжённость в ремонтном производстве, которое по своим масштабам стало соизмеримо с первичным производством.

Такой подход, когда на недорогую заготовку или изношенную деталь, выполняющую функцию заготовки, наносят металл с заданными свойствами, создаёт предпосылки для наиболее полной реализации функциональных свойств, присущих каждому из материалов, входящих в деталь составной конструкции.

Параметры импульсных технологических процессов

Таблица 1

Область применения	Технологические операции	Диапазоны параметров	
		Энергия воздействия, Дж	Частота воздействия, Гц
1. Машиностроение	Динамическое упрочнение деталей	0,5...100	0,1...100
	Правка листовых металлических заготовок	5...600	1...50
	Холодная протяжка металлических труб	100...1000	2...5
	Холодная штамповка	1...1000	1...25
	Клеймение	10...100	1...10
	Проковка сварочных швов	1...50	1...50
2. Строительство	Разрушение кирпичных кладок	4...15	25...50
	Бурение отверстий в кирпичных, бетонных стенах	1...15	25...50
	Разрушение бетонных перекрытий, вскрытие асфальтных покрытий	15...50	15...25
	Погружение свай	$2 \cdot 10^3 \dots 5 \cdot 10^4$	1...3
	Уплотнение грунтов	от 200	15...75
3. Поиски полезных ископаемых	Рудная селеноразведка, сейсморазведка нефти и газа, отбор керна	25...1000	1...10
4. Химическая промышленность	Виброперемешивание в массообменных аппаратах	100...1000	1...100
5. Специальные работы	Затяжка резьбы, разборка трубопроводов	10...300	1...5
	Забивка металлических анкеров в грунт	100...500	1...10
	Выпрессовка макетов и проверка усилия закусывания их в трубе	50...350	0,1...1
	Сборка траков гусеничных машин	30...200	0,1...2
6. Местная и швейная промышленность	Пробивка и установка металлической фурнитуры на кожгалантерейных изделиях	10...40	1...5
	Установка металлических кнопок на швейные изделия	10...30	1...10
7. Литейное производство	Уплотнение формовочной смеси	100...300	1...8
	Обрубка литников	100...1000	1...10
8. Сельское хозяйство	Водоподача	1...50	10...100
	Виброуборка плодов	1...10	2...10
	Разрушение кольматанта в артезианских скважинах	20...100	1...15
	Вибросортировка	100...500	10...50
	Виброобмолот	150...400	25...50
	Вибровспашка	100...500	10...20
	Прессование шерсти	50...200	0,1...1
	Сводообрушение в бункерах	50...300	0,1...3
	Перемешивание молока	30...200	0,3...1
	Дозирование и раздача кормов	20...200	1...3
	Виброизмельчение	50...300	25...100
	Вибросушка	30...50	25...100
	Погружение стержней и труб при обустройстве пастбищ и скважин на воду	50...1000	5...8
9. Электро-технологии	Привод режущего инструмента при наплавке	10...30	15...30
	Привод для термосилового вытеснения металла	10...30	10...20
	Привод для получения зубчатого профиля при наплавке	10...20	10...35

Все методы внешнего механического импульсного воздействия можно условно разделить на следующие группы:

- Применение вибрирующих наплавочных форм с различной конфигурацией, размерами, изготовленных из различных материалов.
- Наложение на расплав давлений и колебаний (одиночных ударов, низко- и высокочастотных).
- Пуансонное вытеснение металла в жидком или вязкопластичном состоянии.
- Резание металла в ходе его нанесения.

Все методы внешнего воздействия на металл предлагается классифицировать по физико-технологическим признакам на отдельные группы и

применять их дифференцированно, в зависимости от агрегатного состояния металла и конструктивно-технологических характеристик деталей (рис. 1).

Качество формообразования изделий закладывается уже на стадии зажигания дуги и в дальнейшем корректируется на последующих этапах развития и полного наведения жидкой ванны, кристаллизации и охлаждения металла. Заданная точность изделия достигается за счёт применения двухциклового процесса формообразования:

- 1 цикл - дозирование отдельной порции металла;
- 2 цикл - введение формообразующих операций для окончательного придания заданной формы, рис. 2.

