

- вых сплавов в условиях сверхпластичности. Кузнечно–штамповочное производство 1999. № 7, с.14 -16.
10. Изотермическая ротационная вытяжка заготовок валов ГТД из стали 1Х12Н2МВФА5Ш/ А.В. Логунов, В.А. Плехов, И.А. Бурлаков, В.А. Зимин./ Авиационная промышленность № 7, 1990, с. 33 - 36.
 11. Утяшев Ф.З., Трифонов В.Г., Михайлов С.И. Раскатка дисков автомобильных колес из алюминиевых сплавов./ Кузнечно-штамповочное производство 1999.№ 4, с. 36 - 38.
 12. Nieh T.G., Wadworrrth J. Superplasticity and Superplastic Forming of Ceramics // Proc. ICSAM -1994. Moscow. 1994. p. 359-368.
 13. Утяшев Ф.З. Локальное формообразование деталей в условиях сверхпластичности. Труды междун. конф. «Современное состояние теории и практики сверхпластичности материалов». Уфа 21-23 ноября 2001 с. 75-83.
 14. Giliotti M.F.X., Bewlay B.P., Kaibyshev O.A., Utyashev F.Z. / Proceedings 9th World Conference Titanium, June 7-11, 1999, St. Perterburg.
 15. Исаев А.А., Кузенкова В.П. Взаимосвязь акустических и структурных параметров при ультразвуковом контроле заготовок из титановых и никелевых сплавов. ТЛС № 4-5, 1993, с. 91-97.

Повышение работоспособности режущего инструмента при обработке труднообрабатываемых материалов путем комплексного применения наноструктурированного износостойкого покрытия и твердого сплава оптимального состава

д.т.н. проф. Верещака А.С., Дачева А.В., к.т.н. доц. Аникеев А.И.
МГТУ «СТАНКИН», ФГУП ВНИИТС

Ключевые слова: твердые сплавы, режущие свойства, износостойкие покрытия.

В современной технике увеличивается объем использования новых конструкционных материалов, обладающих особыми свойствами: высокими показателями твердости, прочно-сти, вязкости, коррозионной стойкости, жаропрочности при низкой теплопроводности. Обработка резанием таких материалов сопряжена с большими трудностями. Высокая температура, развивающаяся в зоне контакта с обрабатываемым материалом, вызывает разупрочнение стандартных твердых сплавов и, как следствие этого, резкое снижение стойкости инструмента и скорости резания. Поэтому актуальна проблема создания нового инструментального материала с более высоким уровнем эксплуатационных свойств при обработке трудно-обрабатываемых сплавов.

Частично можно улучшить свойства инструментального материала за счет изменения структуры сплава (равномерности распределения его компонентов по объему изделия, однородности зерен WC, входящих в его состав, по размеру, форме и т.д.). Одним из возможных средств решения этой задачи является использование при получении твердых сплавов на карбидной основе высокопрочных и жаростойких связей, содержащих, кроме кобальта, тугоплавкие металлы, не образующие устойчивых карбидов. Другое возможное средство повышения работоспособности инструмента - нанесение на его рабочие поверхности покрытия с высокой износо- и теплостойкостью, пассивного по отношению к обрабатываемому материалу [1]. Такое покрытие должно способствовать уменьшению контактных нагрузок, благоприятному перераспределению тепловых потоков и повышению сопротивляемости материала к микро- и макро-разрушению.

В данной работе предлагается использовать комплексный подход к режущему инструменту с точки зрения получения твердого сплава оптимального состава и наноструктурированного износостойкого покрытия на нем специальной архитектуры для обработки жаропрочных и труднообрабатываемых материалов, которые обычными твердыми сплавами об-

рабатываются при относительно низкой скорости резания. Сочетание прочной твердосплавной основы с нанесенным на ней твердым покрытием из соединений титана или алюминия позволяет значительно повысить эксплуатационные характеристики композита [1].

