

$$h(x,t) = h_0 + \frac{e_{3II}}{l_2} \left( l_2 - \frac{S_0 \cdot n}{60} t \right) + \left[ \frac{e_{ДЗ} - e_{ДП}}{l_2} \left( l_2 - \frac{S_0 \cdot n}{60} t \right) + e_{ДП} \right] \cdot \cos \frac{2\pi n}{60} t +$$

$$+ \varpi(x,t) - a_1 \frac{\varepsilon(x)}{2} \sin^2 \frac{2\pi n}{60} t + b_0 \cdot \cos(\omega t + \alpha) \cdot \delta(x-l) - \Phi,$$
(18)

где:  $n$  – частота вращения заготовки;

$\Phi$  - величина упругого восстановления материала детали после процесса обработки резанием. Данная величина ничтожно мала, поэтому ее можно не учитывать при расчетах.

### Выводы

На основании вышеизложенного можно сделать вывод, что глубина резания в процессе обработки зависит от погрешностей геометрии поперечного сечения нежестких деталей типа полый цилиндр. При изменении глубины резания изменяется и сила резания, что негативным образом влияет на параметры точности комбинированной обработки деталей.

### Литература

1. Анкин А.В. Повышение производительности и качества комбинированной обработки нежестких валов. Дисс. ... к.т.н., - М., МАМИ, 1993.
2. Максимов Ю.В. Обеспечение качества и производительности обработки нежестких валов применением технологических систем с дополнительными контурами связи. Дисс. ... д.т.н., - М., МГТУ «МАМИ», 1999.
3. Папшев Д.Д. Отделочно-упрочняющая обработка поверхностным пластическим деформированием. - М.: Машиностроение, 1978.- 152 с.
4. Тимошенко С.П. Колебания в инженерном деле.- Главная редакция физико-математической литературы издательства «Наука», 1967.- 444 с.

### **Параметры резания при иглофрезеровании**

д.т.н. проф. Вороненко В.П., к.т.н. Седых М.И.  
МГТУ «Станкин»

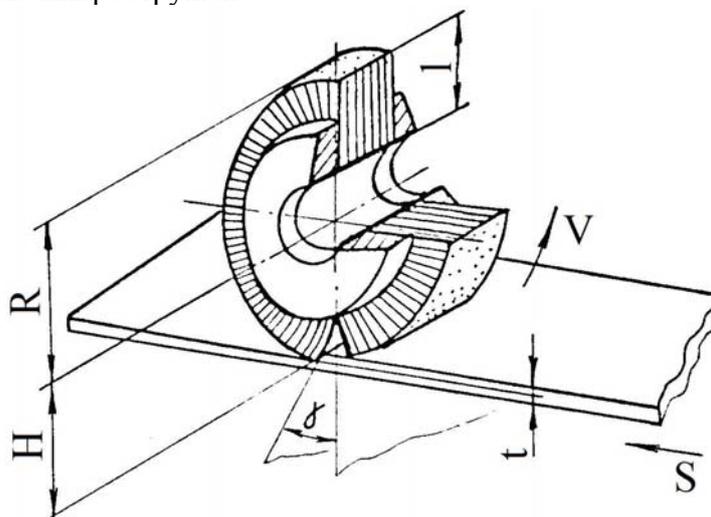
В машиностроительном производстве используются такие технологические операции, как волочение, антикоррозионное покрытие металла, сварка взрывом. Перед выполнением этих операций необходимо предварительно подготовить обрабатываемую поверхность, т.е. удалить окалину, ржавчину, окислы, старую краску, грубые загрязнения, продукты обугливания, остатки песка и шлака. Многочисленные методы подготовки поверхности под выполнение этих операций можно разделить на механические и химические. К химическим методам относятся травление серной или соляной кислотой. К механическим относятся такие, как обработка щётками, шарошками, абразивными кругами, дробеструйная и т.д. Наиболее перспективным методом очистки металла за простоту, дешевизну и экологичность по отношению к перечисленным методам считается иглофрезерование.

В качестве инструмента при иглофрезеровании используется иглофреза – режущий инструмент с несколькими сотнями тысяч режущих элементов, собранный в виде тела вращения из прямых и равных по длине отрезков высокоуглеродистой стальной проволоки – игл с твёрдостью НВ 500, с плотностью упаковки на рабочей поверхности 65...85%. Каждая проволока (игла) представляет собой микрорезец с отрицательным передним углом резания –  $\gamma$ . Обязательным условием работоспособности инструмента является упругость каждой иглы и всей совокупности игл, участвующих в контакте с обрабатываемым материалом. Процесс осуществляется при вращении режущего инструмента, который, будучи прижатым к поверхности движущегося изделия (либо двигаясь сам), обрабатывает последнее рис. 1.

Основными показателями, характеризующими процесс иглофрезерования, являются:

- скорость резания;

- скорость подачи обрабатываемого материала;
- усилие прижима иглофрезы к поверхности обрабатываемого материала;
- натяг (величина деформации упругой системы игл);
- объём удаляемого в единицу времени материала;
- качество поверхности;
- стойкость инструмента;
- размеры и форма микростружек.



**Рис. 1. Схема иглофрезы и процесса иглофрезерования**

Скорость резания ( $V$ ) зависит в основном от физико-механических свойств и теплоустойчивости материала игл. Скорость резания может возрасти с уменьшением твёрдости обрабатываемых материалов. В практике удобно условно подразделять обрабатываемые иглофрезами материалы на три весьма обширные группы по твёрдости, измеренной по Бринеллю:

- материалы, твёрдость которых не превышает НВ 100...110;
- материалы, твёрдость которых не превышает НВ 150...170;
- материалы, твёрдость которых не превышает НВ 250...270.

Обрабатываемость различных материалов характеризуется коэффициентом  $K_0$ .

$$K_0 = \frac{HB_u}{HB_m}$$

где:  $HB_u$  – твёрдость игл;

$HB_m$  – твёрдость обрабатываемого материала.

$K_0$  должен быть больше 1, следовательно, при максимальной твёрдости игл НВ 500 иглофрезами могут обрабатываться материалы с твёрдостью, не превышающей НВ 250...270.

Скорость подачи ( $S$ ) может меняться в широких пределах также в зависимости от обрабатываемых материалов и от целей обработки, т.к. она существенно влияет на производительность, качество поверхности, размеры и форму стружек. Величина  $S$  может иметь значение 0,2...200 м/мин.

Объём удаляемого материала в единицу времени ( $Q$ ) – производительность, зависит от глубины резания, ширины обработки, скорости подачи и от целей обработки. При незначительных по величине глубинах резания до 0,05мм и ширине обработки, когда удаляемый в единицу времени объём зависит от скорости подачи, подача определяет производительность процесса.

## Раздел 2. Технология машиностроения и материалы.

Усилия прижима ( $N$ ) влияет на величину деформации иглофрезы и образующийся при этом отрицательный передний угол резания  $\gamma$ . Усилие прижима зависит от жёсткости упругой части инструмента и ширины его рабочей поверхности.

Величина деформации иглофрезы ( $\sigma$ ) определяет толщину срезаемого слоя  $t$ , которая сильно зависит от свойств обрабатываемых материалов и скорости подачи. Определяется по формуле  $\sigma = R - H$ .

Следует заметить, что при равной величине деформации иглофрезы толщина срезаемого слоя больше у менее твёрдых обрабатываемых материалов. Очевидно также, что величина деформации при равном усилии прижима зависит от жёсткости иглофрезы, которая, в свою очередь, является функцией плотности набора игл, материала и размеров иглы. Жёсткость иглофрезы является следующей функцией:

$$c = f(S, l, E, I),$$

где:  $S$  – плотность набора, %;

$l$  – длина иглы, мм;

$I$  – осевой момент инерции сечения иглы, см<sup>4</sup>;

$E$  – модуль продольной упругости, ГПа.

Таким образом, исходя из целей обработки и располагая данными о физико-механических свойствах обрабатываемого материала, технолог назначает плотность набора иглофрезы, материал и размер игл, иначе говоря, жёсткость иглофрезы, необходимую величину деформации, необходимое усилии прижима иглофрезы к обрабатываемой поверхности.

Качество поверхности в процессе иглофрезерования характеризуется возможностью регулирования как шероховатости поверхности, так и её рельефа. Практические возможности по шероховатости могут быть реализованы по параметру  $R_a$  от 80 до 0,63 мкм ГОСТ 2789-73. Участие в процессах иглофрезерования большого количества микрорезцов придаёт обработанной поверхности своеобразный вид. Количество и форма микрорезцов у иглофрезы, в отличие от абразивного инструмента, строго регламентированы, иглы идентичны по форме, упруги.

Стойкость иглофрезы ( $T$ ) следует рассматривать с двух точек зрения – с точки зрения износа игл от трения и с точки зрения усталостной прочности иглы.

Износ игл от трения тем интенсивней, чем больше скорость резания  $V$  и передний угол  $\gamma$  по абсолютной величине. Практически установлено, что процесс иглофрезерования осуществляется стабильно в весьма малых пределах изменения угла  $\gamma$ ; износ следует считать оптимальным как раз в этих пределах. На практике измерения угла  $\gamma$  весьма затруднительно, а измерение величины натяга  $\delta$  не представляет никаких трудностей.

Практически установлено, что свойства материала режущих игл ограничивают скорость резания пределом 120...140 м/мин, превышение которого даже при обильном охлаждении ведёт к интенсивному износу игл [3]. О затуплении режущих кромок свидетельствует заметное уменьшение количества удаляемой стружки, и с прекращением снятия стружки можно судить о полной потере иглами режущих свойств.

Заточка иглофрезы осуществляется шлифованием её рабочей поверхности с равномерным припуском. По мере переточек уменьшается длина игл, уменьшается диаметр иглофрезы, увеличивается жёсткость игл, увеличивается усилии прижима иглофрезы при той же величине деформации, увеличивается сила трения, усиливается износ. Работать переточенным инструментом можно до тех пор, пока усилии прижима будет достаточным для деформации игл.

Отклонение игл в процессе резания от их радиальной направленности происходит с частотой, равной числу оборотов вращения иглофрезы, а амплитуда отклонения меняется в пределах изменения угла  $\gamma$ . Как известно, усталостная прочность материала характеризуется максимальным числом циклов нагружения до разрушения материала; в свою очередь максимальное число циклов может быть тем больше, чем меньше амплитуда нагрузки [3]. В иг-

лофрезы, где упругие деформации игл остаются малыми, превалирующей причиной разрушения игл является цикличность нагружения. Таким образом, усталостная прочность игл оказывается дополнительным ограничивающим фактором для скорости резания наряду с износом от трения.

Основным способом крепления игл у корня остаётся сварка, поэтому упругость и прочность иглы у корня в значительной мере утрачивается. Естественно, что разрушение иглы происходит именно в месте крепления, и, чем больше число оборотов вращения иглофрезы, тем быстрее наступает разрушение игл в месте крепления. Подразумевая под стойкостью иглофрезы время, в течение которого игла сохраняет режущие свойства, следует учитывать эффект самозатачивания. Износ от трения, которым сопровождается процесс иглофрезерования, происходит по передней поверхности иглы и, по мере затупления режущей кромки с одной стороны, достаточно изменять направление вращения, чтобы износ иглы происходил с противоположной стороны. Время от времени, однако, необходимо, перешлифовывать иглофрезу, т.к. после нескольких циклов реверсирования торец иглы затупляется. Практически потеря режущих свойств от износа и уменьшения длины иглы редко наступает до разрушения игл. Очевидно, для увеличения стойкости иглофрезы надо стремиться к сокращению частоты вращения. Встречающиеся в некоторых источниках [1, 2] указания на стойкость иглофрез 500...600 час при вращении с частотой 150...200 об/мин нельзя считать точными. Подобную стойкость можно достигнуть только при весьма малой (25...30 об/мин) частоте вращения.

Таким образом, иглофреза – своеобразный многолезвийный инструмент, работающий в широком диапазоне изменения скорости и подачи, что сближает его с обычным металлорежущим инструментом, сформированным из множества отдельных игл – микрорезцов, обладает рядом специфических особенностей, которые необходимо учитывать при проектировании, изготовлении и эксплуатации. Параметрами характеризующим процесс резания при иглофрезеровании являются скорость резания, подачи, плотность укладки игл, усилие прижима иглофрезы к заготовке.

### Литература

1. Очистка стали от окалины в прокатных станах. Европейское объединение угля и стали, проект конечного отчета 7210 EA/818, 1992.
2. Платов С. И., Терентьев Д. В., Мустафин Ф. Т., Анцупов А. В. Математическое моделирование процесса механической подготовки поверхности заготовки для волочения, журнал "Метизы" № 2(12)-2006
3. N.J. Silk. The impact energy primary descaling //STEEL TIMES. May 1999.

### **Повышение эффективности транспортных систем путем оптимизации материальных потоков на производственных участках механосборочного производства**

Горский С.С.  
МГТУ «СТАНКИН»

В последние десятилетия нестабильность в общественной, политической, экологической и технологической сферах постоянно возрастает, что намного сильнее, чем раньше, отражается на рынках, товарах, предприятиях и тем самым на конкурентной борьбе. Прерывистость развития, а также сложность и динамичное изменение окружающей среды привели к значительной трансформации общих рамочных условий хозяйственной деятельности предприятий, особенно для тех из них, которые работают в высокотехнологичной сфере. Многие отрасли ввиду нарастающих изменений окружающих рыночных условий и глубинных структурных преобразований в мировой экономике стоят перед лицом чрезвычайно сложных и ответственных решений.

Для традиционных технологий можно констатировать всё большее насыщение рынка и