

## ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ОБРАБАТЫВАЕМОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ИГЛОФРЕЗЕРОВАНИИ НА ОСНОВЕ НАУЧНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИХ И ПРАКТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ

Ю.А. Кряжев, А.Ю. Кряжев, Е.С. Огневенко

*В статье представлены результаты исследований формирования шероховатости обрабатываемой поверхности, глубины срезаемого слоя при иглофрезеровании. Получены зависимости параметров шероховатости от конструкторско-геометрических параметров иглофрезы. Представлена конструкция сборной иглофрезы, позволяющая механизировать и автоматизировать процесс снятия заусенец, окалины, ржавчины на заготовках деталей, увеличивающая стойкость проволочного ворса и повышающая качество обрабатываемой поверхности при иглофрезеровании.*

*Ключевые слова: процесс иглофрезерования, иглофреза, шероховатость обработанной поверхности, процесс резания.*

Получение требуемого качества изделий в машиностроении неразрывно связано с решением задачи формирования заданных параметров микропрофиля поверхностей деталей, входящих в данное изделие. Сложность решения этой задачи связана с многообразием изменяющихся физических факторов, сопровождающих технологический процесс механической обработки деталей и оказывающих влияние на качество её поверхностного слоя. Одним из перспективных методов отделочно-зачистной обработки (ОЗО) является иглофрезерование. К основным достоинствам иглофрезерования можно отнести простоту конструкции и относительно низкую себестоимость изготовления инструмента, экологичность по сравнению с химическими методами ОЗО. Анализ технической литературы [1] показывает, что иглофрезерование может применяться как для зачистки, декоративной обработки так и для резания металлов, является перспективным методом формирования качества поверхностей деталей. Проведенные исследования [2] показывают, что обработка иглофрезерованием позволяет обеспечить высокое качество поверхностного слоя с параметрами  $Ra=2...7,5$  мкм,  $Rz=10...30$  мкм.

В качестве инструмента при иглофрезеровании используется иглофреза – инструмент с множеством режущих элементов, изготавливаемых из стальной углеродистой пружинной проволоки (ГОСТ 9389-75) или стальной легированной пружинной проволоки (ГОСТ 14963-78). Как правило, для обработки

плоских поверхностей применяются торцовые и цилиндрические иглофрезы с равной длиной проволочных элементов ворса.

На этапе проектирования операции иглофрезерования одной из основных задач технолога является определение основных конструктивно-геометрических параметров иглофрезы и назначение рациональных режимов резания с целью обеспечения заданных параметров качества обрабатываемой поверхности. Для решения данных задач и снижения трудоемкости технологической подготовки производства (ТПП) необходима разработка методики проектирования операции иглофрезерования.

В соответствии с ГОСТ 2789-73 в качестве основных параметров качества поверхностного слоя для расчета были выбраны: среднеарифметическое отклонение профиля  $Ra$ ; высота неровностей профиля по десяти точкам  $Rz$ ; наибольшая высота профиля  $Rmax$ . Для определения выходных параметров шероховатости была построена расчетная схема процесса обработки плоской поверхности иглофрезой (рисунок 1).

В качестве входных параметров при иглофрезеровании были выбраны: диаметр режущих элементов (проволоки)  $d$ , мм; допуск на диаметральный размер режущих элементов в соответствии с ГОСТ 9389-75 и ГОСТ 14963-78; длина вылета режущих элементов  $l$ , мм; зазор между основанием иглофрезы и обрабатываемой поверхностью  $a$ , мм; количество режущих элементов  $n$ , шт.

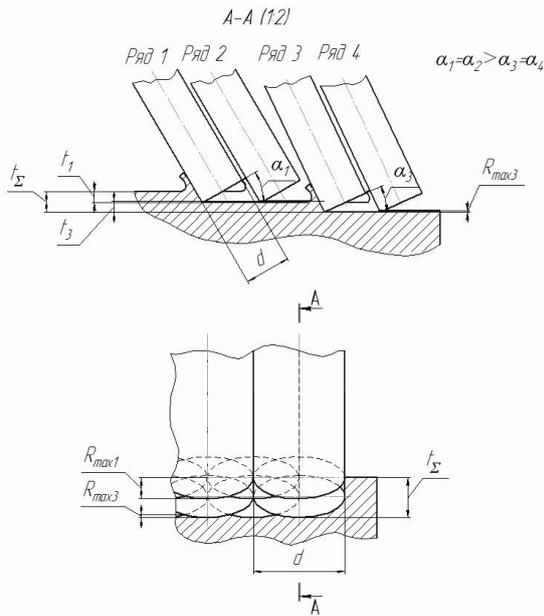


Рисунок 1 - Расчетная схема процесса иглофрезерования плоской поверхности

Глубина слоя, срезаемого i-м режущим элементом определялась как:

$$t_i = 0,5 \cdot d_i \cdot \sin \alpha_i, \text{ мм} \quad (1)$$

где  $d_i$  – диаметр i-ого режущего элемента, мм;

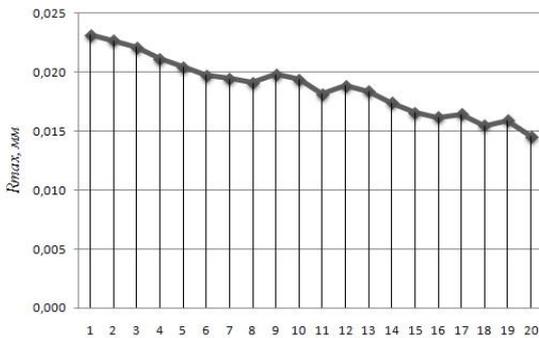
$\alpha_i$  – задний угол i-ого режущего элемента, градусы.

Наибольшая высота неровностей профиля рассчитывалась по следующей формуле:

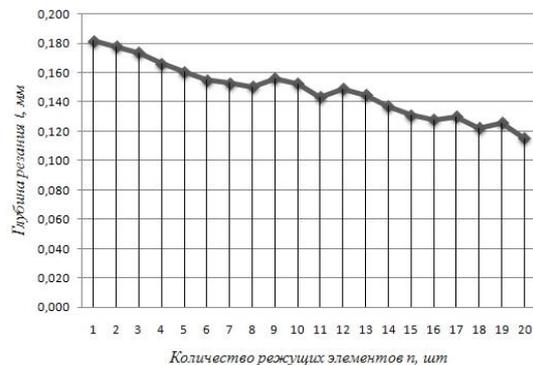
$$R_{max} = \frac{d_i \cdot (1 - \sqrt{1 - 0,25 \cdot \sin^2 \alpha_i})}{2 \cdot \sin \alpha_i}, \text{ мм} \quad (2)$$

Высота неровностей профиля по десяти точкам Rz:

$$Rz = \frac{\sum_{i=1}^5 |y_{pm_i}| + \sum_{i=1}^5 |y_{vm_i}|}{5}, \text{ мкм} \quad (3)$$



а)



б)

Рисунок 2 - Зависимости глубины резания  $t$  (а) и наибольшей высоты профиля  $R_{max}$  (б) от количества  $n$  режущих элементов ( $d=0,63$  мм,  $l=30$  мм,  $a=20$  мм)

где  $y_{pm_i}$  – высота i-ого наибольшего выступа профиля, мкм;

$y_{vm_i}$  – высота i-ой наибольшей впадины профиля, мкм;

Среднеарифметическое отклонение профиля  $Ra$ :

$$Ra = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k |y|, \text{ мкм} \quad (4)$$

$k$  – число выбранных точек профиля на базовой длине, шт;

$y$  – расстояние от любой точки профиля до средней линии, мкм.

Расчет выходных параметров шероховатости поверхности и глубины срезаемого слоя показал, что наибольшая высота неровностей профиля  $R_{max}$  и глубина слоя  $t_i$ , срезаемого i-м режущим элементом уменьшается с увеличением его порядкового номера (рисунок 2). Это связано с тем, что по мере удаления срезаемого слоя увеличивается зазор  $a$  между основанием иглофрезы и обрабатываемой поверхностью, что, в свою очередь, приводит к изменению углов резания и профиля режущего элемента в поперечном сечении.

Рассматривая рисунки 3, 4 и 5, можно отметить, что величина  $R_{max}$  и глубина слоя  $t_i$ , срезаемого i-м режущим элементом уменьшаются при:

- уменьшении диаметра  $d$  режущих элементов;
- увеличении длины  $l$  режущих элементов;
- увеличении зазора  $a$  между основанием иглофрезы и обрабатываемой поверхностью.

