

## **3.4 Виды и особенности поверхностных технологических воздействий**

Технологии повышения качества изделий за счет воздействия на поверхностный слой можно классифицировать следующим образом.

По влиянию на геометрию деталей их можно разделить на два основных направления.

Первое – это модифицирование поверхности, т.е. повышение её характеристик за счет изменения структуры и химического состава поверхностного слоя без изменения геометрических размеров изделия.

Второе – это нанесение защитных и упрочняющих покрытий определенной толщины.

### 3.4 Виды и особенности поверхностных технологических воздействий



По физико-химическим механизмам можно рассмотреть три вида технологических воздействий: химические или электрохимические, физические и механические.

Первая группа представлена технологиями металлических и неметаллических покрытий.

Традиционными методами **модифицирования** поверхности для повышения сопротивления износу и усталостному разрушению являются технологии **химико-термической обработки**, такие как цементация, нитроцементация, азотирование и т.д.

Совокупность процессов, основанных на электрохимическом осаждении металлов на поверхность изделий, известная как **гальванотехника**, подразделяется на гальваностегию и гальванопластику.

**Гальваностегия** – это нанесение защитных или декоративных металлических покрытий толщиной от 10 до 100 мкм. Основными процессами здесь являются меднение, хромирование, цинкование, покрытие благородными металлами и т.д.

**Гальванопластика** или электрохимическое формование – это способ получения точных копий путем осаждения металла на оригинал. Используется при изготовлении матриц в полиграфии, пресс-форм для грампластинок и других деталей сложной конфигурации. Толщина металлических осадков в данном случае может достигать нескольких миллиметров.

**Химические покрытия** – никелирование, фосфатирование, анодирование и др. применяются как декоративные и антикоррозийные. Их отличительной особенностью является высокая равномерность и низкая пористость.

Такие покрытия наносят как на металлические, так и на диэлектрические детали.

**Воздействия физической природы** включают поверхностную закалку токами высокой частоты, наплавку, электроискровое упрочнение и другие технологии, которые успешно применяются уже длительное время.

Сравнительно новыми методами являются ионно-плазменное нанесение покрытий, ионное легирование, лазерное упрочнение и т.д.

К группе **механических** относятся финишные методы лезвийной обработки, такие, как точение, фрезерование и т.д., методы обработки закрепленным абразивом (шлифование, хонингование) и ряд других.

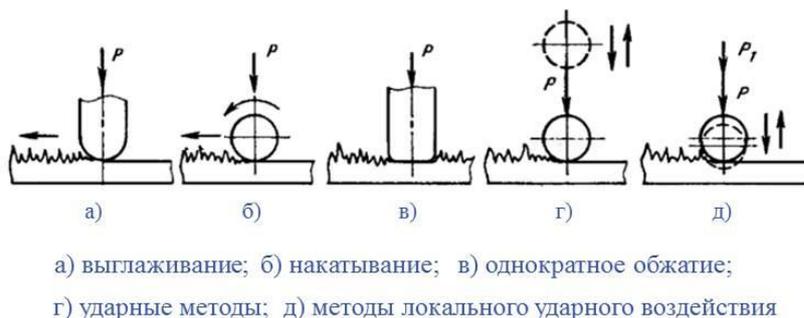
В эту же группу входят многочисленные методы **поверхностного пластического деформирования или ППД**.

В зависимости от характера силового воздействия деформирующего элемента на обрабатываемую поверхность методы ППД подразделяют на статические и ударные.

При **статических методах** инструмент воздействует на поверхность с определенной постоянной силой, при этом происходит плавное перемещение очага воздействия, который последовательно проходит всю поверхность, подлежащую обработке.

### 3.4 Виды и особенности поверхностных технологических воздействий

Характер контактного взаимодействия инструмента с обрабатываемой поверхностью при различных методах ППД



К таким методам относятся различные виды выглаживания, накатывания, а также метод однократного обжатия обрабатываемой поверхности без перемещения очагов воздействия.

При ударных методах, таких, как дробеударная, виброударная и другие виды обработки, инструмент или рабочие тела многократно воздействуют на всю обрабатываемую поверхность, при этом сила воздействия в каждом цикле изменяется от нуля или некоторого начального значения до максимума.

В случае локального ударного воздействия, например, при ударной чеканке, очаг деформирования может последовательно и равномерно проходить всю обрабатываемую поверхность, так же, как и в статических методах.

### 3.4 Виды и особенности поверхностных технологических воздействий



В зависимости от схемы обработки выделяют восемь групп процессов ППД.

Определяющую роль в технологии упрочнения играют традиционные статические методы: обкатывание, раскатывание и выглаживание. Их эффективность определяется высокой производительностью и технологической гибкостью. Эти методы не требуют специального оборудования в условиях единичного производства и легко автоматизируются в условиях массового производства.

Для расширения возможностей статических методов разработан ряд комбинированных технологических схем.

В частности, наложение ультразвуковых колебаний позволяет достичь близких результатов по глубине наклепа и остаточным напряжениям при значительно меньших значениях статической силы, чем в обычных процессах обкатывания и выглаживания. Такой подход применяют при обработке деталей пониженной жесткости.

Совмещение обработки ППД с резанием, базируются на единых кинематических схемах. Простейшая конструкция комбинированного инструмента – это сочетание обычного резца с шариковым или роликовым деформирующим элементом.

Формообразующее накатывание применяется для создания регулярного микрорельефа на различных поверхностях.

Данный процесс также используется при образовании резьбы на высокоресурсных болтах и позволяет добиться более высоких показателей выносливости по сравнению с обработкой резанием.

Основным методом ударной обработки элементами с направленной траекторией является дробеударная обработка. Её упрочняющий эффект был случайно обнаружен в 30-х годах прошлого века в США, когда по требованию профсоюзов песок, применяемый для удаления окалины после закалки и вызывающий заболевание легких, был заменен на стальную литую дробь. Через некоторое время выяснилось, что обработанные таким образом детали подвески автомобиля имеют на порядок более высокий ресурс.

На сегодняшний день разработан ряд способов дробеударной обработки.

В зависимости от источника кинетической энергии в виде потока сжатого воздуха или жидкости, центробежной силы, свободного падения различают пневмо-дробеструйную, гидродробеструйную, дробеметную и гравитационную обработку. В качестве рабочих тел в данной технологии наряду со стальной литой дробью применяют различные виды керамических и стеклянных шариков и микрошариков.

Следует отметить, что в США дробеударная обработка до сих пор рассматривается, как основной метод поверхностного упрочнения, в том числе в авиационной промышленности.

В отечественной промышленности, наряду с дробеударной, широко применяется ударная обработка свободными элементами. Это вибрационное ударное упрочнение и вибрационная абразивная обработка. В некоторых случаях, например, при обработке деталей из титановых и алюминиевых сплавов, виброабразивная обработка дает упрочняющий эффект.

Наряду с ударной обработкой свободными элементами упрочнение деталей может осуществляться полужесткими элементами. Известны такие процессы, как ударная чеканка; центробежная обработка; обработка металлическими щетками или пучками и ряд других процессов.

### 3.4 Виды и особенности поверхностных технологических воздействий

#### Преимущества методов обработки ППД

- благоприятные сжимающие остаточные напряжения с сохранением целостность волокон и мелкозернистой структуры
- минимальная высота неровностей ( $Ra = 0,1 \dots 0,05$  мкм); благоприятная форма микрорельефа
- отсутствует шаржирование абразивными частицами
- хорошая управляемость, стабильное качество поверхности
- высокая производительность, возможность механизации

#### Недостатки методов обработки ППД

- не повышается геометрическая точность поверхности
- нежелательное коробление при обработке маложестких деталей
- образование наплывов на кромках обрабатываемых поверхностей
- отсутствие объективных неразрушающих методов контроля результатов обработки

Обработка ППД по сравнению с финишной обработкой резанием имеет следующие преимущества:

- в поверхностном слое всегда формируются благоприятные сжимающие остаточные напряжения, при этом сохраняется целостность волокон металла и образуется мелкозернистая структура;
- для большинства процессов ППД характерна минимальная высота неровностей с благоприятной формой микрорельефа и большей долей опорной площади;
- отсутствует шаржирование поверхности абразивными частицами шлифовальных кругов, полировочных паст и т.д.;
- процессы ППД отличаются высокой производительностью, хорошей управляемостью, возможностью механизации и автоматизации.

Необходимо также учитывать и ряд недостатков методов ППД:

- большинство из них не повышают геометрическую точность поверхности, обычно сохраняется точность, достигнутая на предшествующей операции;
- из-за деформации удлинения поверхностного слоя при обработке маложестких деталей может происходить нежелательное коробление;
- в связи с пластическим течением металла в некоторых методах на кромках обрабатываемых поверхностей образуются наплывы.

Как мы знаем, особенностью процессов ППД является отсутствие объективных неразрушающих методов контроля результатов обработки.

В связи с этим данные технологические процессы называют специальными. Их качество в значительной степени зависит от контрольных операций, которые выполняются до упрочнения, в процессе обработки и после нее.

До упрочнения проверяют форму и размеры детали, шероховатость упрочняемых поверхностей, форму, размеры и качество поверхности деформирующих элементов.

При обработке контролируют критические технологические параметры, такие, как сила дорнования или раскатывания, частота вращения дробеметного аппарата, давление сжатого воздуха, скорость подачи и т.д.

После упрочнения деталь контролируется по сплошности, однородности обработки и шероховатости упрочненной поверхности. Контроль состояния упрочненных поверхностей в основном выполняется визуальным сравнением с аттестованными образцами-эталоном.

Сплошность покрытия при ударных методах, т.е. отношение площади занятой отпечатками дроби или шариков к общей площади упрочняемой поверхности, должна составлять не менее 90%.

Комплексным технологическим параметром, характеризующим изменение состояния поверхностных слоёв после упрочнения ударным ППД, является **интенсивность обработки**.

Общепринятым за рубежом методом контроля дробеударного упрочнения является метод, разработанный сотрудником корпорации «General Motors», Дж. О. Алменом в 1942 г.

### 3.4 Виды и особенности поверхностных технологических воздействий

#### Контроль интенсивности упрочнения ШД по методу Алмена

Характеристика контрольных пластин Алмена

Тип	Материал пластин	Длина, мм	Ширина, мм	Толщина, мм	Отклонение от плоскостности, мм
A	SAE 1070 (аналог 65Г)	76,2±0,4	18,9 <sub>-0,19</sub>	1,32±0,025	±0,038
C				0,81±0,025	
N				2,41±0,025	



Пластины Алмена и приспособление для измерения их прогиба

Приспособление для закрепления пластин Алмена



Согласно этому методу степень воздействия потока дробы на деталь соотносится со стрелой прогиба стандартизованных контрольных пластин (пластин Алмена). Эти пластины в основном изготавливают из холоднокатаной пружинной стали. Они имеют размеры 3,0×3/4 дюйма. Существует три типа пластин Алмена: А, N и С, различающихся по толщине и предназначенных для применения в соответствующих диапазонах интенсивности обработки.

На основе измерения прогиба контрольных пластин необходимо определить режимы обработки, при которых достигается **состояние насыщения**. Для этого строится так называемая **кривая насыщения** – экспериментальная графическая зависимость стрелы прогиба пластины от времени обработки при фиксированных режимных параметрах.

Процедуру построения этой кривой называют тестом Алмена.

Тест реализуется путем закрепления пластины в зажимном приспособлении, её обработки на исследуемом режиме с измерением после каждого рабочего хода стрелы прогиба при помощи специального приспособления.

Под **насыщением** понимается такое состояние, когда при дальнейшем двукратном увеличении времени обработки прирост стрелы прогиба пластины не превышает 10%. Степень покрытия при этом составляет около 98 %.

### 3.4 Виды и особенности поверхностных технологических воздействий

Контроль интенсивности упрочнения плоскостей и поверхностей малой кривизны в РФ

#### Характеристика образцов-свидетелей (контрольных пластин)

Упрочняемый материал	Материал пластин	Длина, мм	Ширина, мм	Толщина, мм	Отклонение от плоскостности, мм
Стали	30ХГСА	100	19	1,3±0,02	0,05
Титановые сплавы					
Алюминиевые сплавы	Д16Т			2,0±0,02	



Образцы-свидетели  
(контрольные пластины)

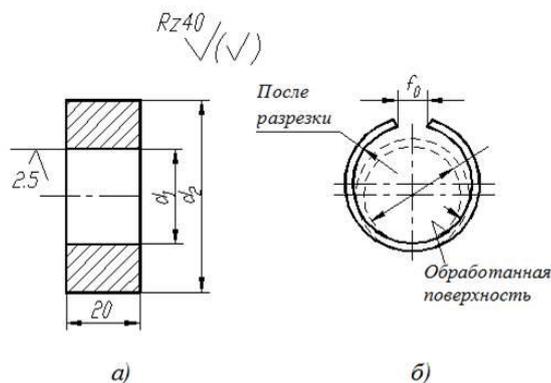
Индикаторное приспособление для измерения стрелы прогиба



В российской авиационной промышленности при контроле ударных процессов используют методику, подобную зарубежной. Для контроля интенсивности упрочнения применяют контрольные пластины двух видов – из стали 30ХГСА при обработке деталей из сталей и титановых сплавов и из сплава Д16Т – при упрочнении алюминиевых деталей.

### 3.4 Виды и особенности поверхностных технологических воздействий

#### Контроль интенсивности упрочнения отверстий в РФ



Кольцевой образец (а) и схема измерения его деформации (б) после упрочнения отверстия

Интенсивность обработки отверстий контролируют по деформации колец-свидетелей после их разрезки. Толщина колец зависит от способа упрочняющей обработки. Так, при контроле процессов раскатывания или дорнования исходная толщина колец берется равной 10 мм. После упрочняющей обработки кольца протачиваются по наружному диаметру до толщины стенки 1,5-2 мм в зависимости от диаметра отверстия.

В следующих разделах мы познакомим вас с основными технологиями упрочнения ППД, применяемыми в авиационной промышленности, а затем с основными методами нанесения защитных и упрочняющих покрытий.