

В.А. Гайдар, начальник отдела программной обработки
АО «Полтавский турбомеханический завод» концерна «Укрросметалл»,
г. Полтава, Украина

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ДЛЯ КРУГОВОГО ВЫСОКОСКОРОСТНОГО ФРЕЗЕРОВАНИЯ РАБОЧИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ТУРБИННЫХ ЛОПАТОК НА СТАНКАХ С ЧПУ, ПОЗВОЛЯЮЩИХ ПОЛУЧИТЬ КАЧЕСТВО ПОВЕРХНОСТИ, СООТВЕТСТВУЮЩЕЕ ШЛИФОВАНИЮ.

Приведена методика расчета параметров скоростного фрезерования при круговой обработке поверхности турбинной лопатки с качеством позволяющим исключить процесс шлифования. (Указанный режим высокоскоростной механической обработки (HSM - High Speed Machining) рабочих поверхностей турбинных лопаток стал возможным при внедрении в производство прогрессивного инструмента и современных высокопроизводительных станков с ЧПУ.)

Ключевые слова: турбинная лопатка, поверхность, шероховатость, технология, фрезерование, программа, станок, управление.

Введение. Существенное повышение качества фрезерной обработки поверхности турбинной лопатки до уровня шлифования даёт возможность исключить его (шлифование) из общего технологического процесса, что позволит избежать потерь времени, связанных с трудоёмкой работой шлифовщика, а результаты обработки будут выше и по геометрической точности, и с точки зрения качества обработанной поверхности.

Анализ последних исследований и публикаций. За последние годы высокоскоростное фрезерование совершило переворот в методах механообработки. Основными показателями процесса HSM обработки является производительность станков и качество обработки деталей.

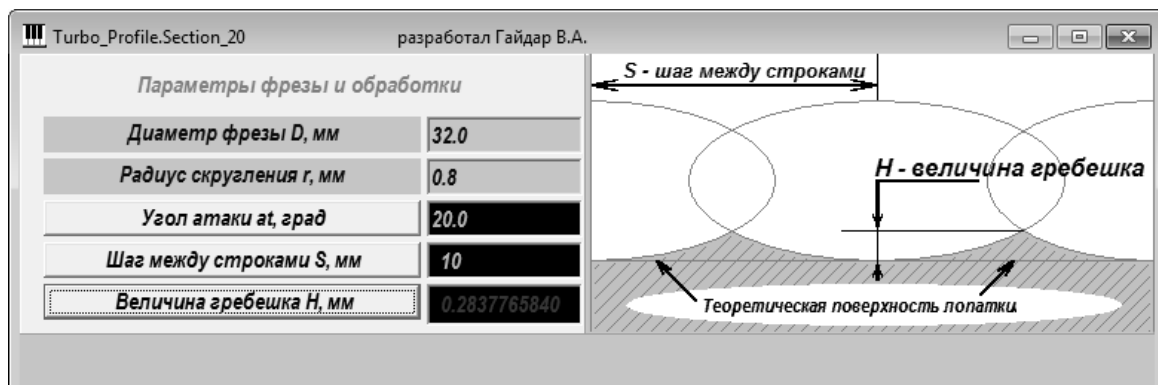


Рис.1а

Для расчета зависимостей между технологическими параметрами концевой фрезы (D, r), угла атаки (α_t) и заданной заранее величине гребешка H по программе «Turbo_Profile.Section_20a» (Рис. 1а) используем уравнения кривых, описывающих следы фрезы в металле при круговом фрезеровании, например, рабочей части турбинной лопатки. В статье [1] автором были получены уравнения таких кривых (1) (кривых Персея) и их производных (2) в параметрической форме:

$$\begin{cases} x(t) = x_0 + \left(\frac{D}{2} - r\right) * \cos(t) + \frac{r * \sin(at)}{\sqrt{\operatorname{tg}^2(t) + \sin^2(at)}} \\ y(t) = y_0 + \left(\frac{D}{2} - r\right) * \sin(at) * \sin(t) + \frac{r}{\sqrt{1 + \sin^2(at) * \operatorname{ctg}^2(t)}} \end{cases} \text{ при } t \in [0, 2\pi], \quad (1)$$

$$\begin{cases} x' = \left(r - \frac{D}{2}\right) * \sin(t) - r * \sin(at) * \left(\frac{1}{\sqrt{\operatorname{tg}^2(t) + \sin^2(at)}}\right)^3 * \frac{\operatorname{tg}(t)}{\cos^2(t)} \\ y' = \left(r - \frac{D}{2}\right) * \sin(at) * \cos(t) + r * \left(\frac{1}{\sqrt{1 + \sin^2(at) * \operatorname{ctg}^2(t)}}\right)^3 * \frac{\operatorname{ctg}(t)}{\sin^2(t)} \end{cases} \text{ при } t \in [0, 2\pi] \quad (2)$$