Объектом настоящего исследования являлись режущие пластинки из твердого сплава на основе карбида вольфрама с кобальто-рениевой связкой (ВРК), удовлетворяющие перечисленным требованиям с нанесенными на них многофункциональными покрытиями особой архитектуры. Целью работы было изыскание возможности увеличения стойкости режущего инструмента при обработке труднообрабатываемых материалов за счет коррекции состава сплава и использования износостойкого покрытия. Оценивалась работоспособность сплава с кобальто-рениевой связкой при обработке резанием труднообрабатываемого материала и изучали влияние покрытия на эксплуатационную стойкость инструмента.

Твердый сплав. При обработке резанием труднообрабатываемых материалов, особенно жаропрочных сплавов на никелевой основе, происходит значительный износ инструмента в результате взаимодействия кобальтовой связки твердого сплава с обрабатываемым материалом под влиянием высоких температур, развивающихся в зоне резания. Многочисленные работы отечественных и зарубежных исследователей, посвященные совершенствованию свойств твердых сплавов за счет упрочнения (в том числе за счет легирования) связки, которая является лимитирующим элементом сплава, свидетельствуют о важной роли связки в работоспособности инструмента [3, 4]. Другие требования к связкам: хорошая смачиваемость карбидной составляющей, отсутствие способности к образованию устойчивых карбидов, достаточная пластичность, должны сохраняться на уровне кобальтовой связки.

Исследования по определению оптимального состава связки твердого сплава проводились «ВНИИ твердых сплавов» над однокарбидными вольфрамо-кобальтовыми твердыми сплавами. Было установлено [3], что добавки рения к металлам группы железа способствуют повышению температуры разупрочнения твердых сплавов, следовательно, увеличению их твердости и износостойкости при повышенных температурах, а также уменьшению адгезии с обрабатываемым жаропрочным материалом. Рений помимо высокой температуры плавления и рекристаллизации обладает рядом уникальных свойств: высоким модулем упругости, прочностными и пластическими свойствами, близкими к кобальту. Очень важным является то, что рений сохраняет высокий уровень свойств при повышенных температурах. Рений отвечает также ряду требований, предъявляемых к легирующим добавкам: не образует устойчивых карбидов, взаимодействует с кобальтом с образованием непрерывного ряда твердых растворов.

Установлено, что введение рения в кобальтовую связку сплавов на основе WC повышает их сопротивление окислению при нагреве на воздухе до 950 °С. Максимальное сопротивление окислению наблюдали у сплава ВРК15, жаростойкость которого была в 2 раза выше, чем у стандартного сплава WC-Co с эквивалентным содержанием связки.

В результате проведенных ВНИИТС исследований было определено соотношение Re:Co в связке твердого сплава, чтобы получить в итоге оптимальное сочетание требуемых свойств твердого сплава. Наиболее перспективными сплавами в этой группе оказались сплавы ВРК-12, ВРК-13 и ВРК-15. Основные свойства твердого сплава ВРК-13 в сравнении со свойствами сплава ВК10-ХОМ представлены в таблице 1.

Таблица 1

Свойства сравниваемых твердых сплавов

Сплав	Легирующие добавки	Hc, кА/м	$\sigma_{изг}$, кгс/мм ²	HRA	микроструктура	
					Общая пористость %	Кол-во зерен до 1 мкм, %
ВРК-13	Re	14,3	2000	91,5	0,04	83
ВК10-ХОМ	Cr ₃ C ₂	22,4	2585	91,5	0,02	80

Эти сплавы обладают максимальной твердостью и прочностью при повышенных тем-

пературах, показывают преимущество в несколько раз по сравнению со сплавом ВК10-ХОМ на операциях чернового и получистового точения труднообрабатываемых материалов.

Износостойкое покрытие. Особую роль в проведенных исследованиях играет многофункциональное покрытие. Комплекс «твердый сплав с жаропрочной связкой + покрытие» показывает значительные результаты по своим характеристикам.

Нанесение износостойких покрытий позволяет многократно [1] увеличить стойкость режущего твердосплавного инструмента, повысить чистоту обрабатываемой поверхности, увеличить скорость резания и т.д.

