

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ СОВМЕЩЁННОГО ПРОЦЕССА ОТДЕЛОЧНО-ЗАЧИСТНОЙ ОБРАБОТКИ И ПОВЕРХНОСТНОГО УПРОЧНЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ПРИ ИГЛОФРЕЗЕРОВАНИИ

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

Получены зависимости шероховатости от параметров акустической эмиссии при иглофрезеровании, позволяющие контролировать качество поверхностного слоя, производить замену инструмента и корректировку режимов резания в реальном времени. Получены зависимости твердости обрабатываемой поверхности от диаметра и длины режущих элементов (проволоки) иглофрезерного инструмента, позволяющие контролировать степень наклёпа в реальном времени. Разработана принципиальная схема измерительного комплекса для диагностирования шероховатости и твёрдости поверхностного слоя при металлообработке в режиме реального времени. Применение комплекса позволит повысить качество обрабатываемой поверхности, применять процесс иглофрезерования на чистовых и упрочняющих операциях механической обработки.

Ключевые слова: иглофрезерование, акустическая эмиссия, шероховатость, наклёп, режимы резания.

Процессы механической обработки резанием по точности, качеству обработанных деталей, а также производительности и экономичности, являются более конкурентоспособными по сравнению с другими методами формообразования. Большую роль в обеспечении качества деталей играют операции отделочно-зачистной и упрочняющей обработки, которым подвергаются до 95 % изготавливаемых деталей машин и механизмов. Обеспечение требуемого качества изделий неразрывно связано с решением задач формирования заданных параметров микропрофиля и наклёпа обработанной поверхности. Сложность решения данных задач обуславливается многообразием динамически изменяющихся физических факторов, сопровождающих технологический процесс механической обработки материалов резанием и оказывающих влияние на показатели качества поверхностного слоя деталей. В процессе резания пластическая деформация происходит не только в срезаемом слое, но и в поверхностном слое основной массы металла [1–4].

Процесс иглофрезерования характеризуется широкими технологическими возможностями [5, 6], в значительной степени определяемыми податливостью режущих элементов (ворса) и совмещающих процесс резания со значительным поверхностным пластическим деформированием обрабатываемой поверхности детали. Иглофрезерование является одним из наиболее перспективных видов отделочно-зачистной и упрочняющей обработки. Основным преимуществом данного ме-

тода является низкая себестоимость обработки благодаря незначительным затратам на изготовление и эксплуатацию режущего инструмента. Однако, до сих пор не рассматривался вопрос о применении иглофрезерования на этапах чистовой обработки для получения поверхностей высокого качества. При этом основными проблемами являются отсутствие рекомендаций по выбору режимов резания и конструктивно-геометрических параметров (длины проволоки, диаметра проволоки) иглофрезерного инструмента [7], а также значительная степень наклёпа (до 40 %) обрабатываемой поверхности [8]. Поэтому актуальными задачами являются:

- исследования процесса иглофрезерования с целью определения оптимальных режимов резания и конструктивно-геометрических параметров инструмента по критерию качества обрабатываемой поверхности;

- разработка конструкции сборной иглофрезы, позволяющей регулировать податливость режущих элементов (проволочного ворса) при помощи отдельных сменных режущих элементов (держателей) в корпусе инструмента;

- разработка измерительного комплекса, позволяющего контролировать параметры качества и степени наклёпа обрабатываемой поверхности в режиме реального времени методами неразрушающего контроля.

Важную роль в достижении высокого качества обрабатываемой поверхности при резании имеет конструкция режущего инструмента. При разработке конструкции иглофре-

зы 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.

Поставленная задача решается тем, что сборная торцовая иглофреза, содержащая корпус, сменные режущие элементы (держатели проволочного ворса), при этом сменные режущие элементы (держатели проволочного ворса) выполнены из резины – ТМКЦ ГОСТ 7338-90.

Увеличение стойкости и возможность применения проволоки различного диаметра достигается тем, что проволочный ворс закрепляется в упругом резиновом держателе, который обеспечивает равномерный изгиб проволоки по длине без концентрации напряжений на границе зоны контакта с держателем, тем самым предотвращается излом проволоки.

Предложенная конструкция иглофрезы поясняется чертежом, на котором представлен общий вид сборной торцовой иглофрезы (рисунок 1) [9].

