



УДК 004.94:621.771

## РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КАЛИБРА СТАНА ХОЛОДНОЙ ПРОКАТКИ ТРУБ В СИСТЕМЕ POWER MILL

В.А. Дербоба<sup>1</sup>, А.Л. Войчишен<sup>2</sup>, С.Т. Пацера<sup>3</sup>

<sup>1</sup>кандидат технических наук, ассистент кафедры технологии горного машиностроения, Государственное высшее учебное заведение «Национальный горный университет», г. Днепропетровск, Украина, e-mail: [DerbabaV@nmu.org.ua](mailto:DerbabaV@nmu.org.ua)

<sup>2</sup>аспирант кафедры технологии горного машиностроения, Государственное высшее учебное заведение «Национальный горный университет», г. Днепропетровск, Украина, e-mail: [saprtm@i.ua](mailto:saprtm@i.ua)

<sup>3</sup>кандидат технических наук, доцент кафедры технологии горного машиностроения, Государственное высшее учебное заведение «Национальный горный университет», г. Днепропетровск, Украина, e-mail: [witiw@rambler.ru](mailto:witiw@rambler.ru)

**Аннотация.** В статье обосновывается рациональный выбор материала заготовки калибра, подбор инструментального материала, оснастки и режущего инструмента. Составлен оптимальный технологический процесс механической обработки сложного профиля калибра с применением передового программного обеспечения Power Mill.

*Ключевые слова:* инструментальный материал, калибр, управляющая программа, технологический процесс.

## DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY FOR MANUFACTURE CALIBER MILL COLD-ROLLING OF TUBES IN THE POWER MILL

Vitaliy Derbaba<sup>1</sup>, Alexandr Voichishen<sup>2</sup>, Sergey Patsera<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Ph.D., assistant of Mining Engineering Department, State Higher Educational Institution “National Mining University”, Dnepropetrovsk, Ukraine, e-mail: [DerbabaV@nmu.org.ua](mailto:DerbabaV@nmu.org.ua)

<sup>2</sup>Post graduate, State Higher Educational Institution “National Mining University”, Dnepropetrovsk, Ukraine, e-mail: [saprtm@i.ua](mailto:saprtm@i.ua)

<sup>3</sup>Ph.D., Associate Professor of Mining Engineering Department State Higher Educational Institution “National Mining University”, Dnepropetrovsk, Ukraine, e-mail: [witiw@rambler.ru](mailto:witiw@rambler.ru)

**Abstract.** The article proves the rational choice of material billet gauge, selection of tool material, tooling and cutting tools. Compiled optimal technological process of machining complex profile gauge with the use of advanced software Power Mill.

*Keywords:* instrumental material, gauge, control program, the technological process.

**Введение.** Развитие технологии и оборудования для холодной пильгерной прокатки труб позволило улучшить геометрические показатели качества, приблизив их вплотную к качеству труб, получаемых способами



волочения, при существенном преимуществе в производительности и цикличности технологических операций.

**Цель работы.** Оптимизировать технологический процесс обработки калибра за счет выбора прогрессивного инструмента и режимов резания, универсального станочного приспособления (УСП), мерительного и вспомогательного инструмента, универсального станка с ЧПУ. Создать управляющую программу для технологии обработки калибра и NC-файл в программе Power Mill, а также апробировать постпроцессор в пакете PM-Post для станка OKUMA.

**Материал и результаты исследований.** Сталь конструкционная рессорно-пружинная 60С2ХФА. Как правило, основное применение данной марки стали ответственные и высоко нагруженные пружины и рессоры, изготавливаемые из круглой калиброванной стали. Сталь 60С2ХФА обладает наилучшим сочетанием технологических и эксплуатационных свойств в данной группе сталей (М2).

Характерным признаком рессорно-пружинных сталей является наличие в них углерода в количестве 0,5...0,8 %. По составу эти стали могут быть как углеродистыми, так и легированными. Рессорно-пружинные стали, прежде всего, должны обладать высоким пределом текучести, что обеспечивает высокие упругие свойства. Это достигается закалкой с последующим средним отпуском. Температура отпуска должна выбираться в пределах 350–500°C (иногда, в зависимости от состава и назначения может достигать и до 600°C). Кроме того, они должны обладать высоким пределом выносливости и достаточно высоким пределом прочности. А вот пластичность этих сталей должна быть пониженной (5–10 % по относительному удлинению и 20–35 % по относительному сужению).

К недостаткам этих сталей следует отнести их склонность к обезуглероживанию и образованию поверхностных дефектов в процессе горячей обработки, приводящих к снижению предела выносливости. В целях предотвращения образования указанных дефектов, кремнистые стали дополнительно легируют хромом, марганцем, ванадием, никелем и вольфрамом. Также к минусам углеродистых пружинных сталей следует отнести невысокий предел упругости и невысокую прокаливаемость. Критический диаметр этих сталей при закалке в масле не превышает 25 мм.

### Основные свойства стали 60С2ХФА

#### Химический состав в % материала 60С2ХФА

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	V	Cu
0.56 - 0.64	1.4 - 1.8	0.4 - 0.7	до 0.25	до 0.025	до 0.025	0.9 - 1.2	0.1 - 0.2	до 0.2





Механические свойства при  $T=20^{\circ}\text{C}$  материала 60С2ХФА

Сортамент	Размер	Напр.	$\sigma_B$	$\sigma_T$	$\delta_5$	$\delta$	КСУ	Термообр.
–	мм	-	МПа	МПа	%	%	кДж / м <sup>2</sup>	–
Сталь, ГОСТ 14959-79			1670	1470	6	25		Закалка 870 <sup>o</sup> С, масло, Отпуск 470 <sup>o</sup> С,
Твердость 60С2ХФА без термообработки, ГОСТ 14959-79								<b>НВ 10<sup>-1</sup> = 321 МПа</b>
Твердость 60С2ХФА термообработанного, ГОСТ 14959-79								<b>НВ 10<sup>-1</sup> = 285 МПа</b>

Инструментальный материал для механической обработки

Материал заготовки по международному стандарту ISO находится в группе P01-P15. Это означает чистовая, получистовая обработка стали на высоких скоростях резания. Высокая стойкость инструмента, при токарной обработке, обеспечивается за счет применения покрытия на основе Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и покрытия режущих кромок твердосплавных сменных пластин карбонитридами и карбидами титана и алюминия TiCN + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + TiN (покрытие CVD, PVD). Наглядный пример рационального выбора инструментального материала токарной и фрезерной группы показан на рис.1.

Твердый сплав с покрытием для токарной обработки	<b>P</b>	Стали	NC3010	NC3020	NC3120	NC3030	NC5330	NC500H
	<b>M</b>	Нержавеющие стали	PC8110	NC9025	PC5300	PC9030		
	<b>K</b>	Чугуны	NC6105	NC6110	NC315K	NC5330	PC5300	
	<b>S</b>	Жаропрочные стали	PC8110	NC5330	PC5300			
Твердый сплав с покрытием для фрезерной обработки	<b>P</b>	Стали	NC5330	NCM325	PC3500	PC5300	NCM335	PC3545
	<b>M</b>	Нержавеющие стали	NC5330	PC5300	PC9530	PC3545		
	<b>K</b>	Чугуны	PC8110	PC6510	PC5300	NC5330		
	<b>S</b>	Жаропрочные стали	PC5300	PC3545				

Рис. 1 – Классификация инструментальных материалов по каталогу Korloy

Выбор режущего инструмента

Для токарной обработки поверхностей калибра, торцов и канавок, необходимо применить прогрессивный инструмент зарубежного производителя. Для примера был использован токарный инструмент «Korloy» (Южная Корея).

Для начала необходимо определиться с геометрией стружколома пластин и далее по таблице выбрать необходимые режимы резания при токарной обработке (глубину, подачу, скорость) рис. 2.



Глубина резания, мм	Стружколом	Геометрия передней поверхности	Подача, мм/об	Марка сплава	Скорость резания, м/мин	Форма СМП					
						80°	55°	90°	60°	95°	80°
геометрия	$\phi S \sim 1.0$ $\sim 1.5$ Частозаз. тонкая	VF	$0.08 \sim 0.15$ $\sim 0.30$	NC3010 NC3020 NC3120	130 110 110	DNMG $\phi S \cdot 0$	DNMG $\phi S \cdot 0$	DNMG $\phi S \cdot 0$	TNMG $\phi S \cdot 0$	WNMG $\phi S \cdot 0$	WNMG $\phi S \cdot 0$
	$\phi S \sim 1.0$ $\sim 2.0$ Частозаз. тонкая	VB	$0.15 \sim 0.2$ $\sim 0.4$	NC3010 NC3020	300 250	DNMG $\phi S \cdot 0$	DNMG $\phi S \cdot 0$				
	$\phi S \sim 1.5$ $\sim 3.0$ Полукруглая частозаз. тонкая	NC	$0.10 \sim 0.20$ $\sim 0.35$	NC3010 NC3020 NC3120 NC3030	150 130 130 110	DNMG $\phi S \cdot 0$	DNMG $\phi S \cdot 0$	DNMG $\phi S \cdot 0$	TNMG $\phi S \cdot 0$		WNMG $\phi S \cdot 0$

Рис. 2 – Рекомендации по выбору стружколомов и назначение режимов резания

Исходя из конструкции детали и кинематических свойств станка выбираем необходимый тип державки токарного резца на обработки наружной поверхности (рис. 3) и осевой инструмент для обработки пазов, канавок и отверстий калибра (рис. 4).

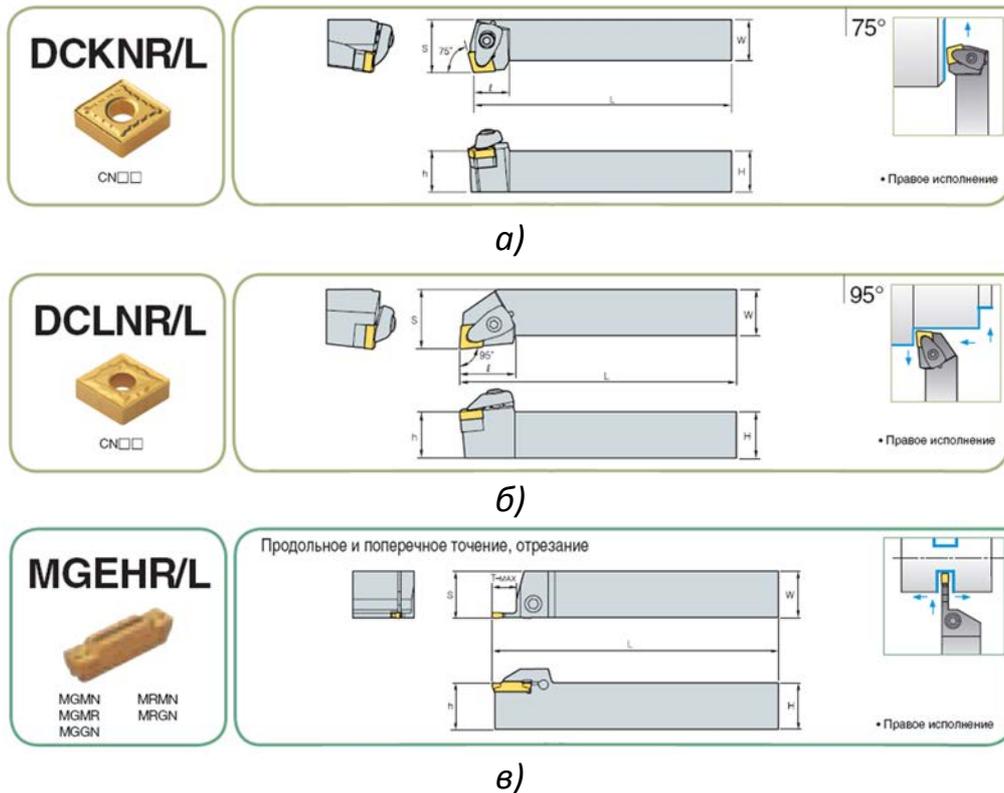


Рис. 3 – Токарные резцы «Korloy» для станка с ЧПУ  
 а) для обработки торцов; б) для наружной обработки; в) для точения канавок

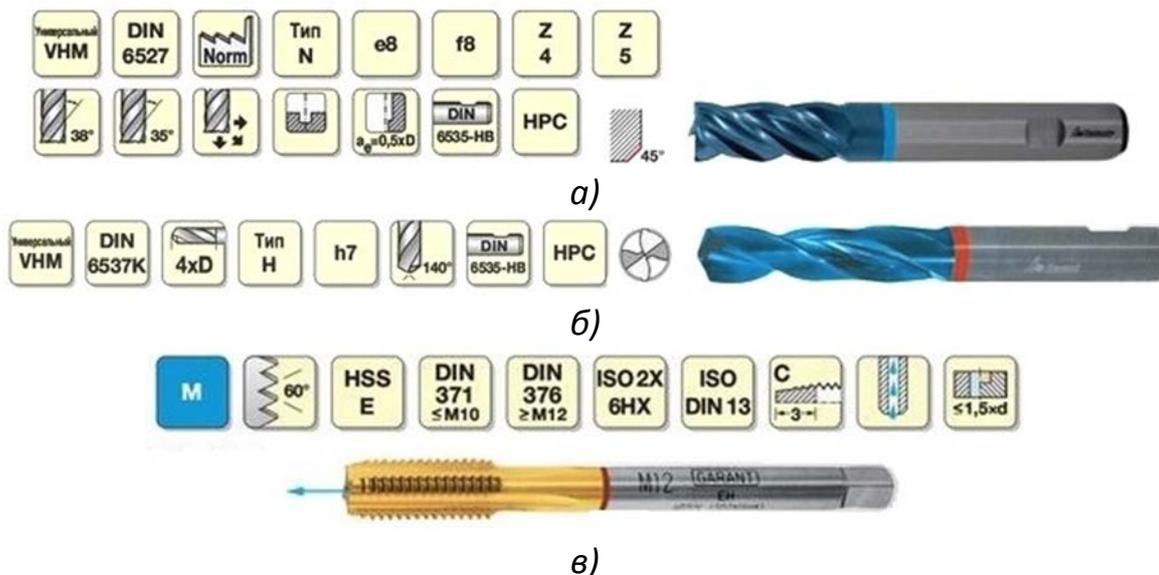


Рис. 4 – Осевой твердосплавный инструмент «Hoffmann Group»  
 а) концевая фреза; б) спиральное сверло; в) метчик с подводом СОЖ

На данном этапе проектирования рассчитываем режимы резания для всех операций обработки калибра на станке с ЧПУ расчетно-аналитическим и табличным методом. В ходе расчетов режимов резания учитываем поправочные коэффициенты влияния материала заготовки, состояния поверхности, инструментального материала, коэффициенты от угла в плане, радиуса при вершине. Табличную скорость мы корректируем с паспортными данными станка и выбираем необходимую частоту вращения шпинделя при токарной фрезерной обработке.

*Выбор зажимного инструмента и оснастки*

Для фрезеровки ручья с переменным сечением и шпоночного паза калибра, необходим патрон типа Weldon с конусом SK40 (рис. 5).



Рис. 5 – Зажимной патрон «Garant» (Hoffmann Group)



Для нарезания резьбы метчиком необходимо использовать быстросменный резьбонарезной патрон, тип SK40 «Garant». Для сверления отверстий применяем сверлильный патрон, тип SK40, с проточкой на фланце под манипулятор. Для механической обработки поверхности калибра мы применяем токарный трехкулачковый самоцентрирующийся токарный патрон «RÖHM».

### *Разработка технологии и реализация алгоритмов обработки поверхностей калибра в Power Mill*

В системе Power Mill создана оптимальная технология обработки калибра за два установка. Особое внимание выделяем фрезеровке ручья с переменным сечением профиля. Черновая обдирка концевой фрезой  $D\phi = 4$  мм, припуск на операцию 0,6 мм (рис. 6).

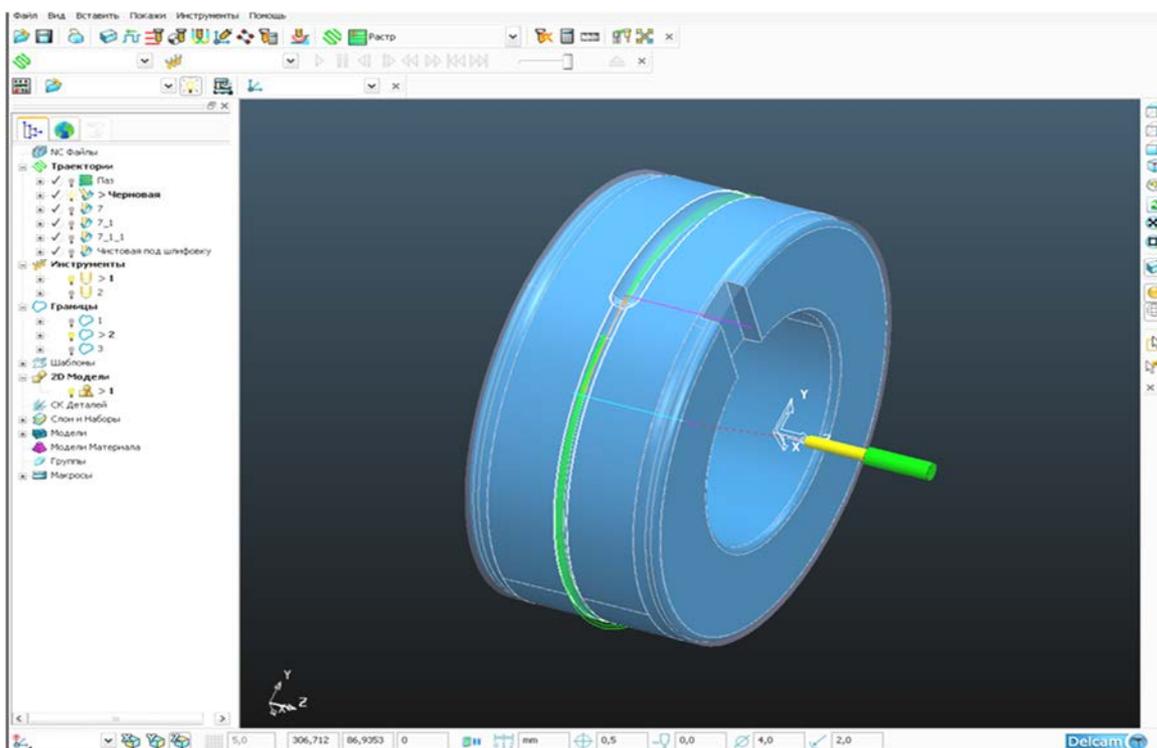


Рис. 6 – Черновая обработка ручья калибра

Операция чистовая, диаметр концевой фрезы  $D\phi = 3$  мм. После обработки оставляем припуск под шлифовку ручья 0,1 мм (рис. 7).

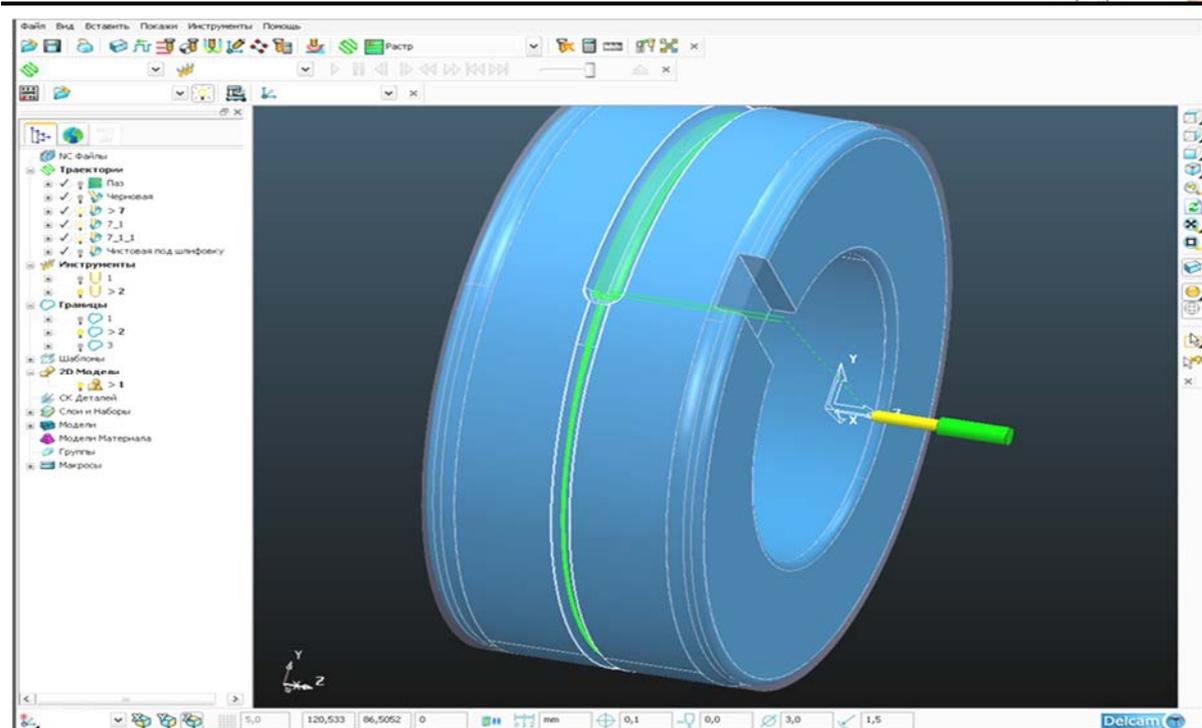


Рис. 7 – Чистовая обработка ручья калибра

Так же, следует обратить внимание на область перехода (мертвая зона). Именно в этом месте чаще всего ломается инструмент при наличии в траектории небольших всплесков (рис. 8).

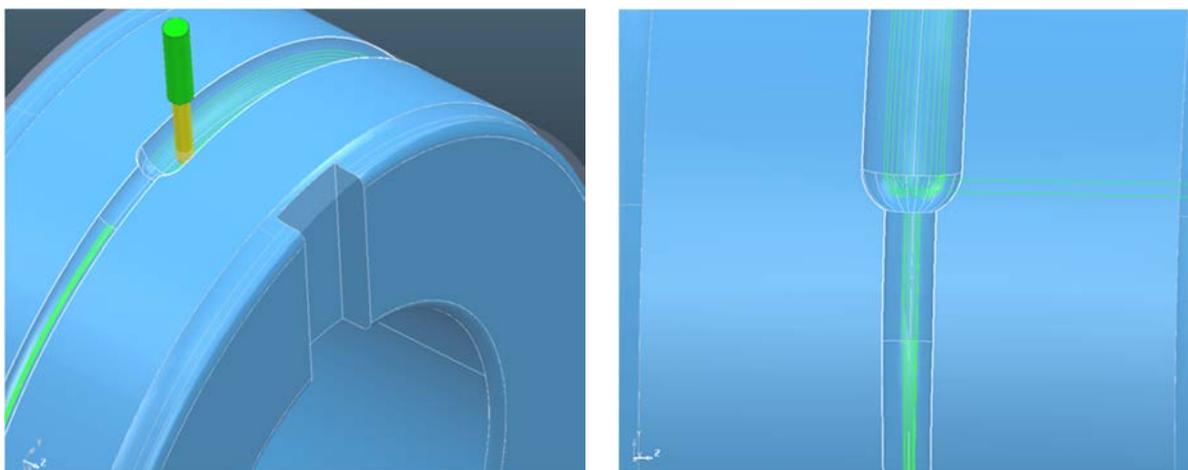


Рис. 8 – Область перехода профиля ручья калибра

Анализ результата механической обработки, в динамике, проверяем с помощью функции View Mill (рис. 9). Данная процедура контроля резания в программе называется верификацией обработки.

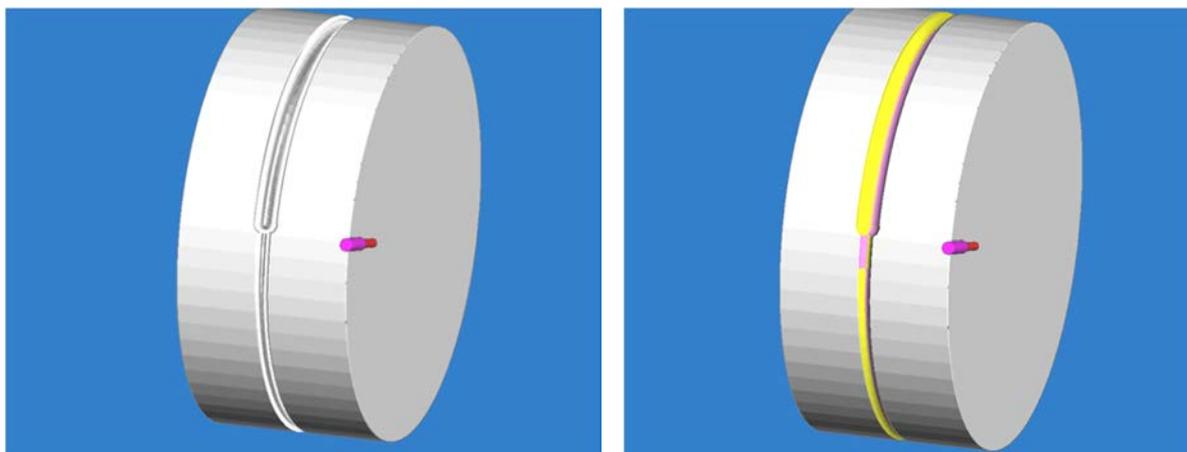


Рис. 9 – Режим View Mill

Проверка созданных траекторий, на удары и столкновения, была закончена после загрузки в среду Power Mill гибрида станка «OKUMA Mac Turn 250» (рис. 10). Траектория обработки ручья калибра - «4-х осевая»

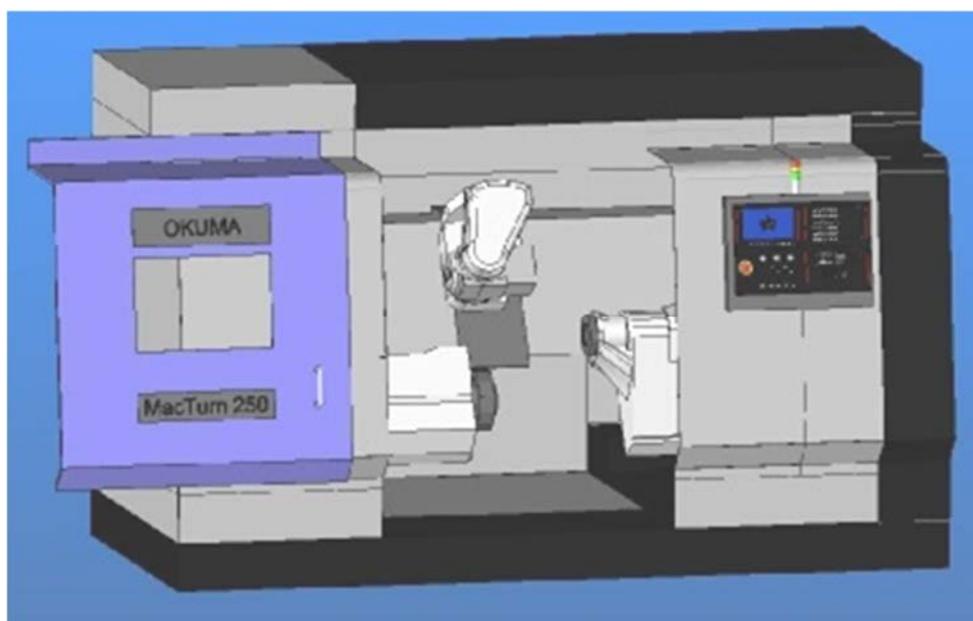


Рис. 10 – Гибрид станка «OKUMA Mac Turn 250»

С учетом кинематических свойств станка, в реальном времени и режимах резания, были проработаны все траектории на предмет зарезов и столкновений (рис. 11).