Основные направления совершенствования инструмента с покрытием:

- разработка многослойно-композиционных покрытий, в наибольшей степени удовлетворяющих концепции покрытия как промежуточной технологической среды между обрабатываемым и инструментальным материалами;
- совершенствование технологии нанесения покрытия с целью снижения дефектности покрытия;
- изыскание новых составов покрытий с низкой физико-химической активностью по отношению к обрабатываемому материалу;
- повышение жесткости и теплостойкости инструментальной матрицы путем создания промежуточного термостабильного слоя между покрытием и инструментальным материалом;
- совершенствование структуры покрытия;
- нахождение оптимальных радиусов округления режущих кромок рабочего инструмента и подготовка поверхности перед нанесением покрытия.

Инструментальный материал с износостойким покрытием является материалом композиционного типа, в котором оптимально сочетаются свойства поверхностного слоя (высокие значения твердости, теплостойкости, пассивности по отношению к обрабатываемому материалу и т.д.) и свойства, проявляющиеся в объеме тела инструмента (прочность, ударная вязкость, трещиностойкость и т.д.). Кристаллохимические, физико-механические и теплофизические свойства покрытий на рабочих поверхностях режущего инструмента могут сильно отличаться от соответствующих показателей инструментального и обрабатываемого материалов. Поэтому покрытие может заметно улучшить свойства инструментального материала с точки зрения повышения его сопротивляемости микро- и макроразрушению. С другой стороны, покрытие может способствовать уменьшению контактных нагрузок, снижению мощности тепловых источников и благоприятному перераспределению тепловых потоков, тем самым уменьшая термомеханическую напряженность режущей части инструмента. Таким образом, покрытие можно рассматривать как своеобразную промежуточную технологическую среду между контактирующими поверхностями инструментального и обрабатываемого материалов с уникальной способностью одновременно повышать сопротивляемость контактных площадок инструмента разрушению и снижать термомеханическую нагрузку, приводящую к такому разрушению.

Стойкость пластин с износостойким покрытием выше стойкости не только материала основы, но и более износостойких сплавов соседних групп применения. Это позволило значительно расширить область применения сплавов с покрытиями благодаря их универсальности.

Целесообразно эксплуатировать инструмент с покрытием на скоростях, превышающих скорость резания обычного инструмента на 30-60%. Такие скорости соответствуют оптимальной экономичной скорости резания, снижающей интенсивность изнашивания и затраты на обработку резанием.

Наибольшее распространение в качестве покрытий на твердых сплавах получили карбиды, нитриды, карбонитриды титана и оксид алюминия.

Покрытия карбида и нитрида титана являются базовыми при производстве твердых

сплавов с износостойкими покрытиями, поскольку они всегда входят в состав многослойных покрытий, и, как правило, представляют собой слой, непосредственно примыкающий к твердосплавной основе, и играют важную роль в повышении стойкости инструмента. В процессе осаждения покрытий карбида титана формируется переходный слой покрытие - основа, а также происходят основные изменения в структуре и свойствах приповерхностной области твердых сплавов.

В качестве подложки для нанесения износостойких покрытий разработаны специальные твердые сплавы, позволяющие в сочетании с собственно технологией газофазного осаждения регулировать процессы зародышеобразования и роста покрытий, то есть регулировать их структуру. В данном случае используются сплавы ВРК-13 и ВРК-15.

Качество, свойства и структура покрытия в значительной степени зависят от параметров газофазного осаждения. Наиболее важную роль играет температура на границе раздела конденсата и инструментального материала. От температуры зависят структура покрытия, прочность его адгезии с твердым сплавом, причем последняя характеристика определяется также возможностью диффузионного взаимодействия пары покрытие - твердый сплав. Взаимная диффузия повышает прочность сцепления покрытия и твердого сплава и, в свою очередь, зависит от кристаллохимического сродства осаждаемого покрытия и твердого сплава. Однако, если на границе покрытие - твердый сплав за счет ухода вещества из твердого сплава (углерод, кислород и др.) образуются устойчивые хрупкие соединения (η -фаза), прочность сцепления покрытия и твердого сплава снижается.

