

## ЛИТЕРАТУРА

1. Основы ленточного пиления и станки: учебн-метод. пособ. под ред.Э.М. Дечко, Ю.Р. Маркевича. Минск: БНТУ, 2014. – 80 с.
2. Ю.Р. Маркевич. Современное оборудование для обработки металлоконструкций. Матер.научн.-техн. конф. «Машиностроение -2010», Минск, 7-8 апр., «Бизнесофсет», 2010 г.,- 24-25 с.
3. Э.М. Дечко, П.В. Густяков. Силы резания при ленточном пилении. «Машиностроение», Республ. межведомств. сборн. научн. труд., вып.№ 30, 2017 г., с. 54-58.

УДК 621.923.4

**Жигалов А.Н., Шелег В.К.**

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО УПРОЧНЕНИЯ НА СТОЙКОСТЬ ТВЕРДОСПЛАВНОГО ИНСТРУМЕНТА ПРИ ПРЕРЫВИСТОМ РЕЗАНИИ**

**ЗАО «Промлизинг»,**

**Белорусский национальный технический университет**

**Минск, Беларусь**

*Рассмотрены особенности влияния и большой значимости ударной нагрузки при прерывистом резании (торцовом фрезеровании) на стойкость твердосплавного инструмента. Показана эффективность повышения стойкости в 2...3,5 раза твердосплавного инструмента, работающего с ударными нагрузками, обработанного методом аэродинамическим упрочнением (АДУ). Эффект от АДУ достигается за счет воздействия звуковых волн на структуру твердых сплавов, в результате чего 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 улучшить параметры структуры для заданных условий эксплуатации. Экспериментально установлено, что твердосплавные пластины Т5К10, Т15К6, упрочненные методом АДУ, при прерывистом резании стали 45 обеспечивают повышение износостойкости по сравнению с неупрочненными на 30–51%, причем при 2-х ударах в закладке на 38 – 51%, а при 10-ти ударах – на 30–31%. Выявлено, что влияние метода АДУ для более «вязких» сплавов, способных выдерживать большую ударную нагрузку, большее, чем для сплавов с более низкими характеристиками по ударной вязкости. Так, для сплава ВК8, способного хорошо держать ударные нагрузки, эффект повышения стойкости от упрочнения АДУ составляет 285%. Так как метод АДУ значительно расширяет технологические возможности твердосплавных пластин, то рекомендуется вести обработку твердосплавными пластинами, упрочненными методом АДУ, при прерывистом резании при более тяжелых, с наличием большого количества ударов, условиях, при которых производитель пластин не рекомендует их применение.*

**Ключевые слова:** твердые сплавы, прерывистое резание, ударная нагрузка, аэродинамическое упрочнение, износостойкость.

**Введение.** На точность и качество обработанных поверхностей, производительность обработки и себестоимость изготовления изделий значительное влияние оказывает стойкость инструмента. В тоже время, повышение стойкости инструмента зависит от из-

носа режущего инструмента. Поэтому исследование характера и закономерности процесса протекания износа режущего инструмента имеет важное практическое значение.

Процесс прерывистого резания, особенно при торцовом фрезеровании, 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. По вопросу влияния механизма удара на стойкость режущего инструмента существуют разные взгляды. Так, например, согласно работам [1 – 3] при резании твердосплавными инструментами вследствие ударных явлений происходит их скалывание. Удар создает благоприятное условие для образования и развития трещин в материале. Влияние кратковременного пика нагрузки объясняется повышением динамического предела текучести материала инструмента, вследствие чего сопротивление материала разрушению возрастает [4]. В ряде случаев [5] при резании пластичных материалов, стойкость твердосплавного материала при переходе от непрерывного к прерывистому резанию в несколько десятков раз выше (при одинаковой скорости резания и сечении стружки), что, по мнению автора работы, недостаточно объяснить только ударными явлениями. Установлено [6] методом сравнения результатов динамического удара и статического вдавливания индентора в пластическом материале, что при получении одинаковых пластических деформаций в поверхностном слое заготовки динамические нагрузки в несколько раз больше статических. В работе [7] указано, что, так как число циклов периодического нагружения и разрушения инструмента до его разрушения ниже предела усталости, то для ряда операций расчет на прочность режущей кромки надо производить не на статическую, а на динамическую нагрузку, так как в реальных условиях всегда имеются факторы, влияющие на процесс резания. С этой позиции большой интерес представляет работа [8], где автором проведено комплексное исследование основных факторов, влияющих на работоспособность режущего инструмента при прерывистом резании. Экспериментальным исследованием выявлена соизмеримость длительностей «всплеска» сил резания и замедление движения инструмента при врезании, подтверждающая факт наличия явления удара при врезании инструмента. Эффект значительного повышения стойкости твердосплавного материала при переходе от непрерывного к прерывистому резанию объясняется не только ударными явлениями, но и возникновением термических усталостных трещин на режущих кромках инструмента вследствие многократного его охлаждения при выходе инструмента из материала. В работе [9] также подтверждено, что основной вклад в интенсификацию износа при прерывистом резании вносит наличие участков входа-выхода. Подтверждено [10], что выкрашивание режущей кромки при выходе инструмента с зоны обработки связано с образованием так называемого «нароста» в условиях отрицательного сдвига. По их мнению такие явления имеют место при определенных значениях угла выхода инструмента, в общем случае величина этого угла зависит от обрабатываемого и инструментального материалов, а также от режимов резания. С помощью плоской модели напряжений было показано [11], что к моменту выхода инструмента плоскость сдвига поворачивается от своего положительного направления к отрицательному, в результате чего максимальные растягивающие напряжения на передней поверхности инструмента быстро увеличиваются и перемещаются к режущей кромке. Установлено [12], что наибольшую интенсивность процесс износа режущего элемента имеет при выходе режущего зуба из обрабатываемого материала для чего для уменьшения микросколов режущей кромки предлагается устанавливать на выходе инструмента из заготовки пластину из хрупкого, не склонного к адгезионному схватыванию материала, например чугуна, или смещать для изменений условий входа и выхода фрезы относительно обрабатываемой заготовки. Оптимальными, с их точки зрения, минимумами износа являются такие, когда при выходе происходит полное исчезновение зоны контактных пластических деформаций и образование значительного заусенца, таким вариантом являет-

