

Министерство образования и науки Российской Федерации
Южно-Уральский государственный университет

Перспективные способы обработки материалов

К.т.н., доцент А.И. Попелюх,
к.т.н., доцент А.Г. Тюрин,
к.т.н., доцент Н.В. Плотникова

Учебное пособие

Челябинск

2014

ОГЛАВЛЕНИЕ

1 Классификация технологических процессов (технологий) машиностроительных производств	4
2 Современные технологии резки материалов	5
2.1. Плазменная резка.....	6
2.2. Лазерная резка.....	6
2.3. Гидроабразивная резка.....	7
2.4. Сравнение технологических процессов резки металла.....	9
3 Передовые технологические процессы обработки металлов давлением	10
3.1 Разработка новых технологий пластической деформации.....	10
3.1.1 Точная штамповка.....	10
3.1.2 Секционная штамповка.....	11
3.1.3 Гидроформовка.....	11
3.1.4 Ротационная штамповка.....	12
3.1.5 Изотермическая штамповка.....	13
3.1.6 Радиальная ковка.....	13
3.1.7 Ротационная прокатка.....	13
3.1.8 Штамповка с обкатыванием.....	14
3.1.9 Винтовая штамповка.....	14
3.1.10 Электровысадка.....	15
3.1.11 Изостатическое прессование порошков (прессование подвижными средами).....	15
3.1.12 Тиксоштамповка.....	17
3.2 Сравнение технологических возможностей современных методов обработки материалов давлением.....	17
4 Прогрессивные технологии литья	18
4.1 Классификация и перспективы развития литейных технологий.....	18
4.2 Технология вакуумно-пленочной формовки (ВПФ).....	19
4.3 Литье в кокиль.....	20
4.4 Литье под давлением.....	22
4.5 Центробежное литье.....	23
4.6 Литье по выплавляемым моделям.....	23
4.7 Сравнение показателей различных технологий литья.....	25
5 Развитие технологии порошковой металлургии	26
6 Развитие технологий получения неразъемных соединений	29
6.1 Передовые технологические процессы сварки.....	30
6.1.1 Электродуговая сварка в среде защитных газов.....	30
6.1.2 Лазерная сварка.....	31
6.1.3 Сварка электронным лучом.....	32
6.1.4 Контактная сварка.....	32
6.1.5 Сварка трением.....	33
6.1.6 Сварка взрывом.....	34
6.1.7 Ультразвуковая сварка.....	35
6.1.8 Гибридная сварка.....	36
6.1.9 Плазменная и микроплазменная сварка.....	37
7 Современные перспективные материалы	38
7.1 Классификация машиностроительных материалов.....	38
7.2 Разработка и применение материалов с наноструктурой.....	39
7.3 Перспективы применения керамических материалов.....	42
7.4 Перспективы применения композиционных материалов.....	42
Литература.....	47

1 Классификация технологических процессов (технологий) машиностроительных производств

Под технологическим процессом (технологией изготовления) понимают последовательное изменение формы, размеров, свойств материала или полуфабриката в целях получения детали или изделия в соответствии с заданными техническими требованиями. Каждый технологический процесс целесообразно использовать в определенном диапазоне показателей, обусловленном свойствами материала заготовки и инструмента и технологическими особенностями. При достижении критического уровня его дальнейшее использование становится невозможным по техническим причинам или нерентабельным по экономическим соображениям. Для оценки эффективности применения новых технологических процессов применяются явные базовые технико-экономические показатели, такие как:

- трудоемкость;
- производительность;
- себестоимость;
- материалоемкость;
- энергоемкость;
- качество продукции.

Кроме того, в последнее время при внедрении новых технологических процессов, особенно в странах западной Европы и Японии выходят неявные преимущества новых технологий, такие как:

- производственная безопасность технологического процесса;
- меньшее отрицательное влияние технологического процесса или изготавливаемого с его помощью продукта на окружающую среду. Наиболее яркий пример это производство новых типов автомобильных двигателей внутреннего сгорания, имеющих более высокую стоимость, но и более высокие показатели экологической безопасности;
- уменьшение сроков проектирования и внедрения в производство новых видов продукции;
- потенциал развития, долгоживучесть и гибкость технологии.

Технологические процессы, применяемые в различных отраслях производства, весьма разнообразны.

Для сравнения различных по своей природе и характеру воздействия на материал технологий наиболее целесообразна классификация технологических процессов по месту в хронологической последовательности в общем производственном процессе изготовления продукции. По этому признаку все технологические процессы машиностроительных производств условно могут быть подразделены на несколько групп (рис. 1).

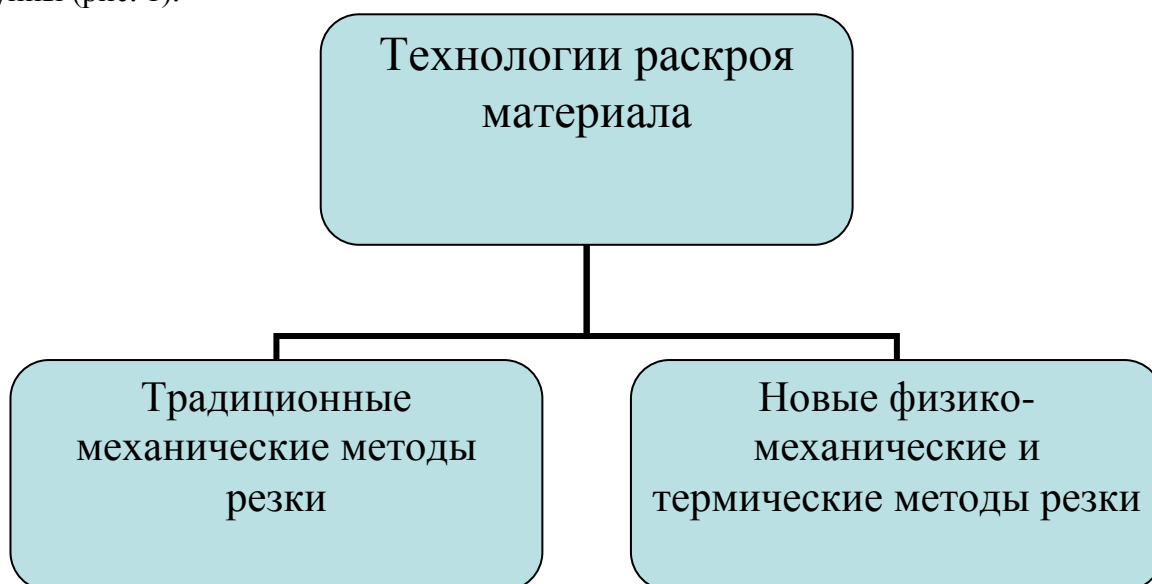
1. Заготовительные технологии, связанные с раскроем стандартного проката (сортамента) металлургических производств и типовых заготовок из неметаллических материалов.
2. Технологии предварительного формообразования, связанные с получением полуфабрикатов для последующей механической обработки. К данной группе, прежде всего, относятся литейные технологии, обработка металлов давлением, технологии изготовления полуфабрикатов методами порошковой металлургии.
3. Технологические процессы окончательного формообразования и механической обработки. Это, прежде всего, различные процессы механической обработки, электрохимические и электрофизические методы обработки, точная штамповка и порошковая металлургия.
4. Технологии упрочнения или получения особых поверхностных свойств материалов. К этим технологическим процессам относятся термическая и химико-термическая обработка, наплавка, нанесение покрытий.

5. Технологические процессы получения неразъемных соединений. К этой группе технологических процессов относятся технологии сварки, пайки, склеивания и клепки.
6. Технологические процессы улучшения декоративных качеств изделия. К данной группе можно отнести технологии окрашивания и нанесения декоративных покрытий методами напыления, химического и электрохимического осаждения.

Применение нового технологического процесса или материала при изготовлении продукции целесообразно, если происходит существенное улучшение технико-экономических показателей в рамках процессов одной группы. Наиболее перспективным результатом внедрения новой технологии является переход технологического процесса на более высокий уровень и уменьшение количества операций для получения готового изделия.

2 Современные технологии резки материалов

В настоящее время существует разнообразие различных способов разделения (раскроя) металлов. Однако, все эти разновидности можно разделить на две большие группы (рис. 1).



К самым распространенным методам механической резки относятся:

- резка ножовочными полотнами;
- ленточными пилами;
- гильотинными ножницами;
- резка на фрезерных станках.

Для осуществления процесса механической резки материалов в производстве находят применение разнообразные станки общего и специального назначения для раскроя листовых, профильных и других заготовок из самых различных металлов и сплавов.

Недостатками механической резки являются:

- низкая производительность;
- малая стойкость режущего инструмента;
- невозможность раскроя материалов по сложному криволинейному контуру.

Применение механических методов раскроя листового материала значительно увеличивает себестоимость изготавливаемой продукции, а, следовательно, снижает конкурентоспособность машиностроительного предприятия.

В связи с этим в последнее время все большее распространение на машиностроительных заводах получили физико-механические методы резки металлов.

К таким методам резки относятся:

- плазменная резка;
- лазерная резка;
- гидроабразивная резка.

Они более производительны по сравнению с механическими методами, но также имеют свои недостатки и свою область применения.

2.1 Плазменная резка металла

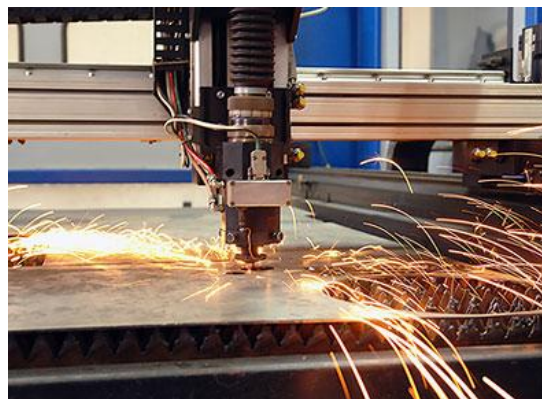


Плазменная резка металла - высокоэффективный, производительный и перспективный способ обработки металлопроката. Процесс плазменной резки основан на локальном расплавлении металла и выдуванием жидкого металла потоком плазмообразующего газа. Расплавление металла осуществляется совместным воздействием электрической дуги, горящей между плазмотроном и обрабатываемой деталью и потоком плазменного газа. Плазменная резка позволяет обрабатывать прокат черных и цветных металлов и сплавов толщиной до 100 мм. Она находит все более широкое применение при обработке нержавеющей сталей и цветных сплавов на основе меди, алюминия, титана.

Основными ведущими производителями оборудования для плазменной резки являются такие фирмы, как HYPERTHERM (США), Kjellberg (Германия), Jaeskle (Германия). Оборудование от этих производителей обладает следующими достоинствами:

- малая ширина реза;
- высокое качество поверхности реза;
- большой срок службы электродов и сопел;
- минимальный расход газов;
- повышенная скорость резки (до 6 м/мин при толщине разрезаемого металла до 10 мм);
- вырезка отверстий с малыми диаметрами;
- точная вырезка углов и скруглений с малыми диаметрами.

Кроме того, одним из важных факторов позволяющих значительно снизить себестоимость изготавливаемой продукции это то, что после плазменной резки материалов в большинстве случаев не требуется последующая механическая обработка, что позволяет сократить количество операций технологического процесса.



2.2 Лазерная резка

Лазерная резка это высокоэффективный способ обработки тонколистового металла, тонкостенных труб и других металлических заготовок. Процесс лазерной резки основан на локальном испарении металла при нагреве его лучом лазера. Легкость распространения лазерного луча позволяет производить обработку вне зависимости от пространственного расположения обрабатываемой поверхности. Лазерная резка нашла широкое применение в заготовительном производстве при резке тонких листов. Лазерная резка обеспечивает качественный, чистый безгратовый рез. Она обладает большей точностью по сравнению с

плазменной резкой ($\pm 0,076$ мм). Кроме того, отклонение от перпендикулярности кромок при лазерной резке меньше, чем при плазменной. Существенным недостатком лазерной резки является низкий КПД самого лазера, что не позволяет обрабатывать листы толщиной более 20 мм. Кроме того, возникают сложности при обработке материалов с высокой отражающей способностью таких, как алюминий и алюминиевые сплавы. В тоже время лазерной резке можно подвергать деревянные заготовки, заготовки из оргстекла и пластмассы.



Лазерный раскрой металла в отличие от альтернативных видов резания (штамповка, высечка) имеет следующие неоспоримые преимущества:

- лазерный раскрой - бесконтактный, не требующий приложения усилий при обработке заготовок;
- при лазерном раскрое возникает минимальная зона теплового воздействия, что обеспечивает отсутствие деформации заготовок;
- в связи с отсутствием шероховатостей резаных краев, наплывов и заусенцев дополнительная обработка при лазерном раскрое металла не требуется;
- скорость реза до 1000 мм/мин при толщине разрезаемого металла (сталь) до 10 мм.

Основными ведущими производителями оборудования для лазерной резки материалов являются такие фирмы, как Mazak (Япония), Prima Industrie (Италия).

2.3 Гидроабразивная резка



Резка водяной струей - экологически чистый, высокоэффективный и перспективный способ обработки листового материала. В основе технологии гидроабразивной резки лежит принцип эрозионного воздействия смеси высокоскоростной водяной струи, выступающей в качестве носителя, и твердых абразивных частиц на обрабатываемый материал. Физическая суть механизма гидроабразивной резки состоит в отрыве и уносе из полости реза частиц разрезаемого материала скоростным потоком твердофазных частиц.

Преимущества использования технологии гидроабразивной резки:

- Холодная резка не оказывает термического влияния на разрезаемый материал.
- Высокая универсальность использования для любых материалов, различной толщины.
- Высокая точность резки фасонных частей.
- Малые потери материала в результате резки.

- Возможность начать резание материала в любой его точке.
- Плоскость реза, в большинстве случаев, не требует дальнейшей обработки.
- Резка не требует специальных условий по охране окружающей среды, так как режущий материал - вода и абразив.

Гидроабразивная резка позволяет обрабатывать следующие материалы:

- черные и цветные металлы – сталь, титан, медь, бронза, алюминий;
- материал типа «камень» – мрамор, гранит, керамика, фарфор;
- стекло – многослойное, обычное, термически упрочненное;
- другие материалы – графит, стекловолокно, композиционные материалы, кожа, пластмасса, кевлар.

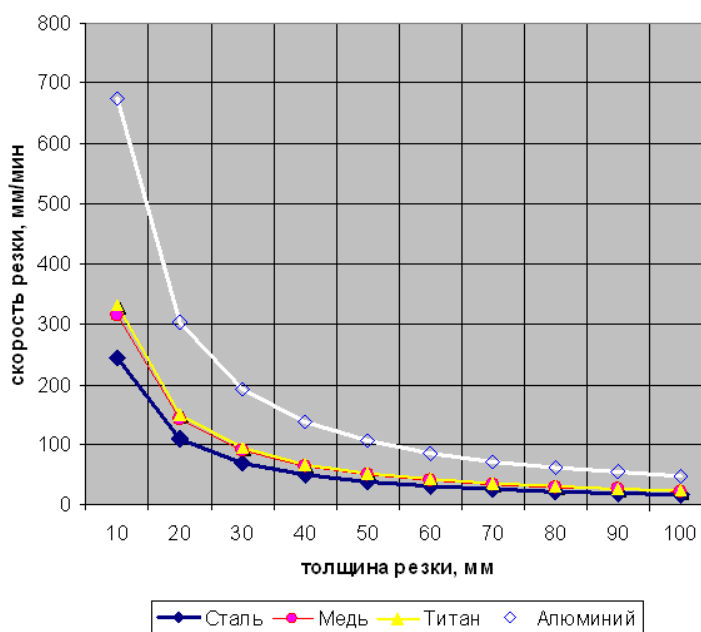
Гидроабразивная резка является сегодня наиболее эффективным, гибким, экологически чистым и энергосберегающим методом. Кроме того, высокое качество поверхности реза позволяет применять данный вид технологии раскроя материала не только в заготовительном производстве, но и в области точного машиностроения.

При необходимости возможно получения финишной поверхности с шероховатостью Ra 1,5-2,5 мкм при соответствующем подборе технологических параметров установки и скорости реза.

Одним из основных ограничений применения технологии гидроабразивной резки является необходимость постоянного притока воды. Таким образом, в помещении, где размещена установка гидроабразивной резки температура окружающего воздуха должна быть выше 10 °С.



Основными ведущими производителями оборудования для гидроабразивной резки материалов являются такие фирмы, как Waterjet Corporation S.r.l. (Италия), RESATO (Голландия). Скорости резания некоторых материалов, достигаемых с помощью систем Water Jet Sweden, приведены на рисунке. При этом толщина разрезаемого материала может достигать порядка 300 мм.



Скорость резания некоторых материалов

2.4 Сравнение технологических процессов резки металла

Сравнение рассмотренных технологий может быть произведено по таким критериям, как скорость резания, максимальной толщине материала, по качеству поверхности реза, точности получаемого изделия, стоимости технологического оборудования. Эти показатели представлены в таблице.

Основные технологические показатели оборудования для резки листовых материалов

Название технологии	Скорость резания при толщине 10 мм, м/мин	Максимальная толщина разрезаемого материала, мм	Качество поверхности реза, Ra мкм	Точность получаемого изделия, мм	Стоимость технологического оборудования (у ведущих производителей)
<i>Резка ленточными пилами</i>	<i>0,2</i>	<i>300</i>	<i>10...20</i>	<i>± 0,2</i>	<i>10000-15000€.</i>
Лазерная резка	1	20	5...12	± 0,1	200.000– 250.000€
Гидроабразивная резка	0,3	300	2,5...5	±0,05	160.000 – 180.000€
Плазменная резка	6	100	5..10	±0,05	120.000 – 160.000€



Наибольшее распространение среди систем раскроя листовых материалов получила лазерная резка. Широкое распространение данной технологии резки материалов, кроме особенностей самого метода, обусловлено двумя факторами - более раннему появлению в промышленности технологии лазерной резки и серийным выпуском автоматизированных лазерных технологических комплексов.

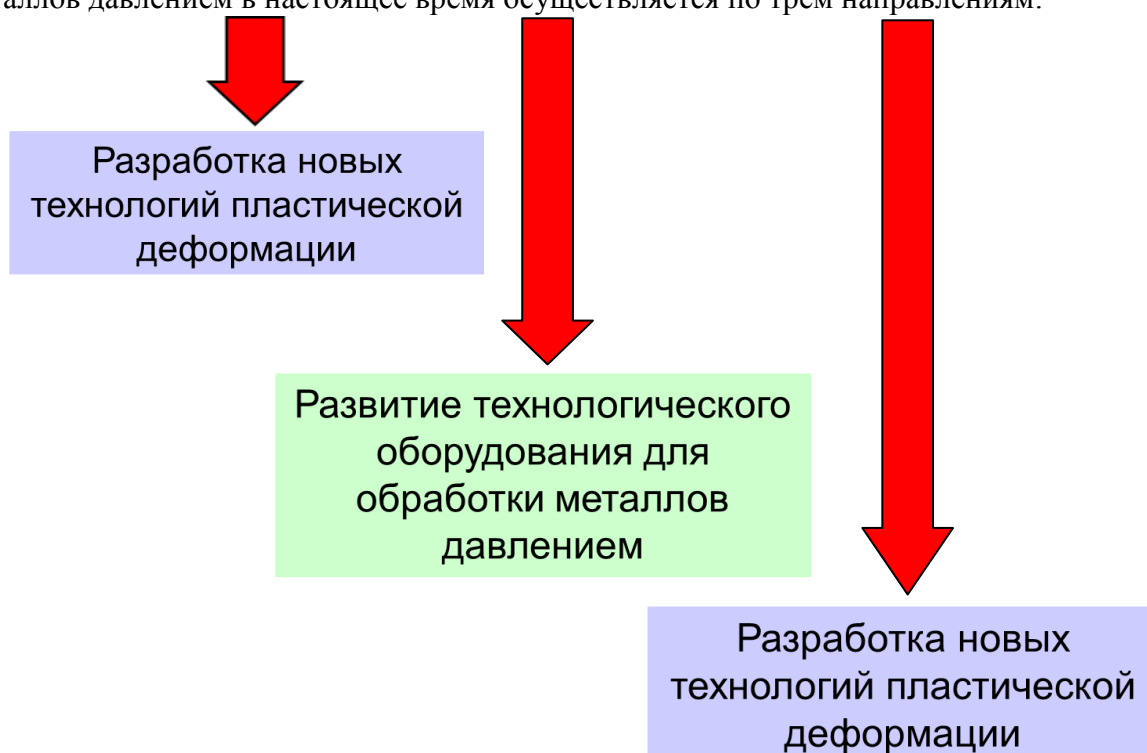
Плазменная резка обладает наивысшими характеристиками производительности, однако качество реза хуже, чем при лазерной и гидроабразивной резке. В основном данная технология применяется для резки толстолистовых материалов. В целом технологическое оборудование плазменной резки является менее распространенным, чем промышленные лазеры.

Наиболее перспективной технологией является гидроабразивная резка. Обладая меньшей производительностью, она позволяет получать рез высокого качества, при этом не происходит термического воздействия на материал заготовки. Использование данной технологии позволяет отказаться от ряда операций механической обработки, что значительно снижает издержки на изготовление деталей. Недостаточное распространение

данной технологии обусловлено ее сравнительной новизной и отсутствием на рынке оборудования отечественного производства.

3 Передовые технологические процессы обработки металлов давлением

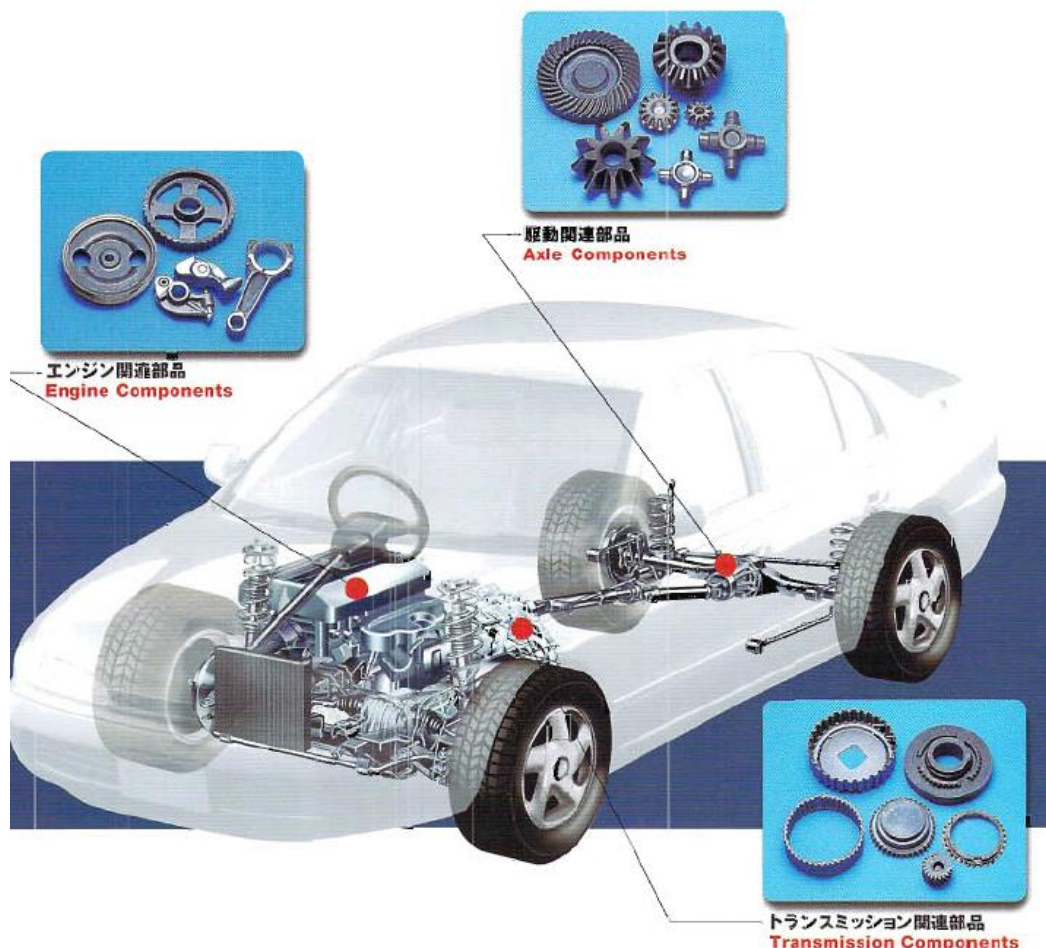
Уровень использования технологических процессов обработки металлов давлением (ОМД) в технологических процессах машиностроительных производств в значительной мере определяет уровень развития машиностроения. Изготовление деталей с использованием технологических операций, связанных с реализацией пластической деформации материала позволяет минимизировать количество отходов и соответственно уменьшить материалоемкость продукции. Операции ОМД более производительны по сравнению с обработкой материалов резанием, качество и механические свойства деталей, полученных по технологии ОМД, выше, по сравнению с их аналогами, полученными на металлорежущих станках. Операции деформирования, связанные с нагревом металла часто совмещаются с операциями термической обработки, что значительно снижает энергоемкость процесса. Совершенствование технологических процессов обработки металлов давлением в настоящее время осуществляется по трем направлениям:



3.1 Разработка новых технологий пластической деформации

3.1.1 Точная штамповка

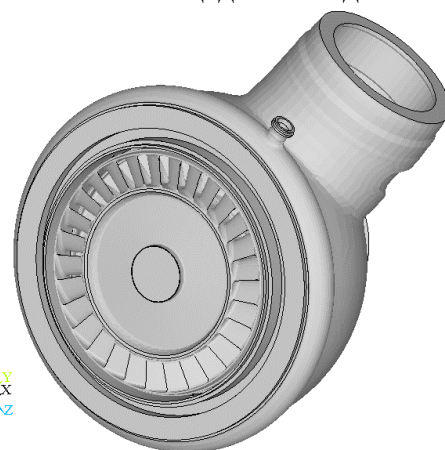
Точная штамповка применяется в основном для изготовления деталей из легких металлов (алюминия, титана), используемых в аэрокосмической отрасли. Высокая точность достигается благодаря использованию штамповых вставок, повышенной точности гравюр штампов, тщательному контролю температуры и давления в процессе штамповки, а также за счет модификации конструкций штампов. Точная штамповка позволяет получать поковки, которые по форме и размерам приближаются к готовым деталям, что позволяет свести к минимуму последующую обработку резанием. Коэффициент использования металла может быть доведен до 98 %. Основной проблемой возникающей при реализации данной технологии являются превышенные требования к точности изготовления технологической оснастки и наличие современного кузнечно-штампового оборудования с высокой точностью регулировки рабочих параметров.



3.1.2 Секционная штамповка

Суть процесса заключается в деформации только части заготовки за серию ходов пресса. Этот процесс аналогичен обжатию при ковке слитка, толстого листа и т.п., но при этом используется штамп с полостью. Данная технология в основном применяется для изготовления больших деталей из высокотемпературных сплавов. Площадь таких деталей может достигать нескольких тысяч квадратных миллиметров, что при традиционной штамповке требует наличие пресса значительной силы. Оборудование, необходимое для операций секционной штамповки может обладать на порядок меньшей мощностью.

В настоящий момент с помощью этой технологии за рубежом изготавливают большие осесимметричные детали стационарных газовых турбин ("Wyman-Gordon Company" и "Alcoa Forged Products") и различные конструктивные элементы для самолета F-18 (производства "Alcoa Forged Products").



3.1.3 Гидроформовка

В настоящее время процессы гидроформовки получили наибольшее применение в автомобилестроении, но они могут быть эффективными и в производстве фитингов, насосов и гидроарматуры, а так же других пустотелых деталей Г, П и S-образных форм, домашней техники, мебели и т.д. Повышенный интерес к данному процессу объясняется, в частности, тем, что он позволяет совмещать во времени различные операции деформирования (гибку, раздачу, осадку, пробивку, калибровку полостей и т.д.).



По сведениям, приведенным в справочнике фирмы “Schuler”, на примере изготовления выхлопной системы автомобиля с применением гидроформовки, число деталей в системе снизилось с 17 до 9, стоимость изготовления уменьшилась на 15 %, время надежной работы увеличилось с 1000 до 1500 ч и более. Уменьшилось число соединений, и появилась возможность изготовления деталей более сложных форм. Фирме “Daimler Chrysler” благодаря применению гидроформовки удалось снизить массу выхлопной системы почти в 2 раза.

Технология гидроформовки может эффективно применяться вместо литья. В связи со сложностью конструкции и большой массой штампов для выполнения гидроформовки применение их на традиционных гидропрессах весьма затруднительно. Для этого существует очень сложное современное оборудование.



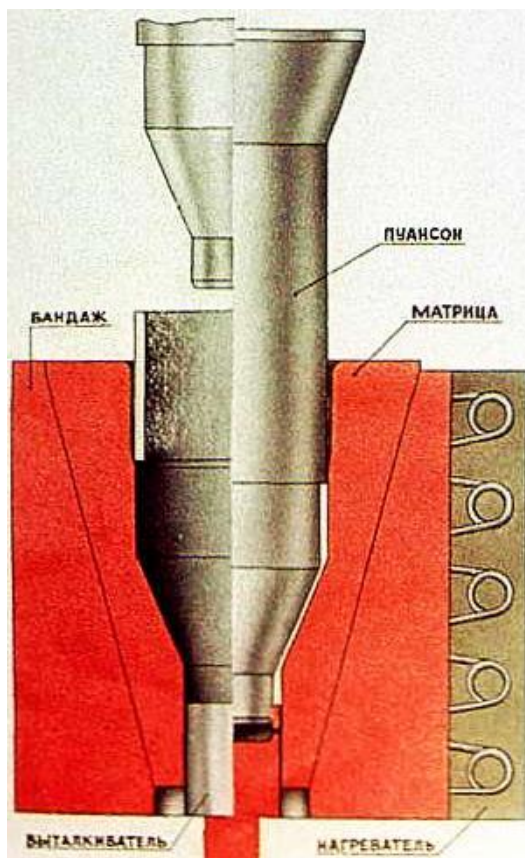
3.1.4 Ротационная штамповка



Ротационная (орбитальная) штамповка – это процесс, при котором в непрерывном режиме деформируется только небольшая часть заготовки. Оси верхнего и нижнего штампов имеют между собой небольшой угол, что обуславливает небольшую площадь пятна контакта. От этого угла зависят как контактная площадь, так и величина прилагаемой силы. Вследствие вращения штампов пятно контакта проходит через всю заготовку, в результате чего достигается требуемая конечная форма.

Силы, затрачиваемые на реализацию данного способа, примерно на порядок меньше, чем при обычной штамповке. Это позволяет изготавливать сложные детали с большей точностью.

3.1.5 Изотермическая штамповка

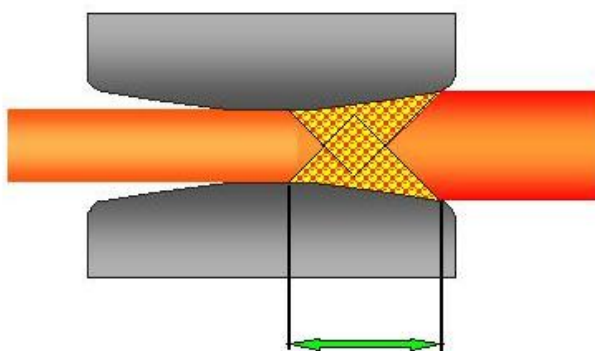


Изотермическая штамповка и штамповка в горячих штампах – это процессы, при которых температура штампа или равна температуре заготовки (изотермическая штамповка) или близка к ней (штамповка в горячих штампах). Данные процессы в основном применяются для изготовления изделий из дорогостоящих материалов, таких как титан и сплавы на основе никеля, которые при температуре горячей обработки приобретают мелкозернистую стабильную двухфазную структуру, что обуславливает их склонность к сверхпластичности. Это обеспечивает хорошее заполнение штампа при объемной штамповке и высокую степень вытяжки при листовой штамповке.

Полное (или частичное) отсутствие охлаждения штампа позволяет сузить допуски, а в сочетании со сверхпластичностью обрабатываемых материалов – уменьшить необходимое количество переходов и ручьев штампа. Кроме того, в связи с отсутствием охлаждения штампа можно осуществлять штамповку с меньшей скоростью деформации и использовать менее скоростное и менее мощное

оборудование.

3.1.6 Радиальная ковка



Радиальная ковка – это технология, чаще всего используемая для производства осесимметричных деталей, например оружейных стволов, причем в канале ствола точно воспроизводится нарезка, сделанная на оправке, а также для производства бесшовных кованых труб, полых судовых валов, валов электродвигателей и др.

Технология реализуется на машинах радиальной ковки, имеющих три, четыре или шесть бойков. Деформация заготовок осуществляется в холодном или горячем состоянии, при этом часто улучшаются

структура и механические свойства изделия. Данная технология обеспечивает экономию металла 30...50 %, по сравнению с технологией, использующей сверление; уменьшение технологических усилий ковки в 2...4 раза, уменьшения трудоемкости изготовления полых изделий.

3.1.7 Ротационная прокатка

Ротационная прокатка позволяет получать изделия типа конусов, днищ цистерн и резервуаров. Инструментом в таких машинах являются приводные и неприводные эджерные головки, которые при вращении формируют конфигурацию изделия. Данные



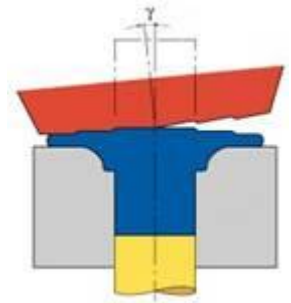
установки позволяют получать цилиндрические, конические изделия, изделия в виде полусферы с фланцами в условиях мелкосерийного производства.

3.1.8 Штамповка с обкатыванием

Важнейшие отрасли промышленности (ракетно-космическая, авиационная, энергетическая, оборонная, транспортная и др.) потребляют большое количество тонких плоских деталей типа дисков, фланцев, колес, тарельчатых пружин диаметрами до

1500 мм и более. В настоящее время такие детали штампуют на тяжелых молотах, крупных гидравлических и кривошипных горячештаповочных прессах, например, диски авиационных турбин из жаропрочных сталей штампуют на паровоздушных молотах с массой падающих частей 16 000 кг и более за 200 ударов при пяти-семи промежуточных подогревах. Таким образом, требуется оборудование большой мощности. В целом такой процесс штамповки нельзя признать современным.

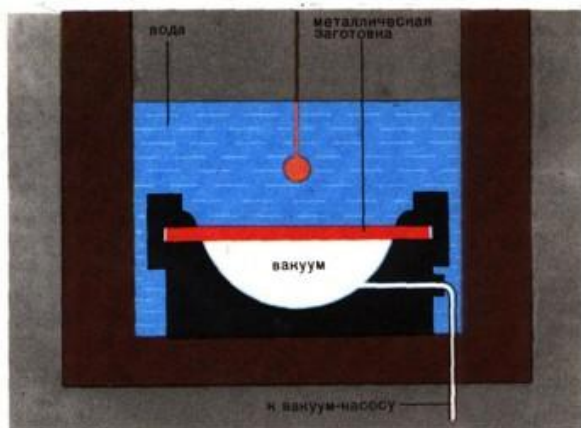
Эффективное решение проблемы штамповки деталей типа дисков и фланцев может быть обеспечено только при переходе на принципиально новую технологию штамповки с обкатыванием, которая объединяет в единое целое процессы штамповки и прокатки. Новая технология позволяет снизить в 5-20 раз силу деформирования, поэтому требуется оборудование менее мощное и дорогое, чем традиционное. Отличительной особенностью процессов штамповки обкатыванием является локальная зона пластической деформации при холодном, полугорячем и горячем деформировании.



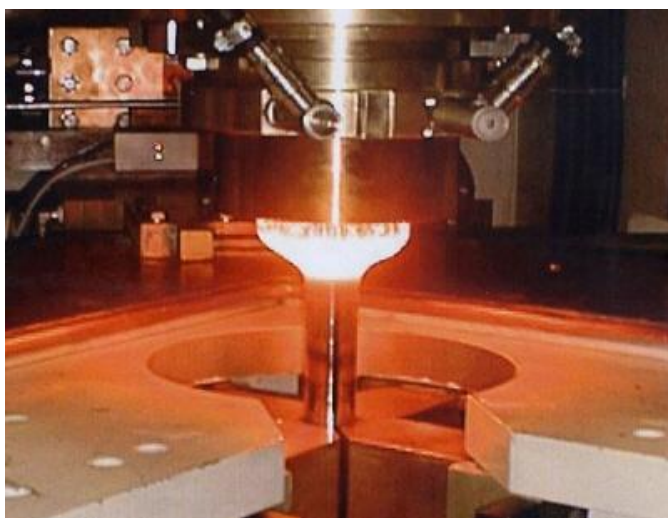
3.1.9 Штамповка взрывом

При штамповке взрывом заряд размещают либо на поверхности заготовки (при этом взрывная волна непосредственно воздействует на заготовку), либо на некотором расстоянии от нее (в этом случае энергия взрыва передается через промежуточную среду: газ, жидкость, песок и др.). С помощью взрыва можно не только изготавливать листовые и трубчатые детали, но и выполнять операции плакирования и сварки металлов, штамповки металлокерамики, получать неразъемные соединения (например, при сборке деталей), осуществление которых другими методами невозможно или неэкономично. В процессе высокоскоростной штамповки отмечается увеличение прочностных характеристик. Кроме того, отсутствует (уменьшается) пружинение при формообразовании труднодеформируемых металлов с одновременным повышением их пластичности, что обеспечивает получение точных форм и размеров сложных деталей. Объемной штамповкой взрывом можно получать детали более высокого качества (по сравнению с традиционной штамповкой).

К недостаткам данного вида штамповки относятся неэкономичность при большом объеме производства, трудность управления процессом, опасность и неудобство работы с взрывчатым веществом. Вследствие этого штамповку взрывом применяют только при изготовлении опытных или единичных образцов, а также в тех случаях, когда нельзя применить штамповку на прессе, например для получения тонкостенных деталей (особенно деталей больших габаритных размеров).



3.1.10 Электровысадка



Электровысадка достигается при совмещении операций электронагрева методом сопротивления и деформирования нагреваемой части заготовки. Электровысадкой можно получать изделия из труднодеформируемых сплавов (высокопрочных легированных и жаропрочных сплавов, сплавов на основе никеля, титана и т.п.). Процесс электровысадки характеризуется простотой и низкой стоимостью технологической оснастки, хорошими санитарными условиями (отсутствие дыма, пыли, шума) и возможностью

полной автоматизации процесса. Методом электровысадки можно получать поковки сплошного или трубчатого сечения, а также асимметричные поковки.

В настоящее время электровысадкой получают заготовки клапанов, полуосей автомобилей, турбинных лопаток и других деталей.

3.1.11 Изостатическое прессование порошков (прессование подвижными средами)

Порошковая металлургия является одним из самых эффективных технологических процессов, обеспечивающих получение изделий с заданными свойствами и формой, минимальными отходами и низкой трудоемкостью.

Использование порошковой металлургии в массовом производстве повышает производительность труда в 1,5 – 2 раза, сокращается количество операций до трех раз, потери материалов составляют 5 – 10 %. Эти и другие преимущества порошковой металлургии обусловили ее широкое применение в промышленности всех развитых стран мира.

Применение различных способов прессования подвижными средами, называемых также часто изостатическим прессованием, позволяет свести к минимуму недостатки, присущие прессованию в жестких пресс-формах. Давление при этом для достижения одинаковой плотности в 1,5 – 2 раза меньше, чем при двухстороннем, и почти втрое меньше, чем при одностороннем прессовании в жестких пресс-формах.

Особенности: высокий уровень прикладываемой энергии на неограниченной площади, что позволяет получать высокоплотные детали больших размеров.

**Примеры применения технологии горячего изостатического прессования
для получения высокотехнологичных изделий**



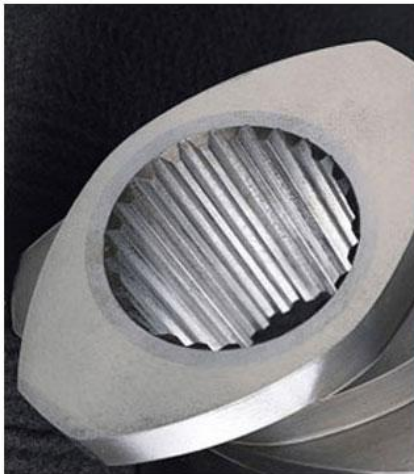
Спекание порошковых деталей и уплотнение литья из титана, жаропрочных сплавов, алюминия и стали



Спекание деталей из высокотехнологичной керамики



Плакирование деталей



Диффузионное соединение деталей из различных материалов



HIP-пайка деталей



Изготовление медицинских имплантантов

Преимущества:

1. Возможность создания в порошке оптимальных схем напряженно-деформированного состояния, что позволяет получать детали весьма сложной формы.
2. Практическое отсутствие сил трения по контактным поверхностям инструмента, что позволяет повысить плотность и равномерность ее распределения; уменьшить энергоемкость процесса.
3. Снижение стоимости оснастки и повышения ее универсальности.
4. Увеличение плотности и уменьшение неравноплотности.

К недостаткам можно отнести: низкую производительность и меньшую точность размеров деталей.

При прессовании подвижными средами, к которым относятся жидкости, газы и эластомеры, используют как статическое, так импульсное приложение нагрузки. Основными направлениями развития технологии являются:

1. Создание материалов и изделий с особыми свойствами и структурой для работ при повышенных температурах и нагрузках, например, псевдосплавы W-Cu, Fe-C, твердые сплавы, фрикционные и антифрикционные изделия сложного состава и др.
2. Создание пористых материалов для работы при повышенных температурах, например, пористые фильтры и др.
3. Изготовление деталей с окончательными размерами без дополнительной механической обработки; создание различных инструментальных материалов (для сверл, фрез и др), обладающих высокой стойкостью при обработке резанием или давлением.

3.1.12 Тиксоштамповка

Одной из наиболее перспективных технологий в последние годы считается тиксотропная штамповка металлов (легких сплавов, сталей, в том числе легированных). Она основана на эффекте тиксотропии, который заключается в аномальном снижении сопротивления металлов сдвиговым деформациям в узком температурном интервале (технологическом окне) переходной зоны между жидким и твердым состоянием (30...85 % твердой фазы), что обеспечивает возможность плавного течения металла и заполнения им сложной фасонной полости при штамповке. Специалисты литейного и штамповочного производства никогда раньше не принимали во внимание это свойство металлов.

Использование метода в ответственных отраслях машиностроения (автомобильная промышленность, авиация и др.) позволяет получать заготовки гарантированного качества с анизотропными физико-механическими характеристиками, обеспечить повышенную точность заготовок, снизить в 2-3 раза трудоемкость и энергозатраты. При этом обеспечивается точность размеров поковок и деталей, превышающая нормы точности, принятые для горячей объемной штамповки; сокращается количество переходов штамповки до одного; снижаются нормы расхода металла; уменьшаются или исключаются затраты на обработку резанием. Использование эффекта тиксотропии позволяет интенсифицировать работы по получению фасонных изделий из композиционных материалов на металлической основе с дисперсными керамическими наполнителями.

Метод получает все более широкое распространение в США, Германии и некоторых других западных странах. Применение этой технологии позволит получать изделия сложной формы, которые в ряде случаев невозможно изготовить традиционными способами.

3.2 Сравнение технологических возможностей современных методов обработки материалов давлением

Технология	Точность, мм	Шероховатость Ra, мкм	Усилие деформирования, %	Коэффициент использования материала
Объемная штамповка в открытых штампах	± 1	5-20	100	70
Холодная листовая штамповка	$\pm 0,1$	0,63-5	100	60
Точная штамповка	$\pm 0,25$	2,5-10	100	98
Гидроформовка	$\pm 0,25$	0,32-2,5	50	90
Секционная штамповка	$\pm 0,25$	0,63-5	20	85
Винтовая штамповка	± 1	5-20	50	80
Тиксоштамповка	$\pm 0,01$	2,5-10	25	95
Электровысадка	± 1	5-20	20	90

4 Прогрессивные технологии литья

4.1 Классификация и перспективы развития литейных технологий

В настоящее время в России насчитывается около 1650 литейных предприятий, которые по экспертной оценке произвели в 2006 году 7,68 млн. тонн отливок, в том числе из чугуна – 5,28 млн. тонн, из стали – 1,3 млн. тонн, из цветных сплавов – 1,1 млн. тонн. В 1980 году в СССР объём производства отливок из сплавов чёрных и цветных металлов составил 25,8 млн. тонн. Резкое снижение выпуска продукции энергетического, тяжёлого машиностроения, судостроения, металлорежущих, деревообрабатывающих станков и кузнечнопрессового оборудования, тракторов, военной техники и др., начиная с 90-х гг., привело к тому, что выпуск отливок в России сократился с 18,5 млн. тонн в 1985 г. до 4,85 млн. тонн в 2000 г. В связи с вышеизложенным, целесообразно обратить внимание на тенденции развития технологий литья.

На сегодняшний день единой классификации литейных технологий не существует. Принято условно подразделять технологии литья на две большие группы: методы литья в песчано-глинистые формы и специальные методы литья. Часто в отдельную группу методов выделяют литье по моделям. Таким образом, наиболее часто применяемые современные методы литья можно представить в следующем виде:

КЛАССИФИКАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ЛИТЬЯ

- 1. Литье в песчано-глинистые (земляные) формы**
 - а. Формовка ручным способом
 - б. Машинная формовка
- 2. Специальные методы литья**
 - а. Литье с применением вакуумно-пленочной формовки
 - б. Литье в кокиль
 - с. Литье под давлением
 - д. Центробежное литье
 - е. Литье в формы из холодно-твердеющих смесей (ХТС)
- 3. Литье по моделям**
 - а. Литье по выплавляемым моделям
 - б. Литье в формы с газифицируемой моделью

Среди приведенных способов литья наиболее широкомасштабно используемыми являются традиционное литье в песчано-глинистые формы, литье в кокиль и литье по выплавляемым моделям.

Литье в песчано-глинистые (земляные) формы является наиболее распространенным и дешевым. Эта технология литья является наиболее универсальной и позволяет изготовить до 70...75 % общего выпуска отливок. При литье по данной технологии используются одноразовые формы из кварцевого песка, глины и специальных добавок (связующих веществ).

Комплекс операций по изготовлению из формовочных материалов литейных форм принято называть формовкой. Существует много способов формовки, в общем случае принято подразделять их на ручную и машинную формовку.

Количество отливок, изготовленных с применением ручной формовки, составляет свыше 30% всего их выпуска. Это, в первую очередь, крупные отливки (массой свыше 5 т), а также отливки, изготавливаемые в одном или нескольких экземплярах. Для серийного и массового производства применяется машинная формовка.

В производстве литых заготовок специальные виды литья в настоящее время занимают значительное место: около 25...30 % отливок производится «специальными» методами. Методами специального литья изготавливают некрупные отливки из черных сплавов и подавляющее большинство, как правило, более легких отливок из цветных сплавов. Поэтому по числу получаемых отливок специальные методы не уступают обычному методу литья в песчаные формы.

Среди наиболее распространенных специальных методов литья нужно упомянуть литье с применением вакуумно-пленочной формовки, литье в кокиль, литье под давлением, центробежное литье, литье по выплавляемым моделям. Рассмотрим данные технологии более подробно.

4.2 Технология вакуумно-пленочной формовки (ВПФ)

Технология вакуумно-пленочной формовки (ВПФ) обладает рядом существенных технологических и экономических преимуществ по сравнению с литьем в песчано-глинистые формы (ПГФ). Сущность процесса заключается в использовании в качестве формовочного материала только чистого песка без связующих добавок. Геометрические формы отливок выдерживаются за счет применения вакуума, специальных опок, пленки, накладываемых на модели и формы. После выбивки отливок из формы песок охлаждается и поступает на повторное использование.



Принципиальное отличие ВПФ от традиционных способов литья состоит в использовании:

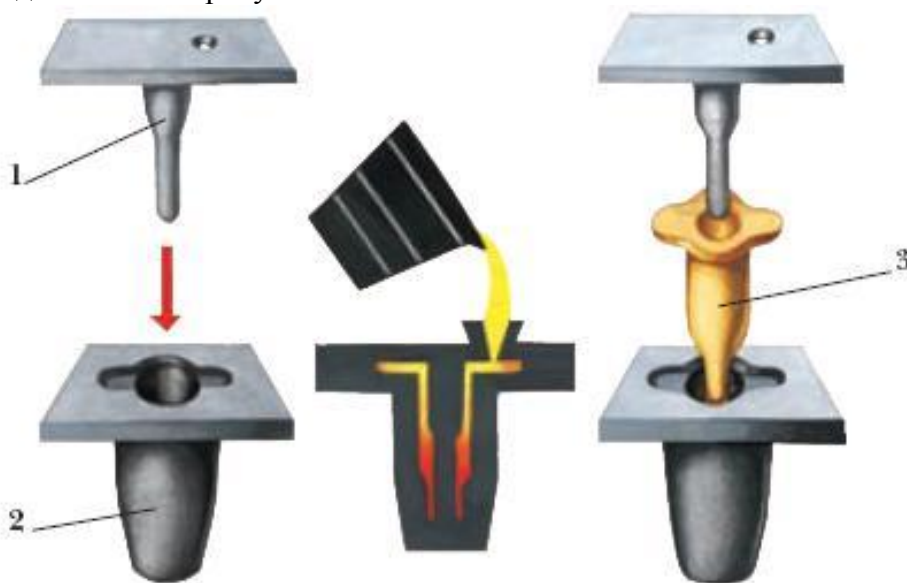
- газопроницаемой модельной оснастки;
- эластичной синтетической пленки;
- сухого песка без связующего;
- вакуума как средства уплотнения формы.

Преимущества:

- получение заготовок высокой точности с минимальными припусками на механическую обработку;
- изготовление заготовок с шероховатостью поверхности на уровне Rz 20- 40 мкм;
- уменьшение толщины стенки в 1,2-1,3 раза, по сравнению с литьем в сухие песчано-глинистые формы;
- исключение операций смесеприготовления;
- сокращение расходов формовочных песков;
- снижение стоимости литья по сравнению с литьем в ПГФ на 16-20 %;
- возможность максимальной механизации и автоматизации технологических операций;
- улучшение санитарно-гигиенических условий труда;
- минимальный экологический ущерб.

4.3 Литье в кокиль

Возрастающая популярность процесса **литья в кокиль** обусловлена рядом преимуществ перед традиционными способами изготовления отливок. Технологические операции представлены на рисунке:



1 – стержень; 2 – кокиль; 3 - отливка

Более подробно достоинства литья в кокиль представлены ниже:

1. *Снижение расхода формовочных материалов.* С заменой всей или части песчаной формы кокилем сокращается расход формовочных материалов. Польза при этом не только в том, что снижаются затраты на доставку и подготовку формовочных материалов, а разовые формы заменяются многократно используемыми, но и в том, что значительно улучшаются условия труда литейщиков, меньше загрязняется окружающая среда.

2. *Уменьшение источников брака.* Известно, что литейная форма находится в сложных условиях взаимодействия с отливкой. Достоинство кокиля заключается в том, что характер этого взаимодействия более стабилен, чем в песчаной форме. В результате число трудноуправляемых факторов, обуславливающих брак отливок, уменьшается.

3. *Качество отливок и свойства сплавов.* Затвердевание отливки в кокилях обеспечивает более высокую плотность металла, а также более высокие механические свойства по сравнению со сплавами, полученными в песчаных формах. Как правило, отливки, полученные в кокилях, имеют хорошие точность и чистоту поверхности, малые припуски на обработку, что значительно облегчает их дальнейшую обработку.

4. *Повышение производительности.* Известно, что при производстве отливок на изготовление песчаных форм, на приготовление формовочных материалов и на очистку отливок приходится до 80—90 % всех трудовых затрат. При литье в кокиль многие из трудоемких операций либо совсем отпадают, либо объем их резко сокращается. Поэтому переход на литье в кокиль часто позволяет повысить производительность труда в литейном цехе в 2—3 раза и больше.

5. *Механизация и автоматизация.* Кокили отличаются от обычных песчаных форм большой жесткостью и высокой прочностью, достаточно высокой точностью и стабильностью размеров элементов, а также точностью и надежностью сопряжения последних. Для управления качеством отливок при литье в кокиль приходится учитывать меньшее число факторов, чем при литье в песчаную форму. Все это создает благоприятные условия для механизации и автоматизации процесса. И только механизированные и автоматизированные процессы литья в кокиль в состоянии конкурировать с современными процессами литья в песчаные формы.

б. *Снижение себестоимости отливок.* Многократность использования кокилей, уменьшение затрат на изготовление форм значительно удешевляют отливку. Этому же способствует снижение брака и улучшение качества отливок, а также уменьшение капитальных затрат, расхода металла и т. п. Все это в конечном итоге приводит к снижению себестоимости отливок.

Литье в кокиль успешно применяется в производстве отливок из серого и высокопрочного чугунов, алюминиевых, магниевых и медных сплавов. В отдельных случаях в кокилях получают детали из стали и ковкого чугуна.

Весьма разнообразны конструктивные особенности отливок, получаемых в кокилях: от простых - типа опорных плит, колосников, болванок и втулок, до сложных - типа картеров двигателей, головок блоков цилиндров, ребристых корпусов электродвигателей и стоек плугов. Литьем в кокиль получают детали с особыми свойствами: повышенной герметичности, износостойкости (например, чугунные с поверхностным и местным отбелом), окалиностойкости и др.

Стальное литье в кокиль



Литье из алюминиевых сплавов в кокиль



Головка цилиндра



Корпус водяного насоса



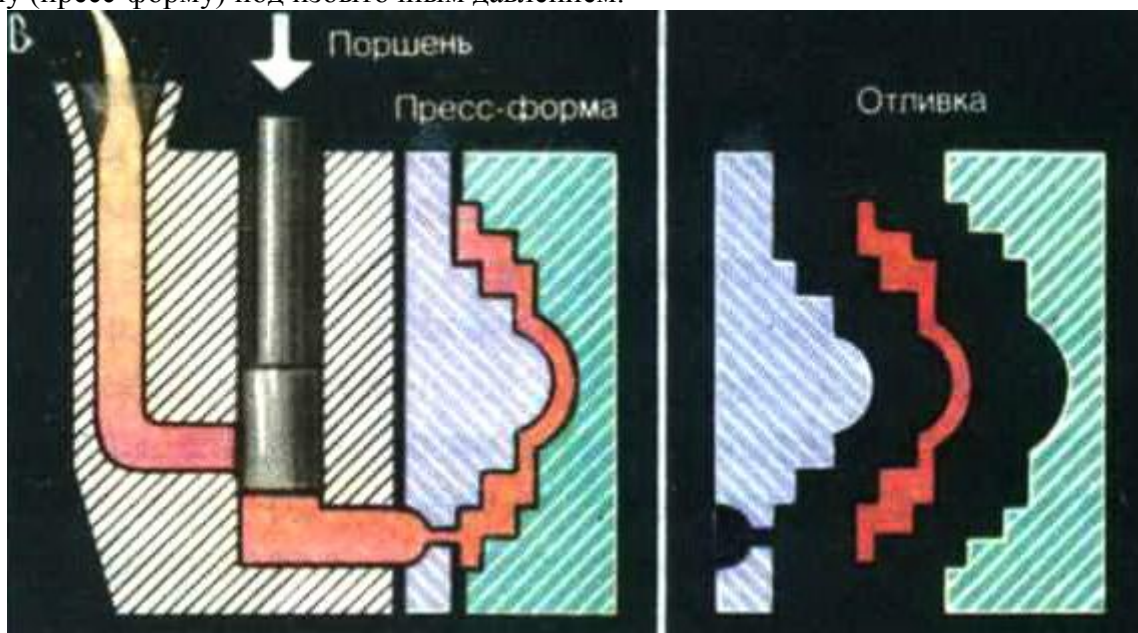
Поршень

Литье из медных сплавов в кокиль



4.4 Литье под давлением

Литье под давлением занимает одно из ведущих мест в литейном производстве. Этим способом изготавливают литые заготовки самой различной конфигурации массой от нескольких граммов до нескольких десятков килограммов. Сущность процесса литья под давлением заключается в том, что расплавленный материал подается в металлическую форму (пресс-форму) под избыточным давлением.

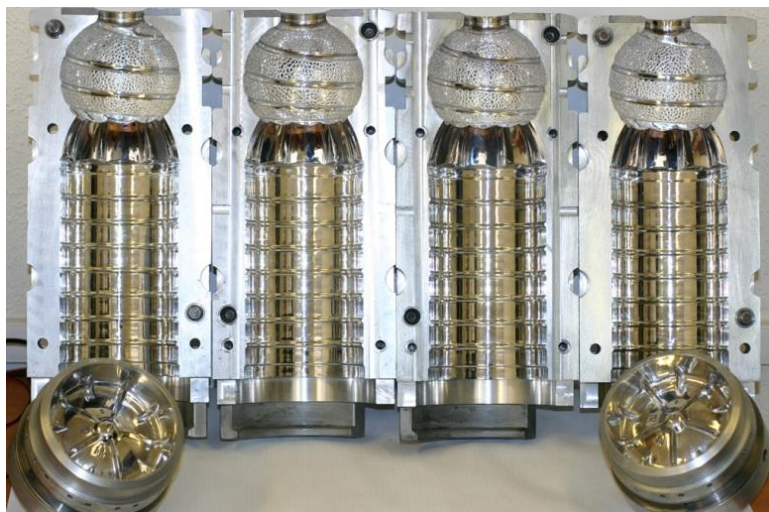
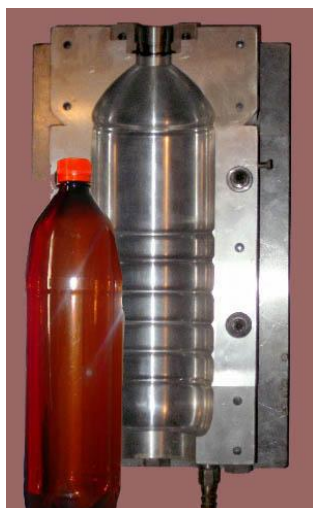


Главные преимущества литья под давлением:

- 1) Возможность получения заготовок с минимальными допусками на механическую обработку или вовсе без допусков.
- 2) Минимальная шероховатость необработанных поверхностей.
- 3) Обеспечение высокой производительности и низкой трудоёмкости изготовления деталей.

Получение отливок методом литья металлов под давлением в процентном соотношении занимает лидирующую позицию в литейном производстве отливок. Этим способом получают отливки, по конфигурации и размерам наиболее приближенные к готовым деталям из сплавов цинка, алюминия, магния и меди. Получение отливок из стали, чугуна, титановых и других тугоплавких сплавов еще не получило широкого применения, это можно объяснить недостаточной стойкостью оформляющих частей и дороговизной материалов для пресс-форм.

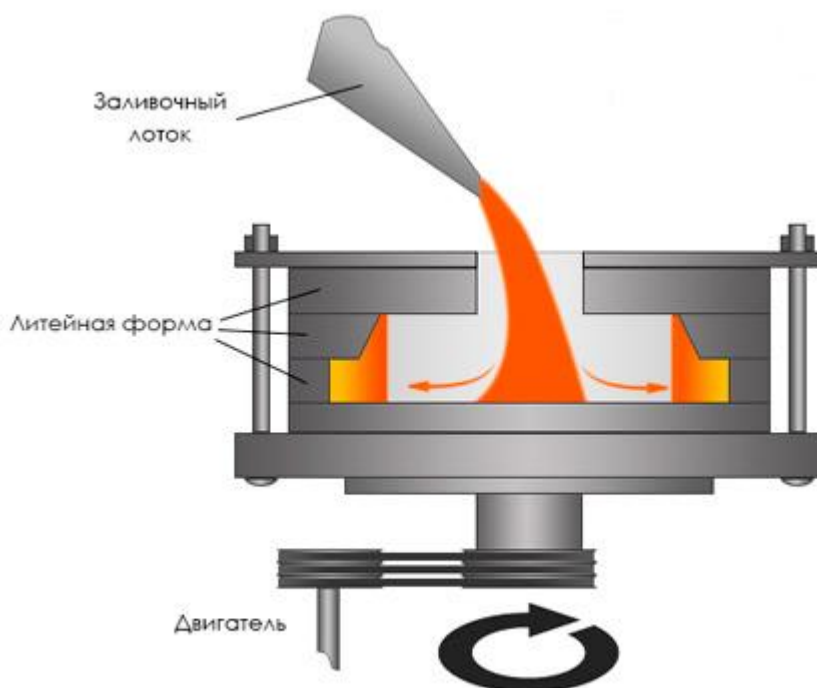
Технологию литья под давлением широко применяют для изготовления продукции из пластмасс.



4.5 Центробежное литье

Центробежный метод литья (центробежное литье) используется при получении отливок, имеющих форму тел вращения. Подобные отливки отливаются из чугуна, стали, бронзы и алюминия. При этом расплав заливают в металлическую форму, вращающуюся со скоростью 3000 об/мин.

Под действием центробежной силы расплав распределяется по внутренней поверхности формы и, кристаллизуясь, образует отливку. Центробежным способом можно получить двухслойные заготовки, что достигается поочередной заливкой в форму различных сплавов. Кристаллизация расплава в металлической форме под действием центробежной силы обеспечивает получение плотных отливок.



Особыми преимуществами центробежного литья является получение внутренних полостей без применения стержней и большая экономия сплава в виду отсутствия литниковой системы. Выход годных отливок повышается до 95 %.

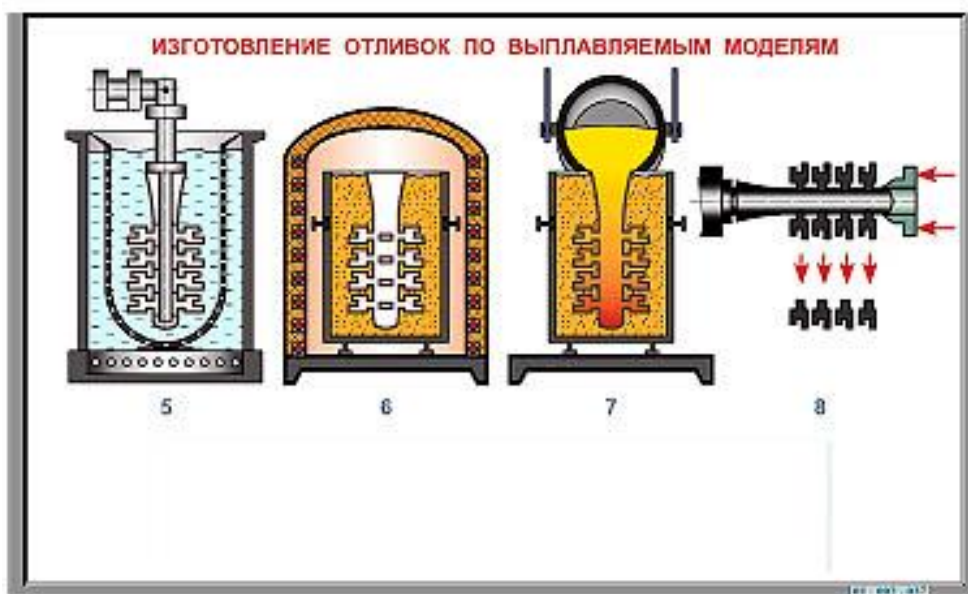
По сравнению с литьем в неподвижные формы центробежное литье имеет ряд преимуществ: повышаются заполняемость форм, плотность и механические свойства отливок, выход годного. Однако для его организации необходимо специальное оборудование; недостатки, присущие этому способу литья: неточность размеров свободных поверхностей отливок, повышенная склонность к ликвации компонентов сплава, повышенные требования к прочности литейных форм.

4.6 Литье по выплавляемым моделям

Литье по выплавляемым моделям применяется в случаях, когда дальнейшая механическая обработка детали нежелательна. Из легкоплавкого материала (воск, парафин) изготавливается точная модель изделия. Затем модель покрывается слоями тугоплавкой суспензии — от 3 до сотни слоёв. Сушка каждого слоя занимает не менее получаса. После чего из образованной оболочковой формы выплавляют легкоплавкий материал модели, затем заливают расплавленный металл. Когда деталь кристаллизуется, её извлекают, раскалывая керамическую оболочку.



1 – изготовление моделей в пресс-форме; 2 – сборка моделей в модельный блок;
3 – нанесение на модельный блок огнеупорной суспензии; 4 – обсыпка слоя суспензии зернистым материалом.



5 – выплавление модельного состава; 6 – прокаливание оболочковой формы; 7 – заливка в форму жидкого металла; 8 – отделение отливок.

В силу длительности и дороговизны всего процесса литье по выплавляемым моделям применяют только для очень ответственных деталей и при изготовлении художественных изделий.



4.7 Сравнительные показатели различных технологий литья

Технология литья	Точность, мм (для отливки размером 100 мм)	Шероховатость, Ra, мкм	Трудоемкость	Коэффициент использования материала, %	Относительный расход формовочных материалов
В песчаные формы	$\pm 1,2$	10...16	1	60...70	1
В кокиль	$\pm 0,5$	3,2...6,3	0,7...0,8	75...80	—
Под давлением	$\pm 0,4$	1,6...6,3	0,7...0,8	90...95	—
Центробежное	$\pm 0,5$	3,2...6,3	0,7...0,8	80...90	—
Вакуум пленочная формовка	$\pm 0,8$	3,2...6,3	1,1...1,2	90...95	0,2...0,5
По выплавляемым моделям	$\pm 0,5$	3,2...5,0	2,3...2,5	90...95	5...10

5 Технология порошковой металлургии

Общая схема технологии керамики состоит из 4-х основных этапов:

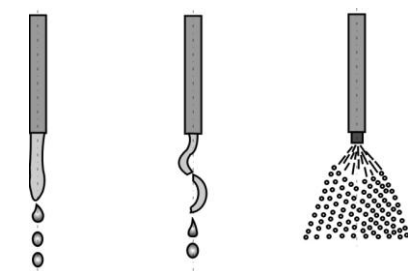
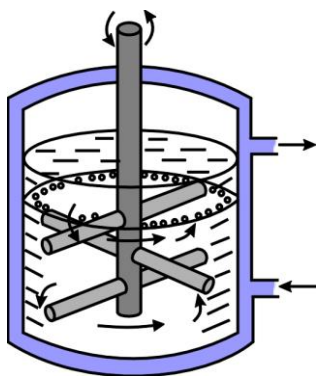


В зависимости от назначения керамики используются различные методы получения исходного сырья, формования и обжига. В технологии традиционной керамики используется природное сырье, подвергнутое соответствующей обработке. Эта обработка включает в себя измельчение и смешивание компонентов. Глинистые материалы сначала обрабатываются в глинорезательных машинах, подсушиваются и затем измельчаются в дезинтеграторах. Для измельчения непластичных добавок используются различные дробилки, шаровые, вибрационные мельницы. После измельчения порошки просеиваются через сита для получения нужных фракций. Перед формованием компоненты шихты должны быть тщательно перемешаны и иметь необходимую степень влажности.

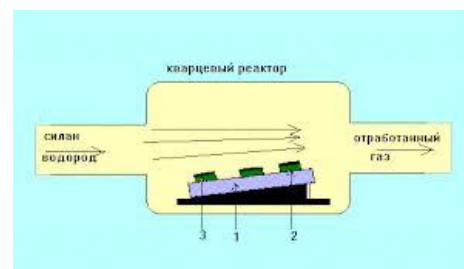
Для формования изделий используются метод полусухого прессования и методы формования пластичных масс. Прессование осуществляется на прессах различных конструкций в металлических пресс-формах либо на установках для гидростатического прессования. В первом случае достигается высокая производительность процесса, во втором – возможность получения равноплотных изделий сложной конфигурации. Полусухое прессование используется в технологии огнеупоров, стеновой керамики, электрофарфора.

Пластическое формование наиболее распространено в технологии традиционной керамики. Различают следующие способы пластического формования: экструзия (выдавливание), штампование и вытачивание. Во всех методах сырье содержит воду в количестве 30–50% об. Экструзия осуществляется на непрерывных прессах через профильные мундштуки. Этот способ используется в производстве кирпича, труб, а также некоторых изделий технической керамики (стержни, трубки). Штампование применяется для получения изделий с более точными размерами, хорошей поверхностью. Таким способом формируют огнеупоры, кислотоупорные кирпичи. Метод вытачивания используется в производстве фарфора и фаянса.

Методы измельчения порошков



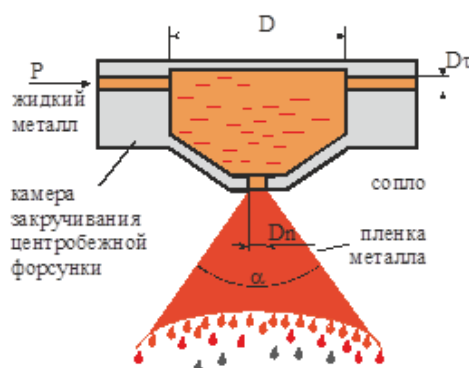
Распыление измельчаемого материала в жидком состоянии



Измельчение взрывом



Измельчение механическое



Центробежно-гидравлическое распыление



Самораспространяющийся высокотемпературный синтез

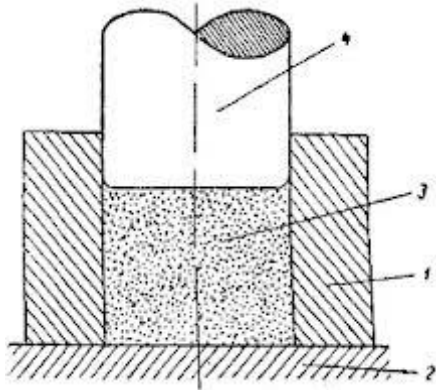
В технологии керамики как традиционной, так и технической для формования изделий широко используется метод шликерного литья. Шликер получается при добавлении в исходное сырье жидкой связки в количестве 30–70 % об. и специальных добавок – разжижителей. Применяются три метода литья – литье водных шликеров в пористые формы, в которых материал уплотняется за счет удаления воды в поры формы; горячее литье с использованием термопластичных связующих; литье пленок из шликеров на полимерных связках – пленка образуется в результате быстрого испарения растворителя связки. Литьем водных шликеров изготавливают разнообразные резервуары, посуду и т.д. Литье термопластичных шликеров является более прогрессивным способом. Его используют в технологии изготовления керамических лопаток газовых турбин, деталей ракетных двигателей.

В производстве традиционной керамики важной операцией является сушка отформованных изделий, поскольку они содержат значительное количество временной связки (до 25 %). Сушка происходит в туннельных сушилках с воздушным, газовым или паровоздушным теплоносителем. Содержание влаги после сушки не превышает 1–3 %. Время сушки в зависимости от вида изделия может колебаться от 6 мин до нескольких суток.

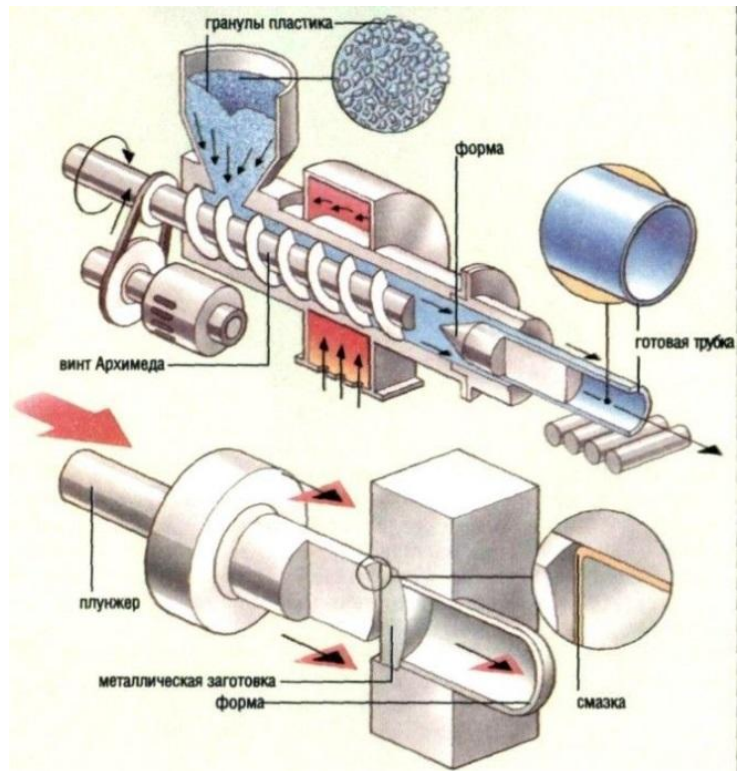
Обжиг является определяющей операцией в технологии керамики. В процессе обжига керамики протекают следующие процессы: изменение объема отформованного изделия (усадка или рост), полиморфные превращения, химические реакции, стеклообразование или кристаллизация. Движущей силой спекания является избыточная поверхностная энергия на границе раздела фаз порошковой системы.

Различают следующие виды спекания: жидкофазное и твердофазное. При жидкофазном спекании компактирование происходит за счет сил поверхностного натяжения образующейся жидкой фазы. При твердофазном спекании перенос вещества

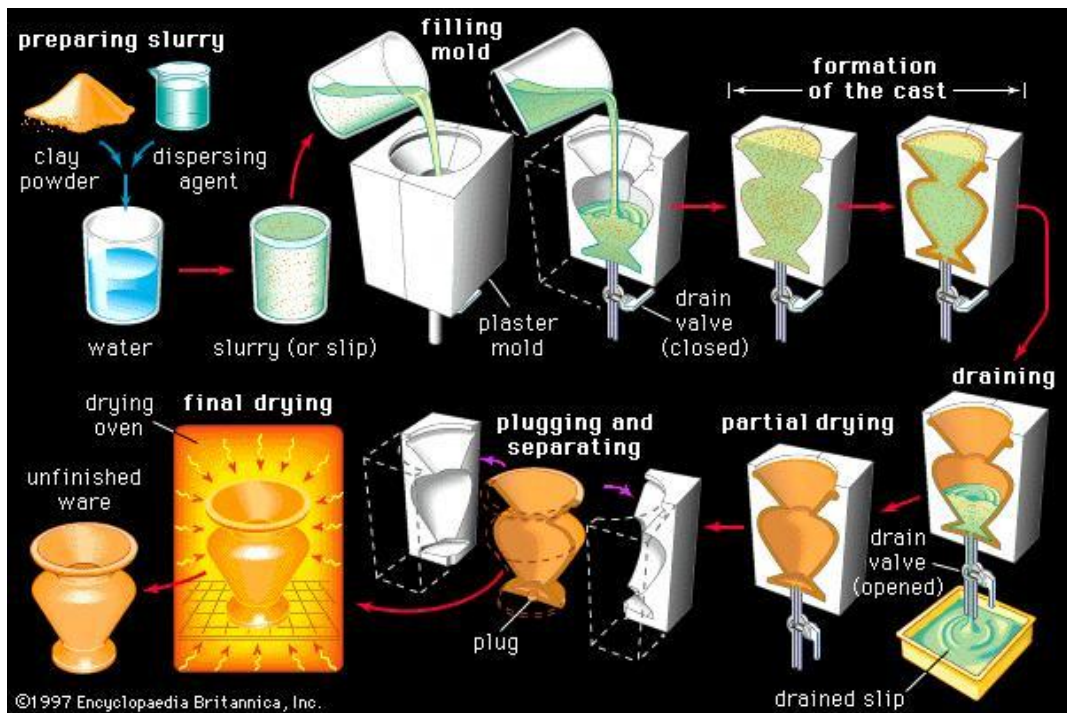
Технологии формования порошковых изделий



Прессованием под действием сжимающего давления



Экструзия



Шликерное литье

происходит за счет диффузии дефектов кристаллической решетки, главным образом вакансий. Контур места контакта частиц является источником вакансий вследствие их повышенной концентрации, а сама поверхность контакта и выпуклые поверхности частиц – стоком. Основными признаками спекания керамики являются повышение плотности и механической прочности изделия.

Процесс обжига состоит из трех периодов – нагрева, выдержки при требуемой температуре и охлаждения. Для обжига керамики применяются печи разнообразных типов и конструкций. Наиболее распространены туннельные печи непрерывного действия, в которых спекается большая часть традиционной керамической продукции.

Заключительные этапы технологии порошковых материалов



Сушка



Обжиг

6 Развитие технологий получения неразъемных соединений

Современные технологии получения неразъемных соединений условно можно подразделить на четыре большие группы - технологические процессы сварки, пайки, склеивания и клепки. Наиболее трудоемким процессом получения неразъемных соединений является клепка. Однако до настоящего времени при помощи данного метода, обеспечивающего, максимальные показатели надежности в условиях нестационарного нагружения, изготавливается большинство ответственных узлов и

машин – например, конструкции летательных аппаратов. Развитие этой технологии в настоящее время происходит по двум направлениям - создание высокопроизводительного оборудования, позволяющего в автоматическом режиме осуществлять соединение изделий с заклепками сложной конфигурации, например в виде перфорированных лент. Другим направлением развития данной технологии является разработка материалов с малым сопротивлением деформации в процессе получения соединения и возможностью изменять свои свойства в процессе эксплуатации, приобретая повышенную прочность и трещиностойкость. Для наиболее ответственных узлов разрабатываются материалы, обладающие эффектом «памяти формы» на основе титановых сплавов, которые изменяют свою конфигурацию после того, как детали уже соединены в общий узел.

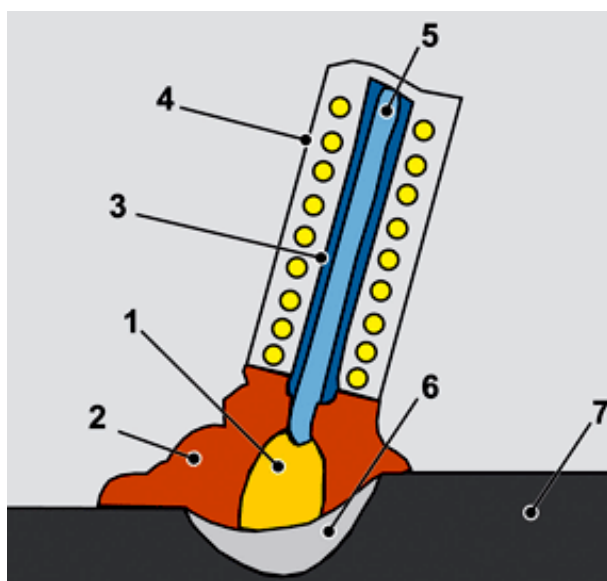
Сейчас наиболее перспективными технологическими процессами получения неразъемных соединений считаются технологии сварки материалов. По данным Немецкого общества сварки (DVS) свыше 60 % научных работ в Германии в области создания неразъемных конструкций связаны именно с этой технологией (рис.12) [81]. Однако, за последние 5 лет повысился интерес и к другим методам. Это связано, прежде всего, с тем, что в промышленности начинает применяться большее количество конструкционных материалов, например композитов и керамик, соединение которых методами сварки нерационально или невозможно.

6.1 Передовые технологические процессы сварки.

По данным Немецкого общества сварки (DVS) исследования в области технологических процессов получения сварных соединений в Германии в основном сосредоточены по пяти направлениям. Это технологические процессы сварки в среде защитных газов, контактная сварка, сварка лазерным и электронным лучом и разработка комбинированных (гибридных) видов сварочных технологий.

6.1.1 Электродуговая сварка в среде защитных газов

Технологический процесс сварки в среде защитных газов известен сравнительно давно, но в последнее время приобрел достаточно широкое распространение вследствие простоты встраивания технологического процесса сварки в поточные линии машиностроительных производств, возможности полной механизации и автоматизации процесса. При сварке в зону дуги через сопло непрерывно подается защитный газ.



- 1 – сварочная дуга;
- 2 – газовая защита;
- 3 – зажим электрода;
- 4 – сопло;
- 5 – тугоплавкий электрод;
- 6 – сварочная ванна;
- 7 – металл шва.

Теплотой дуги расплавляется основной металл. Расплавленный металл сварочной ванны, кристаллизуясь, образует шов. В качестве защитных газов применяют как инертные (аргон и гелий), так и активные (углекислый газ, водород, кислород и азот)

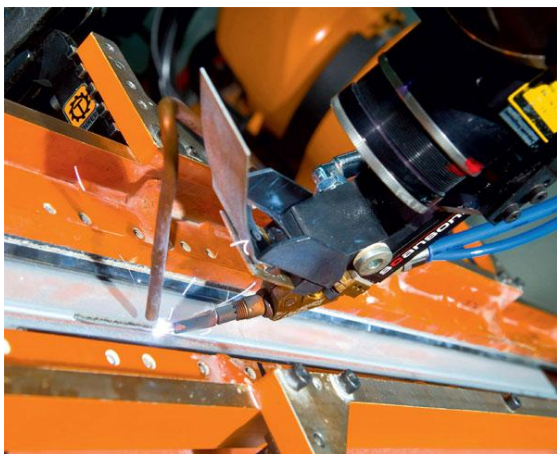
газы, а также их смеси. Технология имеет ряд достоинств, обуславливающих ее бурное развитие:

- высокую производительность процесса, легкость механизации и автоматизации;
- высокое качество сварных соединений;
- возможность сварки в различных пространственных положениях;
- возможность сварки металлов различной толщины (от 0,1 мм до десятков миллиметров), в том числе с высокой окислительной способностью, например алюминиевых и титановых сплавов;
- отсутствие операций по засыпке и уборке флюса и удалению шлака;
- возможность визуального наблюдения за образованием шва.

Основными недостатками при реализации данной технологии являются: необходимость применения защитных мер против световой и тепловой радиации дуги и защита зоны сварки от сквозняков.

В настоящее время данная технология широко используется для сталей всех классов цветных металлов и сплавов, разнородных металлов малых и средних толщин (до 20 мм). Наибольший прогресс в области создания нового технологического оборудования сварки в среде защитных газов наблюдается в создании микропроцессорных инверторных источников, которые позволяют управлять сварочным процессом с высокой точностью. Предложение новых моделей зарубежных производителей очень велико. Наиболее современное сварочное оборудование выпускают фирмы «EWM» (Германия) и «Lincoln EC» (США). На базе этой технологии производится большое количество промышленных роботов. Разработками и выпуском качественных современных моделей полуавтоматов на территории СНГ занимаются только «СЭЛМА» (Украина), ПКФ «Кристалл» (Санкт-Петербург), НПФ «Шторм-ИТС» (Екатеринбург).

6.1.2 Лазерная сварка

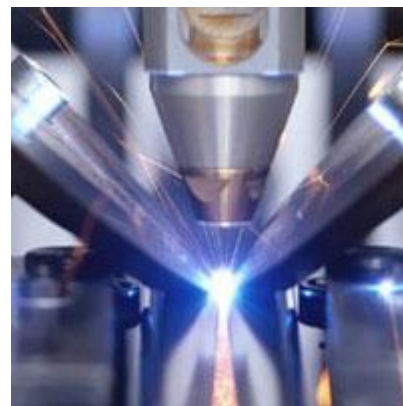


Лазерный луч обеспечивает высокую концентрацию энергии (до 10^8 Вт/см²). Благодаря такой высокой концентрации энергии лазерного излучения в процессе сварки обеспечивается малый объем расплавленного металла, незначительные размеры пятна нагрева, высокие скорости нагрева и охлаждения металла шва и околошовной зоны. Эти особенности теплового воздействия определяют основные достоинства сварных соединений, полученных с помощью этой технологии:

- минимальные деформации сварных конструкций;
- высокие механические свойства и герметичность сварного шва;
- малое пятно обеспечивает высокую точность сварки;
- процесс бесконтактен - возможна сварка в труднодоступных местах, проведение сварки через прозрачные материалы, в жидких прозрачных средах;
- гибкая, широкая настройка процесса, без необходимости смены оснастки, легкое перемещение луча по поверхности детали по любой траектории;
- высокая скорость и производительность процесса.

Основным сдерживающим фактором, препятствующим широкому применению лазерной сварки, является высокая стоимость технологических лазеров. Производимые системы, как правило, полностью автоматизированы и монтируются на промышленных роботах или порталных устройствах. Технология лазерной сварки позволяет применять ее как заключительную операцию, без последующей правки или механической доводки

изделия. В настоящий момент лазерная сварка в основном применяется на линиях массового производства в тех случаях, когда имеется необходимость получения прецизионной (высокоточной) конструкции, форма и размеры которой не должны меняться в результате сварки. Особой областью применения лазерной технологии является получение соединений из разнородных материалов, сварку которых невозможно осуществить другими способами.



6.1.3 Сварка электронным лучом



Сущность процесса состоит в облучении поверхности изделия потоком электронов, движущихся с высокими скоростями в вакууме. Для уменьшения потери кинетической энергии электронов за счет соударения с молекулами газов воздуха, а также для химической и тепловой защиты катода в электронной пушке создают вакуум 10^{-4} - 10^{-6} мм рт. ст.

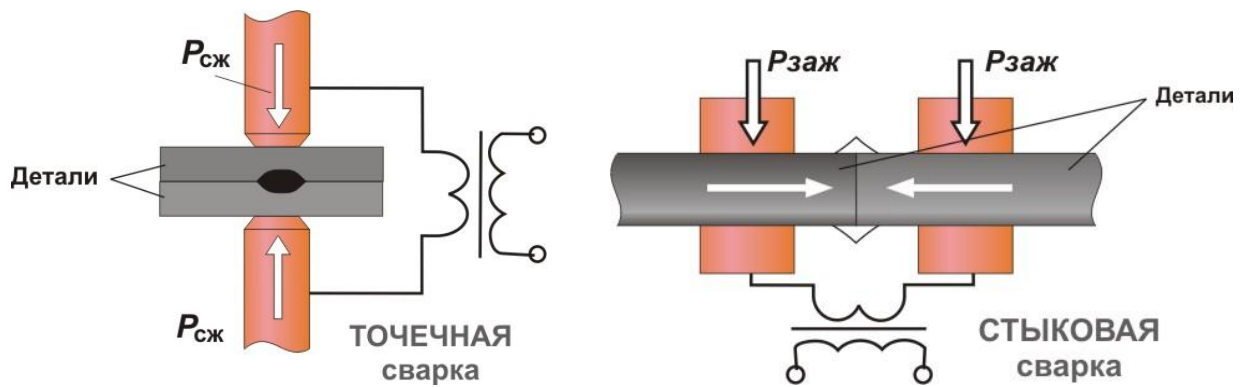
Достоинства электронно-лучевой сварки:

- Высокая концентрация ввода теплоты в изделие, которая в отличие от лазерной сварки выделяется не только на поверхности изделия, но и на некоторой глубине в объеме основного металла. Фокусировкой электронного луча можно получить пятно нагрева диаметром 0,0002-5 мм, что позволяет за один проход сваривать металлы толщиной от десятых долей миллиметра до 200 мм.
- Возможность сварки тугоплавких металлов (вольфрама, тантала и др.), керамики и т.д.
- Малое количество вводимой теплоты, и соответственно незначительные термические поводки и коробление изделия.
- Отсутствие насыщения расплавленного и нагретого металла газами, в результате достигается высокое качество сварных соединений на химически активных металлах и сплавах, таких как ниобий, цирконий, титан, молибден и т.д.

Самыми существенными факторами, сдерживающими, распространение данной технологии являются, высокая стоимость технологического оборудования и значительное время, необходимое для создания вакуума в рабочей камере после загрузки изделий. В настоящий момент в мире, в том числе и Институте ядерной физики СО РАН (г. Новосибирск) ведутся интенсивные исследования в разработке вневакуумной технологии электролучевой обработки. Технологические устройства, реализующие данный вид сварки в других научных учреждениях и промышленных предприятиях отсутствуют.

6.1.4 Контактная сварка

Среди многочисленных видов сварочных процессов контактная сварка занимает одно из первых мест, как универсальный и широко распространенный в промышленности способ получения неразъемных соединений изделий из тонколистовых металлов. В Германии помощью оборудования для контактной сварки изготавливают до 50 % всех сварных корпусных конструкций. Суть процесса - образование неразъемного соединения в результате нагрева металла проходящим через него электрическим током и пластической деформации зоны соединения под действием сжимающего усилия.

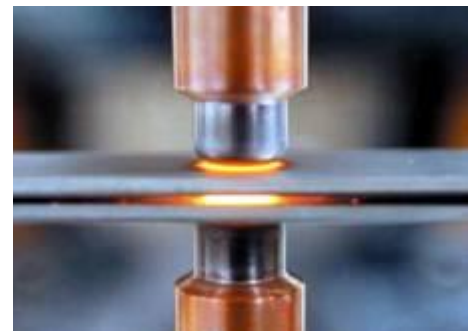


Преимуществами контактной сварки перед другими способами являются:

- Высокая производительность (время сварки одной точки или стыка составляет 0,02... 1,0 с).
- Процесс сварки легко поддается автоматизации и механизации.
- Малый расход вспомогательных материалов (воды, воздуха).
- Высокое качество и надежность сварных соединений при небольшом числе управляемых параметров режима, что снижает требования к квалификации сварщика.
- По экологическим параметрам это один из самых безопасных видов сварки.

Точечной сваркой соединяются главным образом детали из тонколистовой низкоуглеродистой стали, обладающей отличной свариваемостью. В настоящее время оборудованием контактной сварки оснащены все передовые производства кузовов автомобилей, цельнометаллических вагонов, корпусных металлических изделий и т.д., причем это оборудование располагается, как правило, в виде полностью роботизированных линий сварки. Для дальнейшего увеличения производительности применяется многоточечная сварка, при которой за один цикл работы машины сваривается несколько точек.

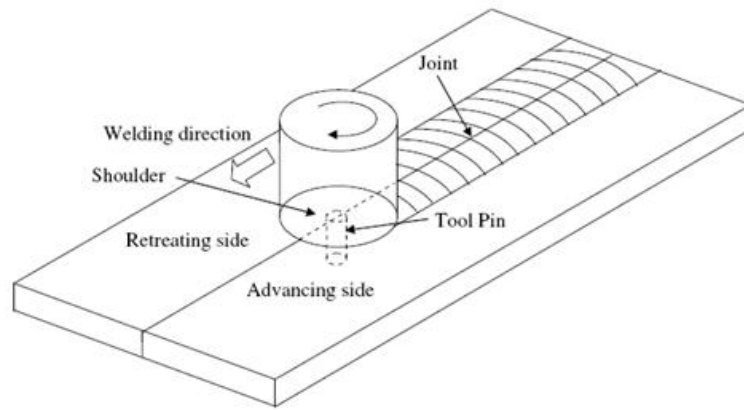
Основными недостатками данной технологии являются сложность ее применения для сварки цветных металлов и сплавов и применение для сварки изделий большой толщины.



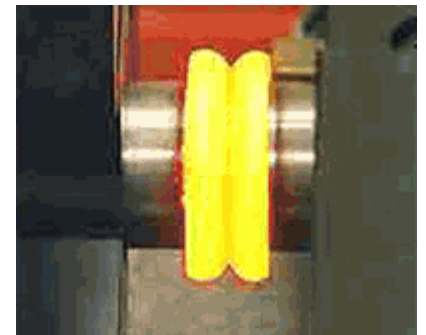
6.1.5 Сварка трением

Мировой опыт применения сварки трением позволяет сделать вывод, что этот вид сварки - один из наиболее интенсивно развивающихся технологических процессов, особенно в странах Западной Европы и США. Для нагрева места сварки использован принцип превращения механической энергии в тепловую при трении. Вследствие движения поверхности деталей их торцы быстро разогреваются, доводятся до оплавления, затем движение деталей прекращается и производится осевая осадка (сжатие) деталей.

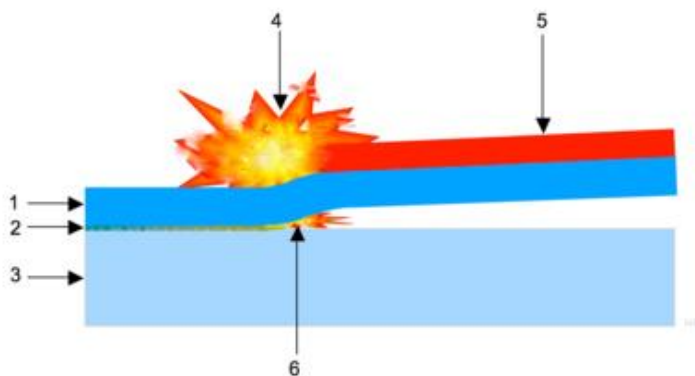
В ряде случаев способ является очень эффективным. Он отличается высокой производительностью (машинное время для разных деталей 1,5-50 сек). Сварка трением позволяет получать соединения разнородных металлов не сваривающихся другими способами, например алюминия с медью, алюминия со сталью, меди со сталью. Ширина зоны влияния сварного соединения составляет не более 2-3 мм. Особенно эффективна сварка заготовок металлорежущего инструмента сверл, метчиков и т. д. из углеродистой и быстрорежущей стали, в производстве составных сварно-кованых, сварно-литых или сварно-штампованных деталей.



Перспективной является применение сварки трением и для соединения пластмассовых заготовок. Сварные соединения отличаются высоким качеством и стабильностью сварки. Процесс сварки может быть полностью автоматизирован, все технологические параметры - число оборотов, усилие осадки, время сварки отличаются большим постоянством. Способ весьма экономичен и обладает высоким коэффициентом полезного действия. Потребление электроэнергии при использовании вышеуказанного способа в 7-40 раз меньше, чем при контактной электросварке, причем нагрузка в питающей сети распределена более равномерно. Основным ограничением при реализации данной технологии является сложность сварки криволинейных поверхностей. В настоящий момент сварка трением наиболее широко применяется для получения неразъемных стыковых соединений деталей диаметром от 6 до 100 мм. Однако применение роботов с подвижными шпиндельными узлами расширяет возможности данной технологии и позволяет производить сварку по схеме цилиндр-плоскость. Особенно данная технология перспективна для сварки неметаллических материалов, сварка которых другими способами, например методами контактной сварки, невозможна.



6.1.6 Сварка взрывом



1 – метаемая пластина; 2 – сплавленная поверхность; 3 – неподвижная пластина; 4, 5 – заряд взрывчатого вещества; 6 – кумулятивная струя.

Это сравнительно новый перспективный технологический процесс, позволяющий получать биметаллические заготовки и изделия значительных размеров из практически любых металлов и сплавов, в том числе тех, сварка которых другими способами затруднена. Суть процесса - получение соединения под действием

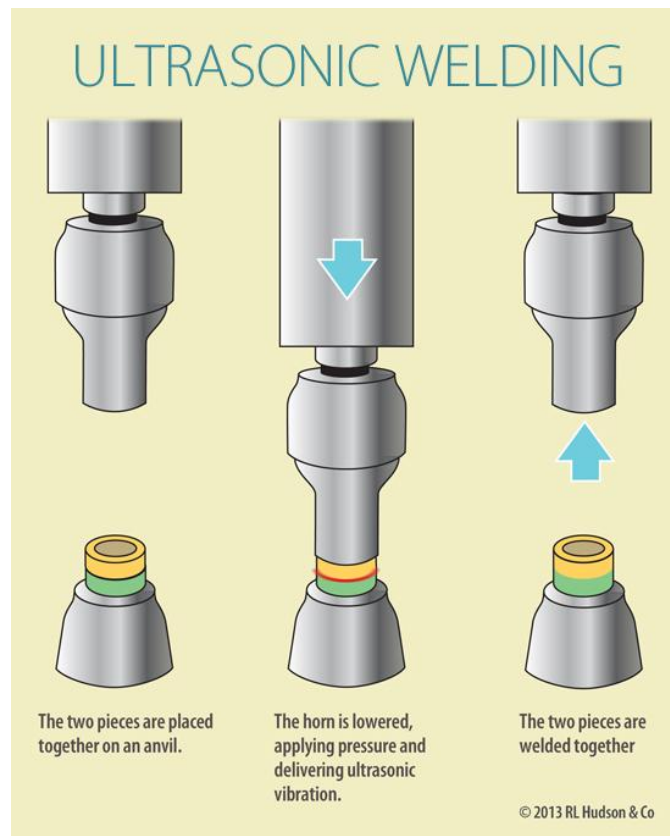
энергии, выделяющейся при взрыве заряда взрывчатого вещества (ВВ). Под действием высокого давления расширяющихся продуктов взрыва метаемая пластина приобретает скорость порядка нескольких сотен метров в секунду и соударяется с неподвижной пластиной, расположенной под углом. Соударение метаемой пластины и основания сопровождается пластической деформацией, вызывающей местный нагрев поверхностных

слоев металла. В результате деформации и нагрева развиваются физический контакт, активация свариваемых поверхностей и образуются прочное соединение. Полученную взрывом заготовку затем прокатывают в листовой биметалл. Сварка взрывом целесообразна для изготовления отдельных крупногабаритных изделий сравнительно простой формы. Для серийного и массового производства небольших деталей наиболее перспективным является способ магнитно-импульсной сварки, по технологическим особенностям подобной сварке взрывом. Разгон одной из деталей осуществляется электромагнитной катушкой (пушкой). Магнитно-импульсная сварка допускает точное регулирование технологических параметров и удобна для массового изготовления однотипных изделий небольших размеров. Применение технологических процессов сварки взрывом требует повышенных мер безопасности. Этот фактор является наиболее сдерживающим в распространении вышеуказанной технологии.



6.1.7 Ультразвуковая сварка

Соединение при этом способе сварки образуется под действием ультразвуковых колебаний (частотой 20-40 кГц) и сжимающих давлений, приложенных к свариваемым деталям. Колебательные движения ультразвуковой частоты разрушают неровности поверхности и оксидный слой. Совместное воздействие на соединяемые детали механических колебаний и относительно небольшого давления сварочного волновода-инструмента обеспечивает течение металла в зоне соединяемых поверхностей без внешнего подвода теплоты. В результате трения, вызванного возвратно-поступательным движением сжатых контактирующих поверхностей, нагреваются поверхностные слои материалов. Ультразвуковая сварка является перспективным способом соединения металла небольшой толщины. Интенсивно ведутся работы по совершенствованию ультразвукового оборудования для сварки полимерных материалов. Очень часто ультразвуковое оборудование входит в состав технологических комплексов гибридной сварки.



6.1.8 Гибридная сварка

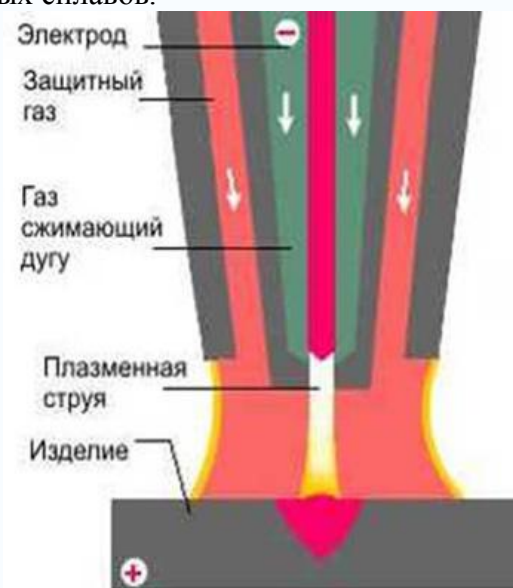
Перспективным направлением в производстве технологического оборудования для сварки является создание технологических комплексов позволяющих одновременно воздействовать на свариваемые детали различными источниками теплоты. Такие технологические процессы получили общее название гибридной сварки. Наибольшее распространение получила сварка с совмещением лазерных и дуговых процессов. Например, основными недостатками лазерной сварки являются, главным образом, малые возможности провара корня шва и узкий диапазон допусков на положение свариваемых деталей при сварке. Поскольку ванна расплавленного металла сравнительно мала, возможности повлиять на металлургию металла сварного шва с помощью присадочного материала ограничены. Эти специфические недостатки преодолеваются за счет использования гибридной лазерно-дуговой сварки, в которой луч лазера и дуга воздействуют вместе на обрабатываемую зону.



В то же самое время это служит для повышения производительности процесса сварки, так как увеличивает скорость сварки, достигающую рекордных показателей. Одновременная комбинация в одном технологическом модуле различных видов сварочного оборудования приводит значительному увеличению его стоимости, но в то же время открывает как совершенно новые технологические возможности, так и увеличивает производительность.

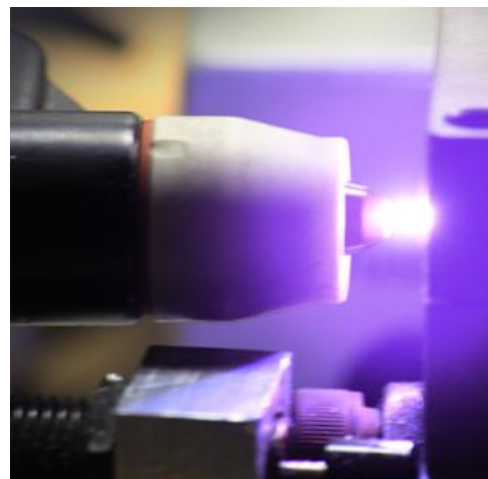
6.1.9 Плазменная и микроплазменная сварка

При данном виде сварки источником теплоты является плазменная струя, получаемые при ионизации рабочего газа в промежутке между электродами в плазменной горелке — плазмотроне. Данный вид сварки можно использовать для нагрева, сварки или резки как электропроводных металлов, так и неэлектропроводных материалов, таких как стекло, керамика и др. Основными чертами, отличающими плазменную дугу от обычной, являются: более высокая температур, меньший диаметр дуги, цилиндрическая форма дуги, возможность поддерживать дугу на малых токах (0,2–30 А). Плазменная дуга обеспечивает более глубокое проплавление металла при одновременном уменьшении объема его расплавления, позволяет без разделки кромок сваривать большие толщины металла, позволяет вести сварку в труднодоступных местах, а также при колебаниях расстояния от сопла горелки до изделия. Плазменная сварка проникающей дугой позволяет повысить производительность в 1,5-2 раза при 100% качестве швов, снизить стоимость выполняемого погонного метра в 2-6 раз; плазменная сварка плавящимся электродом позволяет доводить скорость сварки и наплавки до сотен метров в час; плазменная сварка постоянным током на обратной полярности решает проблему сварки алюминиевых сплавов.