Одним из путей повышения общей толщины покрытия является его многослойность (последовательно расположенные слои TiC, TiCN переменного состава и TiN с использованием в некоторых случаях керамических прослоек Al_2O_3) при сохранении относительно мелкозернистой структуры, а за счет этого и достижение большего эффекта повышения стойкости инструмента. За счет осаждения карбонитридов, а затем нитрида титана, удается в значительной степени подавить формирование крупнозернистой структуры покрытия. Кроме того, TiCN и TiN обладает пониженной адгезией по отношению к обрабатываемым материалам на основе железа, а также высокой твердостью и окислительной стойкостью.

В настоящее время в мировой практике производства режущего инструмента разрабатываются составы износостойких покрытий на основе композиционно-многослойного принципа. Согласно этому принципу покрытие содержит несколько промежуточных слоев, каждый из которых имеет функциональное назначение.

Слой, непосредственно примыкающий к инструментальному материалу, должен обеспечивать прочную связь покрытия с рабочими поверхностями инструмента. Поэтому кристаллохимическое строение этого слоя и инструментального материала должно быть идентично. Вместе с тем при эксплуатационных температурах на границах этого слоя и инструментального материала не должно образоваться декарбидизирующих фаз. Необходимо также обеспечение минимальной разницы тепло- и физико-механических свойств материалов покрытия и инструмента, т.к. в противном случае при эксплуатационных термомеханических нагрузках концентрация напряжения приведет к разрушению покрытия на границе раздела покрытие - инструментальный материал.

Не менее важную роль выполняет слой, непосредственно контактирующий с обрабатываемым материалом. При выборе свойств материала этого слоя необходимо, чтобы кристаллохимическое строение максимально отличалось от соответствующего строения обрабатываемого материала.

Назначение слоев, находящихся между перечисленными выше, состоит в обеспечении адгезионной связи этих слоев. Кроме этого эти промежуточные слои могут обладать барьерными функциями, т.е., например, увеличивать или снижать термодинамическую устойчивость покрытия или его теплопроводность.

Покрытия на твердый сплав наносились методом КИБ (комплексная ионная бомбарди-

ровка). Основными преимуществами метода КИБ являются [1]:

- возможность получения качественных покрытий при температуре 300-800 °С;
- отсутствие переходной зоны между покрытием и инструментальным материалом;
- возможность получения широкой гаммы однослойных и многослойных покрытий;
- получение покрытий, равномерных по толщине, что обуславливает возможность их нанесения на острые грани;
- возможность предупреждения образования дефектов на поверхностных слоях инструментального материала благодаря мелкозернистости получаемого покрытия.

Сравнительно низкая температура осаждения определила преимущественную область применения метода КИБ - осаждение износостойких покрытий из нитрида титана на инструменты из быстрорежущих сталей и твердых сплавов, так как такой процесс можно вести при температурах, не превышающих 500 °С, что гораздо ниже температур структурных превращений сталей и сплавов

В результате проведенных исследований оптимального состава твердого сплава и архитектуры износостойкого покрытия был выявлен наиболее подходящий твердый сплав для нанесения покрытия с дальнейшим определением режущих свойств данного твердого сплава с покрытием в сравнении со стандартным твердым сплавом.

Твердый сплав ВРК-13 оказался наиболее подходящим для нанесения покрытия ввиду более высокой прочности при изгибе по сравнению со сплавом ВРК-15. На этот субстрат был нанесен слой покрытия из Ti-(Ti,Al)N-TiN методом КИБ.

В таблицах 2 и 3 представлены результаты исследований режущих свойств контрольных пластин ВК10ХОМ, пластин ВК10ХОМ-Ti-(Ti,Al)N-TiN, а также контрольных пластин ВРК-13 и пластин ВРК-13-Ti-(Ti,Al)N-TiN при продольном точении стали 45 с $t = 1,0$ мм; $S = 0,3$ мм/об; $v = 150$ м/мин, при продольном точении сплава ХН77ТЮР с $t = 1,0$ мм; $S = 0,15$ мм/об; $v = 50$ м/мин.