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ОБРАБАТЫВАЕМОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ИГЛОФРЕЗЕРОВАНИИ  
НА ОСНОВЕ НАУЧНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИХ И ПРАКТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ  
ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ

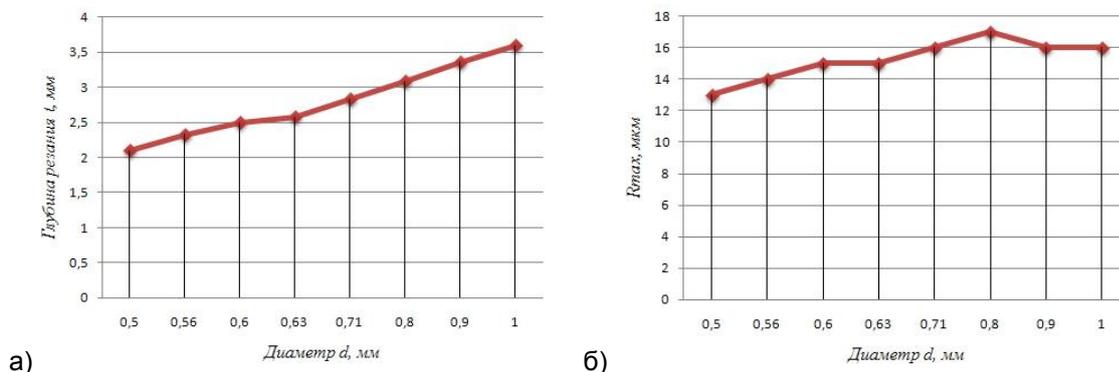


Рисунок 3 - Зависимости глубины резания  $t$  (а) и наибольшей высоты профиля  $R_{max}$  (б) от диаметра  $d$  режущих элементов ( $l=30$  мм,  $a=25$  мм,  $n=40$ )

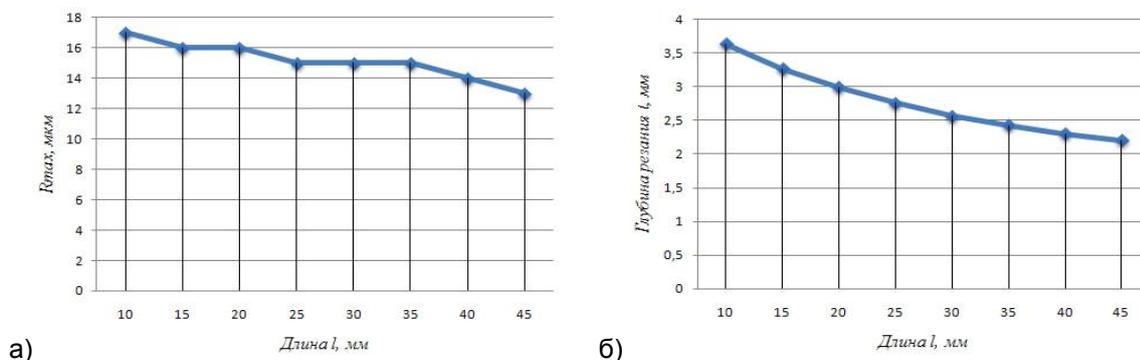


Рисунок 4 - Зависимости глубины резания  $t$  (а) и наибольшей высоты профиля  $R_{max}$  (б) от длины  $l$  режущих элементов ( $d=0,63$  мм,  $a=5...40$  мм,  $n=40$ )

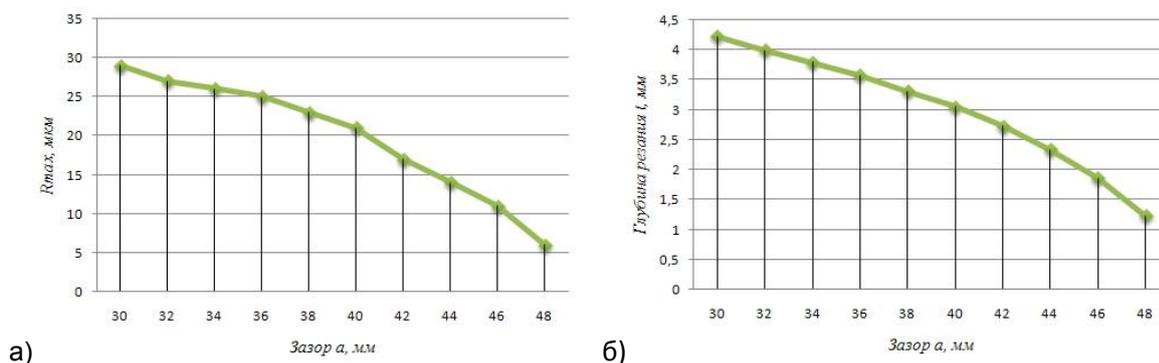


Рисунок 5 - Зависимости глубины резания  $t$  (а) и наибольшей высоты профиля  $R_{max}$  (б) от величины зазора  $a$  между основанием иглофрезы и обрабатываемой поверхностью ( $d=0,63$  мм,  $l=50$  мм,  $n=40$ )

Таким образом, полученные зависимости позволяют проводить расчёт выходных параметров шероховатости поверхности и глубины срезаемого слоя при иглофрезеро-

вании и определить основные конструктивно-геометрические параметры иглофрезы (таблица 1), назначить рациональные режимы резания на этапе ТПП (таблица 2).