ся выход под углом  $135^\circ$ . В работе [13] показано, что при торцовом фрезеровании разгрузочный удар оказывает существенное негативное влияние на износ режущего инструмента и предложено с целью обеспечения кратного снижения такого влияния и увеличения производительности обработки при торцовом фрезеровании за счёт минимизации толщины срезаемого слоя осуществлять движение инструмента по эллиптической траектории при врезании фрезы в заготовку и обводе её углов. В работе [14] установлено, что при прерывистом резании площадка износа по задней поверхности твердосплавного инструмента формируется под большим отрицательным углом, чем при установившемся резании. Основной причиной формирования площадки износа при прерывистом резании под большим отрицательным углом являются интенсивные микросколы режущей кромки в моменты входа и выхода твердого сплава из обрабатываемого материала. Возможным следствием формирования площадки износа под большим отрицательным углом может являться более высокая температура на задней поверхности. Наряду с микросколами режущей кромки это явление можно считать основной причиной более высокой интенсивности износа твердосплавного инструмента при прерывистом резании. При этом, интенсивность износа по задней поверхности при прерывистом резании выше, чем на передней поверхности, а интенсивность износа при прерывистом резании приблизительно в два раза выше [14].

Таким образом, в большинстве исследований, посвященных причинам повышенного износа при прерывистом резании (торцовом фрезеровании), в качестве основной причины называются микросколы режущей кромки, возникающие из-за явления удара при прерывистом резании. В оценке влияния явления удара на характер протекания износа инструмента при прерывистом резании существуют разные мнения. Одни авторы основным считают фактор удара при врезании клина в материал; другие, наоборот – неблагоприятное условие клина при его выходе из заготовки; третьи – термоциклическую природу разрушения.

Как видно, подходы к объяснению влияния удара на стойкость режущего инструмента разные, но ясно одно, что удар при прерывистом резании оказывает существенное влияние на износ твердосплавного инструмента и его стойкость.

Основным выводом данных исследований является то, что достигнуть повышения эффективности работы твердосплавного инструмента в условиях прерывистого резания с ударной нагрузкой возможно за счет использования твердосплавного инструмента, обладающего повышенной ударной вязкостью, пределом прочности при изгибе и сжатии и одновременно повышенной износостойкостью. Достичь таких характеристик твердосплавного инструмента возможно за счет воздействия на него методом аэродинамического упрочнения (АДУ).

**Описание метода аэродинамического упрочнения.** Эффект при упрочнении методом АДУ [15] достигается за счет воздействия звуковых волн на структуру твердых сплавов, представляющих собой гетерогенные композиции, состоящие из карбидов вольфрама, титана и тантала, цементированных 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 [16]. 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 [17].

**Исследования влияния количества ударов на стойкость твердосплавного инструмента.**

Проводить исследования по изучению влияния удара на стойкость твердосплавного инструмента нецелесообразно в связи с достаточно хорошей изученностью данно-

го явления и доказанностью, что удар существенно влияет на износ твердосплавного инструмента, что изложено выше. В то же время, в связи с отсутствием исследований влияния воздействия АДУ на износостойкость и стойкость твердосплавного инструмента, исследование влияния ударной нагрузки на стойкость твердосплавного инструмента, упроченного методом АДУ, является актуальным и подлежит всестороннему изучению.

Исследования проводили посредством моделирования прерывистого резания при фрезеровании с 2-мя и 10-тью ударами зуба режущего элемента торцевой фрезы при обработке закладок заготовок, зажимаемых в одних из трех станочных тисках, установленных на столе фрезерно-карусельного станка ГФ211. Закладка состояла из пяти заготовок размерами 16x140x25мм (ширина–длина–высота) из стали 45. Причем при имитации 2-х ударов при обработке в закладке заготовки устанавливались между собой беззазорно (рис. 1А.), а при имитации 10-ти ударов заготовки устанавливались между собой с зазорами, размер которых принимался более величины подачи на зуб (рис. 1Б.). Величины зазоров в закладке устанавливались посредством прокладок размером 0,14 мм. Под ударом понималось, когда режущий зуб входил в заготовку, а также когда выходил из заготовки. В качестве инструмента использовалась торцевая фреза  $d = 63$  мм с одним зубом из твердосплавных пластин PNUA-110408 ГОСТ 19064-80 (сплавы Т5К10, Н30 (аналог Т5К10), Т15К6, В35 (аналог ВК8), неупрочненных и упрочненных методом АДУ. Режимы обработки: скорость резания  $v = 158,3$  м/мин, подача на зуб  $S_z = 0,11$  мм/зуб, глубина резания за один проход  $t = 1,0$  мм.

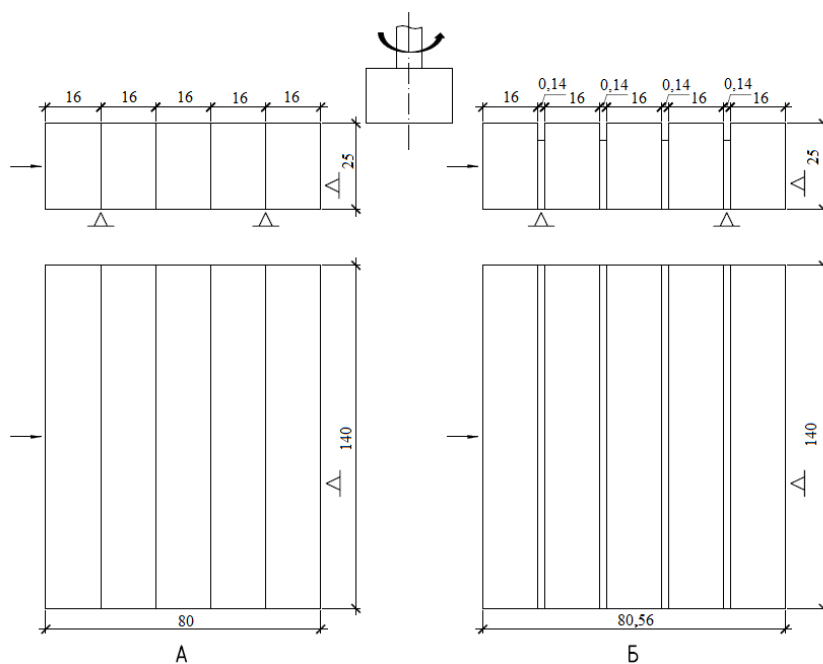


Рис. 1. Схемы закладок для 2-х (А) и 10-ти (Б) ударов

По результатам экспериментальных данных строились графики износостойкости твердосплавных пластин по задней поверхности  $h_z$  от времени резания с использованием линии тренда, которая представляла собой аппроксимационное геометрическое отображение средних значений анализируемых показателей, полученное с помощью математической функции, выбор которой для построения линии тренда определялся характером изменения данных во времени, который на основании полученных ряда экспериментальных нелинейных зависимостей соответствовал полиному второй степени. Дальнейшее повышение степени полинома не производилось в связи с тем, что хотя и могли бы быть увеличены интервалы интерполирования и тем самым увеличе-

на точность построения графиков, но это вызовет слишком высокий порядок интерполяции, что в конечном результате приведет к нежелательным осцилляциям аппроксимирующей.

На рис. 2–5 представлены результаты обработанных с применением вышеописанного математического подхода экспериментальных исследований износостойкости по задней поверхности  $h_3$  от времени резания  $\tau$  для твердосплавных пластин из сплава Т5К10, Н30, Т15К6, В35, неупрочненных и упрочненных методом АДУ, при 2-х и 10-ти ударах.

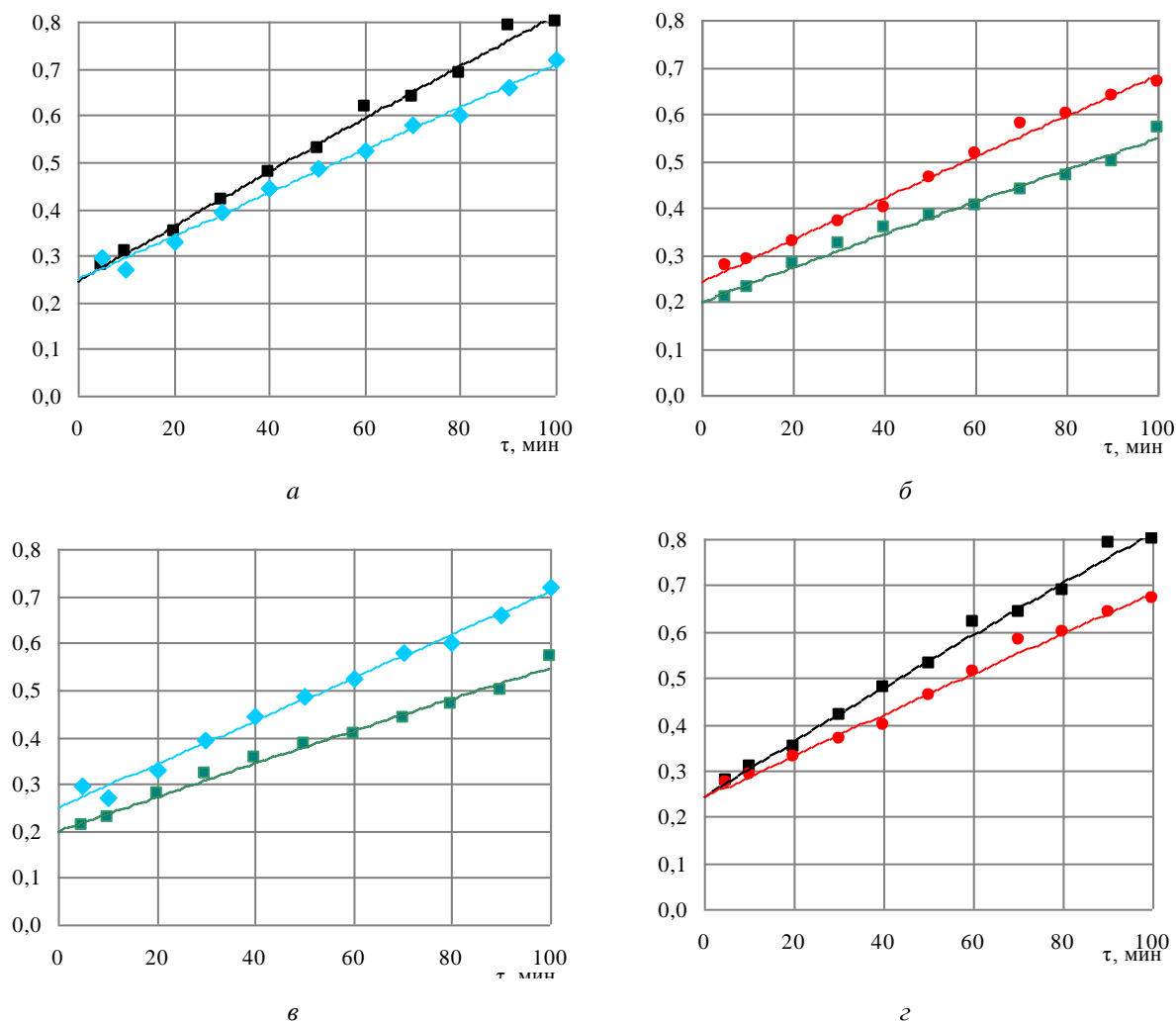


Рис. 2. Экспериментальные зависимости износостойкости твердосплавных пластин по задней поверхности  $h_3$  от времени резания  $\tau$ , неупрочненных (а) и упрочненных (б) методом АДУ, при 2-х (в) и 10-ти (г) ударах для сплава Т5К10:

—◆— неупрочненный при 2 ударах; —■— упрочненный при 2 ударах;  
 —■— неупрочненный при 10 ударах; —●— упрочненный при 10 ударах

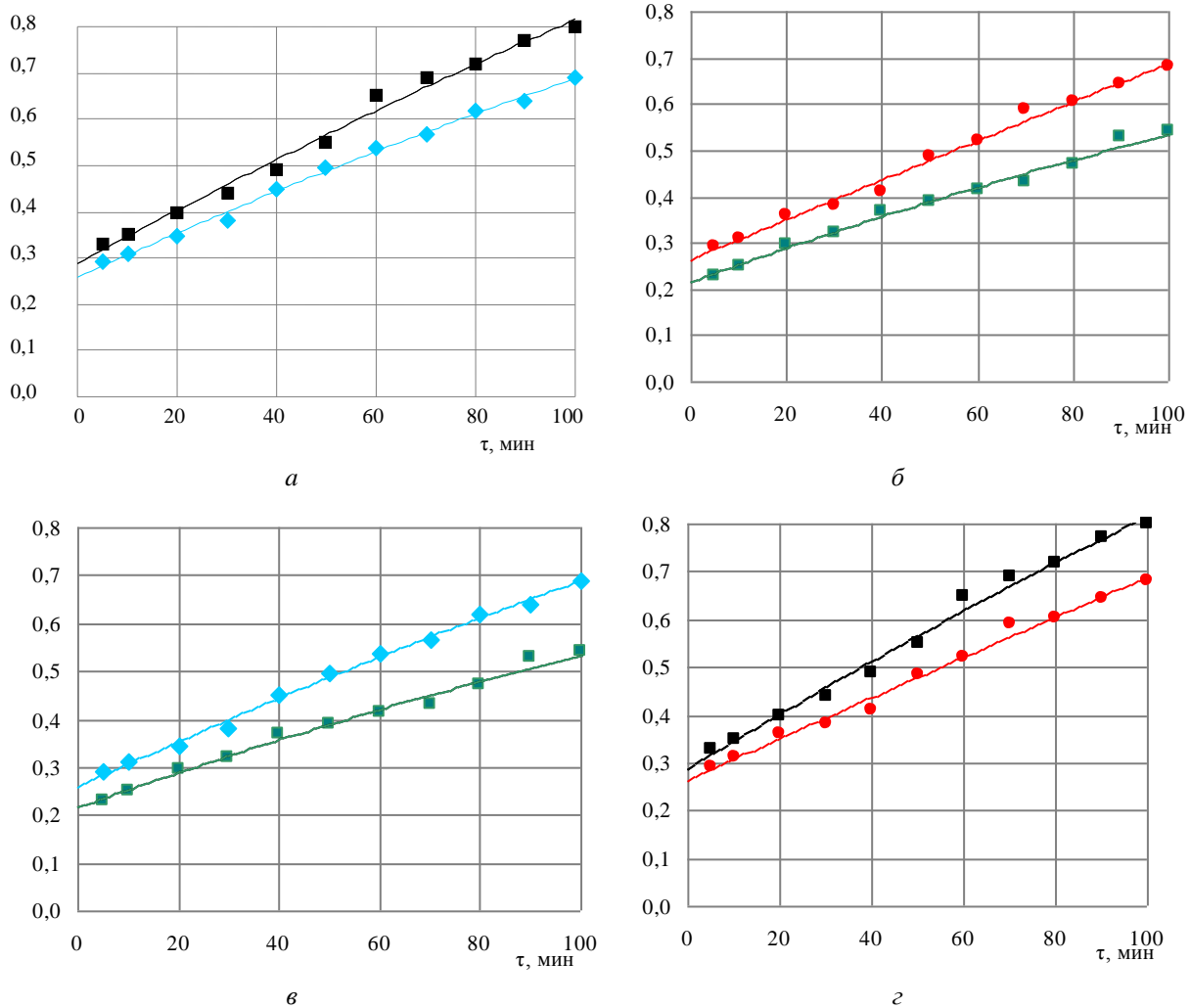


Рис. 3. Экспериментальные зависимости износостойкости твердосплавных пластин по задней поверхности  $h_3$  от времени резания  $\tau$ , неупрочненных (а) и упрочненных (б) методом АДУ, при 2-х (в) и 10-ти (г) ударах для сплава Н30:  
 —◆— неупрочненный при 2 ударах; —■— упрочненный при 2 ударах;  
 —■— неупрочненный при 10 ударах; —●— упрочненный при 10 ударах

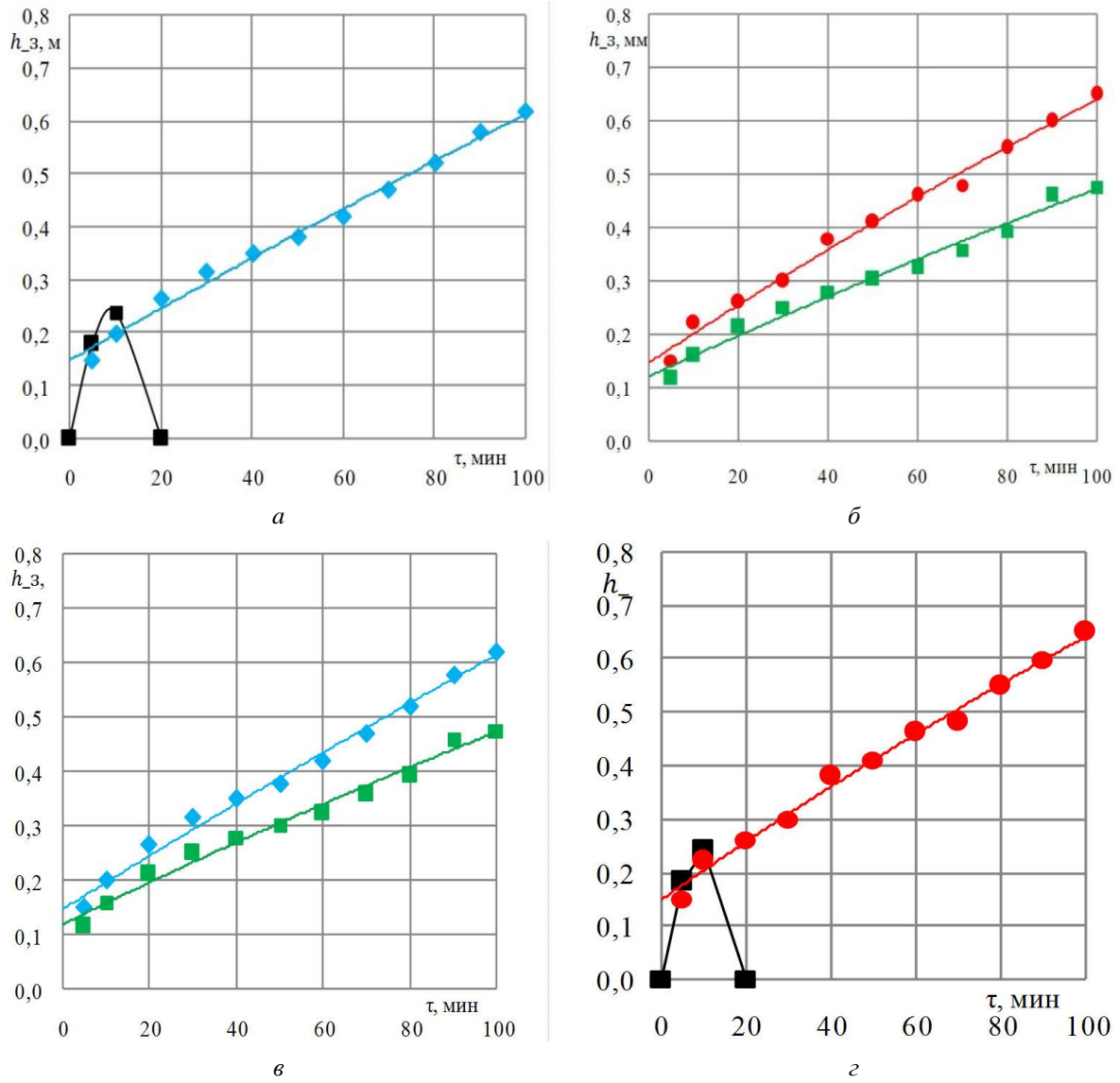
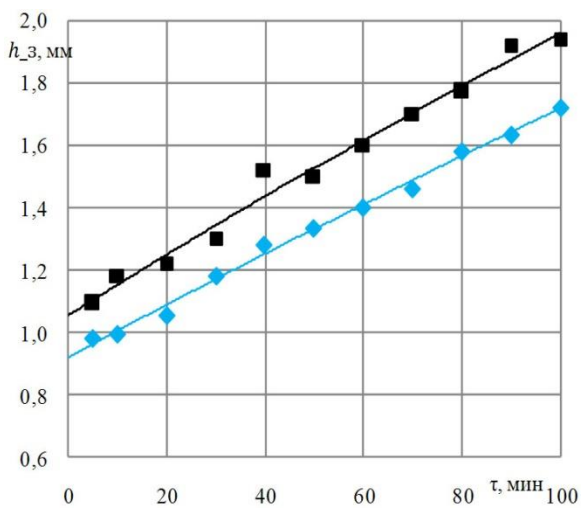
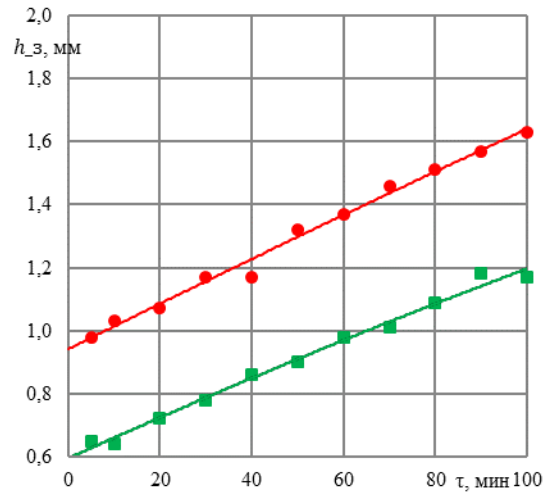


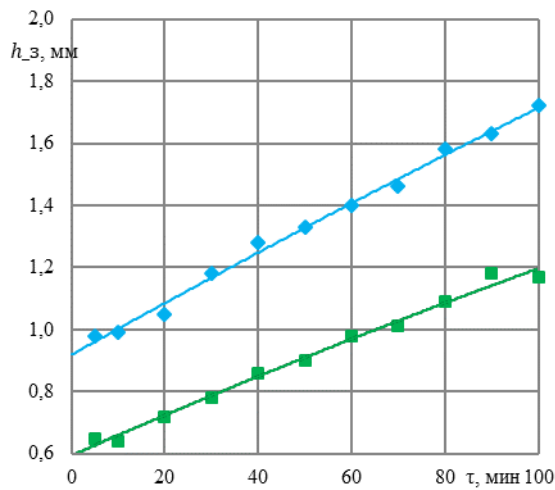
Рис. 4. Экспериментальные зависимости износостойкости твердосплавных пластин по задней поверхности  $h_3$  от времени резания  $\tau$ , неупрочненных (а) и упрочненных (б) методом АДУ, при 2-х (в) и 10-ти (г) ударах для сплава Т15К6:  
 —♦— — неупрочненный при 2 ударах; —■— — упрочненный при 2 ударах;  
 —■— — неупрочненный при 10 ударах; —●— — упрочненный при 10 ударах



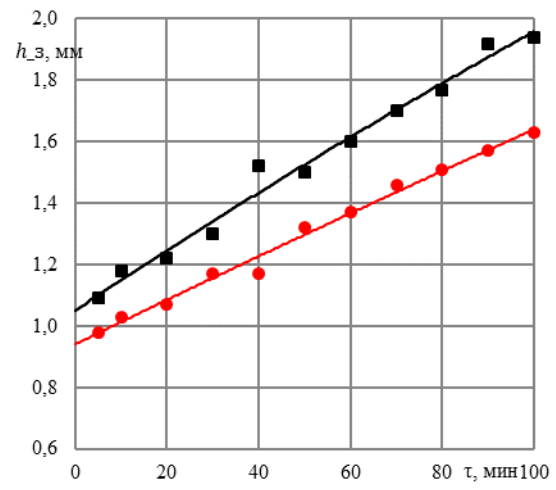
*a*



*б*



*в*



*г*

Рис. 5. Экспериментальные зависимости износостойкости твердосплавных пластин по задней поверхности  $h_z$  от времени резания  $\tau$ , неупрочненных (а) и упрочненных (б) методом АДУ, при 2-х (в) и 10-ти (г) ударах для сплава В35:

—♦— неупрочненный при 2 ударах; —■— упрочненный при 2 ударах;  
 —■— неупрочненный при 10 ударах; —●— упрочненный при 10 ударах

На рис. 6 представлены результаты экспериментальных исследований износостойкости по задней поверхности  $h_z$  от времени резания  $\tau$  при 2-х и 10-ти ударах в закладке для неупрочненных и упрочненных методом АДУ сплавов Т5К10, Н30, Т15К6, рекомендованных производителями для фрезерной обработки углеродистых, легированных, высоколегированных, инструментальных сталей, а также стального литья [18, 19].



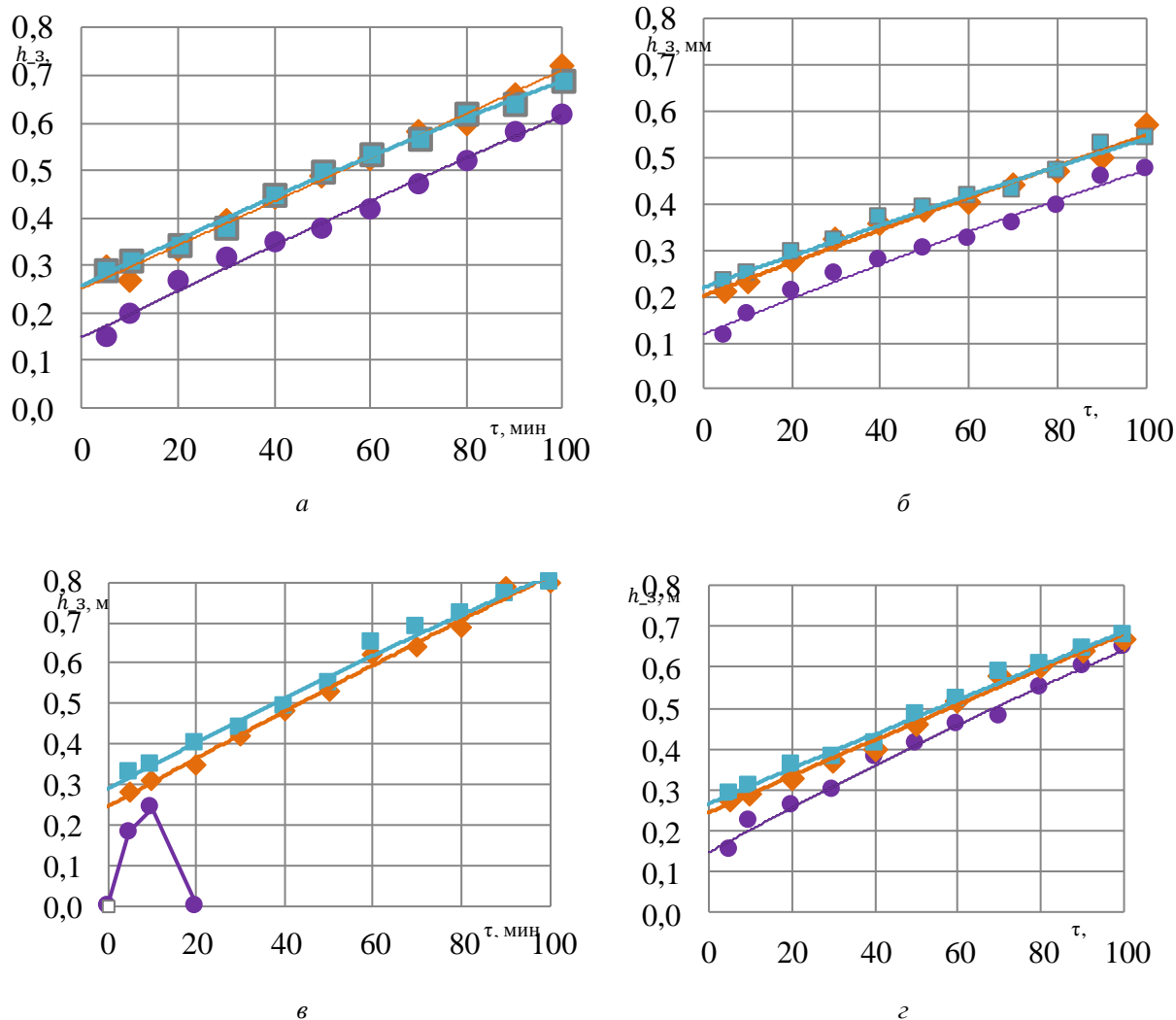


Рис. 6. Экспериментальные зависимости износостойкости твердосплавных пластин по задней поверхности  $h_3$  от времени резания  $\tau$ , неупрочненных при 2-х ударах (а), упрочненных методом АДУ при 2-х ударах (б), неупрочненных при 10-ти ударах (в), упрочненных методом АДУ при 10-ти ударах (г) для сплавов:  
 —◆— T5K10; —■— H30; —●— T15K6