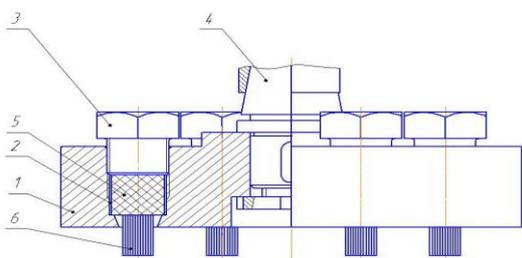


Рисунок 1 – Сборная торцовая иглофреза со сменными режущими элементами:

- 1 – корпус иглофрезы, 2 - посадочное отверстие для сменного режущего элемента (держателя ворса), 3 – болт для фиксации сменного режущего элемента (держателя ворса), 4 – приводной вал станка,
- 5 – сменный режущий элемент (держатель ворса), 6 – проволочный ворс.

Сборная торцовая иглофреза содержит корпус 1, установленный на приводном валу 4, в посадочных отверстиях 2 которого устанавливаются сменные режущие элементы 5 (держатели) проволочного ворса 6, выполненные резиновыми. Держатели в посадочных отверстиях 2 фиксируются посредством болтов 3. Торцовая иглофреза работает сле-

дующим образом. В корпусе 1 торцовой иглофрезы устанавливаются сменные режущие элементы 5 (держатели) проволочного ворса 6, которые фиксируются посредством болтов 3. Торцовую иглофрезу крепят к приводному валу 4. Включают привод, торцовую иглофрезу подводят к обрабатываемой детали до касания ее поверхности кромками проволочного ворса 6, устанавливается требуемый натяг и включается движение подачи.

В процессе обработки поверхности заготовки проволочный ворс 6, закрепленный в резиновом держателе 5 изгибается равномерно по длине без концентрации напряжения на границе зоны контакта с держателем 5. Это обеспечивает увеличение стойкости проволочного ворса 6 и повышение качества обрабатываемой поверхности за счет применения проволоки меньшего диаметра. Режущие элементы иглофрезы изготавливались из пружинной проволоки ГОСТ 9389-75, изготовленной из стали 65Г по ГОСТ 1050-88.

Обеспечение требуемого качества изделий неразрывно связано с решением задач формирования заданных параметров микропрофиля и наклёпа обработанной поверхности. Сложность решения данных задач обуславливается многообразием нестационарно изменяющихся физических факторов, сопровождающих технологический процесс механической обработки материалов резанием и оказывающих влияние на показатели качества поверхностного слоя деталей. В процессе резания пластическая деформация происходит не только в срезанном слое, но и в поверхностном слое основной массы металла. Таким образом, прогнозирование и управление наклёпом обработанной поверхности имеет важное значение для разработки технологического процесса механической обработки деталей машин. Наиболее универсальным и высокоинформативным физическим параметром, отражающим условия формирования микро рельефа поверхности и распространения деформации от поверхности резания, являются волны механических напряжений, генерируемые в зоне обработки и распространяющиеся по всем элементам технологической системы. Регистрация и обработка высокочастотных волн напряжений может осуществляться методом, основанным на приеме сигналов акустической эмиссии, который прошел успешную апробацию при решении ряда технологических задач, связанных с механической обработкой материалов [10].

В рамках задачи по определению оптимальных режимов резания и конструктивно-геометрических параметров инструмента бы-

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ СОВМЕЩЁННОГО ПРОЦЕССА ОТДЕЛОЧНО-ЗАЧИСТНОЙ ОБРАБОТКИ И ПОВЕРХНОСТНОГО УПРОЧНЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ПРИ ИГЛОФРЕЗЕРОВАНИИ

ли проведены экспериментальные исследования [8]. Получена зависимость параметра шероховатости поверхности Ra от длины вылета режущих элементов l , диаметра режущих элементов d и подачи S :

$$Ra = 4,867 \cdot l^{-0,102} \cdot d^{-0,09} \cdot S^{0,113}, \text{ мкм} \quad (1)$$

где l – длина режущих элементов (проволоки), мм;

d – диаметр режущих элементов (проволоки), мм;

S – подача, мм/об.

В данной работе для диагностирования параметров шероховатости обработанной поверхности применялся анализ акустической эмиссии (АЭ). Проводилась обработка иглофрезерованием поверхностного слоя образцов, изготовленных из стали 45 по методу планирования эксперимента с диапазоном варьирования входных параметров: длина режущих элементов – l от 15 мм до 45 мм; диаметр режущих элементов (ворса) – d от 0.35 мм до 0.85 мм; частота вращения иглофрезы ($D_{фр.} = 180$ мм) – n от 160 об/мин до 400 об/мин; минутная подача – S_m от 100 мм/мин до 1250 мм/мин. Поверхности одной половины от общего числа заготовок предварительно подвергались черновой обработке, второй – чистовой обработке. В первом случае среднеарифметическое отклонение профиля варьировалось в диапазоне $Ra=7...8$ мкм, во втором – $Ra=20...22$ мкм. Таким образом, проводилось два факторных эксперимента с использованием образцов с разными начальными показателями шероховатости Ra обрабатываемой поверхности.