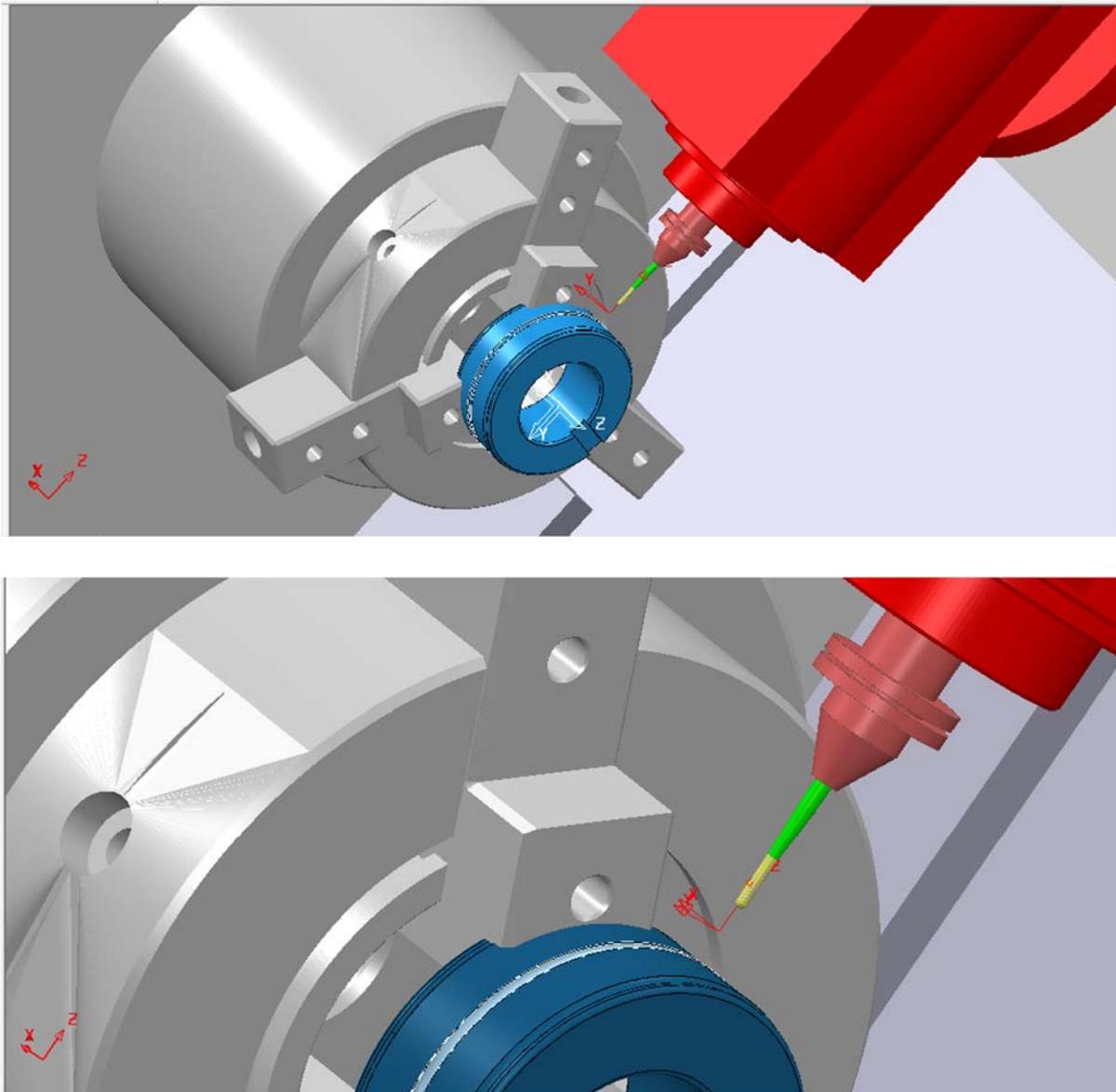


Рис. 11 – Визуализация обработки на станке «OKUMA Mac Turn 250»

После успешного тестирования всех траекторий происходит запись управляющих программ (УП). Окончательным этапом в проектировании технологии, является написание постпроцессора. Данная процедура выполнена в программе PM-Post. После создания постпроцессора, сохраняем данную сессию в опционный файл с расширением «.pmopt» и импортируем данный файл в окно записи «NC-файл» программы Power MILL (рис. 12).



```
N10 G13
N20 G0 X9999.
N30 Z400.
N40 NAT00 (TOOL N)
N50 MT=00 01
N60 M321
N70 M05
N80 M109
N90 G94 TL=010101 BT=0
N100 SB=400 M13
N110 M146
N120 M110
N130 G138
N140 G17
N141 G00 X85. Z10. C0. M15
N142 Z-30.
N143 C60.
N150 G01 Y-15.038 Z-30.491 C62.244 F100.
N160 X73.158
N170 G01 X72.430 Y-14.832 F20. M08
N180 X71.780 Y-14.444
N190 X71.252 Y-13.901 Z-30.492
N200 X70.883 Y-13.240
N210 X70.697 Y-12.506 Z-30.493
N220 X70.708 Y-11.749 Z-30.494
N230 X70.687 Y-11.793 Z-30.495 C63.466
N240 X70.666 Y-11.832 Z-30.496 C64.685]
N250 X70.645 Y-11.873 Z-30.498 C65.907
N260 X70.623 Y-11.915 Z-30.499 C67.13
N270 X70.600 Y-11.955 Z-30.500 C68.353
N280 X70.577 Y-11.994 Z-30.502 C69.575
N290 X70.554 Y-12.030 Z-30.503 C70.797
N300 X70.530 Y-12.066 Z-30.505 C72.02
N310 X70.506 Y-12.102 Z-30.507 C73.245
N320 X70.481 Y-12.134 Z-30.508 C74.469
N330 X70.456 Y-12.164 Z-30.510 C75.694
N340 X70.431 Y-12.190 Z-30.512 C76.916
N350 X70.404 Y-12.220 Z-30.514 C78.142
N360 X70.376 Y-12.250 Z-30.516 C79.368
N370 X70.347 Y-12.278 Z-30.517 C80.593
N380 X70.316 Y-12.310 Z-30.519 C81.822
N390 X70.285 Y-12.334 Z-30.521 C83.046
```

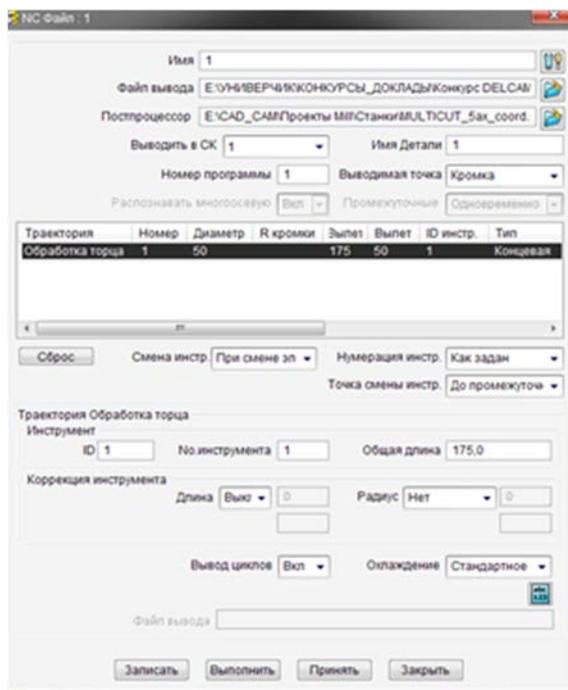


Рис. 12 – Фрагмент УП

На данном этапе технология окончена, созданный файл-код готов к работе и может быть отправлен на стойку станка, с помощью карты памяти.

### *Апробация результата расчетов управляющей программы (УП)*

Проект механической обработки калибра выполнен на 5-ти осевом токарно-фрезерном станке «OKUMA Mac Turn 250» (рис. 13) с условиях производственных мощностей завода.



Рис. 13 – Станок с ЧПУ «OKUMA Mac Turn 250»



Следующим шагом в технологическом процессе является копирование УП на стойку станка OKUMA и автоматическое проверка столкновений системой ЧПУ станка (рис. 14).

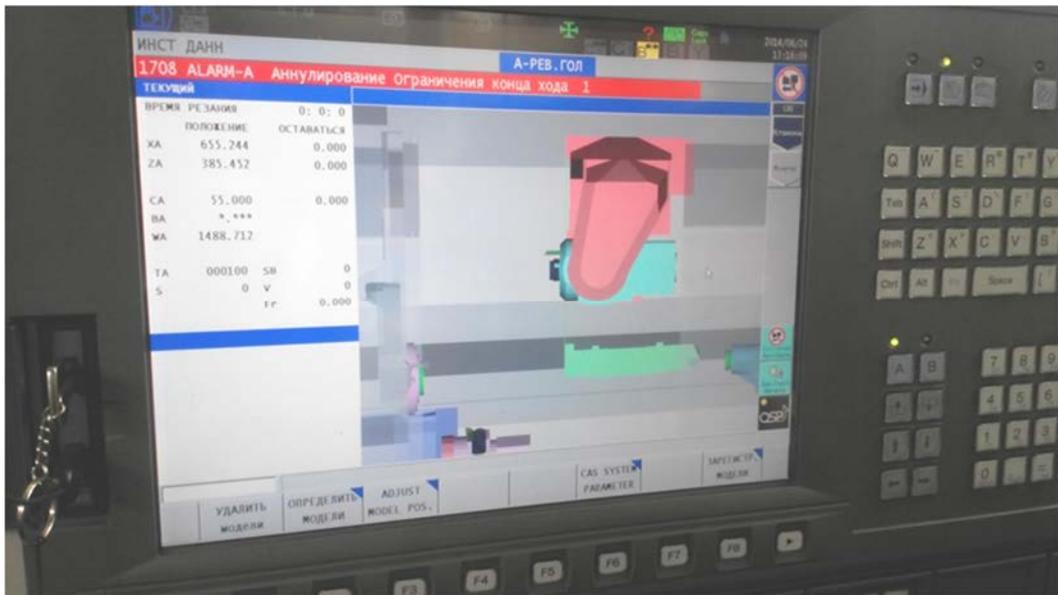


Рис. 14 – Стойка станка OKUMA

Следуя технологии, выполняется привязка системы координат станка, инструмента и детали. После чего в магазин станка загружаются необходимые инструменты, и происходит механическая обработка на рабочих подачах и оборотах станка.



Рис. 15 – Готовая деталь – калибр ХПТ

**Вывод.** Применение программного обеспечения Power Mill обеспечивает повышение точности геометрии сложного профиля ручья и калибра в целом. Для выполнения данного проекта применено универсальное станочное приспособление (УСП) и пятиосевой станок с ЧПУ, что позволяет



уйти от применения дорогостоящего специализированного оборудования и спецприспособлений, например гидрокопировального станка и СРП.

Применяя современные инструментальные материалы и прогрессивный инструмент, внедряя их в разработку современных высоких технологий, производства деталей металлургического производства, позволило резко поднять уровень функциональных и эстетических свойств изделия, при этом повышая качество рельефа и обеспечивая бездефектность поверхностного слоя.

Выполненная апробация результатов расчета управляющей программы и отработка технологии обработки на станке с ЧПУ в производственных мощностях завода указывает на практическую ценность данного проекта.

Данный проект обеспечивает высокие экономические, качественные, технологические показатели, что позитивно отразится на рентабельности данной продукции, как в украинской промышленности, так и за рубежом.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Фролов Я.В. Учет упрочнения металла при проектировании режима деформации на стане ХПТ // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2002. – № 8-9. – С. 423-427.

2. Григоренко В.У. Прогресивна технологія виробництва багатшарових труб з використанням процесу безперервної періодичної прокатки // Технологические системы. – 2002. – № 2(13). – С. 34-36.

3. Фролов Я.В. О влиянии параметров настройки инструмента на режим деформации при прокатке на станах ХПТ // Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії та машинобудуванні: Темат. зб. наук. пр. ДДМА – Краматорськ. – 2002. – С. 312-317.

4. Ю.Ж. Шпак, И.А. Панасенко // Сучасні проблеми металургії. Наукові вісті. Том 8. Пластична деформація металів. – Дніпропетровськ: Системні технології, 2005. – С. 419-424.

УДК 004.94:621.771

### РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМОВ ПОСТРОЕНИЯ ГРАФИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ КАЛИБРА СТАНА ХПТ В СРЕДЕ POWER SHAPE

**В.А. Дербаб<sup>1</sup>, В.А. Дужак<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>кандидат технических наук, ассистент кафедры технологии горного машиностроения, Государственное высшее учебное заведение «Национальный горный университет», г. Днепропетровск, Украина, e-mail: [DerbabaV@nmu.org.ua](mailto:DerbabaV@nmu.org.ua)

<sup>2</sup>студент группы ТМА-14-1, Государственное высшее учебное заведение «Национальный горный университет», г. Днепропетровск, Украина, e-mail: [girl\\_mechanic@mail.ru](mailto:girl_mechanic@mail.ru)

