

#### Список цитируемых источников

1. Трегубов, В. И. Ротационная вытяжка с утонением стенки цилиндрических деталей из труб на специализированном оборудовании / В. И. Трегубов. — Тула : Изд-во ТулГУ, 2002. — 148 с.
2. Способ изготовления осесимметричных корпусов (RU 2295416) : патент 2295416 РФ : МПК<sup>8</sup> C21D8/10, C21D8/10 / Н. А. Макаровец [и др.] ; дата publ.: 20.03.2007.
3. Ротационная вытяжка осесимметричных оболочек из анизотропных материалов с разделением очага деформации / С. С. Яковлев [и др.] // Вестн. машиностроения. — 2015. — № 1. — С. 72—78.
4. Ямников, А. С. Статистический анализ точности механической обработки протяженных деталей из штампованной заготовки типа «стакан» / А. С. Ямников, И. А. Матвеев // Изв. ТулГУ. Техн. науки. — 2015. — Вып. 5. — Ч. 2. — С. 121—126.
5. Матвеев, И. А. Статистический анализ точности предварительной токарной обработки трубной заготовки / И. А. Матвеев, А. С. Ямников, О. А. Ямникова // Изв. ТулГУ. Техн. науки. — 2015. — Вып. 11. — Ч. 1. — С. 111—120.
6. Быков, Г. Т. Определение погрешности базирования тонкостенных цилиндров при установке на цанговую оправку / Г. Т. Быков, А. А. Маликов, А. С. Ямников // Технология машиностроения. — 2010. — № 1. — С. 21—24.
7. Матвеев, И. А. Технологическая наследственность в прогрессивной технологии изготовления протяженных осесимметричных корпусов / И. А. Матвеев, А. С. Ямников // Материалы XV ВНТК Механики XXI века. — 2016. — № 15. — Братск. — С. 119—124.
8. Матвеев, И. А. Компенсация влияния технологической наследственности при токарной обработке искривленных заготовок / И. А. Матвеев, А. В. Киселев, А. С. Ямников // Изв. ТулГУ. Техн. науки. — 2014. — Вып. 9. — Ч. 2. — С. 193—200.
9. Дальский, А. М. Технологическая наследственность в сборочном производстве / А. М. Дальский. — М. : Машиностроение, 1978. — 45 с.
10. Громыко, Г. Л. Теория статистики / Г. Л. Громыко. — М. : Инфра-М, 2001. — 160 с.

УДК 621.785.532.062.57

А. А. Мирошниченко, Ю. А. Расторгуева, Т. П. Литвинович

Учреждение образования «Барановичский государственный университет», Барановичи

### ПОВЫШЕНИЕ НАДЁЖНОСТИ РЕЖУЩЕГО КЛИНА ОТРЕЗНЫХ И ПРОРЕЗНЫХ (ШЛИЦЕВЫХ) ФРЕЗ ПУТЁМ ИОННО-ПЛАЗМЕННОГО АЗОТИРОВАНИЯ

**Введение.** Одним из основных параметров работы режущих инструментов является их надёжность, т. е. способность выполнять свои функции при заданном периоде стойкости. Кроме свойств обрабатываемого материала на стойкость режущих инструментов влияют химический состав инструментального материала, его свойства (твёрдость, прочность), геометрические параметры.

Для улучшения режущих свойств, увеличения периода стойкости и повышения надёжности применяют химико-термическую обработку режущей части инструментов, сущность которой заключается в термическом и химическом воздействии на рабочие поверхности инструментов в целях изменения состава, структуры и свойств поверхностного слоя инструментального материала. Такая обработка позволяет повысить химические и физико-механические свойства рабочих поверхностей инструментов — твёрдость, износостойкость и теплостойкость поверхностных слоев инструментов, а также сопротивляемость коррозии. Газовая среда химико-термического обычного азотирования характеризуется большими линейными деформациями, которые можно устранить в плазме электрического (тлеющего) газового разряда при ионном азотировании [1]. Поэтому для проведения исследований была выбрана установка ионно-плазменного азотирования (ИПА).

**Основная часть.** Для проведения исследований были выбраны отрезная и прорезная (шлицевая) фрезы диаметром 60 мм (рисунок 1), изготовленные из быстрорежущей стали марки Р6М5 с твёрдостью 61...63 HRC. Так как эти фрезы работают в сложных условиях и имеют нежесткую рабочую часть — две вспомогательные режущие кромки при очень короткой главной режущей кромке, неглубокие канавки для отвода стружки — всё это является причиной изнашивания и частых поломок зубьев инструмента.

Исследования проводились в учреждении образования «Барановичский государственный университет» на установке ИПА. Фрезы помещались в камеру, где в разряженной атмосфере между катодом (инструменты) и анодом (стенки камеры) возбуждался тлеющий разряд из потока ионов азота. В камере создавалось рабочее давление до 250 атмосфер. Под действием температуры порядка 545°C происходило насыщение фрез ионами азота. Процесс проходил в четыре этапа: 1-й — после нагрева выдержка в течение 90 мин, 2-й — 330 мин, 3-й и 4-й — по 300 мин. На поверхности фрез образуется слой, состоящий из внешней (нитридной) и внутренней (диффузной) зон.

После исследований на приборе МЕТ-ТУД была измерена твёрдость фрез, которая составила 76...80 HRC.

При проведении испытаний фрезы устанавливались на горизонтально-фрезерном станке модели 6Р82Г. В качестве обрабатываемого материала были выбраны заготовки из стали 45. Отрезной фрезой разрезались заготовки призматической формы размером 20 × 30 мм. Шлицевой фрезой обрабатывались шлицы на головках

Рисунок 1 — Общий вид отрезной (на переднем плане) и прорезной (шлицевой) фрез

винтов диаметром 10 мм. Процесс резания сопровождался применением смазочно-охлаждающей жидкости. Каждой фрезой выполнялось по 25 резов.

После испытаний при наблюдении под микроскопом модели *Ftemj-2000* на режущей части фрез не наблюдалось изменения структуры, формы зубьев, их деформации и цвета. По истечении 24 ч нахождения в ёмкости с эмульсией марки 5% Аквол-11 фрезы не подверглись коррозии.

**Заключение.** Исследования показывают, что при использовании метода ИПА увеличились качественные характеристики инструментов. В сравнении с широко используемыми способами упрочняющей химико-термической обработки материалов (цементация, нитроцементация, цианирование, газовое азотирование в печах) метод ИПА имеет ряд преимуществ: более высокая твёрдость азотированных поверхностей; отсутствие деформаций деталей после обработки; высокая коррозионная стойкость обработанных деталей; более низкая температура обработки (400...600°C), благодаря чему не изменяется структура материала; сохранение азотированного слоя при нагреве до 600...650°C; возможность обработки изделий неограниченных размеров и формы; процесс является высокопроизводительным, ресурсосберегающим и безотходным; экологически чистая технология.

#### Список цитируемых источников

1. Ионная химико-термическая обработка сплавов / Б. Н. Арзамасов [и др.]. — М. : Изд-во МГТУ им. Баумана, 1999. — 400 с.

УДК 621.926

О. И. Наливко<sup>1</sup>, Л. А. Сиваченко<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Учреждение образования «Барановичский государственный университет», Барановичи

<sup>2</sup>Государственное учреждение высшего профессионального образования «Белорусско-Российский университет», Могилёв

### ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ РАЗВИТИЯ ИГЛОФРЕЗЕРНЫХ ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЕЙ

**Введение.** На современном этапе развития экономики и производства перспективным направлением является разработка энергосберегающей техники и технологий, связанных с тонким и сверхтонким помолом материалов [1].

Измельчение анизотропных и сложных по структуре и составу материалов требует особых подходов, что выражается в создании аппаратов оригинальной конструкции, отвечающих специфическим условиям их работы. Основным условием их эффективного применения является создание развитой поверхности рабочих органов.

Одним из новых способов помола материала является иглофрезерное измельчение, осуществляемое путём истирания стержневыми элементами.

**Основная часть.** Анализ исследований многих авторов даёт основания считать, что основным условием эффективного применения иглофрезерных измельчителей является создание развитой поверхности рабочих органов. Однако реализации этого условия для решения поставленной задачи недостаточно, что можно обосновать дополнительными требованиями к такому рабочему оборудованию. Во-первых, рабочие элементы, непосредственно воздействующие на материал, должны обеспечивать максимальные контактные напряжения в частицах измельчаемого материала, чего можно добиваться только уменьшением размеров их активных поверхностей пропорционально изменению крупности измельчаемого продукта. Во-вторых, измельчающие элементы целесообразно равномерно распределять по всему объёму помольной камеры, причём либо их количество должно быть максимальным, либо они должны двигаться со скоростями, достаточными для выполнения необходимой работы измельчения. В-третьих, характер воздействия рабочих элементов на исходные частицы должен соответствовать условиям избирательного измельчения, осуществляемого в направлениях их минимальной прочности или максимальной дефектности. В-четвертых, рабочие органы следует выполнять адаптивными, способными изменять свои силовые и геометрические характеристики под действием обрабатываемого материала и реологических условий в рабочих зонах. В-пятых, собственно рабочие органы должны быть износостойкими, обладать эффектом самоочищения, легко изготавливаться и обеспечивать технологическую многофункциональность.

Основываясь на вышеизложенном, можно предположить, что одним из наиболее простых способов создания измельчительных машин с развитой поверхностью рабочих органов является выполнение их на основе стержневых элементов, собираемых в пакеты, щётки или жгуты.

В качестве инструмента при измельчении используется цилиндрическая щётка — инструмент с сотнями элементов, собранный в виде тела вращения из прямых и равных по длине *U*-образных элементов. Обязательным условием работоспособности инструмента является упругость каждого элемента и всей совокупности элементов, что должно способствовать самоочищению при работе агрегата. Процесс осуществляется при вращении цилиндрической щётки, которая, будучи прижатой к другой поверхности, способствует измельчению материала. В качестве гладкой поверхности в данном случае выступает барабан с гладкой поверхностью (рисунок 1).