Таблица 2

Результаты испытаний пластин ВК10ХОМ и ВРК-13 при продольном точении стали 45

Время резания, мин	Величина износа задней поверхности пластины h_3 , мм			
	ВК10ХОМ	ВК10ХОМ-Ti-(Ti,Al)N-TiN	ВРК-13	ВРК-13 Ti-(Ti,Al)N-TiN
0,5	0,34	0,01	0,27	0,01
1	0,46	0,01	0,34	0,01
2	0,52	0,12	0,38	0,01
3	0,78	0,13	0,46	0,05
8	-	0,18	0,56	0,09
13	-	0,23	0,78	0,12
23	-	0,3	-	0,18
33	-	0,36	-	0,22
43	-	0,48	-	0,29
53	-	0,66	-	0,32
73	-	-	-	0,44
93	-	-	-	0,56

На рисунке 1 приведена зависимость износа задней поверхности h_3 твердосплавных пластин от времени при точении стали 45 с $t = 1,0$ мм; $S = 0,3$ мм/об; $v = 150$ м/мин: 1 - ВК10ХОМ; 2 - ВРК-13; 3 - ВК10ХОМ-Ti-(Ti,Al)N-TiN; 4 - ВРК-13-Ti-(Ti,Al)N-TiN.

Результаты испытаний пластин ВК10ХОМ и ВРК-13 при продольном точении сплава ХН77ТЮР

Время резания, мин	Величина износа задней поверхности пластины h_3 , мм			
	ВК10ХОМ	ВК10ХОМ-Ti-(Ti,Al)N-TiN	ВРК-13	ВРК-13 Ti-(Ti,Al)N-TiN
1	0,1	0,05	0,12	0,01
2	0,18	0,1	0,14	0,03
3	0,29	0,12	0,18	0,05
4	0,37	0,13	0,22	0,1
5	0,38	0,14	0,22	0,12
6	0,39	0,16	0,24	0,15
7	0,42	0,18	0,28	0,17
9	0,51	0,24	0,32	0,18
11	0,68	0,3	0,34	0,20
16	-	0,36	0,42	0,22
21	-	0,42	0,48	0,29
26	-	0,58	0,56	0,32
31	-	-	-	0,38
41	-	-	-	0,42
51	-	-	-	0,51

На рисунке 2 приведена зависимость износа задней поверхности h_3 твердосплавных пластин при точении сплава ХН77ТЮР с $t = 1,0$ мм; $S = 0,15$ мм/об; $v = 50$ м/мин: 1 - ВК10ХОМ; 2 - ВРК-13; 3 - ВК10ХОМ-Ti-(Ti,Al)N-TiN; 4 - ВРК-13- Ti-(Ti,Al)N-TiN.

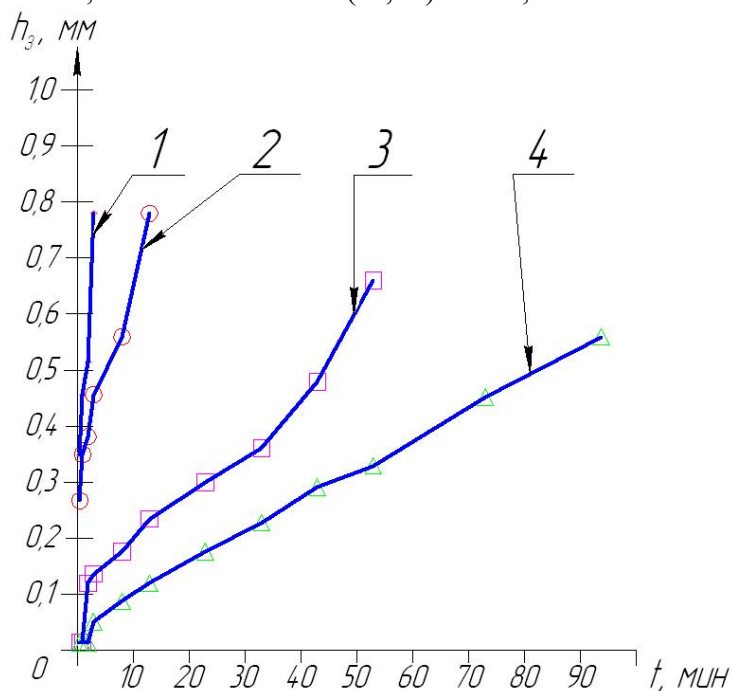


Рисунок 1 - Зависимость износа задней поверхности h_3 твердосплавных пластин от времени при точении стали 45 с $t = 1,0$ мм; $S = 0,3$ мм/об; $v = 150$ м/мин:

1 - ВК10ХОМ; 2 - ВРК-13; 3 - ВК10ХОМ-Ti-(Ti,Al)N-TiN; 4 - ВРК-13- Ti-(Ti,Al)N-TiN

На основании рисунков 1 и 2 можно сделать вывод: лучший результат при точении стали 45 обеспечивали резцы, оснащенные пластинами ВРК-13 с композиционно-многослойным покрытием $\text{Ti}-(\text{Ti},\text{Al})\text{N}-\text{TiN}$, которые существенно превосходили стойкость контрольных пластин ВРК-13 и ВК10ХОМ без покрытия, в 1,9 раза превосходили стойкость пластин ВК10ХОМ- $\text{Ti}-(\text{Ti},\text{Al})\text{N}-\text{TiN}$ во всем диапазоне исследованных условий обработки. При точении жаропрочного сплава ХН77ТЮР резцы, оснащенные пластинами ВРК-13- $\text{Ti}-(\text{Ti},\text{Al})\text{N}-\text{TiN}$, имели стойкость в 2,2 раза превышающую стойкость контрольных пластин ВК140ХОМ- $\text{Ti}-(\text{Ti},\text{Al})\text{N}-\text{TiN}$ и более чем в 4 раза стойкость контрольных пластин ВК10ХОМ без покрытия.

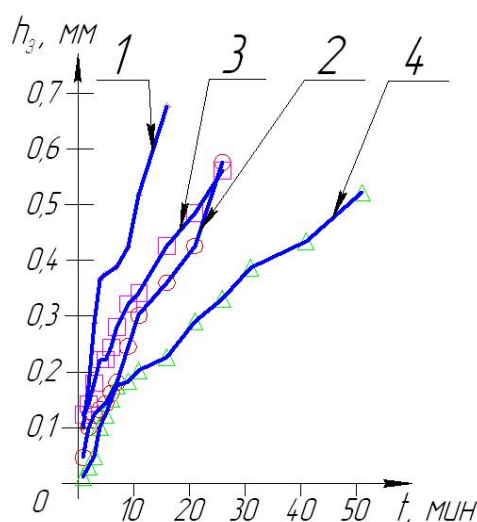


Рисунок 2 - Зависимость износа задней поверхности h_3 твердосплавных пластин от времени при точении сплава ХН77ТЮР с $t = 1,0$ мм; $S = 0,15$ мм/об; $v = 50$ м/мин:
1 - ВК10ХОМ; 2 - ВРК-13; 3 - ВК10ХОМ- $\text{Ti}-(\text{Ti},\text{Al})\text{N}-\text{TiN}$; 4 - ВРК-13- $\text{Ti}-(\text{Ti},\text{Al})\text{N}-\text{TiN}$

Сильное изменение поверхностных свойств инструментального материала и возможность их варьирования в достаточно широких пределах путем использования покрытий различного состава, строения и структуры позволяют управлять важнейшими функциональными параметрами процесса резания. К таким параметрам можно отнести характеристики стружкообразования, контактных и тепловых процессов, изнашивания контактных площадок инструмента. Наконец, направленное изменение основных показателей процесса резания, позволяет в значительной степени влиять и на такие важные параметры, как стойкость инструмента, производительность, точностные и качественные показатели готовых деталей.

Внедрение в различных отраслях промышленности инструмента повышенного качества позволяет снизить затраты по его эксплуатации и уменьшить себестоимость производства единицы конечной продукции за счет повышения производительности труда.

Литература

1. Верещака А.С. Работоспособность режущего инструмента с износостойким покрытием – М.; Машиностроение, 1993. с. 368.
2. Верещака А.С. Некоторые методологические принципы создания функциональных покрытий для режущих инструментов. В кн. «Современные технологии в машиностроении, - Харьков: НТУ «ХПИ», 2007. с. 210-231.
3. Исследование структуры и свойств твердых сплавов на основе карбида вольфрама со связкой, содержащей рений, испытания сплавов в производственных условиях (Отчет), тема № 19-76-044, ВНИИТС, Чапорова И.Н., Кудрявцева Н.А., Москва, 1979.
4. Иютин И.А., Куприна В.В., Соколовская Е.М., Спасов И.А. Исследование и применение сплавов рения – сборник, М., 1975.
5. Верещака А.С. Исследование характеристик качества поверхностного слоя при использовании экологически дружелюбной технологии сухой обработки //А.С. Верещака, О.Ю.

Хаустова, Л.Г. Дюбнер. В кн. «Современные технологии в машиностроении» Том 2. Харьков, НТУ «ХПИ», 2006. с. 306-319.

Стойкость круговых протяжек для обработки цилиндрических зубчатых колёс

к.т.н. доц. Виноградов В.М., к.т.н. доц. Черепяхин А.А.

МГТУ «МАМИ»

8(495) 223-05-23, доб. 1387

Ключевые слова: обработка зубчатых венцов цилиндрических колёс круговыми протяжками, стойкость круговых протяжек.

В технологической лаборатории МГТУ «МАМИ» было проведено исследование износа резцовых блоков круговых протяжек с целью определения стойкостных зависимостей и оптимальных режимов резания.

Стойкостные испытания проводились при обработке заготовок из наиболее употребительных в автомобильной промышленности сталей. Резцовые блоки круговой протяжки были изготовлены из быстрорежущих сталей P18, P9K10 и P9M4K8. Подъём на зуб – 0,02 ... 0,2 мм, передний угол у черновых блоков - 15°, у чистовых - 0°; угол затылования у всех зубьев составлял 11°; угловой шаг (μ) черновых зубьев - 4°, чистовых - 12°. Обработка заготовок проводилась со скоростями резания 27,02; 32,09 и 48,5 м/мин. Путь (l_p) или время (t_p) резания одного резца определялись по формулам:

$$l_p = 1000 N b_{\text{им}} \quad ; \quad t_p = l_p / V_{\text{ими}} \text{ мин}$$

где: N – число обработанных образцов;

b – ширина образца (50 мм);

V – скорость резания, м/мин.

Для точного определения величины площадки износа на задних поверхностях зубьев нанесены базовые линии (с помощью алмазной пирамидки микротвердомера ПМТ-3), параллельные вершинной главной режущей кромке. Во время испытаний через каждые 200 м пути резания резцовые блоки снимались и проводились замеры расстояния от базовой линии до площадки износа (на инструментальном микроскопе БМИ-III). Износ по задней поверхности (h_3) определялся по формуле:

$$h_3 = l_0 - l_i \text{ мм}$$

где: l_0 – расстояние от базовой линии до вершинной режущей кромки неизношенного зуба, мм;

l_i – расстояние от базовой линии до площадки износа после прохождения i метров пути резания (l_p), мм; $i = 200; 400; \dots 3\,000$ м.

Стойкостные испытания показали, что существенное влияние на стойкость оказывает величина зерна быстрорежущей стали. При мелком зерне (6...7 балл) наблюдается абразивный износ (рисунок 1, а) режущего инструмента.

При крупном зерне (3...4 балл) происходит скалывание зерен с режущих кромок (рисунок 1 б, в). При этом сколы являются очагами повышенного износа, что приводит к 4-5-кратной потере стойкости. Наиболее вероятны сколы по уголкам зубьев, поэтому при заточке инструмента необходимо притуплять уголки, что позволит уменьшить вероятность появления сколов.

Исследования стойкости резцовых блоков, изготовленных из различных быстрорежущих сталей при скоростях резания 27,02; 32,09 и 48,5 м/мин (рисунок 2) показали, что по сравнению со сталями обычной производительности применение сталей P9K10 и P9M4K8 позволяет увеличить стойкость протяжек в 1,2 ... 1,4 раза.