Сейчас наиболее распространенным видом сварки является микроплазменная сварка. В связи с достаточно высокой степенью ионизации газа в плазмотроне и при использовании вольфрамовых электродов диаметром 1–2 мм плазменная дуга может гореть при очень малых токах, начиная с 0,1 А. Микроплазменная сварка является весьма эффективным способом сварки изделий малой толщины, до 1,5 мм. Диаметр плазменной дуги составляет около 2 мм, что позволяет сконцентрировать тепло на ограниченном участке изделия и нагревать зону сварки, не повреждая соседние участки. Плазменная дуга имеет цилиндрическую форму, поэтому глубина проплавления и другие параметры шва мало зависят от длины дуги, что позволяет при манипуляциях сварщиком горелкой избежать прожогов, характерных для обычной аргодуговой сварки тонкого металла. В настоящий момент объем использования плазменных технологий до настоящего времени

в России не велик и не превышает 5 % от общего объема сварочного производства. Это объясняется несколькими причинами: отсутствием доступных надежных технологических рекомендаций для практического использования плазменных технологий, сложностью, низкой надежностью отечественного и высокой стоимостью зарубежного промышленного оборудования, отсутствием на предприятиях подготовленных специалистов в области сварочных плазменных технологий.



7 Современные перспективные материалы

7.1 Классификация машиностроительных материалов

В настоящее время в машиностроении применяется большое количество материалов, которые могут быть подразделены на группы по ряду признаков. Чаще всего машиностроительные материалы подразделяются на три основные группы - металлические, неметаллические и композиционные материалы. В целом общая классификация материалов, применяемых в машиностроении, выглядит следующим образом.

I Металлические материалы

1. Материалы на основе железа.

1.1. Конструкционные стали и сплавы. (Углеродистые и легированные конструкционные стали, стали для холодной штамповки, цементируемые и нитроцементируемые, легированные стали, стали с повышенной обрабатываемостью резанием).

1.2. Стали с особыми свойствами (мартенситно-старяющие высокопрочные стали, высокопрочные стали с высокой пластичностью - ТРИП- или ПНП-стали, износостойкие стали).

1.3. Стали для изготовления определенных узлов и деталей (рессорно-пружинные, шарикоподшипниковые стали).

1.4. Стали для применения при высоких температурах и в агрессивных средах (коррозионно-стойкие и жаростойкие и жаропрочные стали).

1.5. Стали для изготовления инструмента (режущего, штампового, измерительного).

1.6. Чугуны (серые, ковкие, высокопрочные, антифрикционные).

2. Сплавы на основе алюминия (литейные, деформируемые, антифрикционные).

3. Сплавы на основе магния.

4. Сплавы на основе титана.

5. Сплавы на основе меди.

6. Тугоплавкие металлы и их сплавы.

7. Антифрикционные подшипниковые сплавы на основе легкоплавких металлов (баббиты)

8. Стали и сплавы с особыми физическими свойствами.

9. Твердые сплавы.

10. Спеченные сплавы на металлической основе (порошковые материалы)

II Неметаллические материалы

1. Пластические массы (термопластичные, термореактивные, газонаполненные).
2. Материалы на основе углерода
3. Резиновые материалы.
4. Неорганическое стекло.
5. Керамические материалы.

III Композиционные материалы

1. Композиционные материалы с полимерной матрицей.
2. Металлические композиционные материалы
3. Керамические композиционные материалы.
4. Композиционные материалы на основе углерода
5. Гибридные композиционные материалы.

7.2 Разработка и применение материалов с наноструктурой

Еще одним чрезвычайно перспективным направлением является разработка и применение материалов с наноструктурой. За последние 10 лет финансирование работ в этом направлении промышленно развитыми странами увеличилось в несколько раз. В соответствии с имеющимися прогнозами в 2015...2020 годах рынок продукции, производимой с использованием нанотехнологий, достигнет 1 трлн. долларов США. Предполагается, что рынок новых наноматериалов будет составлять 340 млрд. долларов. При этом в настоящее время 30..35 % средств, выделяемых на нанотехнологические проекты, расходуется на разработку и внедрение в производство новых конструктивных наноматериалов. Наноструктурные объемные материалы по сравнению с материалами с обычной величиной зерна отличаются большой твердостью и прочностью при статическом и усталостном нагружении. Основное направление их использования в настоящее время – это изготовление высокопрочных и износостойких деталей. Проявление эффекта сверхпластичности в наноструктурных сплавах алюминия и титана делает перспективным их применение для изготовления деталей и изделий сложной формы и для использования в качестве соединительных слоев для сварки различных материалов в твердом состоянии. Композиты, армированные углеродными нановолокнами и фуллеренами рассматриваются как перспективные материалы для работы в условиях ударных динамических воздействий, в частности для брони и бронезилов.

7.3 Перспективы применения керамических материалов

В настоящее время керамические и твердосплавные материалы прочно вошли в жизнь машиностроительной индустрии. Сфера их использования необычайно широка, однако имеет одну отличительную черту – это наиболее жесткие условия эксплуатации в каждом конкретном производстве, в которых ни один другой материал не может обеспечить необходимых показателей и достаточного ресурса. Простая замена традиционно используемых материалов на керамику без учета особенностей технологии ее производства и уникальных свойств, присущих каждому виду керамики и твердого сплава в подавляющем большинстве случаев дает ожидаемого результата. К керамическим материалам традиционно относят карбиды, бориды, оксиды и нитриды элементов 2-4 групп 3-6 периода таблицы Менделеева. Свойства наиболее распространенных керамик отражены в таблице:

Традиционный материал	Новый материал	Основные достоинства	Ограничения при внедрении
Жаропрочные, жаростойкие стали, суперсплавы Цветные	Карбид кремния <i>SiC</i>	Высокая твердость (3 место после алмаза) и теплопроводность, отличная коррозионная стойкость, низкий коэффициент термического расширения, низкая плотность,	Низкая обрабатываемость резанием, высокая хрупкость,

металлы, нержавеющая сталь Быстрорежущая сталь		полупроводниковые свойства, высокая термостойкость, низкий коэффициент трения	сложные и дорогие технологии производства
	Оксид алюминия Al_2O_3	Высокая твердость(2 место после алмаза), хорошая теплопроводность, отличная коррозионная стойкость, низкая плотность, высокая термостойкость, электроизоляционные свойства, не высокая стоимость	
	Нитрид кремния Si_3N_4	Высокая твердость и коррозионная стойкость, низкая плотность, высокая термостойкость, возможность прецизионной обработки	
	Диоксид циркония ZrO_2	Высокая твердость, хорошая теплопроводность, отличная коррозионная стойкость, высокий коэффициент термического расширения, самая высокая трещиностойкость среди керамики, низкая теплопроводность, высокая термостойкость, возможность использования в качестве твердого электролита	Дополнительно - высокая цена
	Твердые сплавы (на основе WC, TiC)	Высокая твердость, трещиностойкость, прочность, плотность	Дополнительно - высокая цена

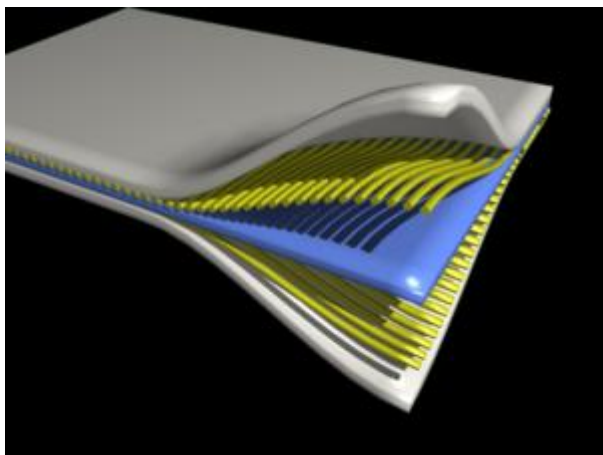
Объем производства керамических материалов стремительно растет. В такой стране как Япония, являющейся одним из лидеров в области производства керамических материалов продажи изделий из структурной керамики за восемнадцать лет выросли более чем в четыре раза. В 80-е годы прошлого столетия в промышленности Японии даже появился термин «керамическая лихорадка». Наибольший объем продаж керамических изделий наблюдается в сегменте производства полупроводниковой аппаратуры, однако, объем рынка производства автомобильных деталей занимает второе место, незначительно уступая лидеру. В настоящее время из керамических материалов на основе карбида кремния изготавливаются такие элементы двигателей внутреннего сгорания, как толкатели клапанов и сами выпускные клапаны, роторы турбокомпрессоров, а так же большое количество подшипниковых узлов прецизионных металлообрабатывающих станков. Занимающий второе место в рейтинге наиболее распространенных керамик, выпускающихся промышленностью Японии, диоксид циркония значительно дороже оксида кремния. Однако керамика, изготовленная из этого материала, обладает уникальными свойствами, в частности высоким сопротивлением распространению трещин, что позволяет использовать ее для производства деталей, работающих в условиях динамического нагружения. Поэтому циркониевая керамика считается в наиболее перспективной для изготовления деталей промышленных механизмов. Занимающие третье и четвертое места нитрид и карбид кремния в основном применяются в машиностроении для изготовления режущего и абразивного инструмента, а так же деталей машин работающих при повышенных температурах.

Потенциальные области применения керамических материалов в России

	Тип керамики	Отрасль промышленности	Вид изделий
	Алюмооксидная керамика	Электротехническая и электронная промышленность	Электроизоляционные детали, применяемые в производстве в качестве оболочек, выводов энергии, изоляторов
		Оборонная промышленность	Бронекерамика
		Атомная промышленность	Огнеупорные материалы
		Нефтегазовая промышленность	Керамические сопла гидромониторов бурильных установок, элементы запорной арматуры, керамические кольца для задвижек, керамические подшипники скольжения для насосов.
		Автомобильная промышленность	Торцевые уплотнения для пар трения, керамические композитные материалы, элементы запорной арматуры и др.
		Текстильная промышленность	Нитенаправители, глазки, фильеры ткацкого оборудования и т.п.
	Карбидная керамика	Все области машиностроения	Керамические износостойкие элементы
		Металлообрабатывающая промышленность	Абразивный и режущий инструмент
		Нефтегазовая промышленность	Рабочие части насосов
		Химическая промышленность	Торцевые уплотнения, запорная арматура, форсунки
		Энергетика	Теплостойкая арматура
	Циркониевая керамика	Медицина	Имплантаты
		Автомобиле и приборостроение	Кислородные датчики (анализаторы)
		Энергетика	Керамические топливные ячейки
		Металлообработка	Керамические режущие инструменты для обработки металлов, волочильный инструмент
		Прочие отрасли	искусственные инфракрасные излучатели, керамические фильтры
	Нитридная керамика	Электроника	Корпуса транзисторов, многослойные коммутационные платы, нагревательные элементы широкого применения.
		Двигателестроение	Сопловые лопатки, диски турбин, камеры сгорания, толкатели клапанов
		Химическая промышленность	Тигли, клапаны, уплотнительные кольца
		Металлургия	Хлороводы, пробки, футеровочные плиты
		Машиностроение -	Износостойкие элементы подшипников, оборудования текстильной промышленности, рабочие пластины

		режущих инструментов
	Электронная и электротехническая промышленность	Подложки микросхем
	Агрегаты для нетрадиционных источников энергии	Солнечные и ветровые энергетические установки, микроГЭС, установки для получения биогаза

7.4 Перспективы применения композиционных материалов



Композиционный материал это конструкционный (металлический или неметаллический) материал (КМ), в котором имеются усиливающие его элементы в виде нитей, волокон или хлопьев более прочного материала. Комбинируя объемное содержание компонентов, можно получать композиционные материалы с требуемыми значениями прочности, жаропрочности, модуля упругости, абразивной стойкости, а также создавать композиции с необходимыми магнитными, диэлектрическими, радиопоглощающими и

другими специальными свойствами.

По прогнозу экспертов, мировой рынок композитных материалов растет на 4 % в год, и в 2008 году достиг величины в 22 млрд. долларов. Российский рынок оценивается пока только в 150—200 млн. долларов, но ежегодно он прирастает почти на 20 %. В мировом потреблении композитных материалов (КМ) почти 23 % приходится на строительство и инфраструктуру, значительную долю занимает автомобилестроение — 21 %. 17 % КМ используется в авиации и космонавтике, 11 % — в производстве спортивных товаров, около 28 % использования КМ приходится на все остальные отрасли. Так, в новом суперлайнере компании Airbus A380 на долю КМ в общем весе самолета приходится почти 35 %. Основная причина такого бурного развития не только в более высоких характеристиках КМ по сравнению с традиционными материалами, но и в дороговизне последних.

По виду матрицы композиционные материалы подразделяются на два вида. Первый вид материалов состоит из металлической матрицы (чаще Al, Mg, Ni и их сплавы), упрочненной высокопрочными волокнами (волокнистые материалы) или тонкодисперсными тугоплавкими частицами, не растворяющимися в основном металле (дисперсно-упрочненные материалы). Композиционные материалы с неметаллической матрицей в качестве матрицы используют полимерные, углеродные и керамические материалы. Из полимерных матриц наибольшее распространение получили эпоксидная, фенолоформальдегидная и полиамидная. Свойства композиционных материалов зависят от состава компонентов, их сочетания, количественного соотношения и прочности связи между ними. Армирующие материалы могут быть в виде волокон, жгутов, нитей, лент, многослойных тканей. По виду упрочнителя композиционные материалы классифицируют на стекловолокниты, карбоволокниты с углеродными волокнами, борволокниты и органоволокниты.

Волокнистые композиционные материалы представляет собой слоистую структуру, в которой каждый слой армирован большим числом параллельных непрерывных волокон. Каждый слой можно армировать также непрерывными волокнами, сотканными в ткань, которая представляет собой исходную форму, по ширине и длине соответствующую конечному материалу. Нередко волокна сплетают в трехмерные структуры. В дисперсно-

упрочненных композиционных материалах матрица является основным элементом, несущим нагрузку, а дисперсные частицы тормозят движение в ней дислокаций. Дисперсно-упрочненные композиционные материалы могут быть получены на основе большинства применяемых в технике металлов и сплавов. Наиболее широко используют сплавы на основе алюминия.

Стекловолокниты – это композиция, состоящая из синтетической смолы, являющейся связующим, и стекловолокнистого наполнителя. В качестве наполнителя применяют непрерывное или короткое стекловолокно. Стекловолокниты могут работать при температурах от –60 до 200 °С, а также в тропических условиях, выдерживать большие инерционные перегрузки. Ионизирующие излучения мало влияют на их механические и электрические свойства. Из них изготавливают детали высокой прочности, с арматурой и резьбой.

Карбоволокниты (углепласты) представляют собой композиции, состоящие из полимерного связующего (матрицы) и упрочнителей в виде углеродных волокон (карбоволокон). Высокая энергия связи С-С углеродных волокон позволяет им сохранить прочность при очень высоких температурах (в нейтральной и восстановительной средах до 2200 °С), а также при низких температурах. Связующими служат синтетические полимеры (полимерные карбоволокниты); синтетические полимеры, подвергнутые пиролизу (коксованные карбоволокниты); пиролитический углерод (пироуглеродные карбоволокниты). Карбоволокниты отличаются высоким статистическим и динамическим сопротивлением усталости, сохраняют это свойство при нормальной и очень низкой температуре, они водо- и химически стойки.

Органоволокниты представляют собой композиционные материалы, состоящие из полимерного связующего и упрочнителей (наполнителей) в виде синтетических волокон. Такие материалы обладают малой массой, сравнительно высокими удельной прочностью и жесткостью, стабильны при действии знакопеременных нагрузок и резкой смене температуры. Для синтетических волокон потери прочности при текстильной переработке небольшие; они малочувствительны к повреждениям. В комбинированных материалах наряду с синтетическими волокнами применяют минеральные (стеклянные, карбоволокна и борволокна). Такие материалы обладают большей прочностью и жесткостью.