где : D – диаметр фрезы, r – радиус скругления режущей кромки фрезы, at – угол атаки фрезы

t - эксцентрический угол внешней эквидистанты эллипса

x_0, y_0 – координаты центра фрезы (точка пересечения оси фрезы и плоскости, проходящей через центры окружностей, образованных кромками).

Цель исследований. В работе рассмотрен механизм расчета технологических параметров для HSM обработки, использующихся при подготовке управляющих программ для станков с ЧПУ, с помощью которых получается качество поверхности обработки, соответствующее шлифованию.

Основной материал статьи. При работе с программой “Turbo_Profile.Section_20a”, технолог-программист имеет возможность:

1. Задав параметры фрезы, угол атаки, шаг между строками фрезерования определить соответствующую им шероховатость поверхности H .
2. Определить угол атаки или шаг между строками (для конкретной фрезы) так, чтобы шероховатость поверхности H была определенной величины.

Рассмотрим пример расчета параметров черновой, чистовой и суперфинишной обработки турбинной лопатки.

1. Черновая обработка (концевая фреза со скруглёнными кромками)

Выбираем, например, концевую фрезу с параметрами $D=32\text{ мм}$, $r=0.8\text{ мм}$ (она соответствует нашей задаче по результатам испытаний).

Для наглядности с помощью программы “Turbo_Profile.Section_20a” строим графики зависимостей

между шероховатостью H и шагом между строками круговой обработки S для некоторых значений угла атаки at (Рис.2а).

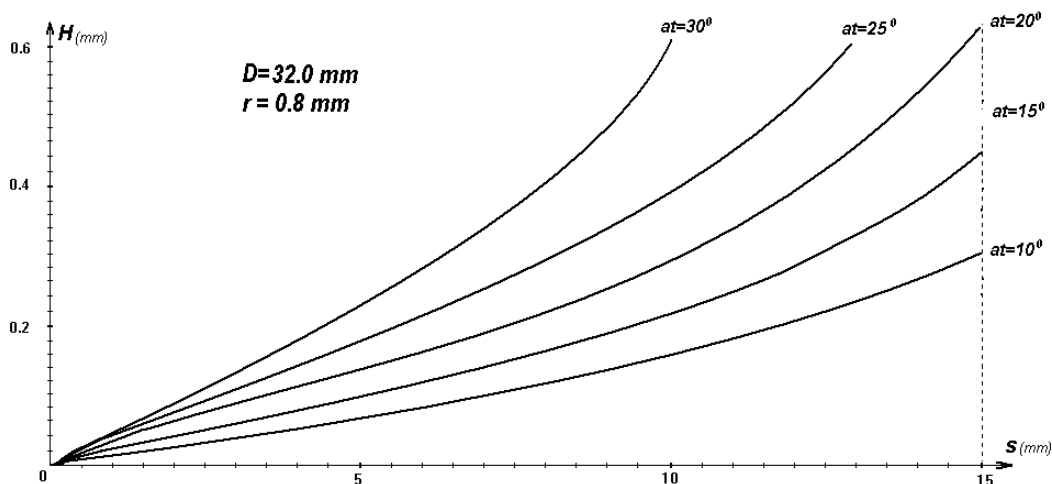


Рис.2а

Выбираем для данной обработки шероховатость, которую нужно получить, например, $H=0.3$ и ,используя параметры фрезы, рассчитываем для данной H по несколько очевидных расчетов по программе “Turbo_Profile.Section_20a”,
 искомые значения параметров : (Рис.1а)
 $at=20$ град. $S=10$ мм и уже более точное значение $H=0.2838$ мм
 Аналогично производится расчет для чистовой и суперфинишной обработки.

2. *Чистовая обработка* (концевая фреза со скруглёнными кромками)

Выбираем концевую фрезу с параметрами $D=20$ мм, $r=0.8$ мм и производим аналогичные действия.

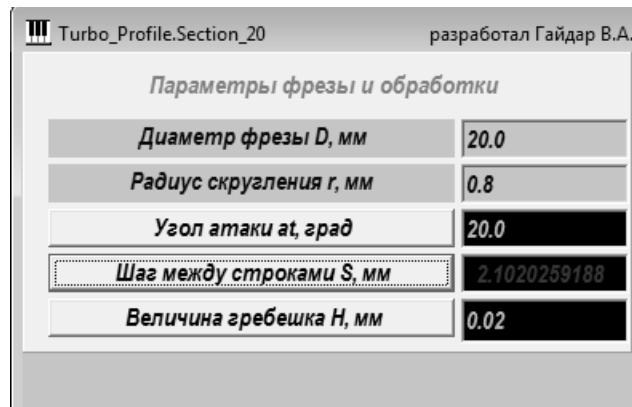


Рис 3

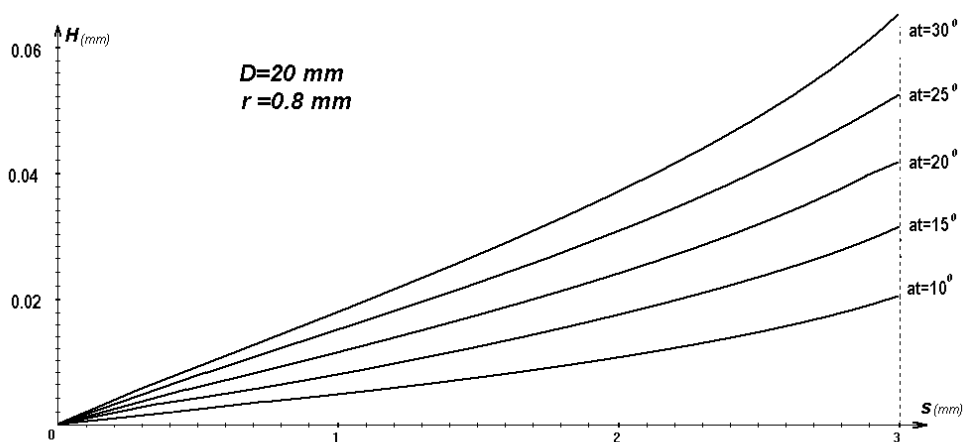


Рис.4

Получаем искомые значения параметров :

$at=20$ град. $S=2.102$ мм и $H=0.02$ мм

3. *Суперфинишная обработка* (шаровая фреза)

Чистовая обработка, при которой $H < 0.0016$. (Считаем ,что $H=0.0016$ получается после шлифования)

Выбираем шаровую фрезу $D=20$ мм, $r=10$ мм, $at=10$ град и строим только один график, так как H не зависит от at для шаровой фрезы.

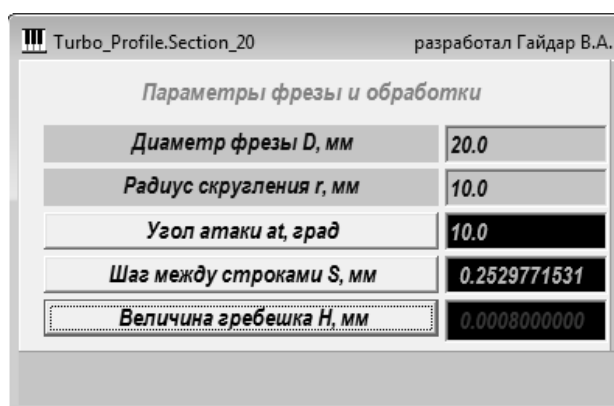


Рис 6

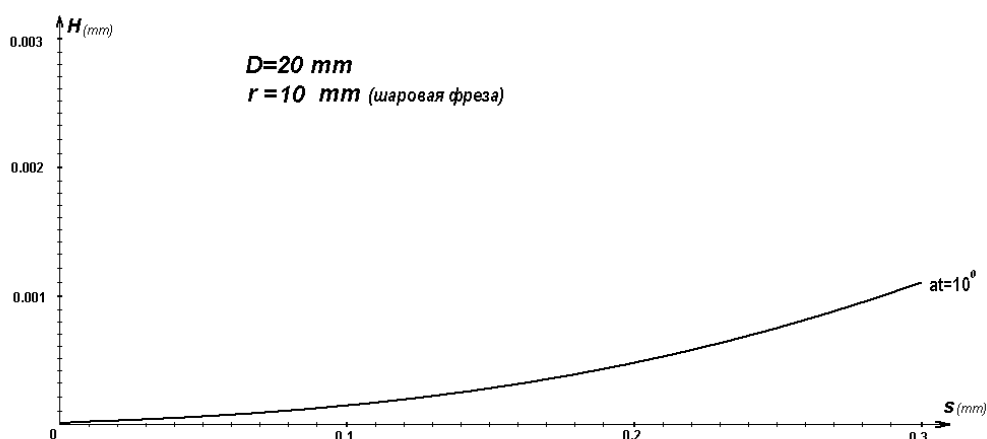


Рис 5

Получаем искомые значения параметров :
 $at=10$ град. $S=0.253$ мм и $H=0.0008$ мм

Очень важно, что при всех расчетах параметров черновой, чистовой и суперфинишной обработки турбинной лопатки сохраняется - "постоянная высота гребешка", что позволяет оптимально задавать режимы резания.

В предложенной методике рассматривается только часть параметров фрезерной обработки (H, at, s, D, r).

Остальные параметры, включая инструмент, относящиеся к режимам резания, подбираются по рекомендациям их фирм-производителей и постоянно совершенствуются.

Выводы.

Предложенная методика расчета параметров для чернового, чистового и суперфинишного фрезерования при круговой обработке поверхностей турбинных лопаток, предоставляет возможность технологю-программисту исключить шлифование из общего технологического процесса без потери качества обрабатываемой поверхности.

Литература

1. Гайдар В. А. Автоматизированный расчет технологических параметров фрезерной обработки турбинных лопаток "Компрессорное и энергетическое машиностроение", 2013. – №3. – с. 51 - 55
2. Савелов А. А. Плоские кривые: Систематика, свойства, применения. М.: Физматгиз, 1960. – 293 с.
3. Марчук Г.И. Методы вычислительной математики. М.: Наука, 1989. – 390 с.

4. Корн Г. Справочник по математике для научных работников и инженеров. / Корн Г. и Корн Т. – М.: Наука, 1973.- 408 с.
5. Бахвалов Н.С. Численные методы. – М.: Наука, 1973.– 283 с.
6. Пшеничный Б.Н. Численные методы в экстремальных задачах / Б.П.Пшеничный Ю.М.Данилин.– М.: Наука, 1975.- 320 с.

© В.А. Гайдар

УДК 621.914.1

*В.А. Гайдар, начальник відділу програмної обробки
АТ «Полтавський турбомеханічний завод» концерну «Укрросметал»,
м Полтава, Україна*

**РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ДЛЯ КРУГОВОГО
ВИСОКОШВИДКІСНОГО ФРЕЗЕРУВАННЯ РОБОЧИХ ПОВЕРХОНЬ
ТУРБІННИХ ЛОПАТОК НА ВЕРСТАТАХ З ЧПК, ЯКЕ ДОЗВОЛЯЄ
ОДЕРЖАТИ ЯКІСТЬ ПОВЕРХНІ, ЩО ВІДПОВІДАЄ ШЛІФУВАННЮ.**

Наведена методика розрахунку параметрів швидкісного фрезерування при круговій обробці поверхні турбінної лопатки з якістю, що дозволяє виключити

Процес шліфування. (Вказаний режим високошвидкісної механічної обробки (HSM - High Speed Machining) робочих поверхонь турбінних лопаток став можливим при впровадженні у виробництво прогресивного інструмента та сучасних високопродуктивних верстатів з ЧПК.)

Ключові слова: турбінна лопатка, поверхня, шорсткість, технологія, фрезерування, програма, верстат, управління.

UDC 621.914.1

*VA Gaidar, head of software processing
JSC "Poltava Turbomechanical Plant" concern "Ukrrosmetall"
Poltava, Ukraine*

**CALCULATION OF PARAMETERS FOR CIRCULAR HIGH-SPEED
MILLING WORKING SURFACE OF TURBINE BLADES ON CNC
MACHINES, YIELDS ACCEPTABLE SURFACE CORRESPONDING
GRINDING.**

The design procedure of parameters of high-speed milling is resulted at circular processing of a surface of a turbine shovel with quality allowing to exclude grinding process. (The specified mode of high-speed machining (HSM - High Speed Machining) working surfaces of turbine shovels became possible at introduction in manufacture of the progressive tool and modern high-efficiency machine tools with CNC.)

Keywords: the turbine shoulder-blade, surface, roughness, technology, milling, program, machine-tool, management.