

**Анализ остаточных напряжений в деталях, полученных
гидроимпульсной штамповкой**

Студент гр. 10402222 Прокопеня А. В.
Научный руководитель – Боярчук А. Н.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Гидроимпульсная штамповка (ГИШ) представляет собой современный метод обработки металлов давлением, который сочетает высокую скорость деформации с импульсным воздействием жидкости. Этот метод нашел широкое применение в аэрокосмической и автомобильной промышленности, где требуется изготовление деталей сложной геометрии, таких как лопатки турбин, элементы кузова или детали топливных систем [1]. Основным преимуществом ГИШ является возможность достижения высокой точности формования при минимальном времени обработки, однако ключевой проблемой остаются остаточные напряжения, возникающие в материале из-за неоднородности пластической деформации, температурных градиентов и фазовых превращений [2]. Эти напряжения могут оказывать как положительное, так и отрицательное влияние: например, сжимающие напряжения в поверхностных слоях повышают усталостную прочность деталей, тогда как растягивающие напряжения в глубине материала способствуют короблению или образованию трещин [3].

Для анализа остаточных напряжений применяются несколько методов. Рентгеновская дифрактометрия основана на измерении изменений межплоскостных расстояний кристаллической решетки, что позволяет определить напряжения в поверхностном слое с точностью до ± 10 МПа, однако глубина анализа ограничена 50 мкм, что делает метод непригодным для оценки напряжений в объемных деталях [1]. Метод отверстий предполагает локальное высверливание материала и регистрацию возникающих деформаций с помощью тензодатчиков; этот подход позволяет измерить напряжения в глубине материала, но является инвазивным и требует сложной калибровки при неоднородном распределении напряжений [2]. Ультразвуковая эхометрия использует зависимость скорости распространения ультразвуковых волн от напряженного состояния материала, что обеспечивает быстроту измерений, однако метод чувствителен к микроструктуре материала и требует предварительной калибровки для каждого типа сплава [3]. Метод конечных элементов (МКЭ) позволяет прогнозировать распределение напряжений на этапе проектирования, учитывая параметры процесса, свойства материала и геометрию детали, но его точность напрямую зависит от корректности входных данных, таких как кривые упрочнения или коэффициент трения между заготовкой и инструментом [1].

Остаточные напряжения в деталях после гидроимпульсной штамповки формируются под влиянием нескольких ключевых факторов. Параметры технологического процесса, такие как давление жидкости, скорость деформации и количество импульсов, определяют характер распределения напряжений. Свойства обрабатываемого материала, в частности предел текучести и модуль упругости, существенно влияют на уровень остаточных напряжений. Материалы с высокой прочностью склонны к накоплению напряжений, тогда как более пластичные сплавы демонстрируют лучшую релаксацию [3]. Особое значение имеет геометрия детали - наличие острых углов, отверстий и перепадов толщины создает зоны концентрации напряжений, что особенно важно учитывать при проектировании ответственных конструкций [1].

Для минимизации негативного влияния остаточных напряжений применяются дополнительные технологические операции. Термическая обработка (отпуск) предполагает нагрев детали с последующим медленным охлаждением, что позволяет снизить напряжения

на 30-70% за счет рекристаллизации и диффузии атомов [2]. Дробеструйная обработка, при которой поверхность детали подвергается воздействию стальной или керамической дроби диаметром 0,1-1 мм, формирует сжимающие напряжения в поверхностном слое, повышая усталостную прочность и коррозионную стойкость [3]. Вибрационная обработка, основанная на применении низкочастотных колебаний (20-200 Гц), способствует перераспределению остаточных напряжений за счет микропластических деформаций, однако ее эффективность зависит от амплитуды и частоты вибрации [1].

Перспективные направления исследований в данной области включают совершенствование методов контроля остаточных напряжений. Особый интерес представляет комбинирование численного моделирования с неразрушающими методами контроля, что позволяет оптимизировать технологические процессы [2]. Разработка новых материалов с улучшенными характеристиками пластичности, а также усовершенствование оборудования для гидроимпульсной штамповки открывают возможности для снижения уровня остаточных напряжений на этапе формообразования [3]. Важное значение имеет адаптация существующих технологий к обработке деталей сложной геометрии, что подтверждается современными исследованиями в области обработки металлов давлением [1].

Список использованных источников

1 Барвинок В.А., Самохвалов В.П., Кирилин А.Н. Магнитоимпульсная обработка деталей летательных аппаратов из труднодеформируемых материалов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 1999. – №2. – С. 319 – 324.

2 Юркевич С.Н., Люцкевич А.И., Константинов В.М., Юркевич К.С. Применение магнито-импульсной обработки для улучшения шероховатости поверхности деталей из титановых и алюминиевых сплавов // Перспективные материалы и технологии: материалы международного симпозиума: – Витебск: ВГТУ, 2017. – Ч. 1. – С. 76 – 78.

3 Овчаренко А.Г., Козлюк А.Ю., Курепин М.О. Исследование влияния комбинированной магнито-импульсной обработки на качество твёрдосплавного инструмента // Обработка металлов. – 2011. – №3 (52). – С. 95 – 98.