Эксперимент проводился на вертикально-фрезерном станке марки 6Р13. Одновременно с процессом резания проводилась запись сигнала АЭ (САЭ). Запись осуществлялась с помощью аналогово-цифрового преобразователя (АЦП) L-card L-780M с частотой дискретизации до 400 кГц. В качестве преобразователя АЭ использовался пьезоэлектрический датчик на основе цирконат-титаната свинца (ЦТС). По окончании эксперимента проводилось измерение шероховатости обработанной поверхности каждого из образцов на профилографе-профилометре «HOMMEL TESTER W55».

Анализ сигнала АЭ (САЭ) позволил установить зависимости параметра шероховатости Ra от средней амплитуды A и интенсивности N сигнала АЭ. При начальной шероховатости обрабатываемой поверхности 7...8 мкм:

$$Ra=0,00000015 \cdot N^3 - 0,00014189 \cdot N^2 + 0,033913944 \cdot N + 3,73, \text{ мкм} \quad (2)$$

$$Ra= -0,00120428 \cdot A^3 + 0,09924583 \cdot A^2 - 2,58 \cdot A + 26,41, \text{ мкм} \quad (3)$$

При начальной шероховатости обрабатываемой поверхности 20...22 мкм:

$$Ra= -0,00000155 \cdot N^3 + 0,00080351 \cdot N^2 - 0,11147927 \cdot N + 18,71, \text{ мкм} \quad (4)$$

$$Ra= -0,000685292 \cdot A^4 + 0,071510017 \cdot A^3 - 2,69 \cdot A^2 + 43,06 \cdot A - 230,41, \text{ мкм} \quad (5)$$

где A – средняя амплитуда сигнала АЭ (дБ);

N – интенсивность сигнала АЭ (c^{-1}).

Полученные зависимости показывают, что при минимальной шероховатости средняя амплитуда A сигнала АЭ имеет минимальное значение.

Для проведения исследования твердости наклёпанного слоя поверхности при иглофрезеровании использовался прибор ПМТ-3, определяющий микротвёрдость материала по отпечатку, оставленному на выбранном участке после вдавливания в него индентора. Исходная твёрдость поверхностного слоя заготовки из стали 45 до обработки иглофрезерованием, измеренная с помощью измерителя переменного магнитного поля имела значение HRC=20...21.

Для проведения исследований степени наклёпа в реальном времени может быть использован измеритель, разработанный на кафедре экспериментальной физики Алтайского государственного университета [11]. Аппаратная часть измерителя состоит из датчика вихревых трансформаторов (ВТНТ) и звукового устройства ЭВМ, в котором поступающий сигнал от датчика ВТНТ представляется при помощи компьютерных программ в абсолютные значения твёрдости поверхностного слоя металла. Датчик ВТНТ обеспечивает высокую поверхностную локальность сканирования обработанной поверхности за счёт своего сверхминиатюрного размера.

Анализ и математическая обработка сигналов акустической эмиссии позволила установить зависимости веса срезанного поверхностного слоя материала образца – G от входных параметров процесса иглофрезерования l, d, n, S :

$$G = 44213,60 + 15554,04 \cdot l + 15608,97 \cdot d + (-1820,61) \cdot n + (-80,95) \cdot S + (-18399,98) \cdot l \cdot d + (-0,08) \cdot l \cdot n + (-6,65) \cdot l \cdot S + 1913,27 \cdot d \cdot n + 1 \cdot d \cdot S + 1 \cdot n \cdot S, \quad (6)$$

Для наглядного представления сложных зависимостей между Ra, A, G и входными параметрами l, d, n, S при иглофрезеровании на рисунке 3 и рисунке 4 представлены графики связей.

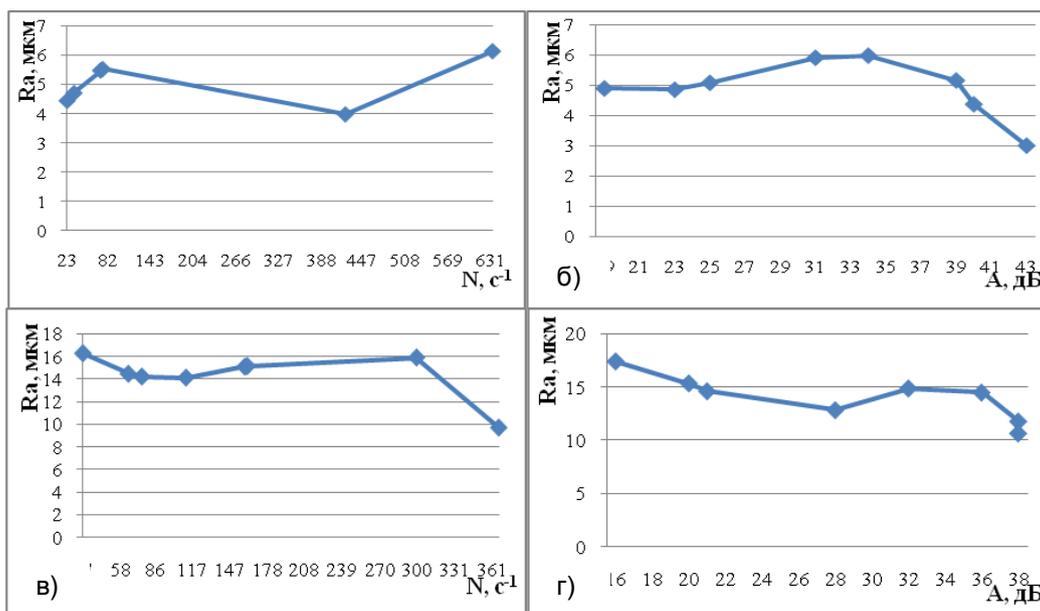


Рисунок 2 – Зависимости параметра шероховатости R_a от средней амплитуды A и интенсивности N сигнала АЭ, а) – зависимость (2), б) – зависимость (3), в) – зависимость (4), г) – зависимость (5).

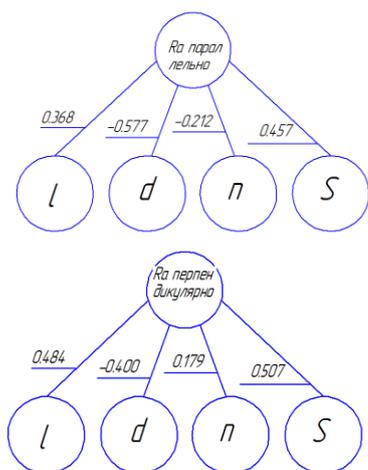


Рисунок 3 – Графы связей шероховатости R_a при движении вorsa иглофрезы перпендикулярно – $R_{a\perp}$ и параллельно – $R_{a\parallel}$ рискам обрабатываемой поверхности образца от l, d, n, S .

Числа над рёбрами означают величину коэффициентов парной корреляции. Анализируя полученные графы связей шероховатости R_a и вес срезанного поверхностного слоя материала образца – G от параметров l, d, n, S можно заметить, что шероховатости R_a наиболее тесно связана с диаметром вorsa – d и подачей – S , при этом и вес срезанного поверхностного слоя материала образца – G также наиболее сильно зависит от S и d . Средняя амплитуда САЭ – A_c наиболее сильно зависит от диаметра вorsa – d и частоты

вращения иглофрезы – n , то есть подтверждаются результаты работ [8, 10], выполненные по прогнозированию шероховатости методом акустической эмиссии по параметру средней амплитуды САЭ – A_c .

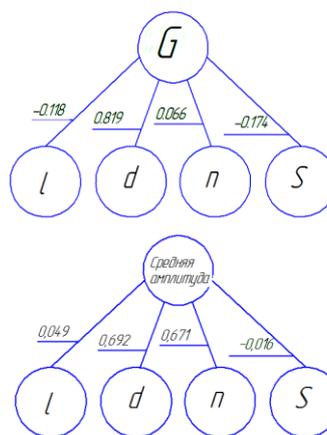


Рисунок 4 – Графы связей веса срезанного поверхностного слоя материала образца – G и средней амплитуды САЭ – A_c от l, d, n, S .

Проведение измерений твердости наклепанного слоя поверхности, обработанной торцевой иглофрезой, позволило установить зависимости твердости HRC от различных конструктивных параметров иглофрезы и технологических параметров процесса иглофрезирования. На рисунке 5 представлены зависимости твердости HRC от диаметра вorsa (проволоки) и его длины.

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ СОВМЕЩЁННОГО ПРОЦЕССА ОТДЕЛОЧНО-ЗАЧИСТНОЙ ОБРАБОТКИ И ПОВЕРХНОСТНОГО УПРОЧНЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ПРИ ИГЛОФРЕЗЕРОВАНИИ

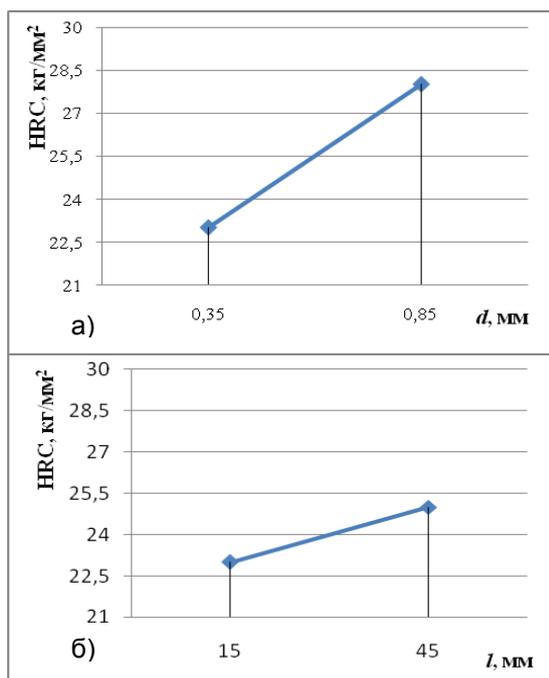


Рисунок 5 – Зависимости твердости HRC обработанной поверхности от а) – диаметра d режущих элементов (проволоки) ($l=45$ мм, $V=175,8$ м/мин, $S_m=100$ мм/мин); б) – длины l режущих элементов (проволоки) ($d=0,85$ мм, $V=175,8$ м/мин, $S_m=100$ мм/мин).

Полученные зависимости позволяют сделать вывод о том, что диаметр режущих элементов (проволоки) оказывает большее влияние на твердость наклепанного слоя обработанной иглофрезерованием поверхности, чем их длина. Степень упрочнения поверхности после иглофрезерования на исследуемом диапазоне режимов резания составляет 15–40 %. Для достижения минимальной степени налёпа обработанной поверхности необходимо выбирать режущие

элементы (проволоку) с минимально возможными длиной и диаметром.

Таким образом, использование прибора, работающего на основе метода МВТ, позволяет определить твердость поверхностного слоя (налёпа) обрабатываемой поверхности, оптимальные конструктивные параметры режущего инструмента и управлять технологическими параметрами процесса резания для достижения требуемых параметров качества обрабатываемой поверхности.

Результаты проведённых экспериментов были использованы для разработки измерительного комплекса диагностирования шероховатости и твердости обработанной поверхности в процессе металлообработки. Для реализации поставленных задач была разработана принципиальная схема (рисунок 6) измерительного комплекса диагностирования шероховатости R_a обрабатываемой поверхности от средней амплитуды A и интенсивности N сигнала АЭ в режиме реального времени. Полученные зависимости (1), (2), (3), (4), (5) могут быть использованы в алгоритме и реализованы в модульной программе, которая устанавливается на микроконтроллере. Центральным элементом автоматизированного измерительного комплекса является микроконтроллер, функцией которого является цифровая обработка информации, поступающей с пьезодатчика и блока управления, который, в свою очередь, осуществляет управление элементами индикации и передает сигнал на замену режущего инструмента или корректировку режимов резания в системе ЧПУ станка. Микроконтроллер по программе обрабатывает сигнал АЭ, и, в случае отклонения параметра шероховатости R_a от заданного чертежом детали, выдает сигнал на индикатор.

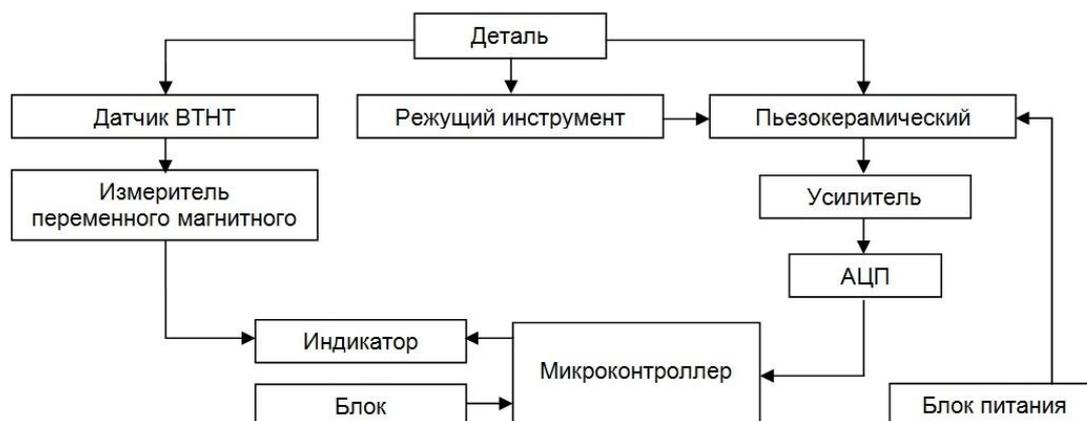


Рисунок 6 – Принципиальная схема автоматизированного измерительного комплекса

ВЫВОДЫ

1. Получены зависимости параметра шероховатости Ra от параметров АЭ при иглофрезеровании, позволяющие контролировать качество поверхностного слоя, производить замену инструмента и корректировку режимов резания в реальном времени.

2. Получены зависимости твердости HRC обрабатываемой поверхности от диаметра и длины режущих элементов (провода) иглофрезерного инструмента, позволяющие контролировать степень наклепа в реальном времени.

3. Разработана принципиальная схема автоматизированного измерительного комплекса для диагностирования шероховатости и твердости поверхностного слоя при металлообработке в режиме реального времени. Применение комплекса позволит повысить качество обрабатываемой поверхности, применять процесс иглофрезерования на отделочно-зачистных и упрочняющих операциях механической обработки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Базров, Б. М. Основы технологии машиностроения : учебник для вузов [Текст] / Б. М. Базров. – М. : Машиностроение, 2005. – 736 с. : ил.
2. Marck's Standard Handbook for Mechanical Engineers : Tenth edition [Text] / Eugene A. Avallone, Theodor Baumeister III. – New York : McGraw-Hill, 1996. – 1770 p.
3. Обработка металлов резанием : справочник технолога [Текст] / А. А. Панов, В. В. Аникин, Н. Г. Бойм и др.; Под общ.ред. А. А. Панова. – 2-е изд. перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 2004. – 784 с. : ил.
4. Вульф, А. М. Резание металлов [Текст] / А. М. Вульф. – 2-е изд. – Л. : Машиностроение, 1973. – 496 с.
5. Ковшов, А. Н. Нетрадиционные методы обработки материалов [Текст] / А. Н. Ковшов,

Ю. Ф. Назаров, В. М. Ярославцев. – М. : МГОУ, 2007. – 211 с.

6. Справочник технолога-машиностроителя : В 2-х т. Т. 2 [Текст] / Ю. А. Абрамов, В. Н. Андреев, Б. И. Горбунов и др.; Под общ.ред. А. Г. Косиловой и Р. К. Мешерякова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1985. – 496 с. : ил.

7. Переписчик, Е. В. Очистно-упрочняющая обработка изделий щетками [Текст] / Е. В. Переписчик. – М. : Машиностроение, 1989. – 136 с.

8. Татаркин, Е. Ю. Прогнозирование шероховатости при иглофрезеровании методом акустической эмиссии [Текст] / Е. Ю. Татаркин, Ю. А. Кряжев, Е. С. Огневенко, // Вестник Алтайской науки. – 2013. – № 2-1. – С. 30–33.

9. Пат. 126909 Российская Федерация, МПК А46 В 7/08. Торцовая иглофреза [Текст], опубл. 20.04.2013, Бюл. № 11.

10. Кряжев, Ю. А. Исследование колебательных процессов, возникающих при работе спирального сверла, с применением анализа акустического сигнала. / Ю. А. Кряжев, Е. С. Огневенко // Технология машиностроения. – 2008. – № 1. – С. 28–29.

11. Дмитриев, С. Ф. Виртуализированные приборы, использующие метод вихревых токов, для контроля параметров различных объектов и окружающей среды [Текст] / С. Ф. Дмитриев, А. В. Ишков // Ползуновский альманах. – 2008. – № 2. – С. 15–19.

Огневенко Е.С., к.т.н., докторант кафедры технологии машиностроения Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова.

Кряжев А.Ю., аспирант кафедры технологии машиностроения Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова.

Татаркин Е.Ю., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой технологии машиностроения Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова.

Кряжев Ю.А., к.т.н., доцент кафедры технологии машиностроения Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова.