

2. Чигринова, Н. М. Роль ультразвука в механизмах анодно-катодных взаимодействий при электроискровом легировании / Н. М. Чигринова, С. И. Ловыгин, В. Е. Чигринов // Наука и техника. – 2016. – Т. 15, № 5. – С. 380 – 390.

3. Лазаренко, Б. Р. Электроискровой способ изменения исходных свойств металлических поверхностей [текст] / Б. Р. Лазаренко, Н. И. Лазаренко // М.: Изд-во АН СССР, 1958. – 117 С.

4. Машков, Ю. К. Исследование наноструктурных покрытий, синтезируемых методом электроискровой обработки [текст] / Ю. К. Машков, Д. Н. Коротаев, М. Ю. Байбарацкая, Б. Ш. Алимбаева // Журнал технической физики. – 2015. – Т. 85. – №. 10. – С. 75–79.

5. Коротаев, Д. Н. Субструктурное поверхностное упрочнение деталей трибосистем методом электроискрового легирования [текст] / Д. Н. Коротаев, Е. В. Иванова // Перспективные материалы. – 2011. – №. 2. – С. 98–102.

6. Верхотуров, А. Д. Формирование поверхностного слоя металлов при электроискровом легировании [текст] / А. Д. Верхотуров // – Владивосток: Дальнаука, 1995. – 323 С.

УДК 621.923.4

Шелег В.К.¹, Жигалов А.Н.²

**ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ИНТЕНСИВНОСТИ УДАРНОЙ НАГРУЗКИ
ПРИ ПРЕРЫВИСТОМ РЕЗАНИИ НА СТОЙКОСТЬ ТВЕРДОСПЛАВНОГО
ИНСТРУМЕНТА, УПРОЧНЕННОГО АЭРОДИНАМИЧЕСКИМ ЗВУКОВЫМ
МЕТОДОМ**

1. Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

2. Барановичский государственный университет

Барановичи, Беларусь

Показаны результаты экспериментальных исследований влияния интенсивности распределения припуска в пределах заданного поля допуска обрабатываемых заготовок на износ режущего зуба фрезы, упрочненного аэродинамическим звуковым методом (АДУ). Показано, что метод АДУ значительно расширяет технологические возможности твердосплавных пластин, позволяя вести ими обработку при прерывистом резании при более тяжелых, с наличием большого количества ударов и значительной величины изменяющегося припуска, условиях, при которых производитель пластин не рекомендует их применение.

Процесс прерывистого резания, связанный со входом и выходом режущей кромки инструмента в процессе обработки, является сложным процессом резания, который протекает в наиболее тяжелых условиях из-за явлений удара при врезании инструмента в заготовку и выходе из нее, частого циклического изменения температурного поля на режущем клине инструмента при рабочих и холостых ходах, неблагоприятного расположения режущего клина инструмента в процессе стружкообразования и других явлений [1]. Особенно явно проявляются явления, свойственные процессам прерывистого резания, при фрезеровании. Значительное снижение стойкости при прерывистом резании не позволяет в ряде случаев обрабатывать заготовки большой площади, с требуемой производительностью, без смены инструмента. Подобные случаи на производстве оборачиваются не только потерей времени и дополнительными затратами, но и снижением качества обработанной поверхности, а в отдельных случаях приводят к браку. Процесс прерывистого резания является сложным и многофакторным процессом, кото-

рый сопровождается высокими температурами, контактными напряжениями, интенсивными физико-химическими процессами. Режущий инструмент, работающий в условиях прерывистого резания, имеет меньшую стойкость по сравнению с непрерывным резанием, что объясняется более интенсивным протеканием процессов изнашивания и разрушения контактных поверхностей.

При обработке некондиционных стальных заготовок с наличием корки (окалины), ненормируемых припусков (поверхность заготовки – окалина с фрагментами облоя после ручнойковки) в условиях прерывистого резания с ударными нагрузками для повышения эффективности работы твердосплавного инструмента рекомендовано [2] осуществлять рациональный подбор инструментального материала на основании отличных от общеизвестных классических представлений об эффективности применения твердых сплавов.

Проведенные исследования показали [3, 2], что применение быстрорежущего инструмента при прерывистом резании является нецелесообразным из-за низкой производительности и высокой себестоимости, так как обработка производится на низких скоростях резания, не превышающих 30 м/мин, требует наличия интенсивного охлаждения, необходимость использования СОЖ в условиях единичного производства связано с дополнительными затратами, снижает культуру производства, ведет к повышенной коррозии оборудования, быстрорежущий инструмент имеет пониженную стойкость, что приводит к значительным потерям времени на переточку (замену) режущего инструмента. Возможность использования резцов с пластинами Т15К6 при прерывистом ударном резании по корке с ударами сильно ограничена из-за того, что при скорости выше 100 м/мин при наличии облоя повышенной твердости образуется катастрофический износ инструмента, как по передней, так и по задней поверхности, а при более низкой скорости (менее 50 м/мин) значительно увеличивается время обработки и также наблюдается повышенный и катастрофический износ твердосплавного инструмента. Применение сплава Т15К6 является возможным только при снижении подачи до 0,015-0,02 мм/об, глубине резания до 3 мм, наличии на инструменте положительного угла $\lambda = 5...10^\circ$, уменьшении главного заднего угла до $6...8^\circ$, использовании только режущих элементов с углом в плане большим, чем 90° . Снижение ударной нагрузки на вершине режущего элемента таким изменением геометрии не позволяет использовать средние и большие подачи, снижает жесткость при резании и вместе с этим не гарантирует отсутствие явлений скола режущей кромки. Использование инструмента с механическим креплением пластин с кобальтовым напылением сплава Т15К6 себя не оправдало по причине того, что механическое крепление существующих конструкций не выдерживает значительных знакопеременных нагрузок, это приводит к расфиксации режущей пластины с последующим ее изломом. Применение инструмента с напайными пластинами Т5К10 показало, что число сколов режущей кромки сократилось на 30 % при одинаковой величине оборотной подачи и некотором уменьшении скорости резания по сравнению со сплавом Т15К6. Однако более низкая твердость Т5К10 по сравнению с Т15К6 обуславливает и более интенсивный износ задней и передней поверхности инструмента. Данное явление вынуждает производить дополнительные переточки инструмента, что ведет к увеличению времени обработки, повышенному расходу инструмента и, как следствие, высокой себестоимости конечного продукта. Использование сплава Т14К8 оказалось неоправданно. Данный сплав с практической точки зрения не представляет собой оптимальное соотношение твердости и ударной вязкости. При незначительном увеличении ударной вязкости по сравнению с твердым сплавом Т15К6 (на 0,02 кг·м/см²), его твердость меньше последнего на существенную величину (на 1,5 НРА). Использование сплава ТТ7К12 для обработки в условиях удара показало, что его применение ограничено высокой стоимостью, худшей смачиваемостью режущей пластины с припоем при получении инструмента с напайкой, это ведет к резкому удоро-

жанию самого режущего инструмента, который к тому же обнаруживает склонность к разрушению под действием значительной ударной нагрузки именно в плоскости спая. Пониженная твердость существенно ограничивает скорость резания такого инструмента. Инструмент с напайкой ТТ7К12 был разрушен в области спая при обработке первой же поковки. Установлено, что твердые сплавы групп ВТК и ВТТК в условиях прерывистого резания по корке с ударной нагрузкой оказались малопригодны. При применении твердых сплавов вольфрамокобальтовой группы (ВК), обычно применяемых для обработки чугуна и неметаллов, с повышенным содержанием кобальта, например, ВК6 и ВК8, которые по ударной вязкости, пределу прочности при изгибе и сжатию превосходят сплавы Т15К6, Т5К10, Т14К8 оказалось возможным осуществить обработку. Однако присутствовало негативное явление в виде повышенного износа твердосплавного инструмента по задней поверхности.

Решение технологической задачи обработки заготовок при наличии прерывистого резания было предложено осуществлять твердосплавным инструментом упрочненным методом АДУ.

Описание метода аэродинамического упрочнения. Эффект при упрочнении запатентованным методом АДУ [4] достигается за счет воздействия звуковых волн на структуру твердых сплавов, представляющих собой гетерогенные композиции, состоящие из карбидов вольфрама, титана и тантала, сцементированных кобальтовой связкой. В обработанных твердых сплавах происходит измельчение карбидных фаз и их перераспределение, уменьшение дислокаций внутренней структуры. За счет самоорганизации на уровне кристаллической решетки обеспечивается переход от беспорядочного движения флуктуаций и их хаотического состояния к новому порядку, позволяющему улучшать параметры структуры для заданных условий эксплуатации. На ряде машиностроительных предприятий в производственных условиях установлено, что стойкость упрочненного методом АДУ твердосплавного инструмента, работающего с ударными нагрузками, повышается в 2...3,5 раза [5].

При обработке деталей в условиях крупносерийного и массового производств на настроенном станке требуемая для обеспечения взаимозаменяемости деталей и узлов точность размера достигается соответствующей настройкой всей технологической системы, которая согласуется с учетом имеющихся погрешностей, образующихся при изготовлении в обрабатываемых заготовках [6]. Часто колебание припуска заготовок настолько велико, что обработка их на настроенных станках затруднительна. Установлено [7], что допуски на литых заготовках, предназначенных для массового производства, соответствуют I классу точности, для серийного производства – II классу точности и для мелкосерийного и единичного производства – III классу точности. Размеры заготовок, полученные в результате изготовления различными способами, такими как литьем, штамповкой, прокатом и др., будут иметь величины случайные, подчиняющиеся определенным законам распределения случайных величин, а колебания припуска заготовок хорошо аппроксимируются законом нормального распределения.

Закон нормального распределения или закон распределения Гаусса справедлив, если влияние каждой случайной величины на сумму ничтожно мало и примерно одинаково по своей величине, т.е. среди слагаемых нет доминирующих, а также, если в состав суммы входит большое число взаимно-независимых случайных величин. Соответствие закону нормального распределения тем точнее, чем больше обрабатываемых деталей в партии. Схематизацию исследуемого явления, в рассматриваемом случае изменения размеров, можно представить в виде суммы большего числа слагаемых

$$y = \sum_{i=1}^n x_i \quad (1)$$

Уравнение кривой нормального распределения имеет вид

$$y = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}}, \quad (2)$$

где y – плотность появления нормированной случайной величины;

e – основание натурального логарифма 2,718;

x – отклонение действительных размеров от средних;

σ – среднее квадратичное отклонение (σ^2 – дисперсия) распределения;

m – математическое ожидание (среднее значение), медиана и мода распределения.

Пользуясь кривой Гаусса (2), можно графически определить распределение имеющегося допуска σ_3 на обрабатываемых заготовках и аналитически рассчитать ожидаемое количество заготовок, размеры которых будут находиться в заданном диапазоне поля допуска σ .

Для определения влияния интенсивности распределения припуска в пределах заданного поля допуска обрабатываемых заготовок на износ режущего элемента по задней поверхности поставлен следующий эксперимент.

Предварительно определялось количество обрабатываемых заготовок в заданном интервале поля допуска. Для этого наносили график кривой нормального распределения по зависимости (2) с полем допуска заготовок σ_3 , равным 6,0 мм (приближенная величина к реальным значениям распределения припусков на заготовках), в масштабе соответствующем суммарной величине количества обрабатываемых заготовок, равной 1260 штук (рис. 1). При этом все размеры заготовок были разбиты на пять (нечетное количество) интервалов с шагом 1,2 мм, середины которых совмещались с кривой Гаусса, рассчитанной от принятого количества заготовок.

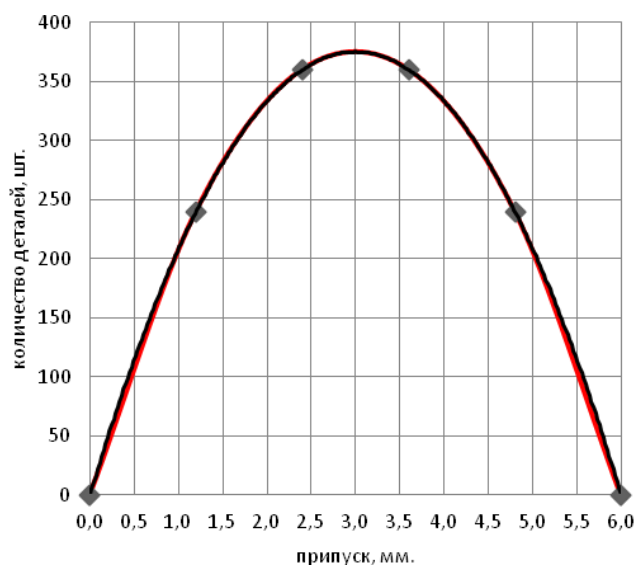


Рис. 1. Полигон распределения, подчиняющийся закону Гаусса, заготовок в количестве 1260 штук, в пределах снимаемого припуска, равного 6,0 мм

После обработки кривой, изменяющейся по закону Гаусса, приведенной на рис. 1, определяли количество заготовок, находящихся в пределах вариационного шага 1,2 мм и допуска $\sigma_3 = 6,0$ мм, данные которых приведены в табл. 1.

Экспериментальные исследования. Обработка заготовок из стали 45 с твердостью НВ 178...198 в количестве 1260 штук осуществлялась на станке фрезерно-карусельном

ГФ211 с режимами обработки: скорость резания $v = 158,3$ м/мин, подача на зуб $s_z = 0,11$ мм/зуб. Размеры продольного сечения каждой заготовки составляли 16x140 мм. В качестве инструмента использовалась торцовая фреза $d\phi = 63$ мм с пятью зубами в виде твердосплавных пластин формы PNUA-110408 ГОСТ 19064-80 из сплавов Т5К10, Н30, Т15К6, неупрочненных и упрочненных методом АДУ. Пластины размещались в корпусе фрезы таким образом, что главный и вспомогательный углы в плане были соответственно равны $\phi = 64^\circ$, $\phi_1 = 8^\circ$, $\gamma_3 = 10^\circ$, передний угол заточки $\gamma_3 = 10^\circ$, задний угол заточки $\alpha_3 = 10^\circ$. Измерение износа производилось по задней поверхности пластины h_3 через определенное время резания на инструментальном стереоскопическом микроскопе Stemi 2000 фирмы Carl Zeiss с точностью измерений до 0,001 мм.

По результатам экспериментальных замеров строились графики износа по задней поверхности h_3 от времени резания τ посредством аппроксимированной линии тренда – полинома 2-й степени (рис. 2, первая колонка).

Таблица – Распределение заготовок по закону Гаусса

Размер интервала, мм.	Количество обработанных заготовок, шт.					
	с припусками, мм.					в интервале
	0,6	1,8	3,0	4,2	5,4	
0 - 1,2	139	113				252
1,2 - 2,4		195	57			252
2,4 - 3,6			252			252
3,6 - 4,8			57	195		252
4,8 - 6,0				113	139	252
всего	139	308	366	308	139	1260

Для анализа эффективности влияния различных факторов на износ твердосплавных пластин полученные зависимости износа от припуска, который изменялся от 0,6 до 5,4 мм по кривой Гаусса, при 2-х ударах в закладке, сравнивались с зависимостями, полученными при снятии припуска равного 1,0 мм при 2-х (рис. 2, вторая и третья колонки) и 10-ти ударах (рис. 3) в закладке.

Анализ графических изображений зависимостей износостойкости твердосплавных пластин от времени резания (рис. 2 и 3) позволил установить.

Выводы

Характер кривых износа твердосплавных пластин, как неупрочненных, так упрочненных АДУ, от времени резания при постоянной величине снимаемого припуска и изменяющегося по закону Гаусса является идентичным и не зависит от характера возмущающего воздействия. Как для неупрочненных, так упрочненных АДУ твердосплавных пластин износостойкость при 2-х ударах в закладке при постоянном припуске равном 1,0 мм меньше, чем при припуске, изменяющемся по закону Гаусса, в пределах от 0,6 до 5,4 мм. Это говорит о том, что на износ твердосплавных пластин при прерывистом резании наибольшее влияние оказывает не характер воздействия, а величина воздействия.

Как для неупрочненных, так и упрочненных АДУ твердосплавных пластин износостойкость при 10-ти ударах в закладке при постоянном припуске равном 1,0 мм больше, чем при изменяющемся припуске по закону Гаусса в пределах от 0,6 до 5,4 мм при 2-х ударах, что говорит о том, что на износостойкость твердосплавных пластин количество силовых воздействий (ударов) оказывает большее влияние, чем величина самого воздействия (припуска).

Метод АДУ значительно расширяет технологические возможности твердосплавных пластин при прерывистом резании. Рекомендуется вести обработку твердосплавными пластинами, упрочненными методом АДУ, заготовок со значительными перепадами припусков, с наличием большого количества ударов, в более тяжелых условиях, при которых производитель пластин не рекомендует их применение.

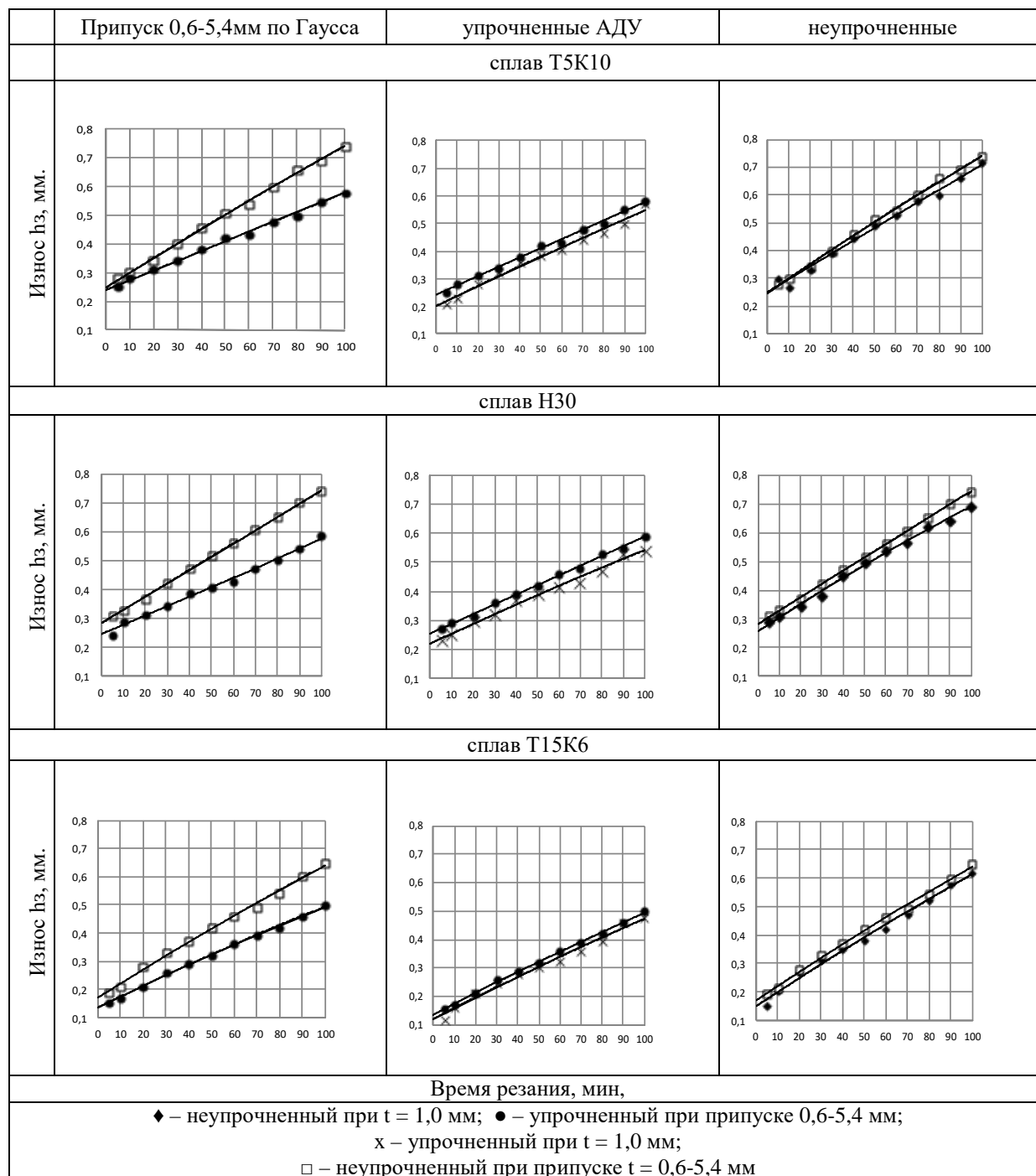


Рис. 2. Зависимости износа по задней поверхности h_z твердосплавных пластин, неупрочненных и упрочненных методом АДУ, от времени резания при 2-х ударах, при снятии припуска изменяющегося по закону Гаусса в пределах от 0,6 до 5,4 мм и припуску 1,0 мм

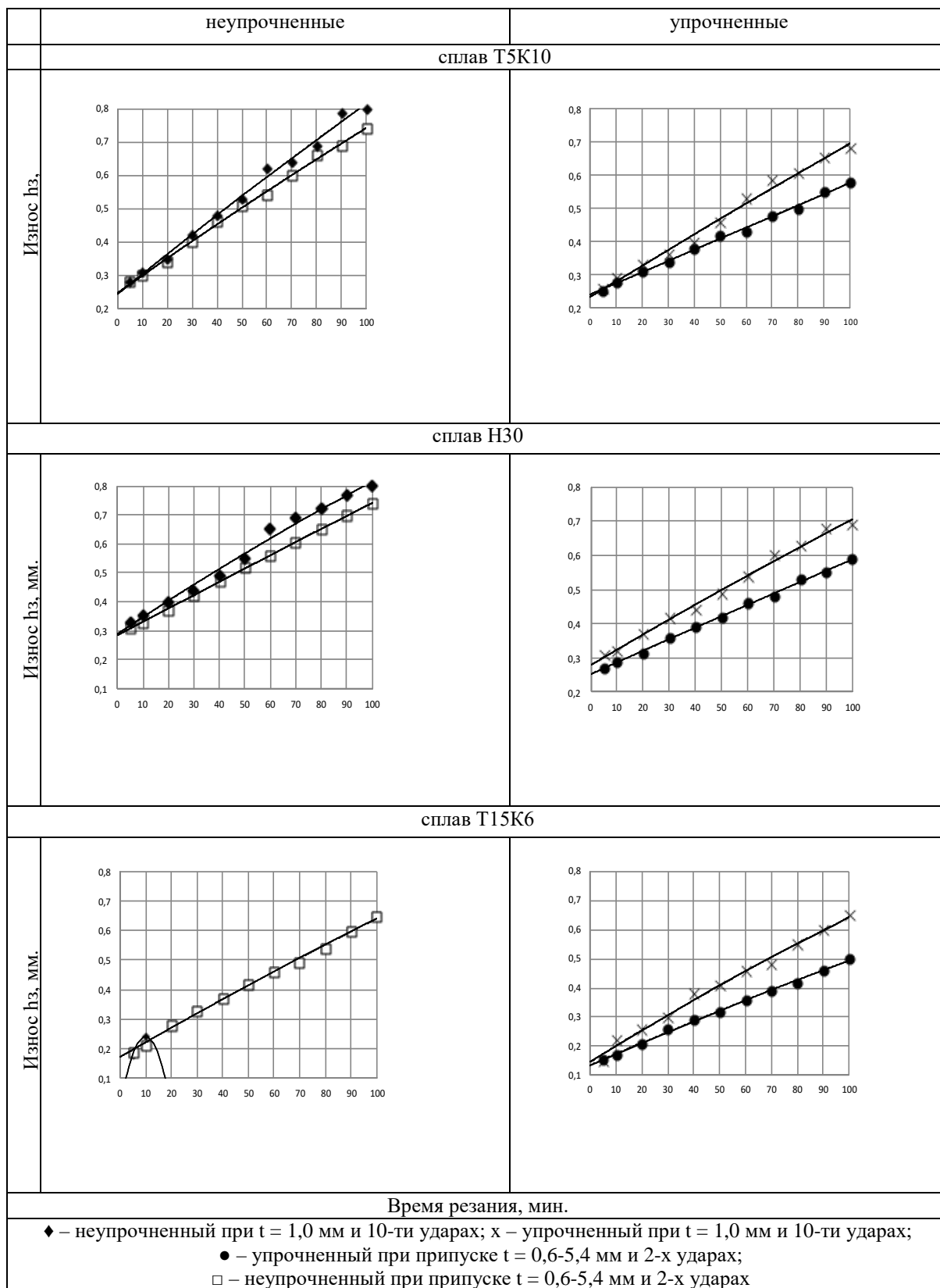


Рис. 3. Зависимости износа по задней поверхности h_3 твердосплавных пластин, неупрочненных и упрочненных методом АДУ, от времени резания при снятии припуска изменяющегося по закону Гаусса в пределах от 0,6 до 5,4 мм при 2-х ударах и припуску 1,0 мм при 10-ти ударах

ЛИТЕРАТУРА

1. Жигалов, А. Н. Исследование влияния аэродинамического упрочнения на стойкость твердосплавного инструмента при прерывистом резании / А. Н. Жигалов, В. К. Шелег // «Машиностроение», Республ. межведомств. сборн. науч. труд., вып. № 31, 2018. – С. 37–48.
2. Большаков, А. Н. Повышение эффективности торцового фрезерования изменением условий резания при выходе зуба из зоны обработки : автореф. дисс. ... канд. техн. наук : 05.02.07 / А. Н. Большаков. – Орел, 2014. – 16 л.
3. Бутыгин В. Б., Демидов А. С. Рациональное использование твердосплавного инструмента при прерывистом точении стали. Известия Самарского науч. центра РАН. 2011. Т.13. №1(3). С. 541–543.
4. Способ аэродинамического упрочнения изделий : пат. РБ 21049 / А. Н. Жигалов, Г. Ф. Шатуров, В. М. Головков. – Оpubл. 30.06.2017.
5. Zhigalov, A. N. Improved Hard Alloys for Efficient Milling / A. N. Zhigalov, A. R. Maslov, A. R. Shaturov // Russian Engineering Research. – 2015. Vol. 35, No. 11, с. 818–821.
6. Маталин, А. А. Технология машиностроения: учебник. / А. А. Маталин — СПб: издательство «Лань». 2010. – 512 с.
7. Старков, В. К. Физика и оптимизация резания материалов. / В. К. Старков — Москва: Машиностроение, 2009. – 640 с.

УДК 539.2: 658.562

Шелег В.К.¹, Жорник В.И.^{1,2}, Сеньюк В.Т.², Ковалева С.А.², Хомич Н.С.³

КОМПОЗИЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ

НА ОСНОВЕ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ИМПАКТНЫХ АЛМАЗОВ

ДЛЯ АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ

1. Белорусский национальный технический университет

2. Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси

3. РУП «Полимаг»

Минск, Беларусь

На основе импактных алмазов и наномеханокомпозита Fe-Ti получен сверхтвердый полифазный (алмаз–лонсдейлит) материал с мультимодальной нано- и микроуровневой структурой и повышенной адгезией алмазных зерен к связке. За счет использования в качестве связки наномеханокомпозитов системы Fe-Ti спекание материала на основе импактных алмазов осуществляется в диапазоне давлений 2–4,5 ГПа, что на 30–50 % ниже, чем для композитов на основе синтетических алмазов. Технологические испытания показали, что использование импактных алмазов позволяет повысить в 1,5–2 раза абразивную способность инструмента и увеличить более чем в 2 раза длительность его эксплуатации при обработке кремниевых пластин по сравнению с инструментом на основе синтетических алмазов.

Абразивный алмазный инструмент широко используется на шлифовальных и точных операциях при обработке твердого сплава, керамики, стекла и других материалов. Актуальными задачами в области создания абразивного алмазного инструмента являются повышение их стойкости и режущей способности, что в значительной степени обусловлено свойствами алмазного зерна и прочностью удержания последнего в связке.