

# ФИНИШНАЯ ОБРАБОТКА ТОНКОСТЕННЫХ И СЛОЖНОПРОФИЛЬНЫХ ДЕТАЛЕЙ.

## СООБЩЕНИЕ 1. АНАЛИЗ ФИНИШНО-ОТДЕЛОЧНЫХ МЕТОДОВ

Финишно-отделочная обработка деталей применяется во всех отраслях промышленности. Ее цель – размерная и декоративная отделка поверхностей, снятие заусенцев, очистка, повышение механических свойств деталей. Операции отделочно-зачистной и упрочняющей обработки составляют 10–20 % общей трудоемкости изготовления деталей, так как на многих предприятиях эти операции, особенно зачистку, выполняют вручную или с применением средств малой механизации [1 и др.].

В некоторых отраслях машиностроения, таких как авиационно-космическая, где из-за требования минимизации массы изделий практически все детали являются тонкостенными и сложнопрофильными; в приборостроении и медицине (изготовление протезов и проч.) часто возникает необходимость отделочной обработки поверхностей и кромок сложной конфигурации. В общем машиностроении доля таких деталей меньше, но они также часто являются ответственными и сложнагруженными. Финишная обработка таких сложнопрофильных и тонкостенных деталей еще более трудоемка; доля ручного труда, монотонного, ответственного и требующего неустанный внимания рабочего, – велика. При этом следует учитывать, что материалы, из которых они изготавливаются, – разного спектра обрабатываемости: от широкоприменяемых сталей и алюминиевых сплавов до труднообрабатываемых коррозионно-стойких и жаропрочных сталей и сплавов на основе титана и никеля.

Дополнительные особенности, которые необходимо учитывать при финишной обработке таких деталей, следующие:

- минимизация силового давления на обрабатываемые поверхности;
- наличие труднодоступных мест для обработки, выступов, пазов и других элементов конструкции деталей сложного профиля;
- равномерность обработки поверхностей разных уровней и мест расположения;
- отсутствие неблагоприятных и наведение благоприятных свойств поверхностного слоя для ответственных и особоответственных деталей;
- отсутствие прижогов и минимизация теплового воздействия на детали.

Решение этих задач во многом зависит от выбранного метода финишной обработки и, соответственно, инструментов, которые при этом применяются.

При выполнении финишных операций обработки сложнопрофильных изделий различают три подхода к используемым инструментам:

- жесткий инструмент: либо профиль инструмента, либо его траектория движения должна точно повторять (копировать) форму обрабатываемой поверхности;
- нежесткий упругий инструмент: требования к точности выполнения вышеуказанных условий резко снижаются или отменяются;
- отсутствие инструмента – наличие рабочей среды различного наполнения (воздух, жидкость, абразивный песок, крошка абразивных кругов, галька, шарики, гранит, древесина, резина и проч.).

При анализе методов и инструментов, при их подборе для финишных операций необходим комплексный подход к оценке применяемого оборудования и оснастки, характеристик инструмента и его возможностей, результатов обработки и условий труда рабочих при ее выполнении.

С точки зрения применяемого оборудования стремятся к использованию универсальных станков, верстаков, устройств, стандартного вспомогательного инструмента и оснастки. При применении специального оборудования, по возможности, увеличивают его универсальность, т.е. номенклатуру обрабатываемых на нем деталей и их типоразмеров, с целью минимизировать затраты. Учитывают затраты на дополнительную электроэнергию (например, для электрохимических, электроконтактных, электроискровых и некоторых других методов) на дополнительные устройства и приборы, специальные СОТС, пасты, которые идут сверх обычных затрат.

Требования к инструменту (рабочей среде) включают: низкую стоимость его изготовления, ремонта, восстановления и утилизации, высокую износостойкость при его эксплуатации.

Обработка должна быть высокопроизводительной либо за счет возможностей метода и инструмента, либо за счет большого количества одновременно обрабатываемых деталей. Оценивают также качество обработанных поверхностей, в том числе и наведение благоприятных свойств поверхностного слоя.

Обращают также внимание на ухудшение условий труда рабочих при выполнении некоторых финишных операций: повышенный уровень шума, ультразвук, запыленность рабочего места, наличие паров едких жидкостей, щело-

чей, кислот и другие опасности для здоровья человека, и, соответственно, затраты на дополнительную вентиляцию, средства защиты, герметизацию и прочее.

Методы финишной обработки (рис. 1), применяемых для очистки, полирования, подготовки деталей под покрытия, безразмерного шлифования, упрочнения, зачистки, по одной из классификаций [2], разделяют на 5 групп.



Рис. 1. Классификация методов финишной обработки

Рассмотрим их с точки зрения возможности обработки сложнопрофильных поверхностей, труднодоступных мест, тонкостенных конструктивных элементов, удаления заусенцев и скругление острых кромок криволинейной формы.

Сразу можно отбросить методы, использующие так называемые жесткие инструменты – шлифовальные круги (в том числе и на резиновой и полимерной связке), притиры и прочее, не всегда дающие возможность обрабатывать даже простые фасонные поверхности, без обработки труднодоступных элементов, к тому же они имеют достаточно большое силовое воздействие на обрабатываемую поверхность, что делает нежелательным их применение для тонкостенных деталей, и вероятность наведения прижогов. К этому типу отнесем также инструменты, используемые для лезвийных (резцовый, дисковый, фрезерный, сверлильный, протяжной, обкатной и др.) методов и методов давления (валки, штампы), которые являются вспомогательными и используются для предварительной зачистки, удаления заусенцев, облоя; детали после них нуждаются в дополнительной доработке другими финишными методами [1, 2 и др.].

Методы химической и электрохимической групп, использующие в качестве инструмента рабочую среду – электролит, отличаются тем, что с их помощью можно обрабатывать тонкостенные и сложнопрофильные детали с труднодоступными участками, снимать заусенцы и т.п., однако они имеют несколько общих серьезных недостатков, один из которых – коррозионное воздействие и изменение химического состава тонкого поверхностного слоя – является причиной того, что методы этих групп не применяют для большинства деталей авиа-космической промышленности, и для ответственных деталей машин общего машиностроения, особенно тех, что работают с переменными нагрузками.

Методы, использующие свободный, несвязанный абразивный наполнитель, производят при обработке высокий уровень шума и запыленности, некоторые из них, например, методы галтовочной и вибрационной подгрупп [3] используют для финишной обработки сложнопрофильных наружных поверхностей деталей, внутренние поверхности и труднодоступные места обрабатываются с намного меньшей интенсивностью. Чаще всего их применяют только для мелкогабаритных деталей. Гидро- и пневмоструйные, турбоабразивные, магнитоабразивные методы [2–4 и др.], где направление и интенсивность рабочей абразивной среды (струи или потоков) можно регулировать, в том числе и спецметоды, такие как обработка в псевдосжиженном слое абразива в установках, конструируемых под отдельные группы деталей, ультразвуковая кавитационно-абразивная обработка, требуют специального оборудования, компрессоров, нагнетающих гидростанций, герметических камер и дополнительных средств защиты. Эти методы также характеризуются различной степенью шаржирования абразивными частицами, что является недопустимым для ответственных поверхностей деталей; иногда их применяют локально, если это возможно, либо закрывают определенные поверхности деталей защитными экранами, тарелками, дисками, кольцами, кожухами.

Самое большое распространение при финишной обработке сложнопрофильных тонкостенных деталей получили методы абразивной и ударной подгрупп, использующие нежесткие, гибкие или упругие инструменты, такие как абразивные эластичные круги, шкурки, абразивные ленты, лепестковые круги, инструменты на основе металлических и неметаллических волокон [1, 2, 5, 6 и др.].

Эти инструменты имеют свои характеристики, преимущества и недостатки и широко применяются для обработки тонкостенных деталей с простыми фасонными поверхностями. Эластичные полировальные круги (из фетра, войлока, текстиля, киперной ткани, матерчатые, бумажные и прочие) подвержены сильному износу, имеют малую производительность обработки. При обработке абразивной шкуркой качество обработки неравномерное, трудоемкость операций высока. Ленточное полирование отличается более высокой производительностью и лучшим качеством обработанной поверхности, но требует специального оборудования, СОТС, и к тому же абразивная лента, как и шкурка, интенсивно изнашивается. Лепестковые круги обеспечивают большую производительность, однако при обработке необходимо учитывать постепенный износ абразивных лепестков. Лепестковые и эластичные круги можно профилировать, абразивные ленты поджимают фасонными роликами для обработки относительно простых фасонных поверхностей, однако качественно и равномерно обработать труднодоступные места и конструктивные элементы сложнопрофильных деталей нельзя.

Одним из представителей данной группы инструментов является так называемая механическая щетка – инструмент вращательного действия на основе металлических и неметаллических волокон. Металлические щетки широко применяются для размерного (преимущественно – иглофрезы), безразмерного полирования, очистки, зачистки, плакирования, упрочнения поверхностного слоя деталей машин [1, 2, 5–7 и др.]. Щетки с металлическим волокном (иногда их называют щетки-крацовки) отличаются по типам, размерам и материалу рабочей части и благодаря упругим волокнам обеспечивают невысокий силовой уровень воздействия и обработку труднодоступных мест, что дает возможность применять их для тонкостенных деталей сложного профиля. При обработке дисковыми и цилиндрическими металлическими щетками в результате множественного ударного воздействия происходит упрочнение поверхностного слоя – он наклепывается [2], наводятся сжимающие остаточные напряжения, имеющие максимум на поверхности [1].

Для того, чтобы усилить ударный эффект проволоку делают гофрированной или оснащают щетки ударными элементами: шайбами, звездочками, пластинами и т.п.

Изменение структуры тонкого поверхностного слоя положительно влияет на некоторые эксплуатационные свойства деталей из сталей и сплавов, насыщение поверхностного слоя которых оксидами повышает поверхностную твердость. Например, в работе [6] установлено, что «высокая твердость и наличие тонких окисных пленок обеспечивает повышенную износостойкость поверхностей, обработанных щетками».

Однако этот эффект может действовать двояко [8, 9]. При взаимодействии стальных щеток с обрабатываемой поверхностью остается микрослой углеродистого металла ворса, способного окисляться и образовывать на поверхности ржавчину, например, на полированном граните.

Этот эффект переноса материала волокон на/в поверхностный слой детали в некоторых случаях используют напрямую для получения покрытий разного химического состава, а иногда волокна используют, в качестве носителей переносимого вещества. Таким образом обработка деталей металлическими щетками обеспечивает возможность формирования не только обычных, но и поликомпозиционных покрытий, содержащих в металлической матрице компоненты неметаллического происхождения [10].

Но иногда наблюдались случаи, когда после финишной обработки металлическими щетками и хранения на складе титановых деталей, их рабочие поверхности «ржавели». Так как посторонние окислы на особоответственных деталях из жаропрочных сталей и сплавов не допускаются, и к тому же после термообработки по ремонтной технологии на ЛЮМА-контроле наблюдалось свечение, щетки с металлическим ворсом на этих операциях применяют неохотно, несмотря на их преимущества для обработки сложнопрофильных деталей.

В результате можно сделать следующий вывод: из широкого перечня инструментов и методов финишной обработки для тонкостенных и сложнопрофильных изделий пригодны только немногие из них. Если эти детали относятся к особоответственным, то список методов еще более сужается. При требовании отсутствия на таких операциях ручного труда подход становится индивидуальным для каждого вида специфических деталей.

#### Список литературы

1. Машиностроение. Энциклопедия : в 40 т. / Ред. Совет : К.В. Фролов (пред.) и др. – М. : Машиностроение, 2000. Раздел III: Технология производства машин. Т. III-3: Технология изготовления деталей машин, 2002. – 839 с.
2. Кулаков Ю. М. Отделочно-зачистная обработка деталей / Ю. М. Кулаков, В. А. Хрульков. – М. : Машиностроение, 1979. – 216 с.
3. Богуслаев В. А. Финишные технологии обработки деталей ГТД / В. А. Богуслаев, А. Я. Качан, В. Д. Мозговой // Вестник двигателестроения №1, 2009. – С. 71–78.
4. Технология производства авиационных двигателей / [В. А. Богуслаев, А. Я. Качан, В. Ф. Мозговой, Е. А. Корневский]. –

- Издательский комплекс «Мотор Сич», г. Запорожье, 2000. – 944 с.
5. Евдокимов В. Д. Технология упрочнения машиностроительных материалов / В. Д. Евдокимов, Л. П. Клименко, А. М. Евдокимова – К. : НД «Профессионал», 2006. – 352 с.
  6. Серебrenицкий П. П. Обработка деталей механическими щетками / П. П. Серебrenицкий. – Ленинград : Лениздат, 1967. – 152 с.
  7. Леванцевич М. А. Технологические возможности покрытий, нанесенных металлическими щетками / М. А. Леванцевич // Вестник Полоцкого государственного университета. Сер. В, Прикладные науки. – 2003. – Т.2, №4. – С. 53–55.
  8. Белевский Л. С. Металлизация поверхности стали металлическими щетками / Л. С. Белевский, Е. Г. Завалишина // Теория и практика процессов обработки композиционных и сплошных материалов : Межвузовский сборник научных трудов – Магнитогорск : МГМИ, 1990. – С. 88–92.
  9. Абрашкевич Ю. Д. Абразивные инструменты для обработки строительных материалов и горных пород / Ю. Д. Абрашкевич, В. А. Оглобинский, // Монтажные и специальные работы в строительстве №11–12. – 1996. – С. 27–28.
  10. Леванцевич М. А. Технологические возможности покрытий, нанесенных металлическими щетками / М. А. Леванцевич // Вестник Полховского государственного университета. Сер. В, Прикладные науки. – 2003. – Т. 2, № 4. – С. 53–55.

*Одержано 12.05.2015*

© **Д. Н. Степанов**

Запорожский национальный технический университет, г. Запорожье

**Stepanov D. Finishing processing of thin-walled parts of complex profile**

**Report 1. Analysis of finishing-decorating methods**

---