Таблица 1 – Результаты экспериментальных исследований иглофрезерования плоских поверхностей из углеродистых малолегированных сталей.

Высота неровностей профиля $Rz$	Материал проволоки	Диаметр проволоки, $d$ , мм	Длина режущих элементов, $l$ , мм	Зазор между основанием иглофрезы и обрабатываемой поверхностью, $a$ , мм
0,32...0,64	Сталь 55, 65Г	0,2...0,3	15...20	8...12
0,64...2,5	Сталь 55, 65Г	0,3...0,4	20...25	12...18
2,5...6,25	Сталь 55, 65Г	0,4...0,5	25...30	18...22
6,25...30,0	Сталь 55, 65Г	0,5...0,7	30...40	22...35

Таблица 2 – Рекомендуемые режимы иглофрезерования углеродистых и малолегированных сталей.

Вид обработки	Скорость резания, м/с	Подача, мм/мин	Стойкость проволочного ворса, мин./долговечность, ч.
Зачистка заусенцев	2,6...26	100...25000	20...30/200...300
Резание на глубину	1,0...2,5	100...3000	10...20/100...200

Важную роль в достижении высокого качества обрабатываемой поверхности при резании имеет конструкция режущего инструмента. При разработке конструкции иглофрезы важнейшей задачей является повышение стойкости проволочного ворса, а также повышение качества обрабатываемой поверхности за счет возможности применения проволоки диаметром меньше величины зазора между лепестками цангового зажима в известных конструкциях иглофрез, а также возможность сокращения вспомогательного времени при смене изношенного проволочного ворса. В настоящее время, несмотря на применение современного оборудования с числовым программным управлением (ЧПУ), существуют операции, для выполнения которых применяется ручной труд. К таким операциям относится, в частности, снятие заусенцев после контурной обработки деталей. Как известно, применение ручного труда не позволяет обеспечить высокую степень постоянства параметров качества обрабатываемых деталей, снижает производительность обработки, приводит к повышенной травмоопасности на производстве. Таким образом, весьма актуальным направлением научных исследований является разработка и внедрение иглофрезерного инструмента на операциях снятия заусенцев.

Применение иглофрезерного инструмента для механизации операции снятия заусенцев предполагает решение следующих задач:

1. Выбор вида иглофрезерного инструмента (дисковый, торцовый, для обработки внутренних поверхностей);

2. Разработка конструкции инструмента для условий обработки;

3. Лабораторные испытания инструмента с целью определения основных параметров режущих элементов (диаметр проволоки, длины вылета, коэффициент плотности проволочного ворса), режимов резания;

4. Расчет выходных технологических параметров (производительности, экономической эффективности и др.)

В рамках проведения научно-исследовательской работы по механизации процесса снятия заусенцев после контурной обработки детали «Шатун» (рисунок 7, а) на ОАО «Барнаултрансмаш» была разработана перспективная конструкция иглофрезы торцового типа (рисунок 7, б).

Режущие элементы иглофрезы изготавливались из пружинной проволоки ГОСТ 9389-75, изготовленной из стали 65Г по ГОСТ 1050-88 диаметром 0,5 мм, длиной вылета 30 мм, коэффициентом плотности проволочного ворса 0,7. Режимы резания выбирались на основании полученных зависимостей: продольная подача – 200 мм/мин, частота вращения – 400 об/мин.

Расчет трудоёмкости обработки шатунов дизельного двигателя 3Д-6 показал, что применение иглофрезерной обработки позволяет снизить основное время на операции по снятию заусенцев более чем в 2 раза, вспомогательное время в 1,5 раза.

На основании вышеизложенного можно сделать вывод о том, что внедрение механизированного процесса снятия заусенцев на основе применения иглофрезерного инструмента позволяет значительно снизить трудоёмкость операции, ликвидировать тяжелый ручной труд, снизить травмоопасность на рабочем месте.

## ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ОБРАБАТЫВАЕМОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ИГЛОФРЕЗЕРОВАНИИ НА ОСНОВЕ НАУЧНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИХ И ПРАКТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ

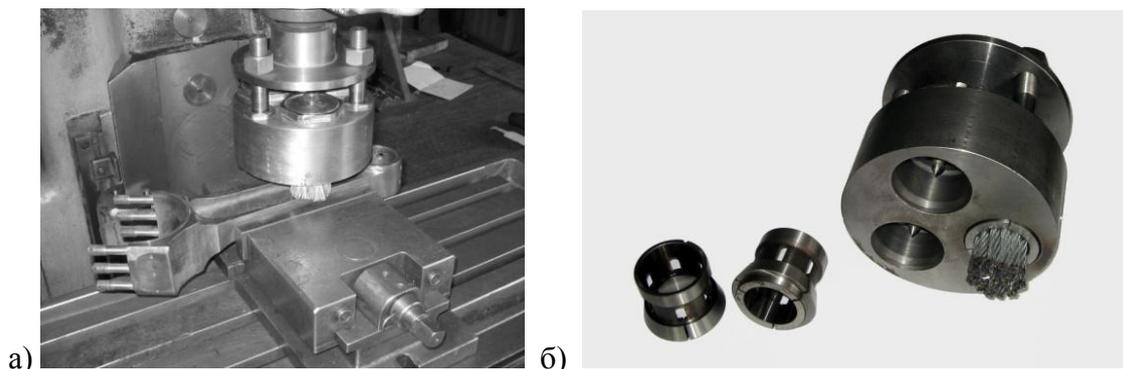


Рисунок 7. а) – Общий вид обрабатываемого шатуна дизельного двигателя ЗД-6;  
б) – Общий вид торцевой иглофрезы для снятия заусенцев на шатуне

### Выводы

1. Проведенные исследования позволили разработать методику расчёта выходных параметров шероховатости поверхности и глубины срезаемого слоя при иглофрезеровании и определить основные конструктивно-геометрические параметры иглофрезы, назначить рациональные режимы резания на этапе технологической подготовки производства.

2. Проведённая научно-исследовательская работа по механизации процесса снятия заусенцев после контурной обработки деталей на машиностроительном предприятии позволила разработать ряд сборных конструкций иглофрез, позволяющих увеличить стойкость проволочного ворса и снизить основное время на операции по снятию заусенцев более чем в 2 раза.

3. Кряжев Ю.А. Математическое моделирование шероховатости при иглофрезеровании плоских поверхностей [Электронный ресурс] / Е.С. Огневенко, Е.В. Титова // Наука и молодежь – 2011: 7-я Всероссийская науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых (г. Барнаул, АлтГТУ, апрель 2010 г.). – Барнаул. – 2010. Режим доступа: <http://edu.secna.ru/media/f/otm.pdf>.

4. Кряжев Ю.А. Повышение производительности операции снятия заусенцев по контуру шатунов на основе разработки и применения иглофрезерного инструмента [Электронный ресурс] / В.В. Ильиних, Е.С. Огневенко, Е.В. Титова // Наука и молодежь – 2011: 8-я Всероссийская науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых (г. Барнаул, АлтГТУ, апрель 2011 г.). – Барнаул. – 2011. Режим доступа: <http://edu.secna.ru/media/f/otm.pdf>.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ковшов, А. Н. Нетрадиционные методы обработки материалов [Текст] / А. Н. Ковшов, Ю. Ф. Назаров, В. М. Ярославцев. – М : МГОУ, 2007. – 211 с.

2. Вороненко, В. П. Параметры резания при иглофрезеровании [Электронный ресурс] / В. П. Вороненко, М. И. Седых // Материалы 65-ой Международной научно-технической конференции Ассоциации автомобильных инженеров (ААИ) "Приоритеты развития отечественного автотракторостроения и подготовки инженерных и научных кадров" Международного научного симпозиума «Автотракторостроение – 2009». – Режим доступа: [http://www.mami.ru/science/autotr2009/scientific/article/s07/s07\\_18.pdf](http://www.mami.ru/science/autotr2009/scientific/article/s07/s07_18.pdf)

**Кряжев Ю.А.**, к.т.н., доц., каф. «Общая технология машиностроения», тел. 8(385)26-11-06,

E-mail: [kryazhev57@mail.ru](mailto:kryazhev57@mail.ru);

**Кряжев А.Ю.**, аспирант, каф. «Общая технология машиностроения»;

**Огневенко Е.С.**, к.т.н., ассистент каф. «БЖД»,

ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова».