

СЕКЦИЯ II МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТЕХНОЛОГИЯ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ СООБЩАЕМОГО ЗАГОТОВКЕ ПЕРИОДИЧЕСКОГО ЦИРКУЛЯЦИОННОГО ДВИЖЕНИЯ НА ИНТЕНСИВНОСТЬ ЕЕ РАСПИЛИВАНИЯ

Д. А. Ямная, А. В. Дроздов

Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь

Научный руководитель М. Г. Киселев

Цель данной работы заключается в количественной оценке влияния сообщаемого заготовке периодического циркуляционного движения на повышение интенсивности ее распиливания по сравнению с традиционной обработкой.

В исследованиях используется промышленная распиловочная секция станка ШП-2, применяемая для разделения монокристаллов алмаза на части (полуфабрикаты), которая оснащена специальным виброприводом, придающим заготовке периодическое циркуляционное двухмерное движение (рис. 1).

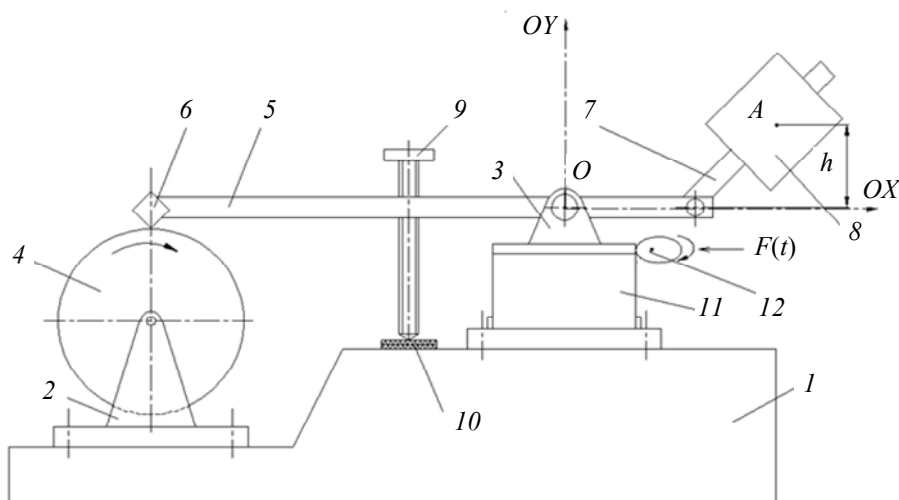


Рис. 1. Принципиальная схема распиловочной секции, обеспечивающей периодическое циркуляционное движение заготовки

Распиловочная секция состоит из массивной чугунной плиты 1, на которой закреплены две пары стоек 2 и 3. В паре стоек 2 устанавливается шпиндель с закрепленным на нем распиловочным диском 4. Вращение шпинделю с частотой 10000 мин^{-1} передается от вала асинхронного электродвигателя с помощью плоскоременной передачи.

В паре стоек 3 смонтирован узел опоры рычага 5 (стрелы), обеспечивающий его качение с минимальным трением. На одном конце стрелы в специальном приспособ-

лении закреплен обрабатываемый кристалл алмаза 6, а на другом – смонтирован узел противовеса, включающий поворотный рычаг 7, на котором установлен груз 8.

Статическое усилие прижатия алмазной заготовки к торцевой поверхности распиловочного диска обеспечивается путем придания стреле неуравновешенного состояния за счет соответствующего изменения положения груза на поворотном рычаге.

Стрела в рабочем положении поддерживается с помощью регулировочного винта 9, который опирается на резиновую прокладку 10, благодаря чему достигается плавное изменение усилия прижатия заготовки к торцевой поверхности распиловочного диска. По мере увеличения глубины пропила винт периодически выворачивается, чем обеспечивается врезная подача в процессе распиливания алмазной заготовки.

Принципиальное отличие данной конструкции распиловочной секции от традиционной состоит в том, что узел качания стрелы (пара стоек 3) установлен на плоских пружинах 11, образующих параллелограмный подвес, допускающий перемещение оси качания стрелы (точка *O*) вдоль оси *OX*. Для сообщения этому узлу вынужденных колебаний применен механический (эксцентриковый) вибратор 12 с приводом от электродвигателя постоянного тока (на рис. 1 он не показан).

С помощью цифровой фотокамеры, работающей в режиме киносъемки (с последующей разбивкой фильма на 25 кадров в секунду) экспериментально определены траектории движения точки, принадлежащей заготовке, при сообщении узлу качания стрелы вынужденных синусоидальных колебаний частотой 6,6 Гц и амплитудой 6 мм при различных положениях центра тяжести узла противовеса относительно оси качания стрелы.

Установлено, что точка, принадлежащая заготовке, перемещается в плоскости распиливания по замкнутой траектории с образованием фигур Лиссажу, т. е. совершает периодическое циркуляционное движение. Это является принципиальным отличием от ранее используемых способов интенсификации процесса распиливания путем сообщения заготовке одномерных колебательных смещений, направленных перпендикулярно торцевой (режущей) поверхности диска [1], [2].

В ходе проведения экспериментов на модернизированной распиловочной секции использовались специально подготовленные образцы в виде прямоугольных параллелепипедов размером 5 × 5 × 10 мм. Они изготавливались из яшмы, кварцевого стекла, синтетического корунда, которые имеют твердость по шкале Мооса соответственно 6,5; 7 и 9 единиц. Образцы из указанных материалов распиливались с фиксированием времени обработки как в обычных условиях, так и при сообщении им периодического циркуляционного движения, траектория которого имела форму, близкую к эллипсу. После разделения образцов на полуфабрикаты измерялись размеры сторон квадратного сечения и определялась фактическая площадь распиливания образца. На основе полученных экспериментальных данных вычислялась интенсивность распиливания по формуле

$$i = \frac{S}{t} \text{ (мм}^2\text{/мин),}$$

где *t* – время распиливания; *S* – фактическая площадь распиливания.

На рис. 2 представлена диаграмма зависимости интенсивности распиливания образцов при их обработке в обычных условиях и с применением колебаний.

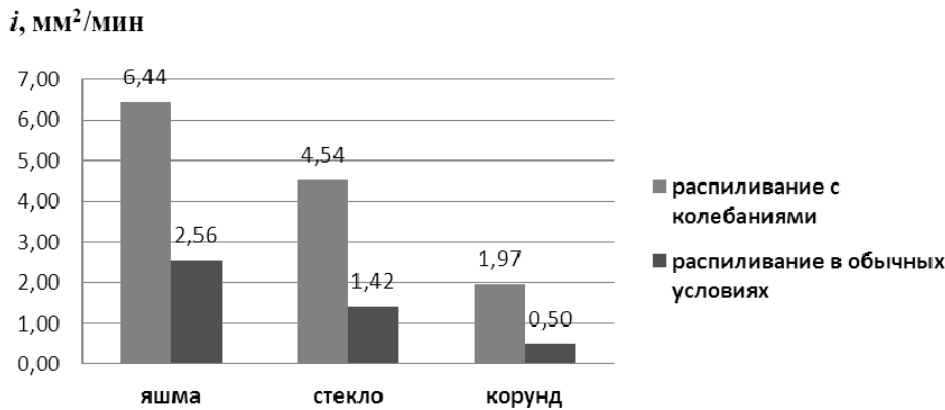


Рис. 2. Значения интенсивности распиливания образцов при их обработке в обычных условиях и с колебаниями

Из диаграммы видно, что при сообщении заготовке периодического циркуляционного движения во всех случаях значительно повышает значение интенсивности распиливания. При этом как в обычных условиях обработки, так и с колебаниями по мере увеличения твердости образца значение интенсивности его распиливания снижается.

С целью количественной оценки степени влияния сообщаемого образцу периодического циркуляционного движения на повышение интенсивности его распиливания используется коэффициент эффективности, значение которого вычисляется по формуле

$$\mathcal{E} = \left(1 - \frac{i}{i_k} \right) 100 \%,$$

где i и i_k – соответственно интенсивность распиливания в обычных условиях и с колебаниями.

Из приведенных на рис. 3 данных видно, что с увеличением твердости обрабатываемого образца степень влияния сообщаемого ему периодического циркуляционного движения на повышение интенсивности распиливания возрастает.

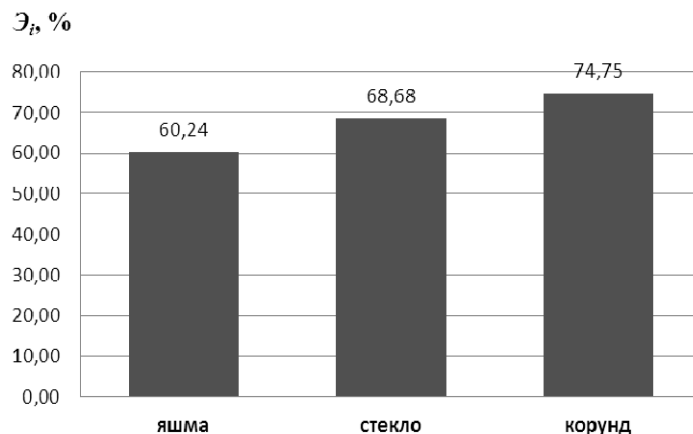


Рис. 3. Значения коэффициентов эффективности влияния колебаний на повышение интенсивности распиливания образцов

Таким образом, экспериментально установлено, что путем сообщения заготовке периодического двухмерного циркуляционного движения с траекторией, близкой к эллипсу, можно существенно (от 2,5 до 3,5 раз) повысить интенсивность ее распиливания. При этом с увеличением твердости обрабатываемого материала эффективность воздействия этого движения на повышение интенсивности распиливания возрастает, что свидетельствует о перспективности использования предложенного способа обработки для интенсификации процесса распиливания монокристаллов алмаза.

Л и т е р а т у р а

1. Киселев, М. Г. Повышение режущей способности распиловочных дисков путем применения виброударного режима обработки / М. Г. Киселев, А. В. Дроздов, А. С. Словеснов // Порошковая металлургия, композиционные материалы, защитные покрытия, сварка : материалы докл. 6 междунар. науч.-техн. конф. – Минск, 2004. – С. 301–303.
2. Киселев, М. Г. Влияние режимов виброударного распиливания сверхтвердых материалов на режущую способность и износостойкость шаржированных алмазами распиловочных дисков / М. Г. Киселев, А. В. Дроздов // Порошковая металлургия : респ. межвед. сб. науч. тр. – Минск, 2008. – Вып. 31. – С. 151–155.

ПРИМЕНЕНИЕ ЭНЕРГИИ УЛЬТРАЗВУКА В ПРОЦЕССЕ ЭЛЕКТРОКОНТАКТНОЙ ОБРАБОТКИ ИМПЛАНТАТОВ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПОЛУЧАЕМЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

В. А. Борисов

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

Научный руководитель М. Г. Киселев

Разработка методов лечения заболеваний, наносящих наибольший социально-экономический ущерб обществу, создание новых биофизических и генно-инженерных методов, приборов и технологий для этих целей относятся к числу важнейших приоритетных направлений научно-технической деятельности Республики Беларусь.

Несмотря на существующие достижения, проблема разработки и применения современных имплантационных хирургических материалов и изделий в медицине остается исследованной лишь частично, а потому актуальной. Способность имплантата активно выполнять свои функции в течение длительного времени во многих отношениях определяется свойствами материала, состоянием его поверхности, проявляющимся во взаимодействии с окружающими тканями и биологическими жидкостями.

Одним из перспективных направлений разработки новых имплантатов и изделий является модификация поверхности материалов различными физико-химическими методами [1]: создание заданной шероховатости поверхности, формирование на поверхности разнообразных покрытий. Однако в настоящее время не существует надежных критериев, однозначно связывающих физико-химические свойства поверхности имплантата, его биомеханические параметры и его интеграцию в тканях организма.

В ходе проводимых исследований была произведена оценка влияния электроконтактной обработки (ЭКО) с ультразвуком на формирование поверхностей имплантатов. Во время исследований были использованы следующие металлы: титан BT1-00 и коррозионно-устойчивая сталь 08H17H13M2T, как наиболее часто применяемые в ортопедии материалы для изготовления имплантатов. На данный момент для формирования поверхностей имплантатов используется дробеструйная и

пескоструйная обработка. Они обеспечивают формирование шероховатости поверхности без направленных следов обработки, т. е. так называемую «безразличную» шероховатость, что исключает анизотропию параметров ее микрорельефа. Однако в результате механических деформаций поверхностного слоя металла возникают участки поверхности с острыми кромками (рис. 1, а), что в некоторых случаях, в результате действующих на помещенный в тело пациента имплантат приводит к истиранию поверхности, с которой он контактирует.

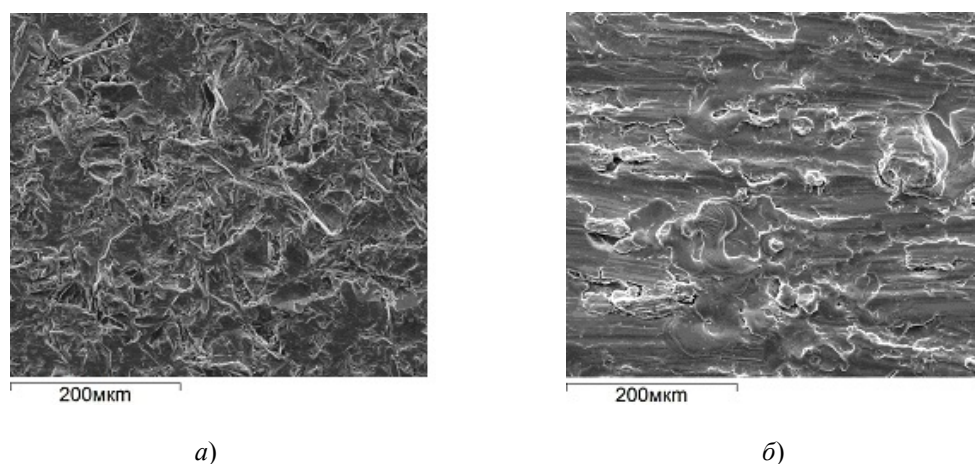


Рис. 1. Фотографии поверхности титанового образца после обработки роликом с применением свободного абразива (а) и ее ЭКО с ультразвуком (б)

Применение электроконтактной обработки с ультразвуком [2] также позволяет получать поверхности с безразличной шероховатостью. Электроконтактная обработка является разновидностью электроэрозионной обработки, которая основана на использовании явления электрической эрозии – направленного разрушения электропроводящих материалов в результате кратковременного теплового действия импульсных электрических разрядов между инструментом и заготовкой в жидкой диэлектрической среде, отличием же ее от электроэрозионной обработки является формирование электрического импульса непосредственно в промежутке. Таким образом, разряд возникает на определенном расстоянии между электродами, переходит в дуговой и вызывает расплавление металла. В силу вращения электрода-инструмента выступ на его поверхности удаляется от заготовки и разряд в среде диэлектрика быстро затухает. Понятно, что в этом случае длительность и частота следования импульсов тока будет зависеть от формы и числа выступов на наружной поверхности инструмента и от скорости его вращения. В принципе вращающийся электрод-инструмент сам регулирует параметры импульсов, поэтому не требуется специального генератора, а используется постоянный или переменный ток низкого напряжения. Причем на поверхности имплантата, получаемого таким образом (рис. 1, б), отсутствуют какие-либо острые кромки, а переход между лунками представляет собой сглаженные микровыступы. Совершенно очевидно, что данный метод имеет преимущество перед методами, известными ранее, описанными в литературе (дробеструйная и пескоструйная обработка).

Целью исследований в данной работе явилось определение характеристик состояния свойств поверхности образцов имплантатов. Были проведены исследования по оценке таких свойств поверхности, как ее удельная емкость, смачиваемость, прочность сцепления с биоматериалом при сдвиге, а также параметры шероховатости.

Измерение параметров шероховатости поверхности титановых образцов осуществлялось с помощью измерительной системы фирмы Taylor Hobson. Измерение шероховатости поверхности проводилось на плоских образцах. На каждом из них выполнялось измерение шероховатости в четырех равномерно расположенных по окружности зонах обработанной дорожки и в каждой из них в двух взаимно перпендикулярных направлениях. В связи с тем, что примененные методы обработки поверхностей образцов характеризуются формированием произвольного (безразличного) направления шероховатости, то за окончательное значение того или иного ее параметра принимали среднее арифметическое значение полученных результатов измерения.

Для определения смачиваемости поверхности имплантата биологической жидкостью применялся метод лежащей капли, в результате чего определялся краевой угол смачивания. В качестве биологической жидкости использовалась плазма крови человека, которая с помощью шприца наносилась на поверхность образца в виде равноразмерных капель. Затем с помощью цифрового фотоаппарата производилась съемка увеличенного с помощью катетометра КМ-6 профиля полученной на поверхности образца капли.

Важным функциональным показателем поверхности имплантатов является их удельная поверхность. Чем выше ее значения при данных параметрах шероховатости поверхности, тем выше ее адсорбционная способность, а соответственно, и выше ее потенциальная биоактивность.

В свою очередь удельная поверхность напрямую связана с таким ее показателем, как удельная емкость, которая характеризуется количеством жидкости, которая может быть удержана данной поверхностью в расчете на единицу ее номинальной площади. Процедура этих измерений заключается в следующем. Предварительно с точностью 0,01 мм измеряются параметры обрабатываемой дорожки на титановом образце. Затем с помощью лабораторных весов Explorer с точностью 0,1 мг взвешивается данный образец. После этого он закрепляется в приспособлении, которое установлено на вертикально расположенном валу электродвигателя постоянного тока МА-40А3 таким образом, чтобы исследуемая поверхность образца находилась в горизонтальной плоскости. Затем на обработанную поверхность кольцевой дорожки на образце с помощью кисточки равномерным слоем наносилась плазма крови. После этого включался электродвигатель с постепенным увеличением частоты вращения его вала, вплоть до 1000 мин^{-1} в течение 20 с. Под действием возникающих центробежных сил излишки плазмы крови удалялись с поверхности образца и на ней оставалась только та ее часть, которая удерживается поверхностью с данным микрорельефом. После выключения электродвигателя образец снимался, после чего производилось его повторное взвешивание, сравнение полученного значения массы с исходным и определение удельной емкости.

Для определения прочности сцепления с биоматериалами при сдвиге использовалась пара образцов с нанесенной на их поверхность плазмой крови, которые помещались под аттестованный груз массой 500 г на 6 ч при комнатной температуре. Далее склеенные плазмой образцы закреплялись в оправке в вертикальном положении. Один из них нагружался пластмассовой емкостью, в которую при помощи шприца постепенно добавлялась вода до тех пор, пока не произойдет отрыв контрольного образца. Усилие отрыва определялось путем взвешивания емкости с водой на весах с точностью 1 г.

В результате проведенных исследований было установлено следующее:

1. Наряду с традиционно применяемыми способами модификации поверхностей металлических имплантатов (песко- и дробеструйная обработка) перспективным яв-

ляется использование электроконтактной обработки (ЭКО). Поверхность после такой обработки приобретает кратерообразный характер с ярко выраженными углублениями в виде множества перекрывающихся друг друга лунок, которые в отличие от песко- и дробеструйной обработки формируются не в результате ударного воздействия на металл поверхностного слоя твердых частиц, а за счет расплавления и испарения металла под действием электрической эрозии.

2. С целью расширения технологических возможностей ЭКО и, в первую очередь, повышения качества обработанной поверхности предложено осуществлять ее электродом роликом при сообщении ему ультразвуковых колебаний, обеспечивающих виброударный (дискретный) режим его взаимодействия с поверхностью электрода-заготовки.

3. Получены новые данные и закономерности, отражающие влияние предложенных способов модификации поверхности титановых имплантатов на их биомеханические характеристики. На их основе показана высокая эффективность и перспективность применения нового способа модификации поверхности металлических имплантатов – электроконтактной обработки с ультразвуком, которая обеспечивает наилучшие ее свойства, такие как: удельная емкость, смачиваемость, прочность сцепления с биоматериалом при сдвиге, а также параметры шероховатости.

Литература

1. Справочник по электрохимическим и электрофизическим методам обработки / под общ. ред. В. А. Волосатова. – Л. : Машиностроение ; Ленингр. отд-ние, 1988. – 719 с.
2. Киселев, М. Г. Ультразвук в поверхностной обработке материалов / М. Г. Киселев, В. Т. Минченя, В. А. Ибрагимов ; под ред. М. Г. Киселева. – Минск : Тесей, 2001. – 344 с.

ИЗМЕНЕНИЕ КОРРОЗИОННОЙ СТОЙКОСТИ ЧУГУНОВ ПРИ ОБРАБОТКЕ ПРОВОЛОЧНЫМ ИНСТРУМЕНТОМ

Е. Ф. Коновалова, А. Ф. Скробот

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

Научный руководитель И. Л. Баршай

Качество поверхности деталей оказывает существенное влияние на их эксплуатационные показатели: износо- и коррозионную стойкость, усталостную прочность и др. Большую роль в обеспечении эксплуатационных показателей деталей играют процессы формирования топографии, шероховатости и упрочнения их поверхности. С этой целью 85–90 % изготавливаемых деталей подвергаются финишной и упрочняющей обработке [1].

Одним из перспективных методов обработки для формирования качества поверхности и эксплуатационных показателей деталей машин является иглофрезерование. Режущими элементами иглофрезы являются проволочные элементы малого диаметра ($d = 0,2–1,0$ мм) с высокой (до 40–80 %) плотностью упаковки. Материал проволочных элементов – легированные пружинные стали 51ХФА, 60С2А, 65С2ВА и др. Особенность геометрии режущих элементов иглофрезы – незначительный радиус округления режущей кромки, которая в процессе работы самозатачивается. Это обеспечивает при реверсировании вращения инструмента его работу без переточек.

Результаты ранее выполненных исследований [2] позволили выбрать следующие значения параметров режима иглофрезерования, принятые за основной уровень в данном эксперименте: $v = 280$ м/мин; подачу $S = 390$ мм/мин и натяг $i = 0,3$ (см. таблицу).

Условия проведения опыта

Номер опыта	v – скорость резания, м/мин	S – подача, мм/мин	i – натяг, мм
1	140	195	0,15
2	70	292	0,08
3	210	98	0,22
4	255	244	0,04
5	105	49	0,19
6	175	146	0,11
7	35	341	0,26

Электрохимический метод исследования коррозионной стойкости чугунов заключается в измерении электродного потенциала подготовленных чугунных образцов с помощью потенциостата ПИ-50-1 относительно хлорсеребряного электрода сравнения при температуре 19 ± 1 °С (рис. 1).

Для проведения ускоренных коррозионных испытаний в качестве коррозионной среды применяли 3%-й раствор хлорида натрия, в котором коррозия чугунов протекает с кислородной деполяризацией, как и в атмосферных условиях. Объем коррозионной среды устанавливали в зависимости от величины поверхности образцов из расчета 30–50 мл раствора на 1 см^2 испытуемой поверхности. Продолжительность испытаний 3 ч. Через каждые 20 мин регистрировали значения потенциалов.

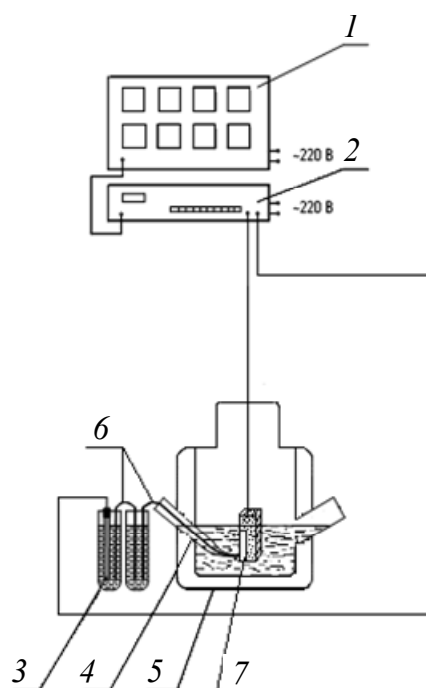


Рис. 1. Схема измерения потенциала:

- 1 – потенциостат ПИ-50-1; 2 – программатор ПР-8; 3 – хлорсеребряный электрод сравнения; 4 – капилляр Луггина; 5 – ячейка; 6 – солевой мост; 7 – исследуемый образец

Измеренные значения потенциала ($E_{изм}$) пересчитывали в шкалу нормального водородного электрода (н.в.э.) по формуле

$$E = E_{изм} + E_{х.с.},$$

где $E_{х.с.} = 0,22$ В – потенциал хлорсеребряного электрода.

По временным зависимостям электродных потенциалов чугунов в коррозионной среде определяли тангенс угла наклона касательной, проведенной в точках, выбранных на различных участках кривой. Скорость изменения потенциала во времени $\Delta E/\Delta \tau = f(\tau)$, косвенно определяет коррозионное поведение образцов [3].

В результате обработки экспериментальных данных были получены следующие зависимости режима иглофрезерования на коррозионную стойкость по потенциалу $E_{ст}$, мВ:

$$\text{СЧ15: } E_{ст} = -396,800 - 0,035 v + 0,006 S - 19,477 i;$$

$$\text{СЧ25: } E_{ст} = -407,705 - 0,030 v - 0,011 S + 20,174 i;$$

$$\text{ВЧ50: } E_{ст} = -421,291 + 0,037 v - 0,017 S - 41,618 i.$$

К сдвигу стационарных потенциалов чугунов в электроположительную сторону приводят: для СЧ15 – увеличение подачи S , для СЧ25 – увеличение натяга i , для ВЧ50 – увеличение скорость резания v (рис. 2).

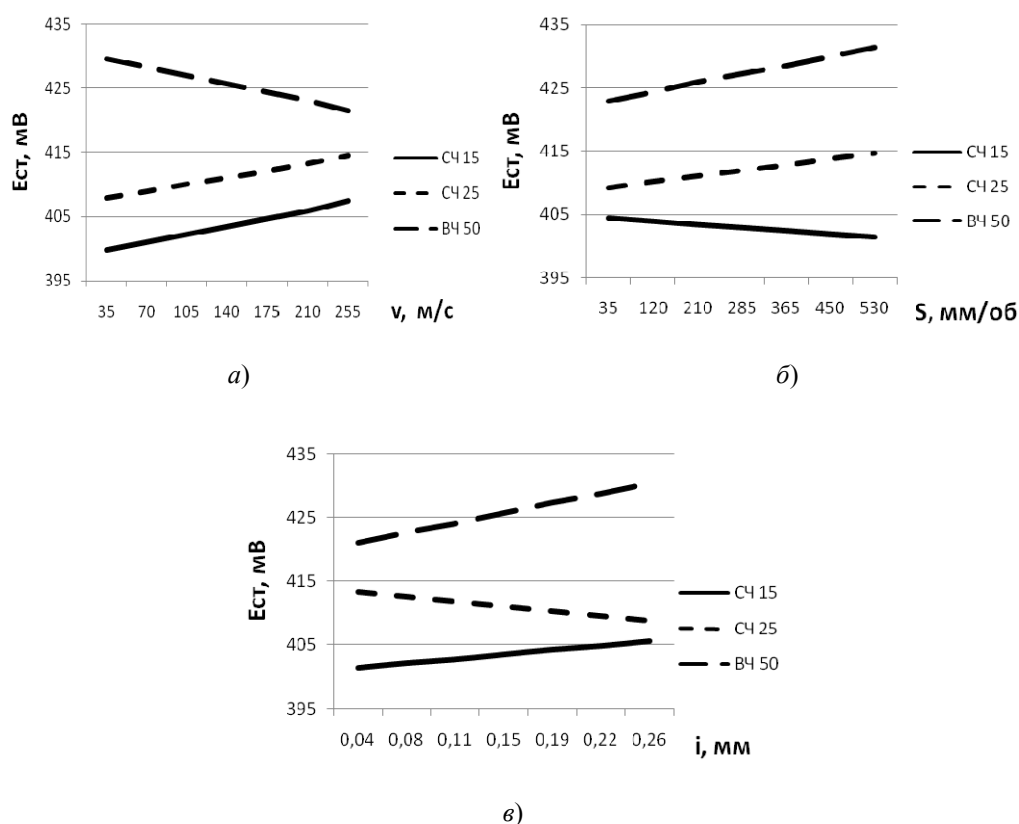


Рис. 2. Влияние параметров режима иглофрезерования на изменение значений стационарного потенциала образцов из чугуна (величина $E_{ст}$ на графиках указана по модулю): а – скорости резания v ; б – подачи S ; в – натяга i

Установлено, что потенциалы образцов из указанных марок чугунов до иглофрезерования составлял: СЧ15 – –462 мВ (н.в.э.); СЧ25 – –417 мВ (н.в.э.); ВЧ50 – –440 мВ (н.в.э.). После иглофрезерования этот показатель коррозионной стойкости снизился: для образцов СЧ15 на 9,9–15,2 %; СЧ25 – 2,2–5,5 %; ВЧ50 – 3,4–7,8 %.

В начальный момент времени потенциалы чугунов достаточно быстро смещаются в электроотрицательную сторону, спустя 1,5–2 ч приобретают установившееся во времени стационарное значение. Иглофрезерование образцов сдвигает их стационарные потенциалы в электроположительную область, что уменьшает электродвижущую силу коррозионного процесса и скорость коррозии.

Таким образом, иглофрезерование способствует повышению коррозионной стойкости чугунов. Полученные результаты могут быть объяснены изменением топографии и энергетического состояния поверхностного слоя чугунов.

Экспериментальные данные по изучению коррозионной стойкости, твердости и топографии образцов позволяют предположить, что в результате иглофрезерования на поверхности чугунов формируется более плотная и однородная пленка оксидов, защищающих металл от коррозии, и, возможно, создаются внутренние напряжения сжатия, которые повышают коррозионную стойкость сплавов к общей коррозии.

Иглофрезерование может быть рекомендовано как самостоятельный способ обработки металлов с целью повышения их коррозионной стойкости, так и для подготовки металлической поверхности перед нанесением гальванических покрытий.

Л и т е р а т у р а

1. Кулаков, Ю. М. Отделочно-зачистная обработка деталей / Ю. М. Кулаков, В. А. Хрульков. – М. : Машиностроение, 1979. – 216 с.
2. Баршай, И. Л. Обеспечение качества поверхности и эксплуатационных характеристик деталей при обработке в условиях дискретного контакта с инструментом / И. Л. Баршай. – Минск : УП «Технопринт», 2003. – С. 246.
3. Единая система защиты от коррозии и старения. Металлы, сплавы, покрытия металлические. Методы удаления продуктов коррозии после коррозионных испытаний : ГОСТ 9.907–83. – М. : Изд-во стандартов, 1984. – 9 с.

ПРОБЛЕМЫ ОЧИСТКИ ГАЗОВ, ОБРАЗУЮЩИХСЯ ПРИ СЖИГАНИИ ТВЕРДЫХ ВИДОВ ТОПЛИВА, И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

П. С. Чугаев

*Белорусский государственный аграрный технический университет,
г. Минск*

Научный руководитель В. М. Капцевич

Быстрое развитие промышленности, концентрация предприятий и увеличение масштабов производства явились причиной возникновения проблемы очистки газов, образующихся при сжигании твердых видов топлива. До второй половины 19 в. борьба с вредным влиянием выбрасываемых в атмосферу газов сводилась к запрету или ограничению строительства тех или иных предприятий. Однако эти меры в связи с ростом промышленности и крупных городов оказались недейственными.

Газы, образующиеся при сжигании твердых видов топлива, содержат примеси в виде твердых частиц, а также вредные газообразные продукты.

Твердые примеси в газах мелко раздроблены и находятся в виде пыли или дыма. Размеры частиц пыли – от долей до сотен мкм, размеры частиц дыма обычно меньше 1 мкм, но в отдельных случаях достигают 2–3 мкм [1].

Способы очистки газов можно разделить на следующие типы: механические, электрические и физико-химические. Механическую и электрическую очистку используют для улавливания из газов твердых и жидких примесей, а газообразные примеси улавливают физико-химическими способами.

Механическую очистку газов производят осаждением частиц примесей под действием силы тяжести или центробежной силы и фильтрованием. Наиболее простым, но малоэффективным и редко применяемым является способ осаждения крупной пыли под действием силы тяжести в так называемых пылевых камерах. Инерционный способ осаждения частиц пыли основан на изменении направления движения газа со взвешенными в нем частицами. Инерционными уловителями пыли служат так называемые пылевые мешки, жалюзийные решетки, зигзагообразные отделители и т. п. Такие аппараты используют для улавливания сравнительно крупных частиц.

Для очистки газов широко применяют циклоны, в которых отделение от газа твердых и жидких частиц происходит под действием центробежной силы. Так как центробежная сила во много раз превосходит силу тяжести, в циклонах осаждаются также сравнительно мелкая пыль с размером частиц $\sim 10\text{--}20$ мкм [1].

Тканевые и бумажные фильтры, а также фильтры в виде слоя коксовой мелочи, гравия или каких-либо пористых материалов (например, пористой керамики) применяют для очистки газов фильтрованием. Наиболее распространенными газоочистителями такого типа являются тканевые мешочные или рукавные фильтры. В зависимости от характера пыли и состава газа мешки изготавливают из шерстяной, хлопчатобумажной или специальной ткани.

Электрическая очистка газов основана на воздействии сил неоднородного электрического поля высокого напряжения (до 80000 В) [2]. Аппараты для очистки газов этим методом называются электрическими фильтрами. При пропускании через такие фильтры загрязненного газа происходит его ионизация, заряженные частицы увлекаются к осадительному электроду и осаждаются на нем. Применение электрических фильтров для очистки газа чрезвычайно распространено, особенно для тонкой очистки дымовых газов тепловых электростанций, в цементной промышленности, черной и цветной металлургии.

Методы физико-химической очистки применяют для удаления газообразных примесей. К таким методам относятся промывка газов растворителями, связывающих примеси; поглощение примесей активными веществами; физическое распределение; каталитическое превращение примесей в безвредные соединения.

Анализируя возможные способы очистки газов, их достоинства и недостатки наиболее подходящим методом для очистки газов, образующихся при сжигании твердых видов топлива в теплоэнергетических установках, является механическое фильтрование газов. В качестве фильтрующих элементов предлагается использовать паке-тированные стальные сетки или прессованное волокно. Материал, применяемый для изготовления фильтрующих элементов, предварительно дополнительно обрабатывается методами химико-термической обработки для придания свойств жаростойкости.

Предложена новая конструкция фильтра (рис. 1), состоящего из корпуса с отводящей и подводящей полостями, в котором расположен пакет пластин фильтрующего материала, выполненный из сеток (например, алюминированной стальной сетки). В корпусе перед и за пакетом фильтрующего материала установлены нижняя и верхняя распределительные решетки.

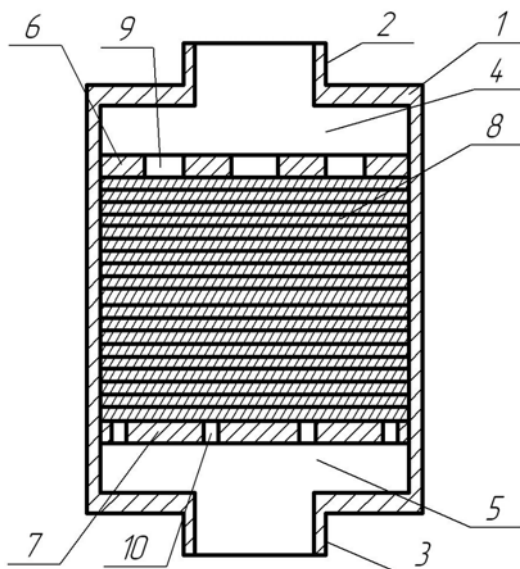


Рис. 1. Фильтр для очистки газов, образующихся при сжигании твердых видов топлива: 1 – корпус; 2 – входной патрубок; 3 – выходной патрубок; 4 – подводящая полость; 5 – отводящая полость; 6, 7 – распределительные решетки; 8 – пакет пластин фильтрующего материала; 9, 10 – отверстия в верхней и нижней распределительной решетке

Фильтр работает следующим образом. Газ, содержащий посторонние примеси в виде мельчайших частиц, поступает в подводящую полость и, проходя через верхнюю распределительную решетку, распределяется на многочисленные потоки, заполняя пакет пластин. Посторонние примеси задерживаются в пакете фильтрующего материала. В конце очистки газ проходит через нижнюю распределительную решетку и попадает в отводящую полость.

Предложенный вариант фильтра за счет эффективного улавливания мельчайших частиц позволит сократить количество твердых выбросов при сжигании твердых видов топлива.

Литература

1. Гордон, Г. М. Пылеулавливание и очистка газов / Г. М. Гордон, И. Л. Пейсахов. – М., 1968. – 182 с.
2. Ужов, В. Н. Очистка промышленных газов электрофильтрами / В. Н. Ужов. – М., 1967. – 126 с.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МАГНИТНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ СМАЗОЧНО- ОХЛАЖДАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ИЗ ПОЛИЭТИЛЕНОВЫХ ЭФИРОВ ДИАЛКИЛФЕНОЛОВ

Е. С. Глоба

*Белорусский государственный аграрный технический университет,
г. Минск*

Научные руководители: Л. Е. Сергеев, Е. В. Сенчуров

В связи с постоянно возрастающим производством и потреблением смазочно-охлаждающих технологических средств (СОТС) для механической обработки деталей машин одним из основных требований к их применению является высокое качество

изготовления данных СОТС [1]. Исследование влияния СОТС на процесс протекания финишной обработки, в частности, магнитно-абразивной обработки (МАО) [2] представляет интерес в силу реализации возможности управления данным процессом. Необходимость такого исследования обусловлена ростом требований к качеству обработанных изделий и достижением заданных характеристик микро- и макрогеометрии поверхностного слоя этих изделий. Установлено, необходимые свойства деталей машин после финишной обработки обеспечиваются применением соответствующего вида СОТС [1]–[3]. Однако, несмотря на большое количество разработанных составов СОТС, задача прогнозирования их использования для МАО во многом еще не решена [2]. В основном такого рода рекомендации носят эмпирический характер, базирующийся на конкретных условиях механической обработки.

Ряд известных СОТС для финишной обработки, в том числе и МАО, характеризуется набором «узких мест» как по показателям высокой стоимости и токсичности, серийности, недостаточности моющего действия, засаливания поверхности инструмента или абразивного зерна по причине большого содержания минеральных масел, необходимость которых заключается в обеспечении стабильности режущих и смазочных свойств [4]. Также поскольку вода в исходном состоянии для приготовления СОТС используется водопроводная, то обычно ярко выражено влияние солей на наличие изменений коэффициента поверхностного натяжения в зависимости от их концентрации, носящей стохастический характер. В работе [5] представлены результаты исследований различных ПАВ, применяемых для очистки деталей из черных и цветных металлов, и одним из наиболее эффективных признано неионогенное ПАВ ОП-10 ГОСТ 8433–81, представляющее полиэтиленовый эфир диалкилфенола (алкильный остаток, содержащий 8–10 атомов углерода) с 10–12 молями оксиэтилена. Коэффициент поверхностного натяжения ОП-10 составляет 10–34,47 МДж/м², поверхностная активность – 109,44 дин × л/см × г, ККМ – 0,3 г/л, а в сравнении с другими ПАВ набор этих показателей обеспечивает лучшие моющие свойства. Также данные величины важны экономически, поскольку позволяют определить оптимальный расход ПАВ, необходимый для создания наиболее эффективного моющего действия. Расширение технологических возможностей процесса МАО достигается созданием нового вида СОТС для черных металлов, включающего триэтаноламин ТУ 2423-168-00203335–2007, олеиновую кислоту ТУ 9145-002-51043152–2004, нитрит натрия ГОСТ 19906–74, мылонафт ГОСТ 13302–77, тринатрийфосфат ГОСТ 201–76, эмульгатор ОП-10 ГОСТ 8433–81, определенного соотношения между данными компонентами.

Испытания известного и заявляемого составов СОТС производились на экспериментальной установке для МАО модели ЭУ-1 при следующих параметрах: магнитная индукция в рабочем зазоре 0,9–1 Т; скорость вращения детали 2–2,5 м/с; скорость осцилляции детали 0,1–0,15 м/с; амплитуда осцилляции 1–3 мм; рабочий зазор 1–2 мм; режущий инструмент: ферроабразивный порошок Ж15КТ с размерами зерен порошка 200–315 мкм; время обработки 45–60 с.

В качестве образцов использовали кольца подшипника из стали ШХ15 ГОСТ 801–78. Исходная шероховатость поверхности образцов находилась в пределах Ra = 1,2–1,8 мкм. В процессе испытаний оценивали массовый съем металла и шероховатость поверхности.

Массовый съем металла определяли как соотношение масс образцов до и после МАО. Определение массы исходных и обработанных образцов из стали ШХ15 производилось взвешиванием на лабораторных весах модели ВЛА-200-2М с точностью до ±0,001 г. Исследование шероховатости поверхности образцов выполнялось на профилографе-профилометре модели 252 «Калибр» посредством фиксации данных

на профилограмме. Значения показателей для данных условий MAO определялись как среднее арифметическое результатов замеров на пяти образцах. Результаты испытаний приведены в таблице.

Результаты обработки образцов

Составы СОЖ	Обрабатываемый материал	
	ΔG , мг	R_a , мкм
СинМа-1 + Ж15КТ	4,33	0,16
I	7,90	0,075
II	8,69	0,060
III	8,24	0,070

В результате испытаний установили, что при увеличении количества воды (состав I) концентрат СОТС теряет комплекс свойств, а именно снижается режущая и моющая способности. При уменьшении количества воды (состав III) происходит неполное растворение нитрита натрия, образование гидрофобных пленок на зернах ферроабразивного порошка и обрабатываемой поверхности из-за большего содержания мылонафта в растворе, в результате чего снижаются режущие, смазочные и омывающие свойства СОТС.

Оптимальным является состав II, который обладает наименьшей кислотностью, наибольшей устойчивостью и хорошими технологическими свойствами, повышающими производительность MAO и снижающими шероховатость обрабатываемых поверхностей.

Рабочие растворы в воде с концентрацией 2–5 % обладают хорошими антикоррозионными свойствами, pH растворов находится в пределах 8–9.

Анализ показал, что заявляемый состав II по сравнению с I, III и прототипом повышает производительность магнитно-абразивной обработки в 1,16–2,00 раза, а также снижает шероховатость обрабатываемой поверхности в 2,47–10,17 раза.

При обработке металлов резанием с использованием заявляемого концентрата СОЖ процесс MAO происходит более равномерно, обработанная поверхность деталей имеет меньшую шероховатость, что повышает качество обрабатываемых изделий.

Таким образом, на основе применения системного подхода и проведенных исследований по разработке нового вида СОТС для финишной обработки стали ШХ15 определена рецептура его приготовления и установлено повышение производительности процесса резания, обусловленной проявлением синергетизма режущей способности MAO.

Литература

1. Бердичевский, Е. Г. Смазочно-охлаждающие технологические средства для обработки металлов : справочник / Е. Г. Бердичевский. – М., 1984.
2. Скворчевский, Н. Я. Эффективность магнитно-абразивной обработки / Н. Я. Скворчевский, Э. Н. Федорович, П. И. Ящерицын. – Минск : Навука і тэхніка, 1991.
3. Сакулевич, Ф. Ю. Роль смазывающе-охлаждающих жидкостей при магнитно-абразивной обработке / Ф. Ю. Сакулевич, Н. Я. Скворчевский. – Минск : БелНИИТИ, 1981.
4. Технологические основы обработки изделий в магнитном поле : моногр. / П. И. Ящерицын [и др.]. – Минск : Физико-техн. ин-т, 1997. – 415 с.
5. Топлива, смазочные материалы, технические жидкости. Ассортимент и применение : справ. изд. / под ред. В. М. Школьников. – М., 1989.

МЕТОД ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПРОФИЛИРОВАННЫХ ИЗДЕЛИЙ С УЛУЧШЕННЫМИ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫМИ СВОЙСТВАМИ

М. В. Бусел

*Мозырский государственный педагогический университет
имени И. П. Шамякина, Беларусь*

Научный руководитель С. Н. Колдаева

В связи со значительным ростом объемов производства, переработки и потребления полимерных материалов увеличиваются и их отходы. Использование отходов позволяет:

- расширить сырьевую базу промышленности;
- снизить потребность в первичном сырье;
- экономить средства производства и решать вопросы, связанные с охраной окружающей среды.

Одним из наиболее эффективных способов утилизации отходов является получение композиционных материалов на их основе и переработка последних в изделия [1].

В настоящей работе исследуется возможность переработки промышленных отходов в профилированные изделия с градиентными свойствами.

Перспективным методом переработки композиционных материалов на основе промышленных отходов является плунжерная экструзия. Этим методом можно изготавливать профилированные погонажные изделия с различными физико-механическими свойствами. В настоящее время метод плунжерной экструзии применяют в производстве профилированных погонажных изделий из фторопластов [2], а также из древесных отходов [3]–[5].

Все отходы можно условно разделить на три типа. К первому типу относятся отходы термопластичных полимеров (волокна, стружка, опилки и др.), имеющие сравнительно невысокую температуру плавления ($t_{пл} < 523$ К) и не выделяющие токсичных веществ при этой температуре. Второй тип – отходы термопластичных полимеров с температурой плавления выше 523 К и отходы, выделяющие при плавлении токсичные вещества. Третий тип – отходы, не имеющие температуры плавления, т. е. неплавкие отходы. Подобное разделение отходов основано на необходимости соблюдения оптимальных условий для протекания физико-химических процессов при формовании изделий.

В данной работе мы предлагаем рассмотреть метод переработки полимерных материалов – плунжерная экструзия.

Одна из особенностей плунжерной экструзии, открывающая новые возможности для переработки композиционных материалов, заключается в том, что пресс-материал вводится в формующий канал в сыпучем состоянии, когда отдельные его частицы находятся в твердой фазе. Переход пресс-материала в вязко-текучее состояние осуществляется непосредственно в формующем канале. При использовании шнековой экструзии материал подается в формующий канал в вязко-текучем состоянии, что и определяет конечные свойства изделий, обладающих монолитной, однородной по сечению структурой. Введение в формующий канал пресс-материала в твердой фазе позволяет технологически регулировать процессы плавления и отверждения материала в объеме формируемого изделия. В частности, возможно регулирование толщины заполимеризованного слоя на поверхности изделия, что позволяет изготавливать пористые изделия, облицованные полимером.

Для применяемой в процессе плунжерной экструзии оснастки характерно деление формирующего канала на три конструкционно ограниченные зоны: не обогреваемую зону

уплотнения, обогреваемую зону плавления и охлаждаемую зону отверждения пресс-материала. В первой зоне в процессе формования пресс-материал уплотняется и приобретает пористую структуру, а затем поступает в зону плавления, температура которой по всей длине поддерживается постоянной. В зоне плавления имеет место процесс теплопередачи от стен формирующего канала к формируемому изделию, в результате чего температура изделия постепенно выравнивается, пока не достигнет температуры зоны плавления. В работе [6] установлена функциональная зависимость для подобного режима теплопередачи.

Применив эту зависимость для процесса изготовления теплоизоляционных изделий в виде пластин и других профилей с постоянной толщиной поперечного сечения, определим время τ , за которое температура на расстоянии h от поверхности формируемого изделия достигнет температуры плавления перерабатываемого материала. С учетом геометрии канала получим для вычисления τ уравнение:

$$\tau = -\frac{4\rho \cdot C \cdot S^2}{\pi^2 \cdot \lambda} \ln \frac{\theta \cdot \pi}{4 \cdot \cos \frac{\pi(S-h)}{2S}}, \quad (1)$$

где ρ – плотность изделия; C – теплоемкость материала; λ – коэффициент теплопроводности изделия; $2S$ – толщина изделия; θ – безразмерная температура; $\theta = (t_{\text{пл}} - t_{\text{cp}})/(t_0 - t_{\text{cp}})$; $t_{\text{пл}}$ – температура плавления пресс-материала; t_0 – начальная температура пресс-материала; t_{cp} – средняя температура зоны плавления формирующего канала; h – толщина слоя расплава на поверхности изделия.

При достижении на расстоянии h от поверхности изделия температуры $t = t_{\text{пл}}$ материал на глубине h оказывается в расплавленном состоянии, в то время как в остальной части сечения изделия $t < t_{\text{пл}}$, и материал сохраняет пористую структуру, приобретенную в зоне уплотнения формирующего канала. Как только слой расплава достигнет заданной толщины h , изделие удаляют из зоны плавления и перемещают в охлаждаемую зону отверждения, в которой окончательно формируется поверхностный слой изделия. Этот процесс протекает в формирующем канале непрерывно по мере поступления материала.

Изменяя продолжительность нахождения материала в обогреваемой зоне плавления, можно получать на поверхности изделия слой расплава разной толщины и тем самым регулировать теплоизоляционные свойства изделий – чем меньше толщина расплавленного слоя, тем больше толщина пористой части изделий и лучше их теплоизоляционные свойства. Минимальную толщину слоя расплава принимают из условия обеспечения минимальных прочностных показателей изделия, необходимых для его нормальной эксплуатации.

Изделие, получаемое предложенным способом, представляет собой своего рода оболочку, внутри которой находится уплотненная пористая структура из отходов. Изготавливать аналогичные изделия, например, методом шнековой экструзии невозможно.

Таким образом, предлагаемый метод позволяет изготавливать крупногабаритные профилированные изделия с улучшенными теплоизоляционными свойствами. Производительность метода плунжерной экструзии – до 3 м/мин, что позволяет перерабатывать большое количество промышленных отходов. Метод отличается простотой и обладает большими технологическими возможностями по сравнению с существующими методами изготовления аналогичных изделий.

Литература

1. Каменев, Е. И. Применение пластических масс : справочник / Е. И. Каменев, Г. Д. Мясников, М. Г. Платонов. – Минск : Высш. шк., 1982. – 192 с.
2. Паншин, Ю. А. Фторопласты / Ю. А. Паншин, С. Г. Малкевич, Ц. С. Дунаевская. – Л. : Химия, 1978. – 232 с.
3. Корчаго, И. Г. Экструзионные древесностружечные плиты / И. Г. Корчаго, А. М. Завражнов. – М. : Лесн. пром-сть, 1972. – 136 с.
4. Шварцман, Г. М. Производство древесностружечных плит / Г. М. Шварцман, Д. А. Щедро. – М. : Лесн. пром-сть, 1987. – 320 с.
5. Способ изготовления погонажного изделия из пресс-композиций на основе древесины : пат. 13523 Респ. Беларусь, МПК(2009) В 27N 5/00 / Ю. Д. Терешко, А. Н. Екименко, С. Н. Колдаева, О. Ю. Колдаев ; заявитель УО «БелГУТ». – № а20060333 ; заявл. 12.04.2006 ; опубл. 30.08.2010 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2010. – № 4. – С. 85.
6. Теплотехнический справочник / под ред. В. М. Юреньева, П. Д. Лебедева. – М. : Энергия, 1976. – Т. 2. – 147 с.

**АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПРОЦЕССОВ СМЕСЕПРИГОТОВЛЕНИЯ
И ФОРМООБРАЗОВАНИЯ НА ФОРМИРОВАНИЕ КАЧЕСТВА
ОТЛИВОК ИЗ ЧУГУНА**

С. В. Кудласевич

*Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого, Беларусь*

Научный руководитель И. Б. Одарченко

Цель работы: разработать теоретические принципы управления качеством отливок из чугуна посредством управления процессами смесеприготовления и формообразования.

Современная рыночная экономика в условиях конкурентоспособности предъявляет высокие требования к стабильности качества отливок машиностроительной, тракторостроительной, станкостроительной и других отраслей.

Качество отливок в соответствии с ГОСТ 15467–79 – это совокупность свойств, обуславливающих их пригодность к потреблению, их способность удовлетворять своему назначению.

Номенклатура показателей качества отливок устанавливается стандартами или техническими условиями. В зависимости от характеризующих свойств продукции, установлено 11 групп показателей качества, из которых в соответствии с ГОСТ 4.439–86 для отливок используют 5, которые включают в себя 22 показателя качества:

1. Классификационные показатели: марка сплава; класс точности; группа сложности; масса отливки, кг; габаритные размеры, мм.

2. Показатели назначения: временное сопротивление, МПа; предел текучести, МПа; относительное удлинение, %; относительное сужение, %; ударная вязкость, Дж/м²; верхний предел твердости, НВ; нижний предел твердости, НВ; неравномерность твердости; микроструктура.

3. Показатели экономного использования металла и технологичности: Припуски на механическую обработку, мм; Допуски размеров отливки, мм; Толщина не обрабатываемых стенок и ребер, мм; Допуски по толщине не обрабатываемых стенок и ребер, мм; Смещение от плоскостности поверхности на длине 600 мм; Допуски массы отливки, %.

4. Показатели качества поверхности: шероховатость поверхности.

5. Экономические показатели: экономический эффект, р.

В номенклатуру показателей также дополнительно могут быть включены и другие показатели, которые устанавливаются нормативно-технической документацией на отливку: герметичность, плотность, ударная вязкость при пониженных температурах и др.

Исходя из общей классификации отливок из чугуна по марке сплава отливки делят на: отливки из серого чугуна, ковкого, высокопрочного и вермикулярного. Это большое количество отливок (плиты, грузы, корпуса, блоки цилиндров, зубчатые колеса и др.) и поэтому в зависимости от назначения и предъявляемых требований чугунные отливки делят на три группы ответственности: неответственные, малоответственные и ответственные.

К первой группе ответственности относятся отливки для таких деталей, у которых конфигурация и размеры определяются только конструктивными и технологическими соображениями. Поэтому контролируемые показателями данной группы отливок являются: внешний вид, размеры и химический состав.

Ко второй группе ответственности относят отливки, работающие при статических нагрузках. Кроме внешнего вида, размеров и химического состава в отливках этой группы контролируются также механические свойства. Из механических свойств контролируются: относительное удлинение; предел текучести или временное сопротивление разрыву.

К третьей группе относят отливки, рассчитываемые на прочность и работающие при циклических и динамических нагрузках. Отливки данной группы подвергаются контролю по всем показателям, установленным для второй группы ответственности. Кроме этого отливки обязательно проверяют на ударную вязкость и другие, установленные нормативно-технической документацией показатели.

При контроле внешнего вида, контролируются: габаритные размеры, отсутствие видимых дефектов, шероховатость поверхности. Под химическим составом подразумевается контроль микроструктуры. При контроле механических свойств для чугунных отливок контролируются: временное сопротивление, предел текучести, относительное удлинение, ударная вязкость, твердость. Нельзя исключить показатели: марку сплава, массу отливки, толщина необрабатываемых стенок и ребер и добавить дефекты отливок.

Таким образом, основными контролируемыми показателями качества для чугунных отливок являются: микроструктура; временное сопротивление, МПа; предел текучести, МПа; относительное удлинение, %; относительное сужение, %; ударная вязкость, кДж/м²; верхний предел твердости, НВ; нижний предел твердости, НВ; габаритные размеры, мм; шероховатость поверхности; отсутствие дефектов; марка сплава; масса отливки, кг; толщина необрабатываемых стенок и ребер, мм; дефекты отливок.

При анализе взаимосвязей показателей качества чугунных отливок и факторов, влияющих на их формирование, была составлена классификационная система. Она позволила установить зависимость качества отливок от факторов, определяющих: качество формы, качество стержней, качество металла, качество сборки, качество заливки, качество охлаждения и кристаллизации, которые в свою очередь связаны с рядом критериев, определяющих свойства материалов, с параметрами процессов уплотнения и др. Установлено, что качество формы определяется совокупностью параметров: качества смеси, качества модельного комплекта, качества уплотнения, качества протяжки и качества вспомогательных материалов. Качество стержней зависит от: качества стержневой смеси, качества стержневой оснастки, качества уплотнения и отверждения, качества извлечения стержня и качества покрытия и красок. Качество металла, в свою очередь, зависит от качества исходных материалов, режимов и условий плавки,

вида модификатора, режима и условий модифицирования и скорости охлаждения. Качество сборки литейной формы зависит от: качества формы, качества стержней, качества оснастки и качества проведения технологических процессов сборки. На качество заливки влияют: скорость заливки, вид ковша или автоматического заливочного устройства. Качество охлаждения и кристаллизации зависит от скорости охлаждения, температуры заливки, качества направления охлаждения.

Разработанная классификационная система позволила заключить, что процессы смесеобразования и формообразования взаимосвязаны только с качеством формы и стержней. В данном случае под качеством формы подразумевают ее свойства, которые подразделяются на четыре группы: механические, тепловые, аэродинамические, физико-химические. К механическим относят такие свойства как: прочность, уплотняемость, податливость, текучесть, упругие деформации, тепловые деформации. К группе тепловых свойств относятся: аккумулирующая способность, массовая теплоемкость, плотность, объемная теплоемкость, теплопроводность и температуропроводность. В группу аэродинамических свойств входят: газовыделение, газотворность, газопроницаемость, пористость. К группе физико-химических свойств относят: химическое сродство, растворимость, смачиваемость, поверхностная энергия и упругость диссоциации.

Анализ факторов, влияющих на свойства формы, показал, что, управляя процессами формообразования (уплотнения), осуществляют регулирование таких свойств как: газопроницаемость, газовыделение, пористость (аэродинамические); прочность податливость, упругие деформации (механические); теплопроводность, плотность (тепловые). В отношении регулирования физико-химических свойств, известно, что недостаточное уплотнение смеси вызывает образование механического пригара, резко ухудшающего качество поверхности отливки.

Указанные свойства литейной формы и формовочных смесей позволяют управлять качеством отливок (микроструктура, временное сопротивление, предел текучести, относительное удлинение, относительное сужение, ударная вязкость, верхний и нижний предел твердости, шероховатость поверхности) и регулировать вероятность образования дефектов (объемные газовые раковины, поверхностные газовые раковины, песчаные раковины, ужимины, изменения размеров отливки, горячие трещины) посредством управления процессами теплообмена между кристаллизующимся металлом и литейной формой, а также механическими и аэродинамическими свойствами литейной формы.

Процессы формообразования (уплотнения) определяются такими факторами качества смеси как: текучесть, сыпучесть, пластичность и способом уплотнения, от которого зависит качество распределения таких свойств формы, как прочность, плотность, пористость, газопроницаемость.

Качество смеси в свою очередь зависит от качества формовочных материалов и качества смешивания компонентов смеси. Под качеством смеси, как и формы, подразумеваются их свойства: прочность, газопроницаемость, газотворность, газовыделение, сыпучесть, пластичность, текучесть. Задачей смесеобразования является равномерное распределение компонентов смеси для формирования тонкой пленки связующего на поверхности наполнителя.

ОПТИМИЗАЦИЯ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПЛАВИЛЬНЫХ ПЕЧЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИЙ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ПОДОГРЕВА ШИХТЫ

В. В. Бордиян

*Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого, Беларусь*

Научный руководитель В. А. Жаранов

Шихтовые материалы и подготовка шихты к плавке – важные составляющие технологии плавки. Техничко-экономические расчеты показывают, что себестоимость жидкого чугуна при плавке в индукционных тигельных печах оказывается ниже ваграночного только при использовании в ИЧТ дешевой шихты, состоящей из стального, чугунного лома и самых дешевых из металлоотходов – стружки, высечки и отходов листовой штамповки.

Способ подготовки шихты к плавке зависит от вида шихты и определяется в первую очередь соображениями техники безопасности. На поверхности шихты не должно быть влаги, льда, масел и эмульсии. Поэтому в настоящее время считается, что шихта должна быть нагрета не менее чем до 500–600 °С, что обеспечивает удаление всех видов влаги, и, кроме того, при этой температуре гарантированно воспламеняются и сгорают масла.

Кроме устранения выбросов металла подогрев шихты позволяет сократить расход электроэнергии на плавку и увеличить производительность печи. Подогрев кусковой шихты осуществляется в специальных нагревательных бадьях с газовыми горелками.

Предварительный нагрев шихты (рис. 1) для электроплавильных печей является сложным физико-химическим процессом. Его эффективное протекание зависит от множества факторов, таких как параметры теплоносителя, формы, размеров и начальных теплофизических свойств нагреваемого материала.



Рис. 1. Предварительный подогрев шихты в автономной установке

В настоящее время накоплен огромный опыт в исследовании механизма внутреннего и внешнего тепломассопереноса для широкого спектра материалов, а также построено большое количество математических моделей, описывающих данные процессы. Несмотря на значительные успехи, достигнутые в математическом моделировании тепло- и массообмена для канонических тел, перенос этих результатов на расчет процессов в промышленных аппаратах в целом осуществляется на основе простейших моделей.

Попытки построить модель на основе точных аналитических решений уравнения теплопроводности с учетом внешнего тепло- и массообмена и распределенных внутренних источников теплоты обычно требуют значительного упрощения, что в конечном итоге выхолащивает физический смысл задачи. Наряду с этим существующие модели не учитывают такие особенности, как стохастическое движение материала в аппарате. В связи с этим большинство тепло- и массообменных аппаратов (сушилки, печи и др.) рассчитывают по интегральному балансу тепла и влаги через напряжение объема. Это, естественно, существенно снижает универсальность предлагаемых моделей и алгоритмов расчета.

Еще одной из причин снижения универсальности предлагаемых моделей связано с переменной качественными характеристиками исходного сырья (начальная влажность, концентрация реагирующих компонентов, наличие примесей, удельный вес и др.), что значительно влияет на эффективность предварительного подогрева. В связи с этим требуется внесение дополнительных изменений в режимные параметры ведения процесса.

Определение рациональных режимов термообработки дисперсных материалов, удовлетворяющих технологическому регламенту процесса, требует знания кинетики нагрева, удаления влаги и протекания экзо- и эндотермических химических реакций. Проведение же экспериментальных исследований в производственных условиях сопряжено с остановкой производственной линии и как следствие, дополнительными финансовыми расходами. Наряду с этим в большинстве случаев отсутствует техническая возможность вести измерение параметров обрабатываемого материала по ходу процесса термообработки.

В связи с обозначенными выше проблемами видится целесообразным использование новых подходов к определению режимных параметров процессов подогрева шихты.

В настоящее время хорошо зарекомендовал себя математический аппарат, основанный на теории нейронных сетей, который не требует практически никаких ограничений на схематизацию процесса. Данный подход эффективно используется для управления сложными нелинейными объектами, аппроксимации функций при решении многочисленных инженерных и научных задач моделирования, при решении оптимизационных задач и др.

Нейронные сети – это исключительно мощный метод имитации процессов и явлений, позволяющий произвести чрезвычайно сложные зависимости. Одним из достоинств нейронных сетей является то, что они по своей природе нелинейные и к тому же во многих случаях позволяют преодолеть «проклятие размерности». Необходимо отметить и еще одну важную особенность нейронных сетей связанную с тем, что они используют механизм обучения, что позволяет в автоматическом режиме настраивать параметры сети. Отмеченное последнее достоинство очень важно с точки зрения построения и практического использования нейронных сетей в производстве.

Использование аппарата теории нейронных сетей на практике в промышленных теплообменных аппаратах (рис. 2, 3) видится перспективным, поскольку он может быть использован для поиска оптимальных режимов нагрева, при которых нейросеть способна рассчитать такое управляющее воздействие (например, температуру горячих дымовых газов) на различных участках промышленного аппарата при котором кинетика нагрева материала будет осуществляться по желаемой траектории.

Наряду с поиском оптимальной траектории термообработки материала использование нейросетей позволяет повысить универсальность используемого математического и программного обеспечения для расчета режимных параметров процесса.

Это связано с тем, что используемые на практике математические модели имеют существенные ограничения по типу обрабатываемых материалов и способу подвода теплоносителя к материалу. Даже не столь существенные изменения геометрических размеров (например, толщины листового материала или среднего диаметра частиц сыпучего материала) и начальных теплофизических параметров материала оказывают значительное влияние как на механизм внутреннего, так и внешнего теплопереноса. Используемые на практике модели не могут учесть эти моменты, так как их разработка велась для определенно заданных начальных и граничных условий проведения процесса. Это приводит к неадекватному расчету процесса и, как следствие, к браку и избыточному использованию энергоресурсов.

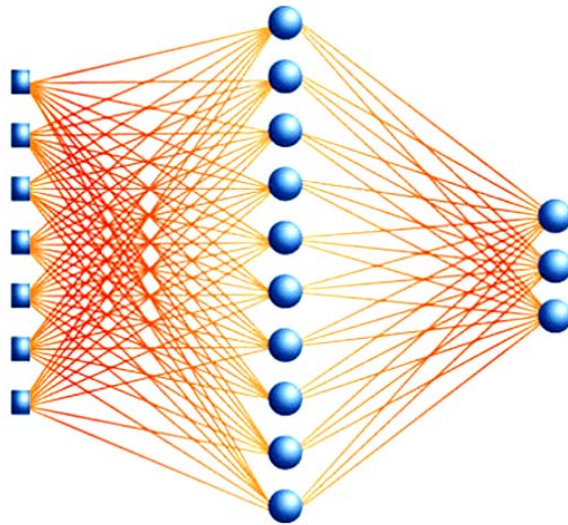


Рис. 2. Архитектура использованной нейронной сети

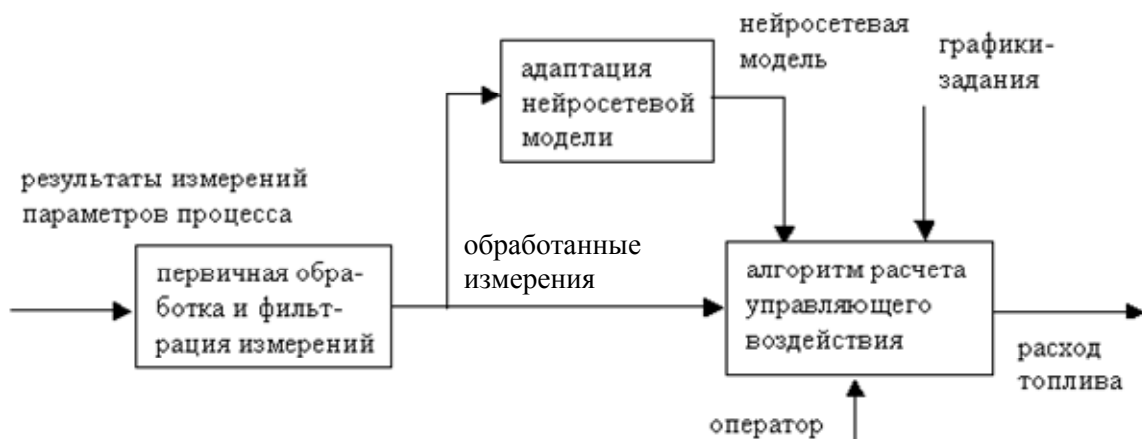


Рис. 3. Функциональная схема управления нагревом шихты

На практике используемое программное обеспечение для расчета параметров процесса нагрева шихты требует ввода значительного количества исходных данных о материале, теплоносителе и условиях осуществления процесса. При использовании

нейронных сетей можно ограничиться только наиболее важными параметрами, которые могут быть получены в лабораторных условиях предприятия и даже при этом можно получить качественно обученную нейронную сеть, позволяющую определять рациональные режимные параметры. В этом и есть основная особенность нейронных сетей, а именно обучаться и выявлять скрытые закономерности между потоками входных и выходных данных.

Таким образом, видится целесообразным использование аппарата теории нейронных сетей в области математического моделирования процессов термообработки материалов с различными геометрическими и теплофизическими параметрами, а также при различных способах подвода теплоносителя.

В результате решения задачи построения регрессионной модели расчета продолжительности нагрева с целью достижения заданной средней температуры была получена трехслойная модель (рис. 2), позволяющая с высокой точностью (погрешность по тестовым наборам данных не более 10 %) оценивать технологические аспекты предварительной термообработки материала перед плавкой в электрических печах.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ УПРОЧНЕНИЯ ПРОВОЛОКИ ИЗ СТАЛИ 90 ПРИ ВЫСОКОСКОРОСТНОМ ВОЛОЧЕНИИ

С. В. Авсейков

*Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого, Беларусь*

Научный руководитель Ю. Л. Бобарикин

Высокоскоростное волочение является многофакторным физическим процессом деформирования проволоки. В процессе высокоскоростного волочения проволока приобретает механические свойства, зависящие от технологических особенностей холодной деформации в процессе волочения. К этим особенностям можно отнести: суммарную истинную деформацию, скорость деформации и температуру проволоки в очаге деформации, выделяемую от внутреннего и контактного трения.

Стандартной методикой оценки механических свойств металлов являются испытания на разрывной машине. Такая методика позволяет зафиксировать сформированные после волочения свойства стальной проволоки.

Прочностные испытания готовой проволоки на растяжение, проводимые при скоростях растяжения образцов $0,4-0,001 \text{ с}^{-1}$, учитывают статическое упрочнение и остаточное динамическое упрочнение.

Пределы текучести и прочности проволоки в очаге деформации при волочении (динамическое нагружение) выше значений, полученных при растяжении (статическое нагружение) протянутой проволоки на разрывной машине, и называются динамическими σ_s^d и статическими $\sigma_s^{ст}$ соответственно.

В общем виде для математического описания упругопластических свойств металлов в системах инженерного анализа (CAE), которые основаны на вычислениях с помощью математических алгоритмов, реализуемых с помощью метода конечных элементов:

$$\sigma_s^d = f(\varepsilon_p, \dot{\varepsilon}_p, T), \quad (1)$$

где ε_p – пластическая деформация; $\dot{\varepsilon}_p$ – скорость пластической деформации, с^{-1} ; T – температура, °C.

Зависимость $\sigma_s^{ct} = f(\varepsilon_p, T)$ будет описывать влияние температуры на статический предел текучести. Эту зависимость можно получить на основании испытаний на разрыв.

Для высокоскоростных процессов деформирования наибольшее распространение получили следующие зависимости для описания динамического упрочнения:

- 1) модель Джонсона–Кука;
- 2) модель Чао–Вонга;
- 3) модель Симонда–Купера.

В диапазоне скоростей деформирования $0,01\text{--}10\text{ с}^{-1}$ эти зависимости незначительно отличаются. Для процессов с высокими скоростями деформации ($>10\text{ с}^{-1}$) модели Чао–Вонга и Симонда–Купера точнее описывают высокоскоростное деформирование для большинства металлов. Модель Симонда–Купера является универсальной для большинства сталей в высокоскоростных диапазонах нагружения в отличие от других моделей.

Таким образом, используя экспериментальную зависимость статического упрочнения и модель динамического упрочнения Симонда–Купера, представляется возможным математическое описание упругопластических свойств высокопрочной стали 90 в процессе высокоскоростного волочения проволоки.

Повышение предела текучести от 913 до 3000 МПа стали 90 после высокоскоростного волочения объясняется не только деформационным, но и динамическим упрочнением, часть которого сохраняется после волочения.

Из заводских испытаний на РУП БМЗ известно, что отношение предела текучести к пределу прочности при статическом нагружении $K_\sigma = \sigma_s^{ct} / \sigma_b^{ct}$ имеет для проволоки диаметром 1,94 и 0,349 пропорциональную зависимость 0,701 и 0,92.

Испытания, проводимые на разрывной машине INSTRON5567, этой же проволоки, но с предварительным нагревом до 300 °C , показывают, что температура при статическом нагружении снижает прочность стали (табл. 1). Влияние температурного фактора проводили по пределу прочности на разрыв с целью получения более точных значений предела текучести. Оценку влияния температуры проводим по отношению предела прочности при 300 °C к пределу прочности при 20 °C .

Таблица 1

Результаты испытаний проволоки на разрыв при 20 и 300 °C

Скорость деформации, мм/мин		Ø 1,94			Ø 0,349		
		10	25,4	500	10	25,4	500
Заводские испытания при 20 °C			1301,75			3163,75	
INSTRON 5567	20 °C	1311,95		1327,44	3271,93		2622,08
		1312,06		1327,00	2912,57		2678,94
		1312,39		1325,75	2879,29		3346,47
		–		–	3249,02		–
	Среднее	1312,13		1326,73	3078,20		2882,50
	300 °C	1249,06		1244,07	2400,08		2666,34
		1264,99		1243,63	2432,66		2494,64
		1232,99		1240,34	2251,05		2471,81
		–		–	–		–
Среднее	1249,01		1242,68	2361,26		2544,26	

Окончание табл. 1

Скорость деформации, мм/мин	Ø 1,94			Ø 0,349		
	10	25,4	500	10	25,4	500
Заводские испытания при 20 °С		1301,75			3163,75	
Температурный коэффициент, K_T	0,952		0,9366	0,727		0,883
	0,944			0,805		
Предел прочности при 300 °С	1228,85			2546,82		
Предел текучести при 300 °С	860,19			2339,73		

Анализируя табл. 1, следует отметить, что температурное разупрочнение проволоки из стали 90 увеличивается с ростом деформационного и остаточного динамического упрочнения. Этот вывод можно сделать, сравнивая значения температурного коэффициента K_T для волочения проволок Ø 1,94 и Ø 0,349 мм.

На повышение прочности проволоки при высокоскоростном волочении в значительной степени оказывает динамическое упрочнение, так как при высоких скоростях деформирования высокая температура (450–550 °С), образующаяся от контактного трения на поверхности проволоки за короткие промежутки времени (0,1–0,001 с⁻¹), не оказывает значительного разупрочняющего эффекта. Быстрый нагрев и охлаждение высокоуглеродистой проволоки оказывают влияние на структурные превращения углерода на поверхности проволоки, что в сумме с остаточным динамическим упрочнением ведет к потере пластичности

По результатам статического нагружения (табл. 2) было получено уравнение, позволяющее оценить влияние температуры и деформационного упрочнения в результате высокоскоростного волочения:

$$\sigma_s^{ct} = f(\varepsilon_p, T) = 916,7721 + 591,8984 \cdot \varepsilon_p - 0,1886 \cdot T - 0,5352 \cdot \varepsilon_p \cdot T. \quad (2)$$

Окончательный вид уравнения, описывающего зависимость динамического предела текучести при волочении примет вид:

$$\sigma_s^d = (916,7721 + 591,8984 \cdot \varepsilon_p - 0,1886 \cdot T - 0,5352 \cdot \varepsilon_p \cdot T) \cdot \left(1 + \left(\frac{\dot{\varepsilon}_p}{1 \cdot 10^7}\right)^{\frac{1}{13,288}}\right). \quad (3)$$

Основной целью численного эксперимента основанного на численной модели волочения описанной в статье [7] (рис. 1) является получение заключения о правильности модели упругопластических свойств проволоки из стали 90 при волочении, поэтому сравнение проводилось с результатами эксперимента по волочению проволоки с аналогичными параметрами на волочильном стенде.

Эксперименты серии А соответствуют параметрам заводского маршрута волочения проволоки Ø 0,412 мм из заготовки Ø 2,45 мм с конечной скоростью волочения 5 м/с, а серии В – Ø 0,349 мм из заготовки Ø 1,94 мм с конечной скоростью волочения 12 м/с в условиях РУП БМЗ.

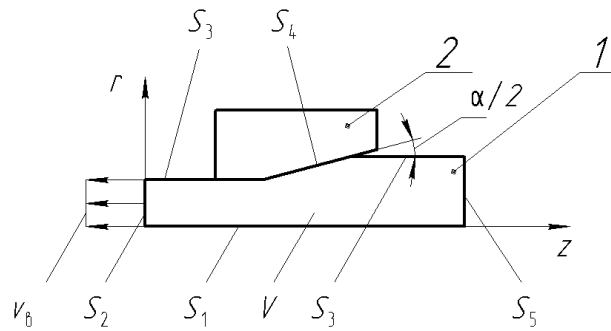


Рис. 1. Схема процесса волочения проволоки:
 1 – проволока; 2 – волока; V_0 – скорость волочения; α – угол деформирующей зоны волока; S_i – граничные поверхности, $i = 1-5$; V – область очага деформации; r, z – координатные оси

Таблица 2

Сравнение результатов численного эксперимента

Номер	Диаметр проволоки D , мм	Скорость волочения V , м/с	Суммарная деформация $\sum \epsilon$	Сила волочения экспериментальная $P_{\text{эксп}}$, Н	Сила волочения расчетная $P_{\text{расч}}$, Н	Температура поверхности проволоки	
						в начале калибрующей зоны $T_{\text{цил.л}}$	в конце калибрующей зоны $T_{\text{цил.к}}$
A1	2,23	0,17	0,19	1846,66	1860	141	118
A5	1,5	0,38	0,98	1109,61	1277	207	183
A11	0,85	1,17	2,12	438,1	591	311	287
B1	1,748	0,47	0,208	1295	1207	167	141
B2	1,575	0,59	0,417	1150	1175	200	167

Анализ табл. 2 показывает, что сила волочения уменьшается при увеличении скорости волочения. Этот факт позволяет говорить о том, что общая тенденция полученной модели упругопластических свойств стали 90 верна. Однако в некоторых экспериментах относительная погрешность составляет более 10 % (табл. 3).

Таблица 3

Вычисление погрешности численного эксперимента

Номер	Скорость волочения V , м/с	$P_{\text{эксп}}$, Н	$P_{\text{расч}}$, Н	Относительная погрешность, Δ %
A1	0,17	1846,66	1860	-0,73
A5	0,38	1109,61	1277	-13,11
A11	1,17	438,1	591	-25,87
B1	0,47	1295	1206	7,31
B2	0,59	1150	1175	-2,15

Из сравнения экспериментальных данных с расчетными видно, что принятые допущения в граничных и начальных условиях для математических моделей упру-

нения проволоки из стали 90 и волочения вносят погрешность вычисления. Анализ значений $P_{\text{экс}}$ показывает, что с ростом скорости волочения их величина уменьшается относительно $P_{\text{расч.}}$. Это явление можно объяснить тем, что при расчете коэффициент контактного трения принят постоянным ($f = 0,05$). В действительности его величина уменьшается с ростом скорости волочения, способствующей более устойчивому гидродинамическому захвату жидкой смазки.

Результаты проведенных численных экспериментов с учетом начальных и граничных условий позволяют судить о том, что математическая модель упругопластических свойств проволоки из стали 90 отражает влияние основных параметров высокоскоростного волочения и может использоваться для численных расчетов маршрутов волочения для этой марки стали. Данная математическая модель позволяет изучить напряженно-деформированное состояние и распределение температур в очаге деформации с помощью компьютерных систем инженерного анализа (CAE), которые основаны на вычислениях с помощью математических алгоритмов, реализуемых с помощью метода конечных элементов.

МЕТОДИКА ОЦЕНКА ПЛАСТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ВЫСОКОУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ

С. И. Прач

*Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого, Беларусь*

Научный руководитель Ю. Л. Бобарикин

Вопросы контроля технологии сталепроволочного производства и контроля качества продукции в проволоки и металлокорда неразделимы. Известно, что оптимальным способом контроля качества готовой продукции служит своевременный и рациональный контроль технологических режимов ее получения. В данной работе теоретически обосновывается возможность контроля качества готовой проволоки путем оценки резерва пластических свойств проволоки, формируемых в процессе тонкого волочения.

Исследования основаны на предположении: чем выше пластические свойства стали проволоки при сохранении ее прочностных характеристик, тем выше технологичность обработки проволоки. Пластические свойства оцениваются с помощью критерия предельной пластичности.

Анализ потери пластических свойств стали и возникновения микротрещин выполняется с помощью критерия возникновения трещин или критерия предельной пластичности:

$$\Psi = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\Delta\Lambda_i}{\Lambda_i} \right)^{\alpha_i} = 1, \quad (1)$$

где Ψ – степень использования запаса пластичности; n – число этапов деформирования к моменту разрушения; α_i – эмпирический коэффициент, зависящий от схемы напряженного состояния; Λ – степень деформации сдвига.

Для установления условий разрушения металла при высокоскоростном волочении проволоки в соответствии с условием (1) необходимо произвести расчеты деформационно-кинематических и энергосиловых параметров процесса волочения проволоки по действующим маршрутам волочения.

Расчет проводится по следующей методике.

Вначале рассчитывается базовый процесс волочения заданного диаметра и свойства проволоки, который обеспечивает относительно стабильное удовлетворительное качество проволоки.

Исходные данные к расчету: ряд последовательных диаметров волок для рассчитываемого маршрута волочения d_i , мм; полууглы конусов рабочих зон для каждой волоки α_i , рад; коэффициенты длины калибрующей зоны волоки m_i , определяющие длину этой зоны $d_i m_i$; скорость проволоки для последней волоки V_n , м/с; величина противонапряжения проволоки для первой волоки σ_{v0} , МПа; количество витков проволоки на тяговой шайбе для переходов волочения, z_i ; коэффициент контактного трения в волоке f ; коэффициент контактного трения между витками проволоки и поверхностями тяговых шайб $f_{ш}$; значения максимальных температур в очаге деформации для каждой волоки, полученные с помощью численного моделирования или аналитического расчета процесса волочения T_i , °С; зависимость для определения сопротивления пластической деформации проволоки для каждого перехода волочения $\sigma S_i = f(\varepsilon \Sigma_i)$, МПа, где $\varepsilon \Sigma_i$ – итоговая логарифмическая деформация проволоки для i -го перехода волочения; зависимость может быть получена аппроксимацией экспериментальной кривой растяжения проволочной заготовки; сопротивление пластической деформации проволочной заготовки σS_0 , МПа; скорость деформирования ξ_0 , использованная при получении зависимости $\sigma S_i = f(\varepsilon \Sigma_i)$, 1/с; функция для коэффициента влияния скорости деформации на сопротивление пластической деформации проволоки $Z_i = f(\xi_i)$, где ξ_i – скорость деформации проволоки для каждого i -го перехода волочения; функция может приниматься из справочных данных или из экспериментальных зависимостей; зависимости для диаграмм пластичности $\Lambda_{pi} = f(k_i)$, соответствующие разной степени упрочнения обрабатываемой проволоки, где Λ_{pi} – интенсивность сдвиговой деформации разрушения, k_i – коэффициент напряженного состояния очага деформации для каждого перехода волочения; зависимости могут быть получены аппроксимацией экспериментальных кривых диаграмм пластичности; базовое значение коэффициента запаса пластичности $\Psi_{баз} = 0,8$, принимаемое для известного действующего процесса волочения, который обеспечивает относительно стабильное удовлетворительное качество проволоки, который называется базовым процессом. Если после изменения режимов этого процесса, например, увеличения скорости волочения, изменения коэффициента контактного трения, маршрута волочения и т. д., Ψ уменьшается или остается равным относительно $\Psi_{баз}$, то такие изменения не приведут к потере качества проволоки, а если Ψ увеличится относительно $\Psi_{баз}$, то качество ухудшится вследствие исчерпания при волочении запаса пластичности и трещинообразования; паспортные кинематические вытяжки для тяговых шкивов μ_i .

Расчет базового процесса с целью поиска значения степенного коэффициента a_0 и определения относительных скольжений для тяговых шкивов ведется путем определения следующих параметров:

1. Вытяжка: $\mu_i = \frac{(d_{i-1})^2}{(d_i)^2}$.
2. Скорость волочения: $V_{i-1} = \frac{V_i}{\mu_i}$, мм/с.
3. Длина очагов деформации: $l_i = \frac{(d_{i-1} - d_i)}{2 \cdot \tan(\alpha_i)}$, мм.
4. Время прохода элементарной точки поверхности проволоки через зоны деформации волок: $t_i = \frac{l_i}{V_i}$, с.
5. Относительное обжатие про-

волоки: $\delta_i = \frac{(d_{i-1})^2 - (d_i)^2}{(d_{i-1})^2}$. 6. Скорость деформации: $\xi_i = \frac{\delta_i}{t_i}$, 1/с. 7. Итоговая логарифмическая деформация для каждой волоки: $\varepsilon \Sigma_i = \ln \left[\frac{(d_0)^2}{(d_i)^2} \right]$. 8. Сопротивление пла-

стической деформации проволоки для каждого перехода волочения в зависимости от деформационного упрочнения σS_i . Определяется по зависимости $\sigma S_i = f(\varepsilon \Sigma_i)$, МПа.

9. Коэффициент влияния скорости деформации на сопротивление пластической деформации Z_i . В зависимости от значений максимальных температур в очаге деформации выбирается соответствующая формула из справочных данных, по которой ведется расчет параметра Z_i . 10. Сопротивление пластической деформации проволоки для каждого перехода волочения в зависимости от деформационного и скоростного упроч-

нения σS_i $\sigma s_i = Z_i \cdot \sigma S_i$, МПа. 11. Модуль упрочнения проволоки: $w_i = \frac{\sigma S_i - \sigma S_{i-1}}{\mu_i - 1}$,

МПа. 12. Коэффициент, определяющий степень противонапряжения проволоки: $K_i = e^{2\pi \cdot z_{i-1} \cdot f_w}$.

13. Напряжение волочения:

$$\sigma v_i = \sigma s_i (1 + 2f) - \frac{(w_i - \sigma s_{i-1}) \left[(\mu_i)^{\frac{f}{\tan(\alpha_i)}} - 1 \right]}{\frac{f}{\tan(\alpha_i)} \cdot (\mu_i)^{\frac{f}{\tan(\alpha_i)}}} - \frac{\sigma s_{i-1} - \left(\frac{\sigma v_{i-1}}{K_i} \right)}{(\mu_i)^{\frac{f}{\tan(\alpha_i)}}} + 4m_i f \sigma s_i, \text{ МПа.}$$

14. Коэффициент запаса волочения: $\gamma_i = \frac{\sigma v_i}{\sigma s_i}$. 15. Радиальное нормальное напря-

жение в очаге деформации: $\sigma_i = -(\sigma s_i - \sigma v_i)$, МПа. 16. Среднее напряжение очага де-

формации: $\sigma \sigma_i = \frac{2\sigma s_i + \sigma v_i}{3}$, МПа. 17. Коэффициент напряженного состояния очага

деформации: $k_i = \frac{\sqrt{3} \cdot \sigma \sigma_i}{\sigma s_i}$. 18. Интенсивность сдвиговой деформации разруше-

ния Λ_{pi} . Определяется из зависимостей $\Lambda_{pi} = f(k_i)$. 19. Интенсивность деформации

сдвига в очаге деформации: $\Lambda_i = 2 \cdot \sqrt{3} \cdot \ln \left[\frac{(d_{i-1})^2}{(d_i)^2} \right]$.

20. Степенной коэффициент α_0 для коэффициента запаса пластичности Ψ определяется с помощью компьютера из следующего уравнения: $\Psi_{\text{баз}} = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\Lambda_i}{\Lambda p_i} \right)^{(\alpha_0)^{(1+0,238 \cdot k_i)}}$, где

n – количество волок в маршруте волочения. 21. Скорость тяговых шайб: $B_{i-1} = \frac{B_i}{\mu_i}$,

мм/с. 22. Относительное скольжение проволоки по поверхности тяговых шайб:

$C_i = \frac{B_i - V_i}{B_i}$. На этом этапе расчет базового процесса заканчивается. Далее вводятся

предлагаемые изменения в режим волочения базового процесса с целью его оптимизации. По аналогии с базовым процессом формируются исходные данные для измененно-

го процесса с изменением предлагаемых для оптимизации режимов волочения с сохранением величины конечного диаметра проволоки и ее свойств в конце волочения.

Расчет измененного процесса выполняется в соответствии с измененными исходными данными по пунктам 1–22 расчета базового процесса с добавлением следующих пунктов:

23. Степень коэффициента запаса пластичности: $a_i = (a_0)^{(1+0,238k_i)}$. 24. Частный коэффициент запаса пластичности для каждого прохода волочения: $\psi_i = \left(\frac{\Lambda_i}{\Lambda p_i} \right)^{\alpha_i}$.

25. Коэффициент запаса пластичности для всего маршрута волочения: $\Psi = \sum_{i=1}^n \psi_i$.

Если полученное значение Ψ меньше или равно $\Psi_{\text{баз}}$, то измененный процесс можно принять как оптимизированный; если полученное значение Ψ больше $\Psi_{\text{баз}}$, то изменения в процессе волочения приведут к переупрочнению проволоки и к ухудшению ее свойств. Также следует проанализировать изменения в величинах относительного скольжения, которые должны оставаться в допустимых пределах.

Например, значение критерия до оптимизации 0,8. Это значение обеспечивает нормальную технологичность проволоки при свивке, которая оценена на производстве. После увеличения скорости на 1 м/с критерий стал равен 0,84. С целью снижения этого значения до 0,8 при увеличенной скорости проводятся изменения в переходных диаметрах волок по указанной методике. Эти циклы повышения скорости продолжаются до тех пор, пока присутствует возможность возврата значения критерия до исходного уровня.

Для примера проведен расчет маршрута волочения проволоки Ø 0,412 мм сталь 90. Для выяснения влияния коэффициента контактного трения в волоке f на величину Ψ проведен расчет измененного процесса, в котором величина f уменьшена до 0,02. В результате расчета получено $\Psi = 0,553$. Снижение контактного трения привело к уменьшению Ψ с 0,8 до 0,553. Это означает, что резерв пластичности проволоки увеличился при сохранении ее прочностных характеристик. Таким образом, получено дополнительное подтверждение вывода о необходимости снижения контактного трения для снижения трещинообразования в проволоке.

Предлагаемая методика, основанная на вычислении предельных деформаций, может использоваться для оценки влияния изменения других параметров волочения на пластические свойства получаемой проволоки. Таким образом, она позволяет оценивать критические режимы волочения, снижающие качество проволоки.

К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МОДУЛЯ УПРУГОСТИ МИКРОИНДЕНТИРОВАНИЕМ

Н. И. Степанкин

*Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого, Беларусь*

Научные руководители: О. И. Проневич, В. М. Кенько

Введение. Исследование модуля упругости тонких поверхностных слоев является актуальной научной задачей, позволяющей использовать современные методы компьютерного моделирования, для исследования поведения материалов с поверхностно упрочненными слоям под нагрузкой. Традиционный подход – метод осевого растяжения в данном случае не применим. Одним из наиболее простых методов

оценки упругих характеристик поверхностных слоев материалов является метод индентирования.

Методика и объект исследования. Для оценки модуля упругости – индентированием используется зависимость описывающая упругое взаимодействие пирамиды Виккерса и плоской поверхности [1].

$$E = (1 - \nu^2) \left[\frac{2}{\sqrt{\pi}} \sqrt{Ap} \left(\frac{dw}{dP} - \frac{dh_n}{dP} \right) - \frac{1 - \nu_u^2}{E_u} \right]^{-1}, \quad (1)$$

где \sqrt{Ap} – площадь проекции упругого контакта, зависящая от контактной глубины – h_c , формирующейся при внедрении и пластической деформации испытуемого материала.

Объектом исследования являлась быстрорежущая сталь Р6М5.

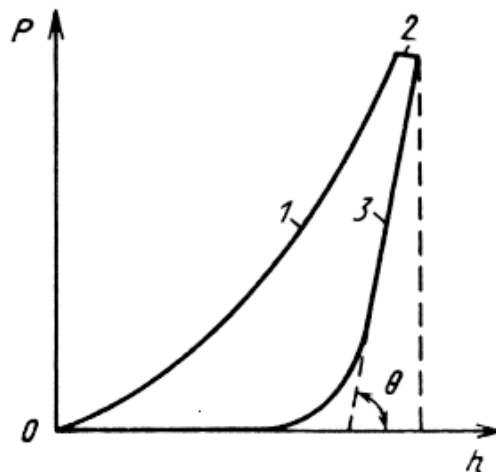


Рис. 1. Диаграмма вдавливания: h – глубина вдавливания; P – сила вдавливания; 1 – нагружение; 2 – выдержка; 3 – разгружение

Результаты исследования. Расчет модуля упругости стали Р6М5 в соответствии с предложенной выше методикой для показал, что расчетное значение искомой характеристики составляет $2,11 \times 10^{11}$ Па. Оно несколько отличается от величины модуля упругости, определенного при стандартном растяжении образцов – $2,25 \times 10^{11}$ Па. На точность метода оказывает влияние значение глубины вдавливания индентора. Ее значение, в свою очередь, определяет площадь проекции упругого контакта. Обе эти величины для стали Р6М5 являются характеристиками, зависящими от усилия, приложенного к индентору. Как видно из рис. 2, минимальная величина нагрузки, приложенной к индентору, обеспечивающая совпадения расчетного значения модуля упругости с его справочным значением, составляет 70 Н. Возникающая расчетная ошибка при меньших значениях нагрузки обусловлена значительной ошибкой в определении нулевого положения индентора. Эта ошибка при малых нагрузках имеет больший удельный в общей величине проникновения индентора в материал, чем истинная величина перемещения индентора в момент контакта с материалом.

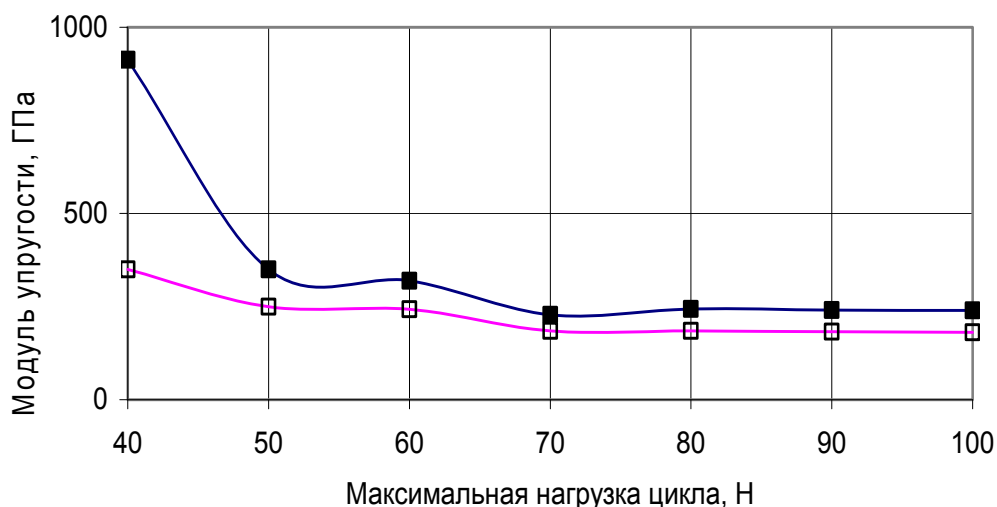


Рис. 2. Зависимость расчетного значения модуля упругости от величины приложенной к индентору нагрузки; максимальное (■) и минимальное (□) значения для одного и того же цикла нагружения

Заключение. Полученные результаты подтвердили возможность использования метода индентирования для определения модуля упругости поверхностных слоев многофазных материалов

Литература

1. Булычев, С. И. Испытание материалов непрерывным вдавливанием индентора / С. И. Булычев, В. П. Алехин. – М. : Машиностроение, 1990. – 224 с.

СИНТЕЗ УЛЬТРАДИСПЕРСНЫХ ПОРОШКОВ ОКСИДА ИТТРИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МИКРОВОЛНОВОЙ АКТИВАЦИИ

А. В. Павленок

*Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого, Беларусь*

Научный руководитель Е. Н. Подденежный

Оксид иттрия, кристаллизующийся в кубической сингонии, характеризуется высокой теплопроводностью и прозрачностью в ИК-диапазоне. Порошкообразный оксид иттрия, легированный европием, тербием, эрбием и иттербием, является эффективным люминофором. Наночастицы Y_2O_3 являются полупродуктом для создания оптической лазерной керамики.

В последние годы проявляется повышенный интерес к использованию СВЧ-энергии для интенсификации различных физических, химических, термохимических процессов. При СВЧ-нагреве генерация теплоты происходит внутри самого нагреваемого объема. Если при тепловой обработке традиционными способами расходуется теплота на нагрев сосуда и окружающей среды, то в СВЧ-печах почти вся энергия идет на нагрев реакционной смеси, а сосуд нагревается незначительно. Таким образом, непроизводительные потери теплоты значительно снижаются.

Цель настоящей работы – исследование влияния параметров синтеза оксида иттрия в условиях термической и микроволновой обработки водных смесей хлорида иттрия с мочевиной на морфологию, структуру и оптические свойства получаемых

ультрадисперсных порошков. В НИЛ технической керамики и наноматериалов ГГТУ им. П. О. Сухого разработана экспериментальная методика получения наноструктурированных порошков оксида иттрия при воздействии СВЧ излучения на смесь реагентов, находящуюся в специальном контейнере (рис. 1). Мощность микроволнового излучения составляла 140 Вт, частота излучения – 2,45 ГГц, время проведения процесса – 120 мин в условиях вращения контейнера. В объеме раствора мочевины при микроволновой обработке происходит реакция гомогенного гидролиза мочевины, что приводит к зародышеобразованию кристаллической фазы предшественников оксида иттрия. По окончании СВЧ-обработки прекурсор обрабатывается при температуре 1000 °С в муфельной печи в течении 60 мин. Дифрактограммы (ДРОН-7) образцов порошкообразного Y_2O_3 , синтезированного по данной методике, продемонстрировали наличие хорошо сформированной кристаллической фазы Y_2O_3 кубической сингонии (рис. 2). Данные растровой электронной микроскопии свидетельствуют о сильной многоуровневой агломерации наночастиц (рис. 3).

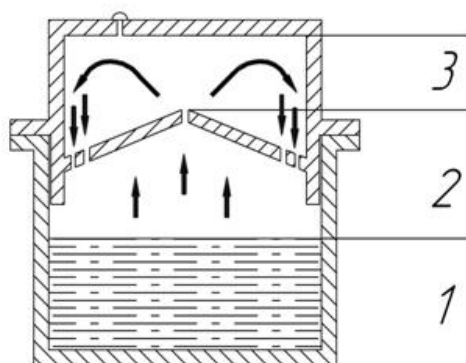


Рис. 1. Схематическое изображение контейнера для синтеза порошка Y_2O_3 :
1 – воздействие СВЧ-энергии на раствор; 2 – образование паров;
3 – конденсация паров

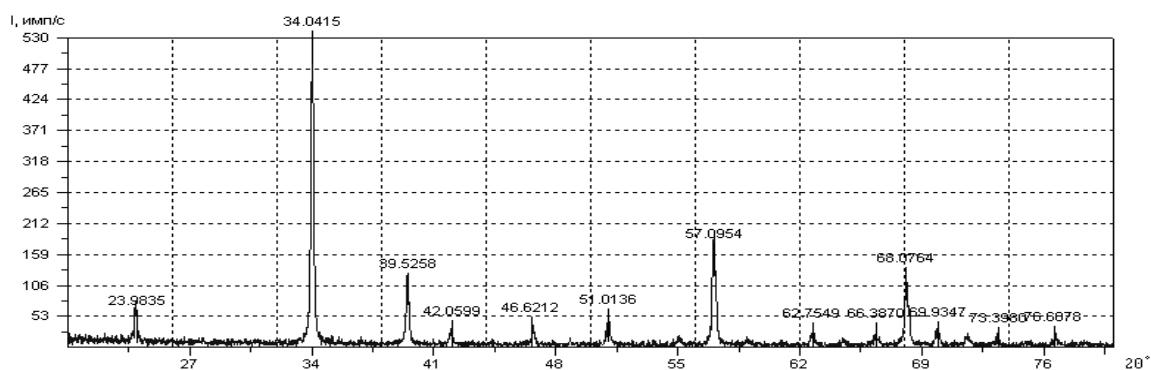


Рис. 2. Дифрактограмма порошка Y_2O_3 ($T_{обп} = 1000$ °С)

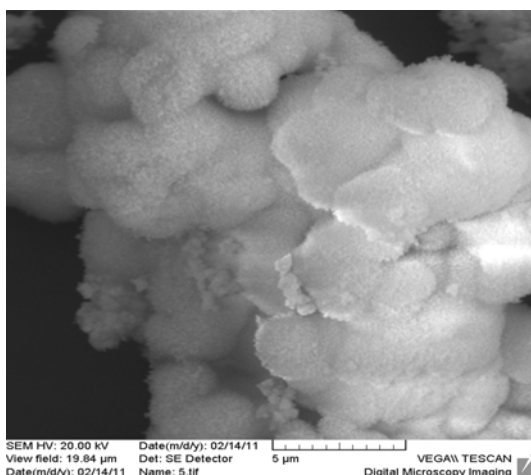


Рис. 3. РЭМ-изображение порошка Y_2O_3 (синтез в СВЧ-поле)

Приоритетным направлением дальнейшего исследования является изучение влияния параметров синтеза оксида иттрия в условиях термической и микроволновой обработки водных смесей хлорида иттрия с мочевиной на морфологию, структуру и оптические свойства получаемых ультрадисперсных порошков. Что касается полученных результатов на сегодняшний день, то данные композитные структуры являются хорошим заделом в области синтеза нанопорошков, в будущем использование данной экспериментальной методики имеет ряд приоритетных направлений начиная от синтеза гранатов и вплоть до спекания в СВЧ-поле оптической керамики.

Литература

1. Перспективы использования энергии СВЧ-излучения в процессах создания керамических и металлокерамических композитов / А. Ф. Ильющенко [и др.] // Инженерия поверхности. Новые порошковые композиционные материалы. Сварка : сб. докл. Междунар. симп., Минск, 25–27 марта, 2009 г. / Институт порошковой металлургии. – Минск, 2009. – С. 78–82.
2. Pavlenok, A. V. Synthesis of nano-structured powders ZnO using microwave energy / A. V. Pavlenok, A. A. Boiko, E. N. Poddenezhny // Abstracts book of International Symposium devoted to the 80th anniversary of Academician O.O. Chuiko «Modern problems of surface chemistry and physics». – Kyiv, 18–21 May 2010. – P. 222–223.

ВЛИЯНИЕ ГЕОМЕТРИИ ДЕФОРМИРУЮЩЕГО ИНСТРУМЕНТА НА ТОЛЩИНУ ПОКРЫТИЯ ПРИ ПРОШИВКЕ

А. А. Корсун, В. В. Коцур

*Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого, Беларусь*

Научный руководитель В. Ф. Буренков

Современное развитие техники требует создания биметаллических и многослойных материалов, обладающих повышенными эксплуатационными свойствами. Большую группу составляют изделия с тепло-, электропроводными, антифрикционными и другими покрытиями из пластичных металлов и композиций. Промышленные методы получения таких покрытий связаны с применением нагрева или проведением процесса нанесения лакирующего слоя в агрессивных средах, что усложняет технологию.

Получение покрытий из пластических металлов путем введения плакирующего материала в очаг деформации является наиболее перспективным способом, так как при этом совмещаются процессы формоизменения заготовки и формирования покрытия. Высокие удельные усилия в месте контакта плакирующего материала с основным, обновление поверхности и интенсивные сдвиговые деформации, возникающие при обработке металлов давлением, позволяют получить беспористые покрытия с высокой прочностью сцепления с основой без применения нагрева.

Наиболее полно изучены способы формирования покрытий на наружных поверхностях изделий в процессах обработки давлением, таких как прокатка и волочение. Несмотря на то, что номенклатура изделий с покрытиями на внутренних полостях достаточно широка, получение таких покрытий затруднено. Требуется разработка новых и совершенствование существующих способов их получения.

Способ плакирования, заключающийся в том, что пластичный металл вводится в очаг деформации при прошивке, позволяет получать покрытия на внутренних полостях [1]. Однако этот способ мало изучен, что затрудняет его применение, поэтому исследование технологических возможностей и создание практических рекомендаций по технологии плакирования при прошивке является актуальным и имеет важное народнохозяйственное значение.

Одним из показателей, определяющих срок службы покрытия и его эксплуатационные качества, является толщина покрытия. Изучение возможности получения покрытия заданной толщины путем изменения геометрической формы деформирующего инструмента имеет практический интерес.

Плакирование осуществлялось оловом, как компактным, так и порошковым, на заготовках из алюминия АДО диаметром 40 мм и высотой 50 мм, подвергнутых глубокому отжигу.

Деформирование производилось прошивнями диаметром $d = 20$ мм с калибрующим пояском длиной 10 мм. Рабочая часть прошивней выполнялась плоской с различными радиусами R_c скругления и конической с различными углами α конуса.

Толщина покрытия определялась металлографическим методом, который также дает возможность получения данных о пористости покрытия, позволяет выявить рельеф и структуру переходной зоны.

Ввиду того, что в начальный момент внедрения прошивня в заготовку, течение материала вблизи свободной поверхности облегчено, так как напряженное состояние характеризуется растягивающими напряжениями [2], а также вследствие особенностей течения плакирующего материала при глубине полости около $0,25d$, покрытие имеет увеличенную толщину. В дальнейшем, по мере внедрения прошивня, плакирующий материал расходуется на формирование покрытия и его толщина уменьшается.

Зависимости толщины покрытия δ от глубины прошиваемой полости h , представлены на рис. 1.

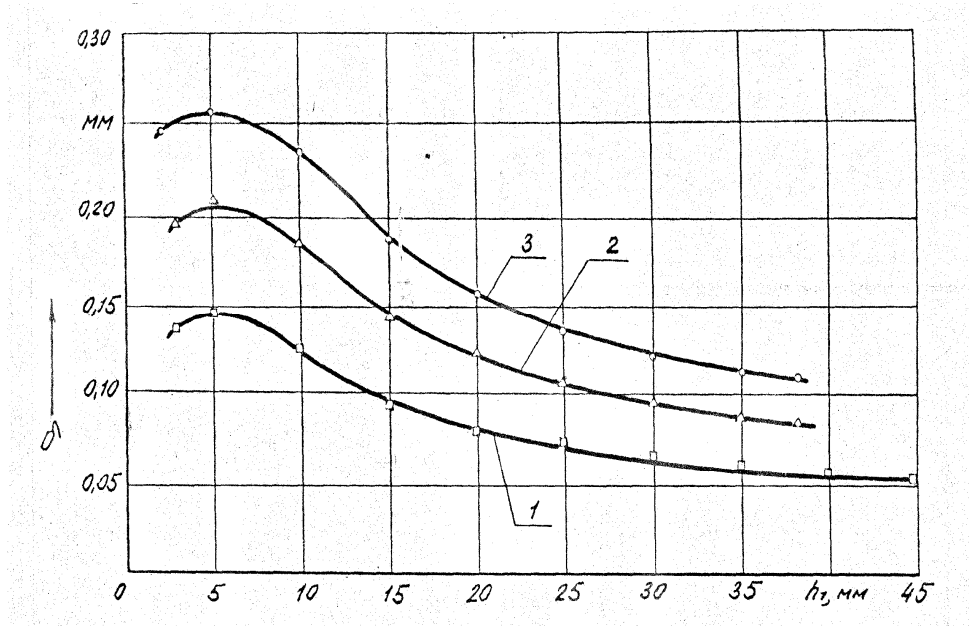


Рис. 1. Зависимость толщины лакирующего слоя от глубины прошиваемой полости: 1 – пуансон с плоским торцом $d = 20$ мм, $R_c = 2$ мм; 2 – с конической рабочей частью ($\alpha = 90^\circ$); 3 – со сферической рабочей частью ($R_c = d/2$)

Зависимости толщины покрытия от радиуса скругления пуансонов с плоским торцом и угла конуса пуансонов с конической рабочей частью представлены на рис. 2, 3.

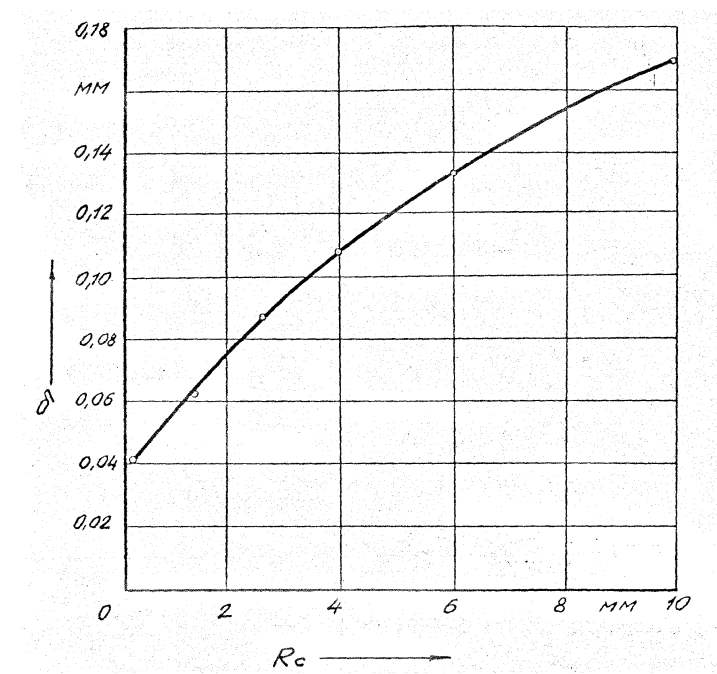


Рис. 2. Влияние радиуса скругления пуансона с плоским торцом на толщину оловянного покрытия

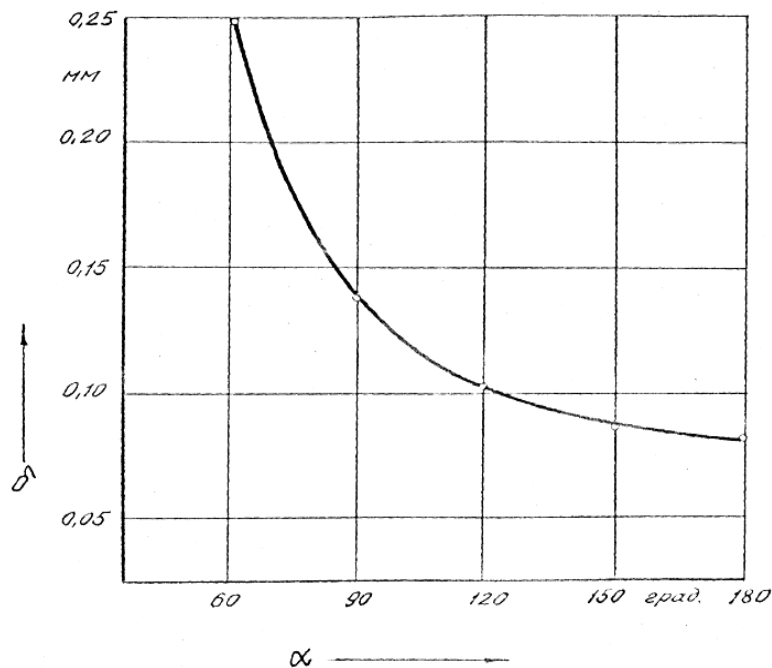


Рис. 3. Зависимость толщины оловянного покрытия от угла наклона образующих прошивки с конической рабочей частью

Совокупность экспериментальных данных, представленных в виде кривой на графиках, аппроксимировалась зависимостями различного вида. Для относительной оценки аппроксимированных кривых и выбора зависимостей, дающих наилучшее приближение к опытным данным, использовался критерий Фишера [3].

Зависимость толщины покрытия δ (мм) от радиуса скругления (мм) имеет вид:

$$\delta = 0,061R^{0,064} \cdot e^{0,095R},$$

а от угла наклона образующих α (рад):

$$\delta = 0,154a^{-2,16} \cdot e^{0,57\alpha}.$$

Толщина покрытия измерялась на глубине полости $0,75d$ (на такой глубине значительно снижается разнотолщинность покрытия).

Таким образом, применяя деформирующий инструмент с различной формой рабочей поверхности, можно регулировать в определенных пределах толщину покрытия, получаемого при закрытой прошивке полости.

Литература

1. Буренков, В. Ф. Использование процесса нанесения металлического порошкового покрытия при закрытой прошивке / В. Ф. Буренков, Е. Г. Сычев, В. К. Шелег // Кузнеч.-штамповоч. пр-во. – 1986. – № 9. – С. 4–6.
2. Сторожев, М. В. Теория обработки металлов давлением / М. В. Сторожев, Е. А. Попов. – М., 1977. – 424 с.
3. Четыркин, Е. М. Статистические методы прогнозирования / Е. М. Четыркин. – М., 1975. – 184 с.

ПРЕИМУЩЕСТВО ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПРОВОЛОКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РОЛИКОВЫХ ВОЛОК

М. М. Шкрабов

Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого, Беларусь

Научный руководитель А. М. Урбанович

С целью изучения влияния способа изготовления проволоки на ее механические свойства, были проведены исследования получения проволоки холодной прокаткой, волочением через роликовые волок, а также прокаткой волочением.

Исследования проводились на полупромышленной установке конструкции ЧПИ, позволяющей осуществлять процессы прокатки в клети с многовалковым калибром, волочение через роликовую волоку, прокатку волочением.

В качестве заготовки использовалась подкалиброванная патентованная канатка диаметром 6,0 мм из сталей У8А, Ст. 80. На полупромышленной установке ЧПИ проволока диаметром 3 мм была получена следующими способами:

- 1) прокаткой в клети с четырехвалковым калибром (рис. 1);
- 2) волочением через пару вертикальных и горизонтальных неприводных валков, расположенных на расстоянии, меньшем радиуса валка (рис. 2);
- 3) прокаткой волочением (рис. 3).

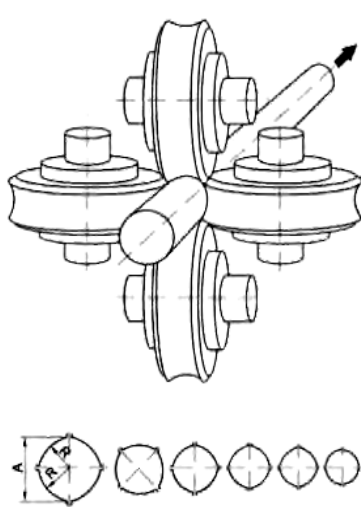


Рис. 1

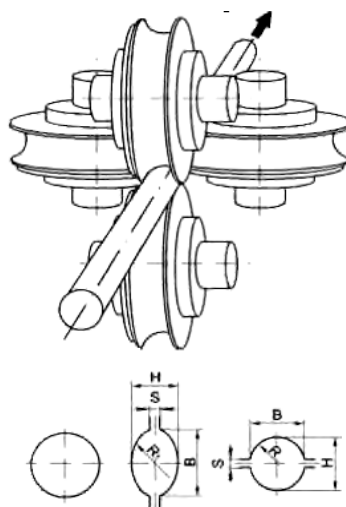


Рис. 2

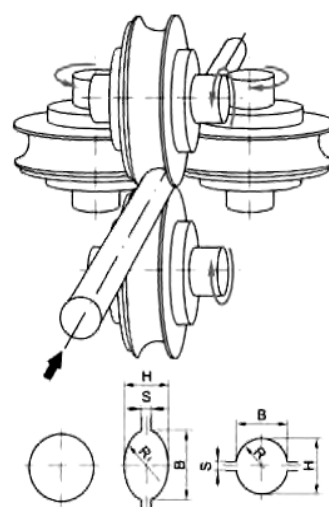


Рис. 3

Проволока протягивалась со скоростью 30 м/мин без смазки и охлаждения. Подготовка поверхности заготовок к прокатке и волочению не проводилась.

По первому способу деформации проволоку диаметром 3 мм из заготовок диаметром 6,0 мм получили за шесть проходов, при отклонении размеров проволоки по диаметру $\pm 0,03$ мм. Для прокатки проволоки использовали калибровку круг – стрельчатый квадрат – круг. Система калибровки и схема сборки валков представлены на рис. 1.

По второму способу деформации проволока диаметром 3 мм из заготовок диаметром 6,0 мм была получена за три протяжки, при отклонении размеров по диаметру $\pm 0,04$ мм. Система калибровки круг – овал – круг. Система калибровки и схема сборки валков представлены на рис. 2.

По третьему способу деформации проволоки диаметром 3 мм из заготовок диаметром 6,0 мм прокатана за три прохода, отклонение конечного размера проволоки по диаметру составило $\pm 0,04$ мм. Система калибровки и схема сборки валков представлены на рис. 3.

Результаты испытаний показали, что способ изготовления практически не влияет на предел прочности на разрыв, наблюдается незначительное падение предела прочности на разрыв проволоки, протянутой через роликовую волоку.

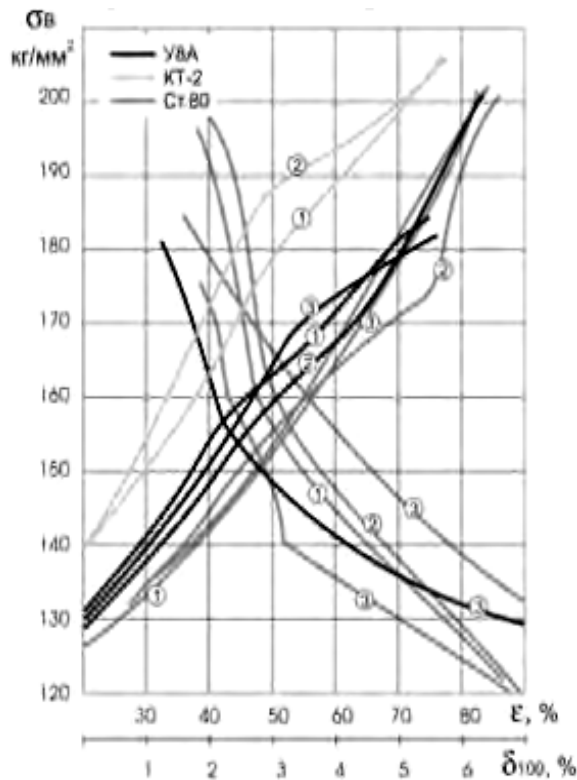


Рис. 4. Предел прочности и удлинение проволоки

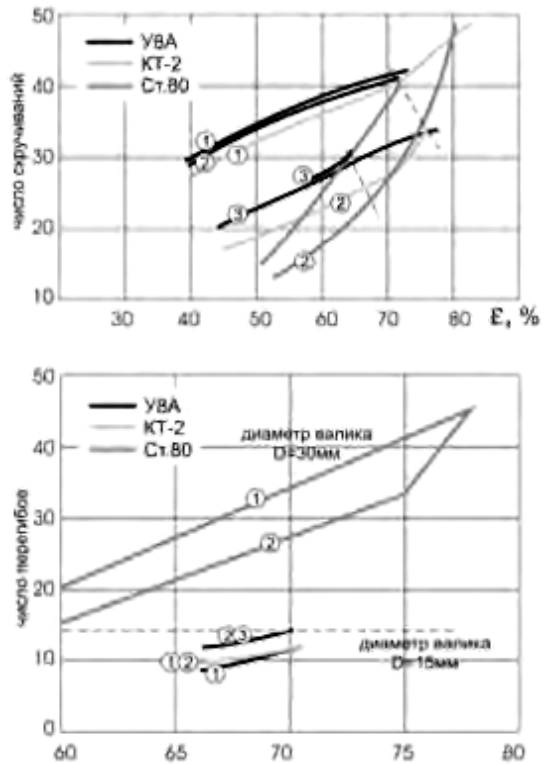


Рис. 5. Вязкие свойства проволоки

Для сопоставления механических свойств проволоки диаметром 3 мм, изготовленной на установке ЧПИ, с механическими свойствами проволоки, волоченной через монолитные волоки, была протянута проволока диаметром 3 мм из заготовок тех же размеров и марок сталей.

Установлено, что способ изготовления проволоки не оказывает существенного влияния на ее механические свойства. Однако холодная прокатка, волочение через роликовые волоки и прокатка волочение позволяют увеличить производительность и стойкость инструмента, уменьшить количество промежуточных отжигов при получении проволоки из высокопрочных сплавов, отказаться от подготовки поверхности катанки и применить механическое удаление окалины.

Оценка двух видов волочения в реальном технологическом процессе

Теоретическое сравнение было сделано на основе реального технологического процесса, который будет исследован ниже. Исследуемый технологический процесс производства проволоки – это волочение проволоки на 9-кратном волочильном стане. В ходе эксперимента скорость волочения составляла 20 м/с. Конструкция секции

стана позволяла устанавливать как волокодержатель для традиционной волоки, так и роликковую кассету. Для проведения испытаний один волочильный стан был укомплектован четырьмя роликковыми кассетами, на другом волочильном стане для производства проволоки использовались волоки. Для производства проволоки на двух волочильных станах применялся горячекатаный прокат (катанка) диаметром 5,5 мм одинаковой марки с одинаковыми механическими свойствами (50–55 кН/мм²).

В ходе тестовых испытаний было зафиксировано, что проволока, произведенная на волочильном стане с роликковыми головками, обладает более высоким значением механической прочности ($\sigma_b = 100$ кН/мм²) в отличие от проволоки, полученной волочением через волоку. В результате можно было констатировать, что значительной экономии электроэнергии в ходе этого испытания получено не было.

Более ощутимое преимущество при использовании роликковой головки относительно волочения через волоку было получено за счет увеличения производительности.

При использовании роликковой волоки остановки стана для замены инструмента в связи с выходом диаметра из поля допуска производились реже. В результате проведенных испытаний производительность на волочильном стане с использованием роликковых головок была выше на 4 %, чем на волочильном стане, где использовались традиционные волоки.

В итоге промышленных испытаний было произведено 2000 т проволоки в течение 240 рабочих смен без замены роликковых головок. При этом значение допуска на диаметр и овальность проволоки не превышали 0,025 мм. Если допуски на изготавливаемую проволоку будут менее жесткими и с учетом конструкции роликковой головки, позволяющей производить трехкратную перешлифовку роликов, то стойкость роликковых головок будет еще более значительной.

На основании проведенных промышленных испытаний технологии производства проволоки можно сделать следующие выводы о преимуществах волочения с использованием роликковой головки по отношению к технологии производства проволоки с использованием традиционной волоки.

Преимущества волочения с использованием роликковых волок:

- возможность регулировки в некоторых пределах диаметра проволоки;
- более высокая размерная однородность проволоки;
- высокая производительность волочильного стана из-за уменьшения технологических остановок для коррекции диаметра проволоки;
- возможность волочения проволоки с низким коэффициентом обжатия за один проход;
- отсутствие значительных перегревов проволоки в зоне деформации;
- возможность волочения проволоки из сталей с пониженными пластическими свойствами;
- более высокая скорость волочения;
- более эффективное волочение проволоки с использованием метода механической подготовки поверхности катанки к волочению в связи с полной нечувствительностью роликковой головки к остаточным окислам.

Недостатки:

- более высокие начальные капитальные вложения;
- необходимость в специальной подготовке обслуживающего персонала;
- допуски по диаметру и овальности проволоки больше, чем при волочении проволоки через традиционную волоку.

Мы видели, как эти две технологии используются вместе, чтобы определить их преимущества и недостатки. Сегодня технология холодной прокатки проволоки че-

рез роликовую волоку – доступное решение для любого производителя, что позволяет продолжить разработки для совершенствования процесса волочения проволоки.

ТРЕХМЕРНАЯ МОДЕЛЬ КАК ОСНОВОПОЛАГАЮЩИЙ ЭЛЕМЕНТ ПРИ РАЗРАБОТКЕ КОНСТРУКТОРСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

Д. О. Белоус

*Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого, Беларусь*

Научный руководитель С. Н. Целуева

В настоящее время во всех отраслях промышленности используются средства вычислительной техники для выполнения различных процедур проектирования. Поэтому специалист, отвечающий современным требованиям, должен владеть навыками компьютерного проектирования.

Современное производство продукции машиностроения развивается в направлении полной автоматизации таких этапов жизненного цикла изделия, как проектирование и производство. В данном направлении большое значение имеет автоматизация проектирования технологической оснастки (штампов, пресс-форм, приспособлений).

Отдельные предприятия решают вопросы автоматизации проектирования оснастки на базе универсальных средств машинной графики, которые позволяют несколько снизить трудоемкость и повысить качество проектирования. Однако эффективность проектирования и оформления полного комплекта конструкторской документации на оснастку с использованием только универсальных графических систем относительно невелика. Значительное повышение эффективности достигается при использовании дополнительных специализированных программных средств, расширяющих возможности универсальных систем с учетом специфики проектирования оснастки. К таким системам относится система трехмерного твердотельного моделирования КОМПАС-3D с включенными в ее состав 3-D библиотеками деталей штампов и пресс-форм.

В связи с этим для автоматизированного проектирования штампа для вырубки пробивки детали «Стойка» и разработки конструкторской документации была выбрана система КОМПАС-3D. Система трехмерного твердотельного моделирования КОМПАС-3D V10 приобретена университетом у ЗАО «АСКОН» по университетской лицензии. Работа выполнялась в рамках курсового проектирования по дисциплине «Теория и технология листовой штамповки» специальности 1-36 01 05 «Машины и технологии обработки материалов давлением».

Построение пространственной геометрической модели проектируемого изделия является центральной задачей компьютерного проектирования. Именно эта модель используется для дальнейшего решения задач формирования чертежно-конструкторской документации.

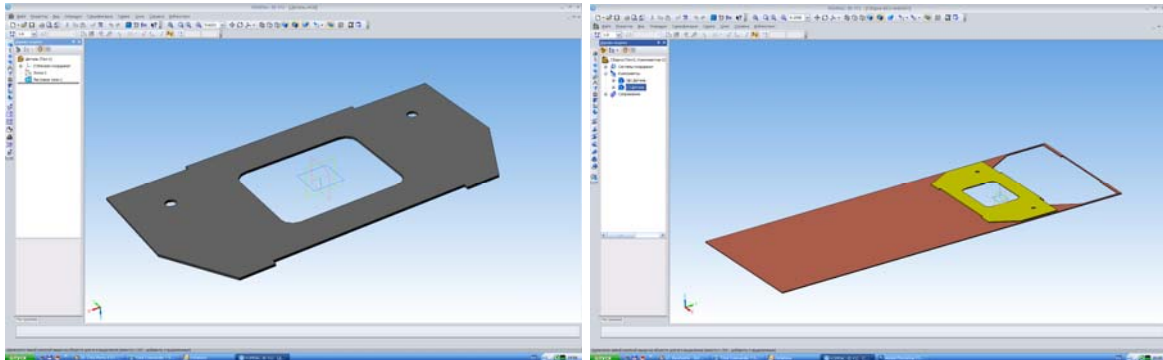
Разработка трехмерной модели штампа начиналась при следующих исходных данных: чертеж на штампуемую деталь, толщина и марка материала, объем выпуска.

Разработка конструкторской документации проекта производилась в системе КОМПАС-3D в следующей последовательности:

- 1) создание трехмерной модели штампуемой детали (рис. 1, *a*);
- 2) моделирование полосы-заготовки на основании чертежа детали (рис. 1, *б*);
- 3) создание моделей формообразующих деталей – матрицы и пуансона;

- 4) проектирование сборочной модели пакета и блока штампа с использованием средств 3D-библиотеки деталей штампов;
- 5) создание ассоциативного сборочного чертежа штампа (рис. 2);
- 6) разработка спецификации (рис. 3);
- 7) создание ассоциативных рабочих чертежей (рис. 4).

Рассмотрим особенности проектирования данного штампа с использованием 3D-библиотек деталей штампов системы КОМПАС-3D V10.



а)

б)

Рис. 1. Трехмерная модель детали «Стойка» (а) и полосы-заготовки (б)

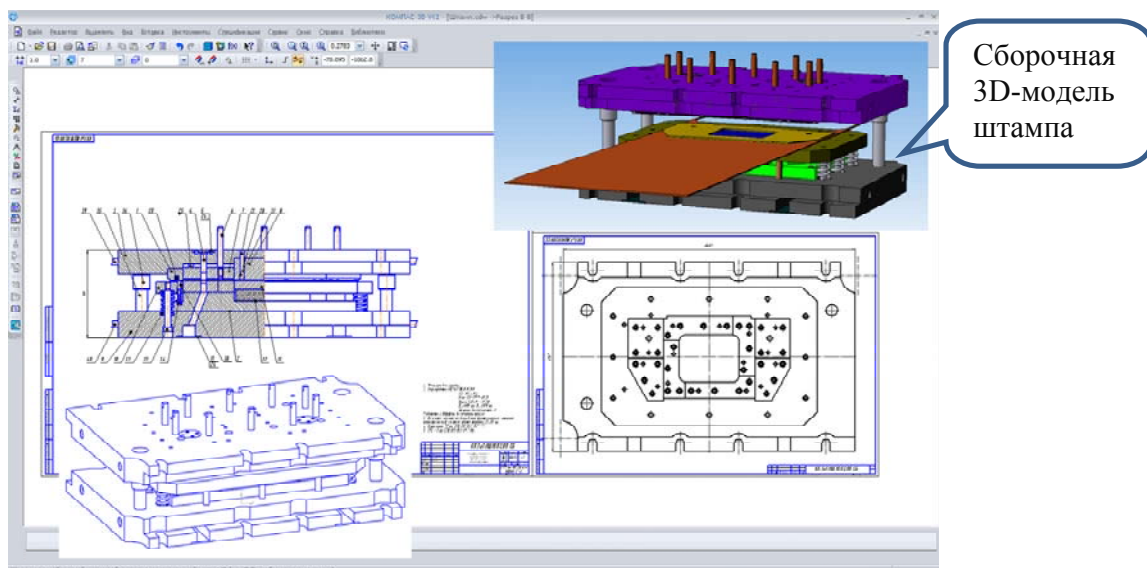


Рис. 2. Ассоциативный сборочный чертеж штампа, созданный по его 3D-модели

№	Обозначение	Наименование	Количество
1	К10/20/10/20/15	Держатель	1
2	К10/20/10/20/15	Линейный чертёж	4,000
3	К10/20/10/20/15	Спецификация	1
4	К10/20/10/20/15	Матрица	1
5	К10/20/10/20/15	Линейный чертёж	1
6	К10/20/10/20/15	Сборка	1
7	К10/20/10/20/15	Сборка	1
8	К10/20/10/20/15	Сборка	1
9	К10/20/10/20/15	Сборка	1
10	К10/20/10/20/15	Сборка	1
11	К10/20/10/20/15	Сборка	1
12	К10/20/10/20/15	Сборка	1
13	К10/20/10/20/15	Сборка	1
14	К10/20/10/20/15	Сборка	1
15	К10/20/10/20/15	Сборка	1
16	К10/20/10/20/15	Сборка	1
17	К10/20/10/20/15	Сборка	1
18	К10/20/10/20/15	Сборка	1
19	К10/20/10/20/15	Сборка	1
20	К10/20/10/20/15	Сборка	1

Рис. 3. Спецификация на сборочный чертёж штампа

3D-библиотека деталей штампов содержит параметрические трехмерные модели стандартных деталей штампов, элементов фиксации, крепежных элементов и т. д. Для всех объектов штампов в библиотеке содержатся таблицы стандартных значений размерных параметров в соответствии с рекомендациями ГОСТ, что позволяет использовать их многократно в различных конструкциях технологической оснастки.

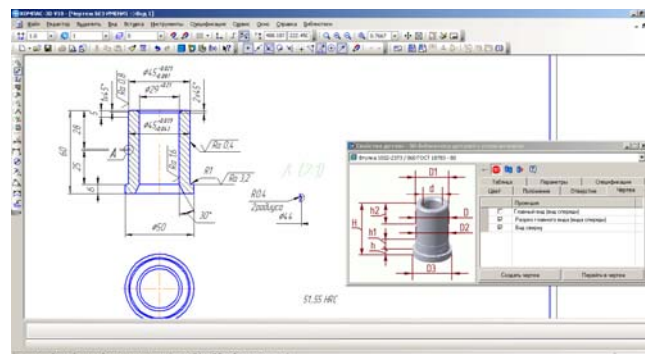


Рис. 4. Окно создания ассоциативных рабочих чертежей деталей штампа

Трехмерная модель штампа представляет собой обычную сборку. В дереве модели создаются конструктивные элементы, содержащие геометрию для последующей передачи в тот или иной проектируемый узел.

При выполнении проекта для каждого объекта штампа, выбранного из библиотеки, выполнялись следующие действия:

- выбор деталей из меню 3D-библиотеки;
- выбор стандартных значений размерных параметров из таблиц или изменение стандартных значений размеров на нестандартные;
- ввод нестандартных значений размерных параметров (при отсутствии таблиц стандартных значений) или расчет значений параметров;
- определение положения объектов в сборке – базирование вставляемых элементов;
- создание объектов и записей спецификации, редактирование данных для заполнения записей спецификации;
- автоматическое формирование рабочих чертежей;

– редактирование значений размерных параметров, координат расположения объектов в сборке;

– создание отверстий при врезании деталей.

Сборочный чертеж штампа формировался на основании его трехмерной модели в соответствии с требованиями ЕСКД путем использования такого средства чертежно-графического редактора КОМПАС-3D, как ассоциативные виды.

Таким образом, в автоматизированном режиме с использованием 3D-библиотек деталей штампов системы КОМПАС-3D была спроектирована сборочная модель штампа для вырубки-пробивки детали «Стойка», создан ассоциативный сборочный чертеж штампа и рабочие чертежи деталей, разработана спецификация.

Автоматизация проектирования конструкций штампов различного типа с использованием трехмерного моделирования в системе КОМПАС-3D позволяет повысить скорость и качество проектирования.

Перечислим основные достоинства системы КОМПАС-3D и 3D-библиотеки деталей штампов, отмеченные при создании трехмерной модели штампа и конструкторской документации на основании модели:

– возможность самостоятельно устанавливать порядок проектирования;

– возможность при определении геометрических параметров блока, пакета, деталей штампа выбирать параметры из таблиц стандартных значений размерных параметров или задавать значения параметров, исходя из конструктивных соображений, либо использовать расчетные значения параметров;

– автоматизированное создание чертежей;

– простота изменения чертежей;

– автоматическое перестраивание объектов в сборке и на рабочих чертежах, а также записей спецификации по результатам редактирования.

ФОРМИРОВАНИЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ СТЕКЛОМАТРИЦ И ОПТИЧЕСКИ АКТИВНЫХ УЛЬТРАДИСПЕРСНЫХ ЧАСТИЦ

О. В. Урецкая, Н. Е. Дробышевская, Е. И. Гришкова

*Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого, Беларусь*

Научный руководитель Е. Н. Подденежный

Одним из новых направлений в светотехнике и оптическом материаловедении, изучаемых с целью снижения стоимости светодиодных осветительных приборов, а также для повышения однородности излучения светодиодных ламп, является разработка так называемых удаленных фотопреобразователей, т. е. люминесцентных материалов, вынесенных на определенное расстояние от светодиодного кристалла (чипа). Традиционная структура светодиода белого цвета излучения, наиболее часто используемая для целей освещения, состоит из комбинации одного или нескольких чипов, представляющих собой гетероэпитаксиальную структуру InN-GaN-AlN-на-сапфире, на поверхность которой нанесен слой желтого люминофора, преобразующий излучение синего цвета в желто-зеленое, что в сумме с частично проходящим синим формирует квазибелое излучение. Такая конструкция в мощных светодиодных излучателях обладает рядом недостатков: малой живучестью полимерного компаунда из-за его термической деградации, отравления наполнителя-люминофора за счет взаимодействия поверхности люминесцентных частиц и активных органических групп полимерной основы. Кроме того, в данной конструкции от чипа к чипу трудно добиться воспроизводимости цветового от-

тенка, который может изменяться от холодного к нейтральному и теплomu белому цвету. Кроме того, технология нанесения полимерно-кристаллического компаунда является довольно сложной и плохо воспроизводимой. Удаленный от чипа-излучателя или матрицы чипов на некоторое расстояние люминофорный преобразователь может быть изготовлен из стеклокерамики, керамического композита, а также люминофорного покрытия на прозрачной полимерной или стеклянной подложке.

Особенностями нового подхода к конструированию световых приборов на светодиодах с удаленными фотопреобразователями являются трудности в создании самих преобразователей, практически отсутствие полной и достоверной информации о деталях разработок, отсутствие сведений о промышленных технологиях создания преобразователей (имеется всего несколько американских патентов, статей, выступлений на конференциях, рекламной информации). Отсутствует также устоявшаяся терминология.

Препятствиями для широкого внедрения конструкций светодиодных осветительных приборов с удаленными преобразователями являются следующие: дороговизна наиболее подходящих для этих целей люминофорных порошков – иттрий-алюминиевого граната, легированного церием ($YAG:Ce^{3+}$) и их модификаций, отсутствие завершенных разработок промышленных конструкций преобразователей, а также нормативной базы для их применения.

Известно несколько работ, посвященных формированию люминофорных композитов, состоящих из микропорошков люминофора, в основном $YAG:Ce^{3+}$, распределенных в матрице из легкоплавкого стекла [1]. Такие композиты формируются путем смешивания порошка люминофора с порошком заранее сваренного стекла с высоким показателем преломления ($n \geq 1,7-1,75$), плавления смеси при температурах $700-780$ °C в платиновом тигле и последующего закаливания в воде. Подходящей матрицей для создания люминофорного композита, по данным патента США [2], может быть боросиликатное стекло (Schott 8532) либо борно-висмутовое стекло (30 % Bi_2O_3). Количество люминофора $YAG:Ce$ (средний размер частиц ~ 2 мкм) составляло в смеси около 30 %. Достоинством такого варианта получения люминофорного композита является простота его изготовления, недостатками – неоднородное распределение частиц люминофора в матрице стекла, необходимость использования платиновых тиглей, низкая химическая и механическая прочность стеклозаготовок, сложные дополнительные операции вырезания заготовки, шлифовки и полировки, плохая воспроизводимость характеристик за счет неравномерного оседания крупных частиц люминофора в расплаве стекла при термообработке.

В последнее время появилось несколько научных работ и патентов, посвященных созданию люминофорных покрытий для светодиодных преобразователей в виде тонких пленок или толстопленочных люминесцентных покрытий, нанесенных на поверхность прозрачных носителей. Так, в заявке на изобретение [2] приводятся составы и методика нанесения такого покрытия на поверхность стеклянной подложки. Порошок $YAG:Ce$ со средним размером частиц $d_{50} \sim 6$ мкм и порошок стекла Schott 8532 ($n = 1,7-1,75$ при $\lambda = 530$ нм) смешиваются в центробежном миксере в соотношении 1 : 3 со скоростью 2700 об/мин. При добавлении в смесь этанола и тщательном перемешивании образуется вязкая шликерная композиция. Шликер наносится поливом на стеклянную подложку и высушивается на воздухе при 50 °C. Стеклянная подложка с покрытием помещается в платиновый тигель и нагревается до температуры 780 °C в течение 30 мин, затем медленно охлаждается на воздухе до комнатной температуры. Подложку тоже изготавливают из стекла Schott 8532. Преимуществом метода является его простота, экономичность, пригодность к массовому производству, недостатки: неоднородность распределения микрочастиц люминофора по толщине

покрытия (при расплавлении стекла микрочастицы оседают в нижней части покрытия) и неравномерность излучения люминофора по диаметру подложки.

В НИЛ ТKN ГГТУ им. П. О. Сухого получены ультрадисперсные порошки иттрий-алюминиевого граната, легированного церием методами коллоидной химии (гомогенное осаждение из азотнокислых солей в растворе мочевины, гетерогенное осаждение карбонатом аммония), методом «горения» нитратов иттрия, алюминия и церия в сахарозе или лимонной кислоте, а также путем механохимического синтеза. После прокаливания прекурсоров на воздухе при температурах 1100–1200 °С формируются наноструктурированные люминесцирующие порошки YAG:Ce³⁺ различной морфологии (рис. 1, 2). Размеры первичных частиц люминофора составляют 40–80 нм.

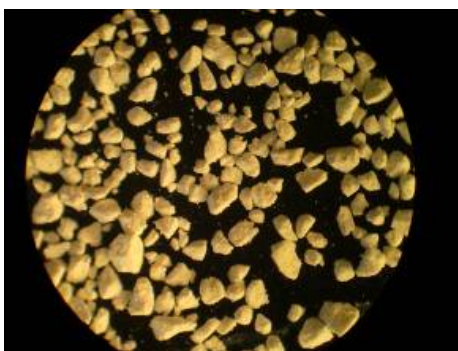


Рис. 1. Порошок YAG:Ce, полученный методом механохимического синтеза, размер агломератов 20–60 мкм

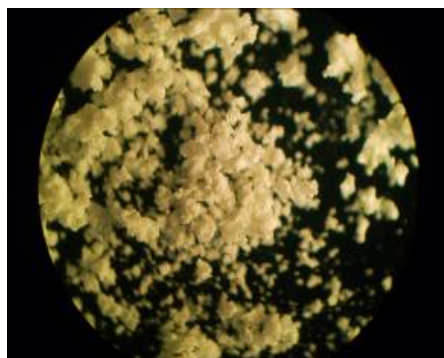


Рис. 2. Порошок YAG:Ce, полученный методом горения нитратов в сахарозе, размер агломератов 1–10 мкм

В качестве основы люминофорных покрытий было исследовано несколько типов легкоплавких оксидных стекол: PbO-Bi₂O₃-SiO₂, Bi₂O₃-B₂O₃, ZnO-CaO-B₂O₃. Методика приготовления стеклокристаллического покрытия на подложках из предметных стекол состоит из приготовления шликера на основе смеси порошков YAG:Ce³⁺, тонкомолотого порошка легкоплавкого стекла и органического растворителя. Далее шликер наносится на стеклянную подложку методом полива, после чего структура обрабатывается при температуре 700–750 °С в воздушной среде.

Установлено, что использование Bi-B-стекла приводит к формированию пористой структуры покрытия и полному тушению люминесценции (рис. 3), а наилучшей совместимостью с порошком люминофора обладает цинк-бор-кальциевое стекло (рис. 4).

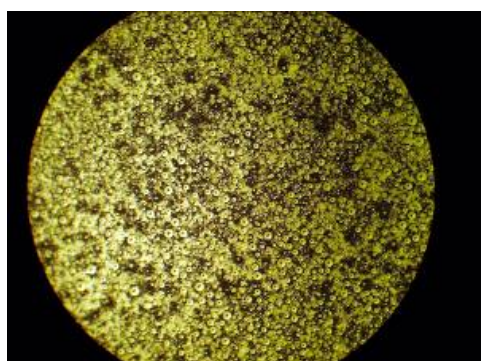


Рис. 3. Покрытие люминесцирующее на стекле Bi₂O₃-B₂O₃, порошок рис. 2

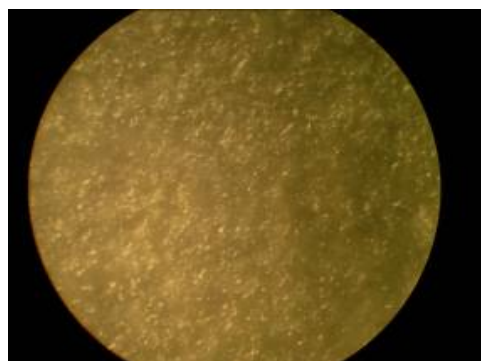


Рис. 4. Покрытие люминесцирующее на стекле ZnO-CaO-B₂O₃, порошок рис. 1

В результате термообработки шликерных покрытий на стекле формируются люминофорные толстые стеклокристаллические пленки, пригодные для создания фотопреобразователей светодиодных осветительных приборов.

В НИЛ ТХН ГГТУ им. П. О. Сухого также были получены люминофорные объемные композиты, состоящие из порошков люминофоров YAG:Ce, распределенных в матрице из легкоплавкого стекла ZnO-CaO-B₂O₃. Такие композиты были сформированы путем смешивания люминофоров YAG:Ce, синтезированных разными методами, с порошком цинк-бор-кальциевого стекла, частицами кварцевого стекла и изопропиловым спиртом. Эту композицию тщательно перемешивали, высушивали при 120 °С в течение 15 мин, спрессовывали в виде дисковых образцов толщиной 1–2 мм и спекали при температуре 750 °С. Люминофорные объемные композиты с удовлетворительными характеристиками были сформированы с использованием люминесцентных порошков YAG:Ce³⁺, полученных механохимическим способом.

Литература

1. Fujita S., Sakamoto A., and Tanabe S. Luminescence characteristics of YAG glass-ceramic phosphor for white LED // IEEE J. Sel. Topics Quantum Electron. – 2008. – Vol. 14. – P. 1387–1391.
2. United States Patent Application № US 0206352 A1, МКИ H01L 33/00. Luminescence conversion led / D. Becker (De) and others // 20.08.2009.

АНАЛИЗ ЭФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЙ ПЛАВКИ ЧЕРНЫХ МЕТАЛЛОВ В СОВРЕМЕННЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ДУГОВЫХ ПЕЧАХ

Т. И. Стукач

*Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого, Беларусь*

Научный руководитель И. Б. Одарченко

Дуговые сталеплавильные печи переменного тока (ДСП) и сегодня работают на многих предприятиях, имея рентабельность много выше рентабельности предприятий, оснащенных современными индукционными печами, в первую очередь за счет технологической возможности выплавлять металл из дешевых шихтовых материалов. Однако рентабельность применения ДСП резко падает при производстве ответственных марок сталей, выполнении требований экологов к охране окружающей среды и служб энергонадзора к нарушениям качества электроэнергии в электросистемах.

При этом для ДСП, с точки зрения технологии, остались не решенными проблемы: перемешивания расплава, передачи энергии из дуги в расплав, управления дуговым разрядом. Следствием этого являются: высокий угар шихты и ферросплавов, графитированных электродов, локальные перегревы расплава под дугами, узкая область применения, резкопеременный характер нагрузки системы электроснабжения, фликер, высокий расход электроэнергии, низкая производительность, большой объем ручного труда и др. Строительство мощных фильтрокомпенсирующих устройств, стоимость которых не уступает стоимости энергетического оборудования печных комплексов, а также затраты на пылегазоочистку и фильтрокомпенсацию существенно увеличивают себестоимость металла, ставя под сомнение рентабельность производства.

Для решения этих проблем в настоящее время создание и реконструкция технологических процессов с использованием ДСП ведется в двух основных направлениях. Первое – это реализация дуплекс процессов, в которых расплавление шихты ве-

дется в комбинированной ДСП, а синтезирование стали в установках печь–ковш, зачастую с использованием дугового нагрева. Такие технологии решают обозначенные проблемы лишь частично и непригодны для металлургии машиностроения, поскольку являются высокочрезвычайными процессами, в которых кислородный или рудный кип заменен продувкой металла аргоном. В них используются сложные дорогие методы раскисления, легирования и рафинирования стали с целью получения заданных свойств. Эти методы энергоемки, а их применение сопровождается значительными выбросами газов и пыли. Комплекс вспомогательных средств нагрева генерирует большое количество отходящих газов и пыли, шума, многократно превышающий СНиП, приводит к очень значительным потерям металла. Для ДСП необходимо строительство шумозащитных боксов и мощной системы пылегазоочистки. Использование альтернативных видов энергии не выгодно. Второе, наиболее перспективное, – переход на использование печей постоянного тока (ДППТ), спроектированных с учетом взаимодействия дугового разряда с металлом.

В таких печах источник питания (рис. 1) включает в себя трансформатор с несколькими трехфазными обмотками, каждая из которых подключена к секции тиристорного преобразователя. Через реакторы секции тиристорного преобразователя подключены к подовым электродам. Таким образом, ДППТ оснащена и регулятором мощности – ступенчатым переключателем напряжения и системой переключения режимов. Эта особенность позволяет в первый период плавки на длинной дуге, расположить анодное пятно на кусках металлической шихты. В этих условиях не допускается перегрев расплава, так как расплавленные капли металла, нагреваясь, преодолевают силу поверхностного натяжения и стекают на подину печи. При этом плавка ведется на стабилизируемой мощности практически без колебаний электрического режима.

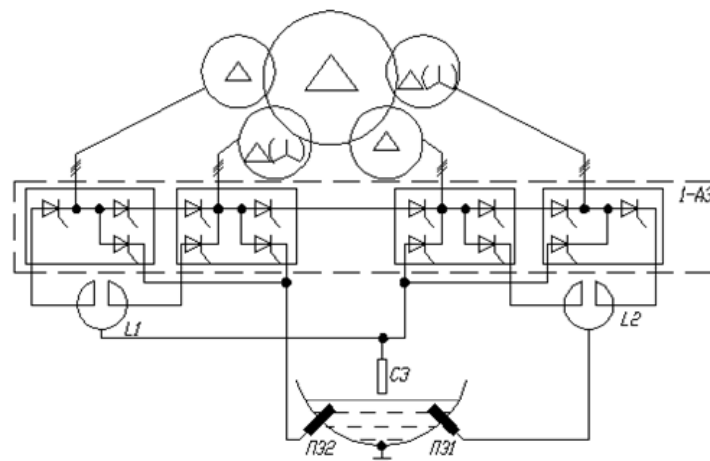


Рис. 1. Принципиальная схема источника питания ДППТ

Второй период плавки ведется при коммутации секций тиристорного преобразователя: по две секции – параллельно и между собой – последовательно. При этом ток дуги удваивается, а напряжение в два раза снижается, т. е. сохраняется мощность первого периода плавки. Анодное пятно дуги располагается на расплаве, накопленном при проведении первого периода, внутри воронки, проплавленной в шихте ранее. Для отвода мощности от анодного пятна расплава включается система перемешивания расплава. Перемешивание расплава не допускает локального перегрева металла под

дугой, устраняя интенсивный угар металла, а образовавшаяся в течение первого периода воронка в шихте позволяет поддерживать высокую стабильность вводимой мощности. В этот период плавки ведется расплавление основной массы шихты.

После расплавления основной массы шихты источник питания переключается для ведения третьего периода плавки. Для этого, все секции тиристорного преобразователя включаются параллельно. Ток увеличивают в два раза – по сравнению со вторым периодом и в четыре раза – по сравнению с первым периодом плавки, а напряжение источника питания пропорционально увеличению тока снижается, т. е. вся плавка ведется при постоянной мощности с полным использованием силовых возможностей трансформатора.

Увеличение тока приводит к увеличению интенсивности перемешивания расплава, а энергия дуги перераспределяется. Энергия третьего периода (до 80–90 %) передается непосредственно в расплав, а система перемешивания переносит ее вглубь расплава. Это позволяет отказаться от применения вспененного шлака, кислорода и других газов, используемых в ДСП.

В ДППТ за счет перемешивания расплава достигаются большая эффективная площадь взаимодействия системы шлак-расплав, идеальная гомогенность температуры и химического состава расплава, быстрое растворение и высокое усвоение легирующих элементов, интенсивная скорость ведения технологических процессов: десульфурации, дефосфорации, науглероживания, обезуглероживания расплава, удаление неметаллических включений, дегазация расплава; минимальный удельный расход электроэнергии, сокращается угар шихты, гарантируется высокое качество металла.

Анализ практического опыта реализации указанных технических преимуществ показал значительный экономический эффект от замены ДСП на ДППТ.

Структура полученного экономического эффекта подтверждает то, что даже значительная экономия электроэнергии не стала главным результатом реконструкции. Основой технико-экономического эффекта является стоимость сырья и материалов, увеличение производительности и технологические возможности снижения себестоимости жидкой стали.

**Доля основных показателей формирования
экономического эффекта
от внедрения ДППТ
(за 10 месяцев эксплуатации), р./т**

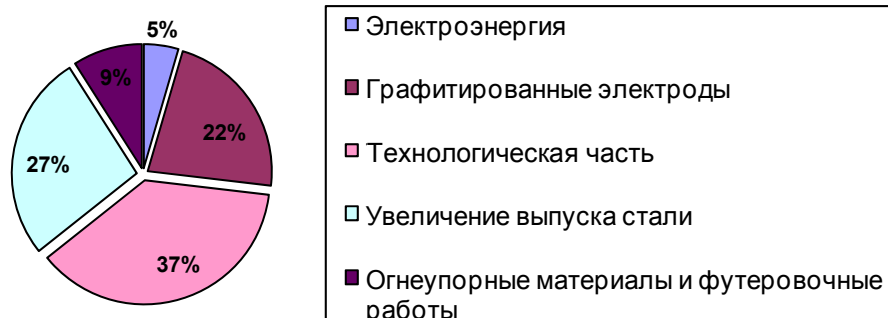


Рис. 2

В расчет не включена экономия затрат на экологию, которая также является одной из весомых составляющих. В обычных ДСП образование диоксинов, фуранов, окислов азота и других вредных примесей в значительных объемах, что требует строительства дорогостоящей системы пылегазоочистки. В современных ДППТ система плавки практически создает идеальные условия борьбы с ними. В начале плавки в шихте формируются печные газы с высоким содержанием CO , C_nH_m , температура которых превышает $1200\text{ }^\circ\text{C}$, а избыточное давление в печи исключает подсос в печь воздуха. При выходе в окружающее пространство газы моментально воспламеняются, догорают до заверенных окислов и немедленно охлаждаются потоком воздуха в системе вентиляции. Также следует учитывать, что для организации и ускорения процесса плавки в ДППТ не применяются вспененный шлак, любые виды химических топлив и кислород.

В восстановительной атмосфере печного пространства ДППТ практически отсутствует угар шихты и приход за счет него тепла экзотермических реакций. Стабилизация электрического режима и связанная с ней стабилизация давления газов в печном пространстве подавляет газообмен печного пространства с окружающей средой; препятствуя окислению шихты кислородом воздуха.

ДППТ практически не создает резко-переменной нагрузки в сети. Это достигается соответствующим специальным регулированием тиристорного преобразователя источника питания печи во все периоды плавки, стабилизацией тока дуги с заданной точностью оптимизированной для каждого периода плавки.

Инновационные технологии, основанные на применении современных дуговых печей постоянного тока с автоматической системой тиристорного регулирования мощности и переключения режимов через графитизированные и подовые электроды существенно превышают любые альтернативные технологии плавки стали по технико-экономическим показателям, устраняя практически все недостатки ДСП и значительно снижая себестоимость отливок.

Даже с учетом проведения глобальной реконструкции ДСП и модернизации технологии плавки стали в них данные технологии не способны конкурировать с современными технологиями плавки в ДППТ как в области экономических показателей, так и в области качества сплавов.

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РАБОЧЕГО ИНСТРУМЕНТА НА ПРОШИВНЫХ ПРОКАТНЫХ СТАНАХ С ГРИБОВИДНЫМИ ВАЛКАМИ

А. А. Боровиков

*Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого, Беларусь*

Научный руководитель Ю. Л. Бобарикин

В большинстве известных источников, описывающих процесс прошивки полой заготовки, рассматривается схема очага деформации с бочковидными прокатными валками. На РУП «БМЗ» установлены валки грибовидной формы. Основное отличие грибовидных валков от бочкообразных – это наличие угла раскатки.

Для очага деформации с грибовидными валками в известных литературных источниках не представлен в полном объеме расчет основных параметров рабочих валков и оправки прошивного стана. Поэтому цель настоящей работы – разработка

150 Секция II. Материаловедение и технология обработки материалов

методики расчета основных параметров рабочих валков и прошивного инструмента для прошивных прокатных станов с грибовидными валками.

Для разработки методики расчета необходимы исходные данные, которые отражены в таблице.

Исходные данные

Диаметр заготовки	D_3
Диаметр гильзы	D_r
Толщина стенки гильзы	S_r
Угол конусности	
Угол входного конуса валка	$\varphi_{вх}$
Угол выходного конуса валка	$\varphi_{вых}$

Далее представлены формулы для расчета основных параметров рабочих валков и оправки прошивного стана (рис. 1).

Определение размеров валка

Диаметр валка в пережиме D_b :

$$D_b = 2,5 \cdot D_3 + (350 - 450) \text{ (мм)}; \quad D_b = 2,5 \cdot D_3 + 400 \text{ (мм)},$$

где D_3 – диаметр заготовки.

Длина валка L_b :

$$L_b = (0,55 - 0,7)D_b \text{ (мм)}; \quad L_b = 0,7 \cdot D_b \text{ (мм)}.$$

Длина конуса прошивки L_n .

Длина конуса раскатки L_p .

Принимаем отношение L_n к L_p равным 0,8, тогда

$$L_n = 0,8 \cdot L_p \text{ (мм)}; \quad L_n + L_p = L_b \text{ (мм)};$$

следовательно,

$$L_n = \frac{L_b}{0,8 + 1} \text{ (мм)}.$$

Определение размеров оправки

Диаметр оправки $D_{оп}$:

$$D_{оп} = D_r - 2 \cdot S_r \text{ (мм)};$$

где D_r – диаметр гильзы; S_r – толщина стенки гильзы.

Диаметр носка оправки $D_{ноп}$:

$$D_{ноп} = (0,15 - 0,25)D_3; \quad D_{ноп} = 0,25 \cdot D_3 \text{ (мм)};$$

Длина рабочего конуса оправки $L_{\text{опр}}$:

$$L_{\text{опр}} = D_{\text{оп}} + (20 - 30) \text{ мм}; \quad L_{\text{опр}} = D_{\text{оп}} + 30 \text{ (мм)};$$

Длина конуса поперечной раскатки $L_{\text{опр}}$:

$$L_{\text{опр}} = (1,5 - 2,0)S_{\text{ш.под}} \text{ (мм)},$$

где $S_{\text{ш.под}}$ – шаг подачи.

$$\beta = 12 \text{ град}; \quad \eta_0 = 0,5; \quad \eta_T = 0,9,$$

где η_0 – коэффициент осевой скорости (0,35–0,85); η_T – коэффициент тангенциальной скорости (0,85–0,95); β – угол подачи.

$$S_{\text{ш.под}} = 3,14 \frac{D_r}{2} \cdot \tan(\beta \cdot \frac{\pi}{180}) \cdot \frac{\eta_0}{\eta_T} \text{ (мм)}.$$

Следовательно:

$$L_{\text{опп}} = 1,5 \cdot S_{\text{ш.под}} \text{ (мм)}.$$

Длина цилиндрического пояса оправки $L_{\text{опц}}$:

$$L_{\text{опц}} = (20 - 40) \text{ мм}; \quad \text{для расчета принимаем } L_{\text{опц}} = 25 \text{ мм}.$$

Длина обратного конуса оправки $L_{\text{опобор}}$:

$$L_{\text{опобор}} = (10 - 30) \text{ мм}; \quad \text{для расчета принимаем } L_{\text{опобор}} = 10 \text{ мм}.$$

Угол конуса раскатки оправки:

$$\varphi_k = \varphi_{\text{вых}} + (1 - 2) \text{ (град)}; \quad \varphi_k = \varphi_{\text{вых}} + 1 \text{ (град)}.$$

Диаметр оправки в начале конуса раскатки $D_{\text{опр}}$:

$$D_{\text{опр}} = D_{\text{оп}} + 2 \cdot L_{\text{опр}} \cdot \tan(\varphi_k \cdot \frac{\pi}{180}) \text{ (мм)},$$

где $D_{\text{оп}}$ – диаметр оправки; $L_{\text{опр}}$ – длина оправки.

Угол рабочего конуса оправки $\varphi_{\text{кр}}$:

$$\varphi_{\text{кр}} = \frac{180}{\pi} \cdot \arctan\left(\frac{D_{\text{опр}} - D_{\text{ноп}}}{2 \cdot L_{\text{опр}}}\right) \text{ (град)},$$

где $D_{\text{ноп}}$ – диаметр носка оправки.

Наименьший диаметр обратного конуса оправки $D_{\text{опобр}}$:

$$D_{\text{опобр}} = D_{\text{он}} \cdot (0,93 - 0,97) \text{ (мм)}; \quad D_{\text{опобр}} = 0,95 \cdot D_{\text{он}} \text{ (мм)}.$$

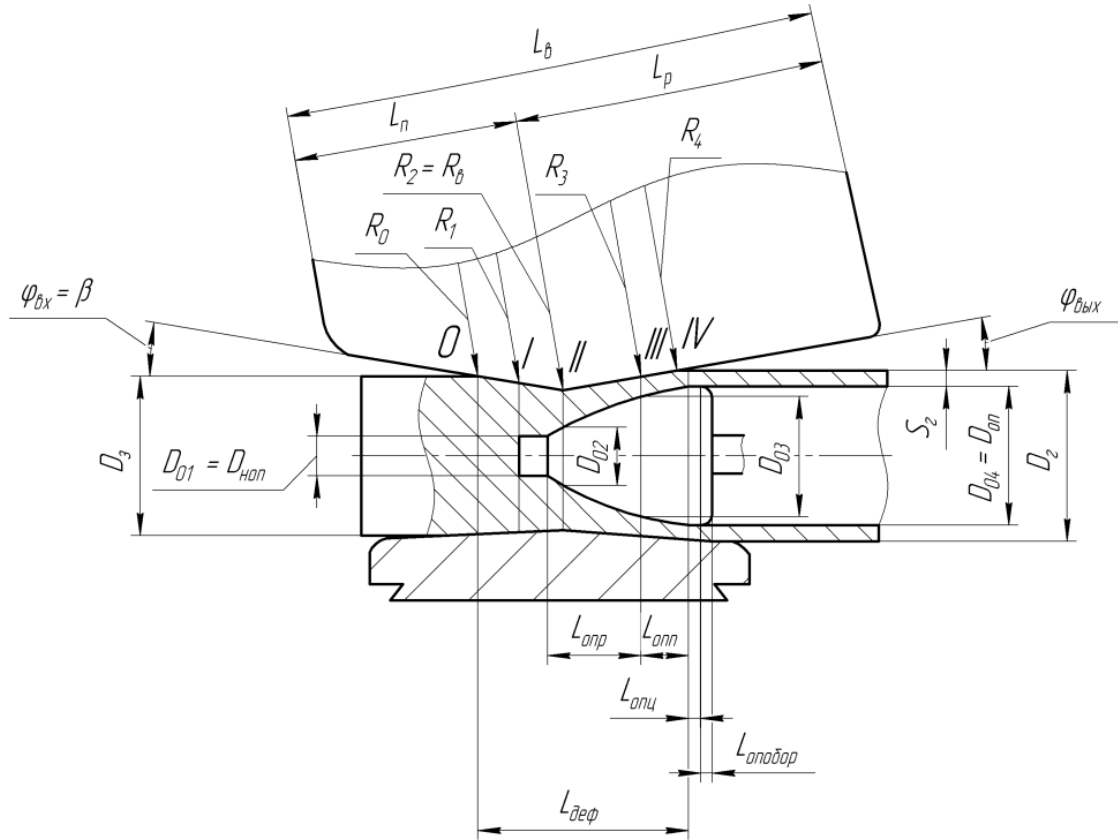


Рис. 1. Схема очага деформации при прошивке с грибовидными валками

Разработанная методика может использоваться для проектирования геометрии рабочего инструмента при прошивке полых заготовок на прошивном стане с грибовидными валками.