Наиболее перспективные виды композиционных материалов, их свойства и область применения приведены в таблице:

Тип матрицы	Материалы матриц	Материалы армирующие	Результирующий композит	Вид изготавливаемых деталей
Волокнистые композиты				
Металлические матрицы	Al и его сплавы	Борные волокна или волокна из карбидов, нитридов	Повышенные механические свойства	Корпусные детали, нагруженные конструкции, балки, детали фюзеляжей самолетов
	Mg и его сплавы	Борные волокна или волокна из карбидов, нитридов	Повышенные механические свойства	
	Ti и его сплавы	Молибденовая проволока, волокна сапфира, карбида кремния и борида титана.	Повышенные механические свойства	
	Никелевые сплавы	Вольфрамовая или молибденовая. Перспективными упрочнителями - нитевидные кристаллы из оксида и нитрида алюминия, карбида и нитрида	Повышенная жаропрочность	Лопатки турбин, нагруженные детали, работающие в условиях высоких

	Алюминиевые, магниевые и титановые сплавы	кремния, карбида бора и др. Непрерывные тугоплавкие волокна бора, карбида кремния, диборида титана и оксида алюминия	Повышенная жаропрочность	температур Цилиндры, поршни валы в ДВС, электро-теплогенераторах, работающие при 1600-2000 ⁰ С
Полимерная матрица	<u>Термопласты</u> (поликапроамид - капрон и найлон 6, полигексаметилен адипамид - анид и найлон <u>Фенопласты</u> (на основе фенолоформальдегидных смол; аминопласты (на основе меламино- и мочевиноформальдегидных смол); полиэфирные смолы (на основе эпоксидные (эпоксидиановые) смолы,).	термостойкие волокна полиоксидадиазольные волокна и нити <u>Волокна общего назначения</u> (полиамидные, полиэфирные, вязкие и др.) <u>Углеродные волокна, нити и углеволокнистые материалы</u> различных типов - карбонизованные и графитированные волокна	Высокая прочность, высокий модуль упругости, хорошие антифрикционные свойства, термостойкость	Корпусные изделия, корпуса бытового инструмента, вкладыши, прокладки, манжеты, валы, шестерни, труб, вентиля, кранов, насосов, мембран, уплотнительных прокладок, манжет
Дисперсно-упрочненные композиты				
Металлическая матрица	Алюминий	Оксид алюминия	САП(спеченный алюминиевый порошок). Высокая коррозионная стойкость, высокая длительная прочность	Штоки поршней, лопатки компрессоров, оболочки тепловыделяющих элементов и трубы теплообменников. авиационной и космической технике для изготовления лопаток газовых турбин,
	Никель	Двуокись тория	ВДУ-1. Высокая жаропрочность	
	Никель	Двуокись гафния	ВДУ-2. Высокая жаропрочность	
	Никель, хром 20 %	Оксид тория	ВД-3. Высокая жаропрочность	

				камер сгорания, теплозащитных панелей, а также сосудов и трубопроводов, работающих при высоких температурах в агрессивных средах
Полимерная матрица	Матрицами служат термо- и реактопласты	В дисперсно-наполненных пластиках используются органические и неорганические наполнители с частицами размером значительно меньше критического, включая короткие волокна,		Сфера применения схожа с волокнистым и полимерным композициям
Стекловолокниты				
Полимерная	Синтетические смолы	стекловолокно	АГ-4В, а также ДСВ. Высокая прочность и широкий температурный рабочий диапазон	Изоляция, кожухи, шланги, электротехнических деталей, деталей машиностроения (золотники, уплотнения насосов и т. д.).
Карбоволокниты				
Полимерная	Эпоксиднофенольные смолы	Углеродные волокна	КМЛ-1л. Высокое статическое и динамическое сопротивление усталости	Трубы, емкости, химической аппаратуры, химической, судостроительная и авиационная промышленность
	Полиамидные связующие	Углеродные волокна	КМЛ-2л. Высокое статическое и динамическое сопротивление усталости	
Бороволокниты				
Полимерная	Эпоксидные и полиамидные связующие	Борные волокна	КМБ-1, КМБ-2, КМБ-3. Высокая прочность при	Авиационная промышленность, лопатки

			сжатию, при сгибе, срезе, высокая твердость, теплопроводность и электропроводность.	и роторы компрессоров, лопасти винтов вертолетов

Литература

1. Н.Т.СОРОКИН Проблемы и тенденции развития российского машиностроения Журнал "[Автомобильная промышленность](#)", 2005 год, № 1 С.2-4.
2. <http://www.megansk.ru/partanalitics/> «Наше машиностроение в "коме". Кто виноват?»
3. <http://news.rusmet.ru/news/date/2009-04-22/> [Китай обогнал Германию по производству станков и оборудования](#)
4. <http://www.imc.kz/> «Машиностроение Германии»
5. <http://www.allmash.ru/content/view/> «Как возродить российское машиностроение?»
6. <http://www.sibai.ru/content/view/> «Поотрослевая перестройка в машиностроении»
7. В.В. Гутнев «Машиностроение - становой хребет экономики» «Умное производство», №2, август 2008
8. www.Equipnet.ru – «Производительность труда россиянина в десятки раз ниже, чем у европейца»
9. Схиртладзе А.Г. Технологические процессы в машиностроении. Уч пособие для машиностроит. спец. вузов –М.: Высш.шк.,2007-927с.
10. Чудина О.В. Комбинированные методы поверхностного упрочнения сталей с применением лазерного нагрева: Теория и технология /О. В. Чудина; Моск. автомобил.- дорож. ин-т (гос. техн. ун-т). - М.: МАДИ(ГТУ), 2003.- 248 с.
11. Ерофеев В.А. Прогнозирование качества электронно-лучевой и лазерной сварки на основе компьютерного моделирования: монография /В. А. Ерофеев; Под общ. ред. В. А. Судника, В. А. Фролова; М-во образования Рос. Федерации, Тул. гос. ун-т. - Тула: ТулГУ, 2002.- 139 с.
12. LIA handbook of laser materials processing: сборник /Ed. in chief: J.F. Ready. - Orlando: Laser inst. of America, 2001.- XXV,715 p.: a-III.. - ISBN 0-912035-15-3. Перевод заглавия: Справочник лазерного института Америки по лазерной обработке материалов.
13. Steen W.M. Laser material processing /W. M. Steen. - London: Springer, 2003.- XV,406 p. Перевод заглавия: Лазерная обработка материалов.
14. Забелин А.М. Лазерные технологии машиностроения: учеб. пособие /А. М. Забелин, А. М. Оришич, А. М. Чирков. - Новосибирск: Новосиб. гос. ун-т, 2004.- 141 с.
15. Тепловые, гидродинамические и плазменные эффекты при взаимодействии лазерного излучения с веществом /[Н. С. Захаров, В. Д. Урлин, Н. И. Шенцев и др.]; под общ. ред. Н. С. Захарова [и др.]; РФЯЦ-ВНИИЭФ. - Саров: РФЯЦ-ВНИИЭФ, 2004.- 425 с.
16. R. Bini, В.М. Colosimo, А.Е. Kutlu, М. Monno. Experimental study of the features of the kerf generated by a 200A high tolerance plasma arc cutting system. Journal of materials processing technology 196 (2008) 345–355/
17. K. Bobzin, F. Ernst, K. Richardt, T. Schlaefer, C. Verpoort, G. Flores. Thermal spraying of cylinder bores with the Plasma Transferred Wire Arc process. Surface & Coatings Technology 202 (2008) 4438–4443
18. Генерация низкотемпературной плазмы и плазменные технологии: проблемы и перспективы /[Ф. Жуков, В.М. Фомин, Б.А. Урюков и др.]; Отв. ред. В.М. Фомин, И.М. Засыпкин; Рос. акад. наук, Сиб. отд-ние, Ин-т теорет. и практ. мех. - Новосибирск: Наука, 2004.- 464 с.
19. Клебанов Ю.Д. Физические основы применения концентрированных потоков энергии в технологиях обработки материалов: [учеб. для вузов по направлению "Конструкт.-технол. обеспечение машиностроит. пр-в"] /Клебанов Ю. Д., Григорьев С. Н.; Федер. агентство по образованию, Моск. гос. технол. ун-т "Станкин", Учеб.-метод. об-ние по образованию в обл. автоматизир. машиностроения. - 2-е изд.. - М.; М.: МГТУ "Станкин"; Янус-К, 2005.- 220 с.
20. Roth J. R. Industrial plasma engineering /J. R. Roth. - Briston: Inst. of physics, 1995- Перевод заглавия: Промышленная плазменная техника.
21. Е.Л. Шейнман. Современная классификация и тенденции развития ОМД в США. "Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением", 2007 № 4.

22. Филиппова Марина Владимировна. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. “Малоотходная полугорячая штамповка малогабаритных деталей выдавливанием в закрытых штампах”. Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова.
23. Е.Н. Ланской д-р технических наук. Некоторые тенденции развития технологии холодной обработки давлением листов, труб и профилей. По страницам журнала “Blech, Rohle, Profile”. “Обработка материалов давлением” 2005 № 11.
24. Peter Groche, Christoph Metz “Hydroforming of unwelded metal sheets using active-elastic tools”, Journal of Materials Processing Technology 168 (2005) 195–201.
25. S.H. Zhang, Z.R. Wang, Y. Xua, Z.T. Wang, L.X. Zhoua “Recent developments in sheet hydroforming technology”, Journal of Materials Processing Technology 151 (2004) 237–241.
26. Международная научно-техническая конференция “Прогрессивные методы и технологическое оснащение процессов обработки металлов давлением” 11-14 октября 2005 г в Балтийском государственном техническом университете им. Д.Ф. Устинова (Санкт-Петербург). Доклад И.М. Володина “Развитие основ проектирования многопереходных процессов горячей объёмной штамповки”(Липецкий государственный технический университет, Россия) Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. 2005. № 2.
27. Мовшович И.Я., Горелик Б.В. Повышение стойкости режущих элементов штампов методом вакуумно-плазменного упрочнения. “Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением”, № 6, 2005 г.
28. Григорьев С.Н., Шеин А.А. Влияние вакуумно-плазменных покрытий на эксплуатационные характеристики инструмента для вытяжки. “Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением”, № 1, 2005 г.
29. Дибров И.А. Состояние и перспективы развития литейного производства в России. Труды 8-го съезда литейщиков России, т.1, сс. 3-11. г. Ростов-на-Дону, 23-27 апреля 2007 г
30. Ткаченко С.С. Состояние литейного производства в станкостроительной отрасли. Доклад на конференции в рамках выставки «Российский промышленник-2007», г. Санкт-Петербург, 02-05 октября 2007 г.
31. [<http://www.souzlit.ru/251.html>]
32. [<http://www.rosalit.ru/>]
33. [<http://mlzavod.ru/load/2-1-0-10>]
34. [<http://mlzavod.ru/load/2-1-0-11>]
35. <http://souzlit.ru/60.html>
36. [<http://www.yatagan.ru/use/litmet.php>]
37. [<http://www.biysk.ru/~zimin/00600/00551.html>]
38. [<http://mlzavod.ru/blog/2009-01-05-3>]
39. [<http://mlzavod.ru/blog/2009-01-05-4>]
40. [Шуляк В.С. О состоянии и развитии производства отливок литьём по газифицируемым моделям в России. Доклад в сб. трудов 1-й Международной научно-практической конференции «Литьё по газифицируемым моделям», - СПб.: 2007.- 58 с.]
41. <http://souzlit.ru/62.html>]
42. <http://www.yatagan.ru/use/litmet.php>]
43. <http://www.opoka.ru/>]
44. <http://www.cad.dp.ua/obzor.php>
45. <http://www.bytemag.ru/articles/detail.php?ID=8947>
46. http://www.equipnet.ru/analytics/machine/machine_348.html
47. <http://www.cad.dp.ua/obzors/cads.php>
48. <http://technopolus.ru/products/modernize/cnc5.html>
- 49.

nct.ru/index.php?page=t_flex&PHPSESSID=8b9ce74d80a890b27da947ae8847ee1e

50. <http://www.solver.ru/products/cadprod/partmaker.asp>
51. <http://www.stankoinform.ru/article/DMG.htm>
52. <http://www.tochmeh.ru/info/stanki10.php>
53. <http://www.ygtehsnab.com/articles/itogi/>
54. Shaohui Yin, Hitoshi Ohmori, Yutang Dai, Yoshihiro Uehara, Fengjun Chen a, Hengning Tang a. ELID grinding characteristics of glass-ceramic materials. International Journal of Machine Tools & Manufacture. Accepted 23 October 2008
55. Sanjeev Kumara, Rupinder Singhb, T.P. Singhc, B.L. Seth. Surface modification by electrical discharge machining: A review. Journal of Materials Processing Technology. Accepted 18 September 2008.
56. В.Н. Анциферов, Г.В. Бобров, Л.К. Дружинин и др. Порошковая металлургия и напыление покрытий: Учебник для вузов. – М.: Металлургия. – 1987. – 792 с.
57. <http://zakon2006.by.ru/part01/doc10634.shtm> / Государственная программа развития порошковой металлургии и сварки в Белоруссии на 2003-2007 годы
58. <http://www.textfind.ru/40/13-07-2002/72076.html> / статья о потреблении порошковых материалов автомобильной промышленностью Северной Америкой
59. <http://www.raiffeisen.ru/common/img/uploaded/files/corporate/cbonds/Koks-2007-2-InfoMemo.pdf> / Информационный меморандум март 2007 г
60. <http://www.sial.fis.ru/fis/site/Home.page> / сайт ЗАО «СИАЛ»
61. <http://ru.nevz.ru/> - сайт ОАО «НЭВЗ-Союз»
62. Л.И. Тушинский Методы исследований материалов: Структура, свойства и процессы нанесения покрытий / Тушинский Л.И., Плохов А.В., Токарев А.О., Синдеев В.И. – М.: Мир, 2004. – 384 с.
63. <http://www.graton.su/tribo14.pdf> / краткий обзор о методах нанесения покрытий
64. <http://www.svarkainfo.ru/rus/lib/blog/?aid=17&docId=201/> Защита изделий энергетического оборудования с применением активированной дуговой металлизации
65. <http://www.svarkainfo.ru/rus/lib/blog/?aid=17&docId=274/> Сравнение газопламенных сверхзвуковых способов нанесения покрытий
66. <http://www.tspc.ru/oborud/APS/> описание комплекса плазменного напыления ТСЗП - MF – P – 1000 для нанесения покрытий плазменным методом
67. <http://www.tspc.ru/tech/GZ.php/> описание технологии газопламенного напыления для восстановления геометрии деталей
68. http://gfpufa.ru/files/1_price.xls/ прайс на оказание услуг по гальванике ОАО УПО «Геофизприбор»
69. <http://vysokie.ru/articles/5.html/> статья о нанесении полимерных порошковых композиций на металлические и неметаллические изделия
70. http://www.selfmake.info/2007/10/19/mirovojj_rynok_coil_coating_pokrytij.html/ Импорт и экспорт стали с п/п странами Западной Европы в 2006 году
71. http://www.polymer.ru/blog.php?id_company=82&n_id=2801&category=item&page=1/ Стальной прокат с полимерным покрытием: анализ мирового рынка
72. <http://www.nanoindustry.su/issue/2007/4/5/> Статья о методах и оборудовании для нанесения износостойких покрытий
73. Журнал «Сварка и резка» www.svarkainfo.ru/rus/lib/blog Тенденции развития технологий соединения – добавленная стоимость с помощью сварочных технологий
74. Журнал «Сварка и резка» www.svarkainfo.ru/rus/lib/blog Автоген, плазма, лазер. Какой из способов резки наиболее приемлем?
75. Журнал «Сварка и резка» www.svarkainfo.ru/rus/lib/blog Конденсаторная сварка: быстрая, экологичная сварка высокими токами
76. Журнал «Сварка и резка» www.svarkainfo.ru/rus/lib/blog Новые технологические возможности современного сварочного оборудования
77. A review of laser welding techniques for magnesium alloys X. Cao*, M. Jahazi, J.P.

- Immarigeon, W. Wallace *Journal of Materials Processing Technology* 171 (2006) 188–204
78. Resistance welding of thermoplastic composites-an overview D. Stavrov*, H.E.N. Bersee *Composites: Part A* 36 (2005) 39–54
79. Recent advances in friction-stir welding – Process, weldment structure and properties R. Nandan a, T. DebRoy a,*, H.K.D.H. Bhadeshia b *Progress in Materials Science* 53 (2008) 980–1023
80. Recent trends in surface finishing for automobile industry in Germany W. Paatsch* *Surface and Coatings Technology* 169–170 (2003) 753–757
81. Automotive and industrial applications of structural ceramics in Japan Akira Okada* *Journal of the European Ceramic Society* 28 (2008) 1097–1104
82. Fabrication of metal matrix composites by metal injection molding—A review Hezhou Yea, Xing Yang Liub, Hanping Honga. *Journal of materials processing technology* 200 (2008) 12–24
83. Перспективы развития композитостроения в России [электронный ресурс] http://www.steklo-tech.ru/Company/obzor_6.htm
84. «Прочнее, тверже, долговечнее» статья Романа Бабича. Опубликовано в международном специализированном журнале "Полимеры - деньги", 3/2006 [Электронный ресурс] <http://www.tana.lg.ua/about/publications/prochnee-tverzhe-dolgovechnee-1>
85. «Наполнители для полимеров» статья Романа Бабича. Опубликовано в международном специализированном журнале "Полимеры - деньги", 3/2006 [электронный ресурс] <http://www.tana.lg.ua/about/publications/napolniteli-dlya-polimerov-1>
86. Вместо стали и бетона все чаще используют композитные материалы [электронный ресурс] <http://ecraft.ru/analytics/418/>
87. Применение композиционных материалов на железнодорожном транспорте [электронный ресурс] <http://www.css-rzd.ru/zdm/07-1999/8385.htm>
88. Мнения и оценки. Тенденции рынка [электронный ресурс] http://www.polymer.ru/fold.php?cat_id=10&cat_parent=9
89. Полимерные композиты на основе химических волокон, их основные виды, свойства и применение [электронный ресурс] <http://www.rustm.net/catalog/article/185.html>
90. Журнал полимеры-деньги [электронный ресурс] <http://polymers-money.com/journal/archive/>
91. КОНСТРУКЦИОННЫЕ ПЛАСТИКИ В КИТАЕ: тенденции, проекты [электронный ресурс] http://www.newchemistry.ru/printletter.php?n_id=2117
92. Конструкционные пластмассы [электронный ресурс] <http://www.ftorotex.com/?id=403>
93. «Коротко о рынке полимерных композиционных материалов» статья Романа Бабича. Опубликовано в международном специализированном журнале "Полимеры - деньги", 1/2006 [электронный ресурс] <http://www.tana.lg.ua/about/publications/korotko-o-rynke-polimernyh-kompozicionnyh-materialov>
94. Конструкционные пластики в Китае : тенденции, проекты [электронный ресурс] <http://www.inpolimer.ru/articles/31/konstruktsionnye-plastiki-v-kitae-tendentsii-proekty>