Из графиков (рис. 2–6.) определялись: интенсивность износа, как отношение величины линейного износа от времени резания равному 100 мин; угол наклона кривой износа; стойкость, как продолжительность резания до момента, когда износ по задней поверхности пластины достигал величины равной 0,8 мм для сплавов H30, T5K10, T15K6 и 1,2 мм для сплава B35, путем интерполяции графиков из рис. 2–5; увеличение стойкости, как отношение величин стойкости упрочненных и неупрочненных пластин при 2-х и 10-ти ударах в закладке для каждого сплава; увеличение (-снижение) стойкости от увеличения количества ударов в 5 раз в закладке (с 2-х до 10-ти ударов), величины которых приведены в таблице.

**Выводы.** Результаты анализа экспериментальных зависимостей износа по задней поверхности  $h_3$  наиболее распространенных в промышленности твердосплавных пластин из сплавов T5K10, H30, T15K6 и B35, неупрочненных и упрочненных методом АДУ, при обработке заготовок из стали 45 с 2-ми и 10-ти ударами в закладке, представленных на рис. 2–6, а также сравнительных данных, приведенных в табл. 1, показывают, что:

1) износостойкость твердосплавных пластин при прерывистом резании (торцовое фрезерование), упрочненных методом АДУ, выше чем неупрочненных: для сплавов Т5К10, Н30, Т15К6 на 30–51 % и для сплава В35 на 233–285 % (В35 не типичен для обработки стали), что подтверждает эффективность упрочнения методом АДУ твердосплавных пластин, работающих с ударными нагрузками;

2) износостойкость твердосплавных пластин при прерывистом резании, упрочненных методом АДУ, при 2-х ударах для сплавов Т5К10, Н30, Т15К6 выше на 38–51 % и для сплава В35 на 285%, а при 10-ти ударах для аналогичных сплавов выше на 30–31 % и на 233 %, что подтверждает эффективность упрочнения методом АДУ твердосплавных пластин, работающих с различными по количеству ударными нагрузками;

3) влияние метода АДУ на стойкость при 2-х ударах в закладке для более «вязких» твердых сплавов, способных выдерживать большую ударную нагрузку, больше, чем для сплавов с более низкими характеристиками по ударной вязкости. Так для сплава ВК8, способного хорошо держать ударные нагрузки, эффект повышения стойкости от упрочнения АДУ составляет 285%, для сплавов Т5К10 и Н30, имеющих средние характеристики при работе с ударами между В35 и Т15К6, эффект от упрочнения АДУ составляет 50–51%, а для сплава Т15К6, который гораздо хуже, чем сплавы ВК8, Т5К10 и Н10, сопротивляется ударным нагрузкам, эффект достигает 38%, что объясняется тем, что на повышение стойкости начинает работать комплексный эффект от повышения ударной вязкости и от твердости, в отличие от обработки без упрочнения АДУ, когда такое комплексное влияние ударной вязкости и твердости нивелируется из-за низких характеристик одной из составляющих;

Таблица

Стойкость твердосплавных пластин, неупрочненных и упрочненных методом АДУ, от количества ударов при обработке заготовок из стали 45

Марка сплава	Упрочнение методом АДУ	Обработка при кол-ве ударов	Интенсивность износа, мм/мин	Угол наклона кривой износа, град.	Стойкость, мин	увеличение (- снижение) стойкости от, %		
						Упрочнения АДУ	Увеличения ударов в 5 раз	
Т5К10	неупрочненный	2	0,0047	27°08'	121,4			
	упрочненный		0,00349	20°10'	183,6	51,2%		
	неупрочненный	10	0,0058	27°14'	96,1		-20,8%	
	упрочненный		0,0044	20°59'	125,8	30,9%	-31,5%	
Н30	неупрочненный	2	0,0043	26°26'	122,1			
	упрочненный		0,0032	19°54'	184,2	50,9%		
	неупрочненный	10	0,0054	27°01'	96,8		-20,7%	
	упрочненный		0,0041	20°51'	126,1	30,3%	-31,5%	
Т15К6	неупрочненный	2	0,0046	28°07'	138,4			
	упрочненный		0,0033	20°14'	191,3	38,2%		
	неупрочненный	10	скол после 10 мин.					-100%
	упрочненный		0,0048	28°01'	131,8	100 %	-31,1%	
В35	неупрочненный	2	0,0079	25°34'	35,0			
	упрочненный		0,0060	19°24'	100,0	285,7%		
	неупрочненный	10	0,0092	28°39'	15,0		-57,1%	
	упрочненный		0,00723	22°30'	35,0	233,3%	-65,0%	

4) влияние метода АДУ на стойкость при 10-ти ударах в закладке для твердых сплавов с высокими и низкими характеристиками по ударной вязкости аналогично, как

и при 2-х ударах: для сплава ВК8 стойкость повышается на 233%, для Т5К10 и Н30 – на 30–31 %, для сплава Т15К6 количественную величину повышения стойкости установить не представилось возможным из-за того, что неупрочненные пластины при 10-ти ударах разрушились уже на 15–20 минутах;

5) при увеличении интенсивности ударной нагрузки при прерывистом резании в пять раз стойкость твердосплавных пластин как неупрочненных, так и упрочненных снижается для сплавов Т5К10, Н30, Т15К6 на 20–31% и для сплава В35 на 57–65%, что может быть объяснено тем, что ударная нагрузка оказывает большее влияние на твердые сплавы, чем эффект от упрочнения методом АДУ;

6) так как метод АДУ значительно расширяет технологические возможности твердосплавных пластин, то рекомендуется вести обработку твердосплавными пластинами, упрочненными методом АДУ, при прерывистом резании при более тяжелых, с наличием большого количества ударов, условиях, при которых производитель пластин не рекомендует их применение.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Бетанили А.И. Прочность и надежность режущего инструмента. Тбилиси: Сабчота Сакровело. 1973. 340 с.
2. Вульф А.М. Резание металлов. Ленинград: Машиностроение. 1973. 496 с.
3. Девин Л.Н., Губа А.Г., Осипов А.И. Определение энергетических характеристик разрушения твердых сплавов при динамическом нагружении // Вестник НТУ ХПИ. Харьков. 2005. С. 142-149.
4. Мутафян Л.А. Явление удара при прерывистом резании и его влияние на характер протекания износа инструмента. Известия ТулГУ. Технические науки. 2015. № 5-2. С. 73-78.
5. Ташлицкий Н. И. Особенности изнашивания твердосплавного инструмента при прерывистом резании // Вестник машиностроения. 2005. № 7. С. 55-56.
6. Коротких М.Т. Измерение ударных нагрузок на лезвие инструмента при прерывистом резании // Металлообработка. 2001. № 1. С. 72-74.
7. Подураев В.Н. Резание труднообрабатываемых материалов. М.: Высшая школа. 1974. 590 с.
8. Симонян М.М. Развитие теоретических основ и технологических принципов повышения работоспособности твердосплавных инструментов в процессах прерывистого резания: дисс. ... д-ра техн. наук : 05.02.03/ М.М.Симонян. – Ереван, 2013. - 267 л.
9. Лоладзе Т.Н. Прочность и износостойкость режущего инструмента. М.: Машиностроение, 1982. 320 с.
10. Ганди А., Барроу Г. Разрушение инструмента при прерывистом резании на выходе из зоны резания. – СИРП, 1985, т. 34, 71...74 с. / Пер. с англ. Л-43188. М.: ВЦП, 1985.
11. Пекельхаринг А. Условия выхода инструмента из зоны резания. – СИРП, 1978, т. 27, 5...10 с. / Пер. с англ. Л-23971. М.: ВЦП, 1978.
12. Солодков В. А., Тибиркова М. А. Влияние условий выхода на работоспособность твердосплавного инструмента при прерывистом резании. Известия ВолгГТУ. 2010. №12(72). С. 62 – 65.
13. 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.
14. Солодков В.А., Тибиркова М.А. Особенности износа задней поверхности при прерывистом резании. Известия Самарского научного центра РАН. 2012. Т.13. №1(3). С.650 -653.
15. Способ аэродинамического упрочнения изделий: пат. 21049 Респ. Беларусь, С 21D 8/00 / А.Н. Жигалов, Г.Ф. Шатуров, В.М. Головков; заявитель А.Н. Жигалов, Г.Ф. Шатуров, В.М. Головков – № а 20131132; заявл. 30.09.2013; опубл. 30.06.2017 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2017. – № 3. – С. 98.

16. Zhigalov A.N., Maslov A. R., Shaturov G.F. Improved Hard Alloys for Efficient Milling // Russian Engineering Research. – 2015. Vol. 35, No. 11, 818 – 821.
17. Маслов А.Р., Жигалов А.Н. Повышение сопротивления изнашиванию твердых сплавов методом аэродинамического воздействия // Трение и износ. 2014. №5. Т. 35. с. 461 – 466.
18. Металлорежущий инструмент. Каталог ОАО «Кировоградский завод твердых сплавов». 2016. - 150 с.
19. Металлорежущий инструмент. Каталог ОАО «Победит». 2016. - 109 с.

УДК 621.88

**Калиниченко М.Л., Слуцкий А.Г., Калиниченко В.А.**

**ВЛИЯНИЕ ДРОБЕСТРУЙНОЙ ОБРАБОТКИ И ВОДНОЙ СРЕДЫ  
НА АДГЕЗИОННУЮ ПРОЧНОСТЬ РАЗЛИЧНЫХ СОЕДИНЕНИЙ  
ИЗ МЕТАЛЛОВ**

*Белорусский Национальный Технический Университет  
Минск, Беларусь*

*В настоящее время разрабатываются все большее количество принципиально новых, в том числе композиционных материалов и композиций на их основе. Способ крепления этих материалов друг с другом все чаще происходит с помощью адгезивов, т.к. это проще, экономичнее и позволяют соединять различные по составу и модулю упругости материалы. В работе представлены экспериментальные данные по оценке свойств различных типов сталей в нормальных условиях и при искусственном старении.*

По статистическим данным компании 3M, на данный момент в США доля создания неразъемных соединений из композиционных материалов при помощи процесса склеивания составляет 17% от объема всех склеенных соединений, а к 2035 г. планируется рост создания таких соединений до 60% [1,2]. Крупные компании, производящие адгезивы, утверждают, что ими разработаны самонивелирующие адгезивы, способные подстраиваться под материалы подложки и оказывать влияние, приводящее к оптимальным результатам.

Прочность любого адгезивного соединения зависит не только от прочности адгезива или от склеиваемых им элементов, сколько от работы композиции в целом, связанной с умелым подбором свойств и поверхностных эффектов получаемой композиции и других факторов [3,4]. Адгезионная прочность существенно снижается при наличии на поверхности деталей загрязнений, которые препятствуют адгезионному взаимодействию. Основной задачей подготовки поверхностей к склеиванию является получение «управляемого» состояния материала, которое обеспечивает наилучшим образом получение заданных свойств.

Таким образом, при анализе свойств поверхности твердых тел возникают [5]:

1. научные задачи, поскольку требуется на микроскопическом уровне провести оценку структуры и определить количество функциональных групп в поверхностных слоях;
2. технические задачи, поскольку требуется оценить свойства поверхности на макроуровне и определить значения шероховатости и пористости.

Из литературных источников [3,4,5] известно, что шероховатость может как положительно, так и отрицательно влиять на прочность соединения склеиваемых поверхностей.

Приведем некоторые факторы, приводящие к увеличению адгезионной прочности, это:

1. увеличение фактической площади склеивания;