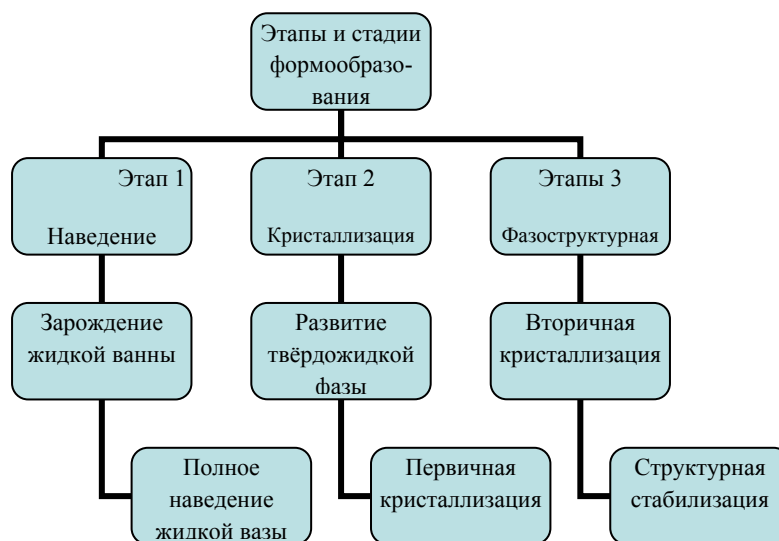


Рис.1 Выделенные этапы и стадии формообразования

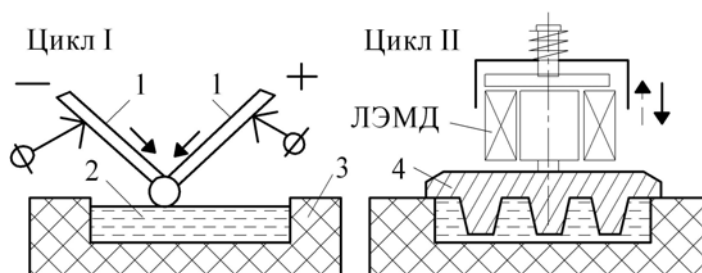


Рис. 2 Схема дозированного нанесения металла с последующей штамповкой:

1 - электроды; 2 - расплав; 3 - форма; 4 - пуансон

Перенос металла в зависимости от режимов наплавки может протекать в виде капель разного диаметра, струй, дождевым методом и в режиме коротких замыканий. Вибрация электрода от 1 Гц до 10 Гц позволяет сократить порции наносимого металла в два-три раза, что весьма важно с точки зрения формообразования мелких деталей (например, электрических контактов, электродов свечей, утолщений деталей). При наложении на подложку колебаний с частотой от 1 до 10 Гц жидкотекучесть расплава возрастает на 20...40%. Наложение на

электрод поперечных низкочастотных вибраций частотой от 0,1 Гц до 5 Гц сокращает вдвое время формирования капли и повышает точность дозировки.

Формообразование на стадии полного наведения жидкой ванны характеризуется стабилизацией процесса горения дуги. Наличие большого объема жидкой ванны создаёт реальные предпосылки для применения силовых воздействий (рис. 3, 4): пуансонного вытеснения металла; погружения стержня с последующим его удалением; наложения вибраций с помощью ЛЭМД [9].

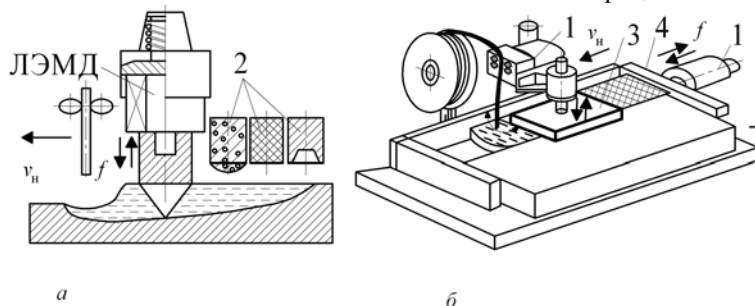


Рис. 3 Наплавка с пуансонным вытеснением (а) и низкочастотной вибрацией (б) с приводами от ЛЭМД:

1 – ЛЭМД; 2 – пуансон

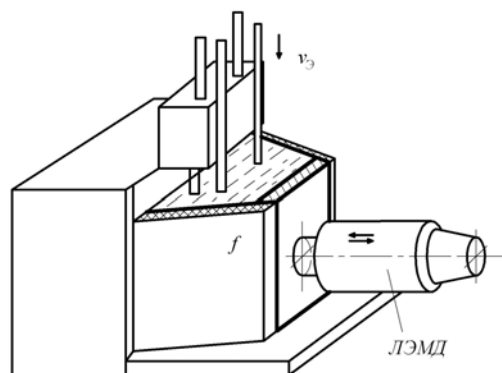


Рис. 4 Схемы нанесения металла в наплавочные формы многоэлектродным способом с вибрацией

Использование пуансонного вытеснения металла, погружения формовочных стержней, наложения низкочастотных колебаний и одиночных ударов на расплав позволяют воспроизводить тонкий рельеф формообразующего элемента (15...25 мкм), снизить величину наплавочного радиуса (с 10... 15 мм до 1,5...2,0 мм), уменьшить припуск (в 3...5 раз), сократить выход металла в стружку при получении периодического профиля.

Для передачи движения пуансона можно использовать кулачковые, кривошипно-шатунные и электромагнитные устройства.

Опыты показали, что периодическое встряхивание изложницы (высота подъема 15-20 мм, частота 10-100 ударов в минуту) способствует равномерному распределению присадок, увеличению

плотности и улучшению механических свойств металла [9].

Формообразование на этапе кристаллизации металла может протекать в режимах силового локального пуансонного вытеснения затвердевающего металла одиночными ударами; наложением низкочастотных колебаний на формообразующий элемент (виброудары); роликовым выжиманием металла.

Формообразование на этапе охлаждения условно можно разделить на 3 группы:

- 1 – обработка резанием;
- 2 – направленное охлаждение;
- 3 – поверхностно-пластическое деформирование.

Структурная схема технологического процесса терморезания металла с применением ЛЭМД показана на рисунке 5 [7].

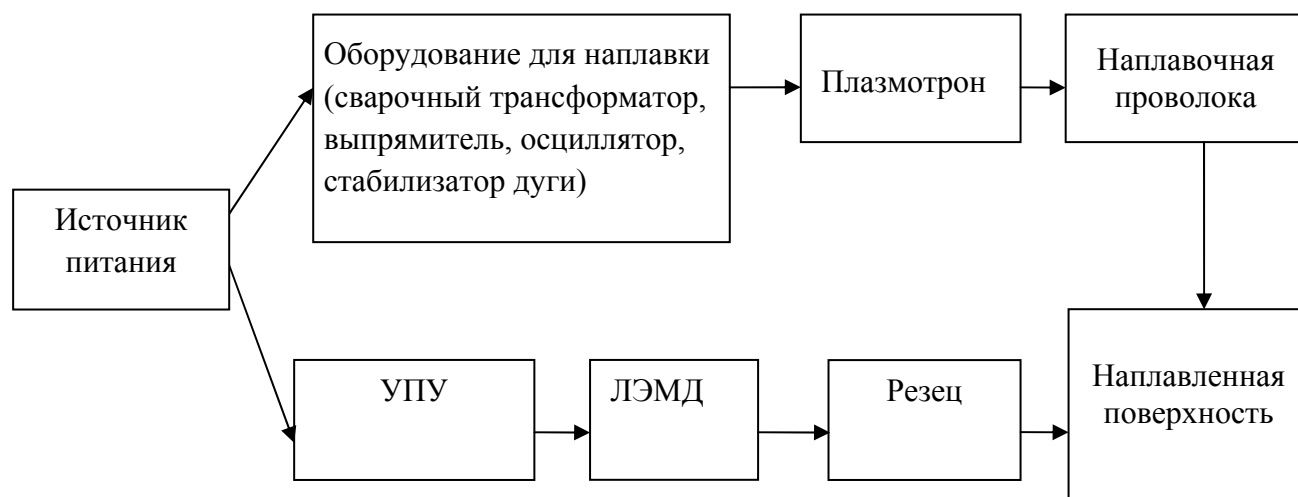


Рис. 5 Структурная схема технологического процесса терморезания металла.

Конструктивная схема обработки по принципу циклического терморезания с приводом от ЛЭМД показана на рисунке 6.

Дальнейшим развитием совмещённых методов наплавки явилась разработка принципа безотходной обработки металла резанием (рис. 7).

В этом случае резец выполняет три функции: снимает стружку, сопровождает её и затем направляет в ванну для повторного переплава теплом, аккумулярованным в ванне расплава.

Разработанные способы терморезания металла в ходе его нанесения позволяют обрабатывать слои с высокой твердостью (до 50...60 HRC, с заданным уровнем шероховатости ($R_z = 10...20$ мкм) при снижении сил резания в 2...4 раза по сравнению с традиционными способами, повысить стойкость инструмента в 3...5 раз, вести процесс по флюсовой корке и с притуплённой режущей кромкой за счёт возвратно-качательного принципа движения резца с выглаживающим эффектом [7].

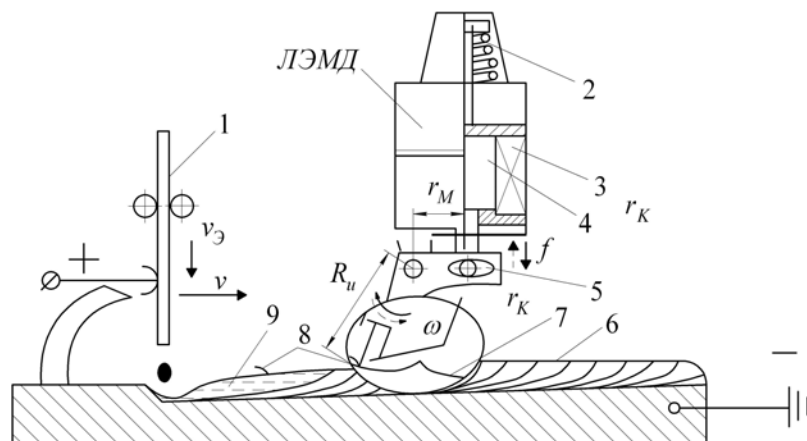


Рис. 6 Схема обработки по принципу циклического терморезания с приводом от ЛЭМД: 1 – электрод; 2 – пружина возврата якоря; 3 – обмотка; 4 – якорь; 5 – резец; 6 – обработанная поверхность; 7 – поверхность резания; 8 – стружка; 9 – сварочная ванна; $v_э$, $v_н$ – скорость подачи электрода и наплавки, соответственно; f , ω – усилие и частота возвратно-поступательно-качательного движения; $r_к$ – радиус кривизны

Технологическая реализация методов и средств наплавки с принудительным формообразованием показала ряд достоинств: получение мелких деталей и различного рода утолщений и выступов в изделиях при высоком коэффициенте использования металла; сведение к минимуму припуска на обработку за счёт применения наплавочных форм оригинального состава, наложения низкочастотных вибраций или ударов, применения вытесняющего формообразующего инструмента, погружение в расплав стержней; обработка в едином технологическом цикле практически с любой твёрдостью наплавленного металла при снижении сил резания в 2...4 раза и повышении стойкости инструмента в 3...5 раз, а в некоторых случаях - с эффектом «безотходности» (режущий инструмент выполняет функции резания и подачи стружки в

сварочную ванну для повторного переплава); получение изделия с улучшенными свойствами [7].

Использование импульсных механических воздействий в наплавочных процессах выявили возможность управлять структурой, твёрдостью и физико-механическими свойствами металла, а также однородностью и равномерностью их распределения за счёт применения факторов технологического внешнего воздействия и изменения условий нанесения металла колеблющимися электродами.

При наплавке низко- и среднелегированными материалами можно повысить качество наплавленного слоя применением поверхностно-пластической деформации с использованием ЛЭМД (рис. 8). В этом случае реализуется динамический метод упрочнения путём проковки металла пуансонами [10].

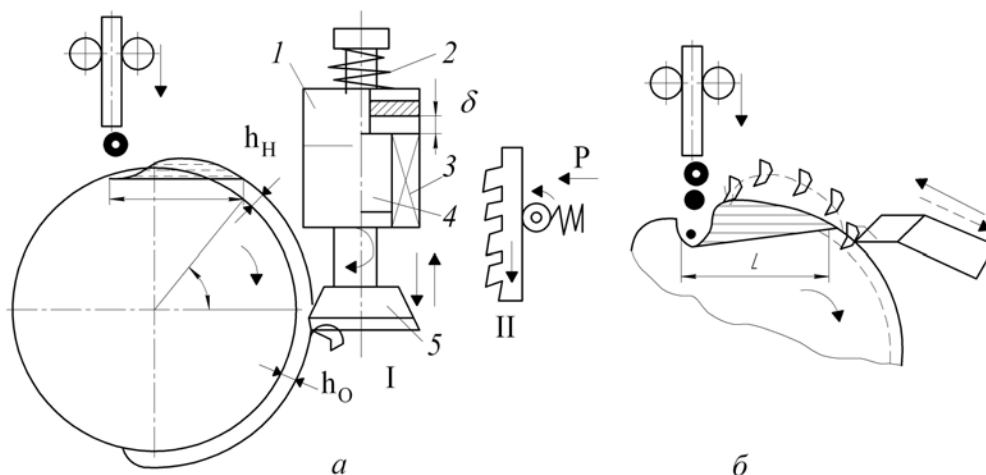


Рис. 7 Схемы обработки: а) терморезание резцом (I), протяжкой (II): 1 – статор; 2 – пружина; 3 – обмотка; 4 – якорь; 5 – резец; б) безотходное строгание

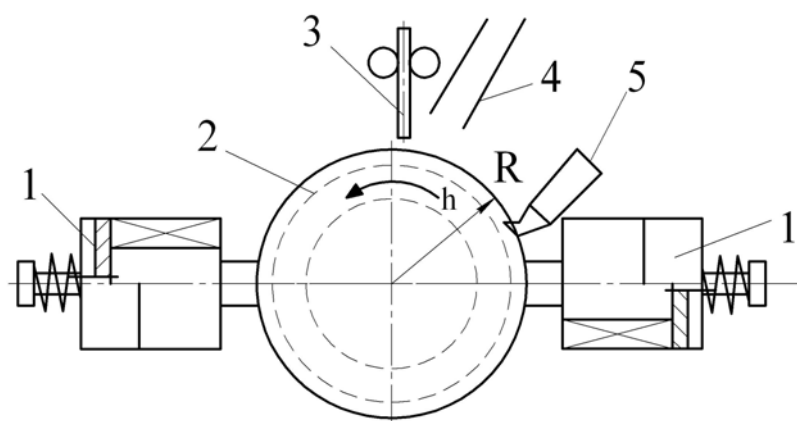


Рис.8 Поверхностно-пластическое деформирование с использованием ЛЭМД: 1 – ЛЭМД; 2 – деталь; 3 – электрод; 4 – флюсопатрубок; 5 – резец для снятия флюсовой оболочки

К проблемам, возникшим при реализации рассмотренных выше электротехнологий, следует отнести, во-первых, ограниченные размеры рабочей зоны, в которой приходится выполнять технологическую операцию электромагнитному приводу, во-вторых, влияние нагрева, обусловленного самим технологическим процессом, например, наплавки.

Часто электротехнологические процессы связаны со значительными набросами активной и реактивной мощностей. Поэтому электромагнитный привод вынужден получать питание от электрической сети, в которой происходят недопустимые колебания напряжения, отрицательно влияющие на выходные параметры импульсного ЛЭМД.

Разработанные конструкции броневых цилиндрических магнитных систем импульсных ЛЭМД позволили в 1,5–2,2 раза повысить удельные значения тягового усилия и механической энергии двигателя и получить более компактный привод с расширенными функциональными возможностями.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ряшенцев Н.П. Основные направления и программа работ по исследованию и созданию электромагнитных машин возвратно-поступательного действия / Н.П. Ряшенцев, Е.М. Тимошенко. - В кн: Труды межвуз. конф. по электрическим машинам ударного действия. – Новосибирск: Наука, 1967. – С. 7-15.

2. Ряшенцев Н.П. Электропривод с линейными электромагнитными двигателями / Н.П. Ряшенцев, Г.Г. Угаров, В.Н. Федонин, А.Т. Малов. – Новосибирск: Наука, 1981. – 150 с.

3. Ряшенцев Н.П. Ручные электрические машины ударного действия / Н.П. Ряшенцев, П.Н. Алабужев, Н. Н. Никитин и др. – М.: Изд-во «Недра», 1970, - 192 с.

4. Малов А.Т. Электромагнитные молоты /А.Т. Малов, Н.П. Ряшенцев, А.В. Носовец, Г.Г. Угаров и др. – Новосибирск: Наука, 1979. – 269 с.

5. Ряшенцев Н.П. Электромагнитные прессы / Н.П. Ряшенцев, Г.Г. Угаров, А.В. Льюцын. – Новосибирск: Наука, 1089. – 216 с.

6. Усанов К.М. Линейный импульсный электромагнитный привод машин с автономным питанием / К.М. Усанов, В.И. Мошкин, Г.Г. Угаров. – Курган: Изд-во Курганского гос. ун-та, 2006. – 284 с.

7. Дмитриенко А.В. Электротехнологическое обеспечение безотходного формообразования деталей в наплавочных процессах: Дисс. ...канд. техн. наук. – Саратов: СГТУ, 2004. –183 с.

8. Мошкин В.И. Импульсные линейные электромагнитные двигатели / В.И. Мошкин, В.Ю. Нейман, Г.Г. Угаров. – Курган: Изд-во Курганского гос. ун-та, 2010. – 220 с.

9. Казаков Ю.Н. Формообразование и свойства деталей при дуговых процессах с внешним воздействием / Ю.Н. Казаков, В.В. Хореев, Г.Г. Угаров и др. – Саратов: Изд-во СГТУ, 2007. – 328 с.

10. Пат. №1823269 SU B21 J7/30 Устройство для ударного деформирования /Э.Ф. Маер, В.И. Мошкин и Г.Г. Угаров №4713286/27 03.07.89.