

УДК 621.923+629.7

DOI: 10.30987/1999-8775-2019-2019-12-13-20

Л.В. Гусакова

ИМПРЕГНИРОВАНИЕ ШЛИФОВАЛЬНЫХ КРУГОВ

С целью решения вопросов повышения эффективности операций механической обработки деталей шлифованием разработаны импрегнированные абразивные круги. Исследованы физико-химические процессы, сопровождающие шлифование импрегнированными шлифовальными кругами. Теоретически обосновано и экспериментально под-

тверждено повышение производительности процесса шлифования при введении в состав абразивной массы плёнкообразующего вещества - диоксида хрома.

Ключевые слова: шлифование, импрегнирование, механическая обработка, шлифовальные круги, абразивная масса, диоксид хрома.

L.V. Gusakova

ABRASIVE DISC IMPREGNATION

In order to solve the problems of the effectiveness increase in parts machining with grinding there are developed impregnated abrasive discs. The impregnated grinding disc application allows increasing effectiveness, intensifying a process, increasing surface smoothness with minimum defects as compared with non-impregnated disc grinding.

The investigations of grinding processes were based on the regulations of the theory of friction and wear, theory of cutting, physical-chemical mechanics of materials, physical and colloid chemistry, non-equilibrium thermodynamics.

Введение

Проведённый аналитический обзор научно-технической информации показал необходимость реализации междисциплинарного системного подхода к описанию явлений, протекающих в контакте «инструмент - заготовка» при шлифовании, на основе положений физико-химической механики материалов. Аналитический обзор показал, что многоаспектность и сложность явлений, протекающих в зоне шлифования с применением импрегнированных кругов, требует принципиально другого системного подхода в сравнении с известным сегодня.

Нами проведены расчёты и исследования влияния импрегнирования на основные показатели процесса шлифования: режущую способность и износ инструмента, шероховатость обработанной поверхности, наличие прижогов. Процесс шлифования сопровождается одновременным протеканием комплекса физико-химических яв-

Physical-chemical processes accompanying grinding with impregnated grinding discs are investigated. It is defined that a cutting ability of a grinding disc and its durability increase, glazing decrease and quality improvement of a part worked take place. New methods for obtaining a composition for impregnation are tested. It is substantiated theoretically and confirmed experimentally grinding effectiveness increase at the introduction into an abrasive mass composition a film-forming matter – chromium diiodide.

Key words: grinding, impregnation, machining, grinding discs, abrasive mass, chromium diiodide.

ний. В результате внедрения в обрабатываемую поверхность абразивных зёрен происходит либо отделение микростружек, либо формирование канавок с боковыми навалами [1-3]. При взаимодействии профиля шлифовального круга и обрабатываемой поверхности заготовки происходит абразивное диспергирование с образованием микростружек, которые потоком СОЖ частично удаляются из контакта «инструмент - заготовка», частично заполняют межзёренное пространство и налипают на вершины абразивных зёрен, изменяя рельеф режущего профиля. С учетом кратковременности контакта абразивного зерна и обрабатываемой поверхности ($10^{-4} \dots 10^{-5}$ с) в момент отделения микростружки накопленная в ней энергия переходит в тепловую, что вызывает рост температуры в зоне разрушения близко к температуре плавления металла [4-6].

Состав для импрегнирования

В настоящее время наиболее важным показателем конкурентоспособности производства, способного работать в условиях полной взаимозаменяемости деталей, экспортируемых на российский рынок из других стран, является получение деталей с высокой чистотой поверхности. Одним из методов, успешно применяемых для получения чистых металлов, является йодидный метод.

Вводя в чистые металлы определённые добавки, можно получать новые высокопрочные, высокотемпературные сплавы, которые могут найти полезное применение в металлообработке [7].

Ван Аркель, де Бур и Фаст [8-10], по существу, заложили основу йодидного процесса. В течение долгого времени США импортировали цирконий фирмы *Philips*, полученный йодидным способом, применяя его иногда даже в простейших электронных лампах. Затем и другие западные фирмы достигли значительных успехов в производстве йодидных металлов.

В твердом состоянии йод образует слоистую решётку, следствием чего является чешуйчатое, слоистое строение кристаллов.

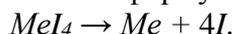
Если изучить свойства йода, которые в данной статье не приводятся, то можно сделать вывод о том, что йод в некоторой мере обладает металлическими свойствами: электропроводность, как и у металлов, понижается с возрастанием температуры.

При давлении 1 атм заметная диссоциация йода начинается при 600 °С, при 800 °С - 5,2 %, при 1000 °С - 19,7 %, при 1400 °С - около 75 %.

Термическая диссоциация является важным фактором разложения йодидов, так как она значительно увеличивает число образующихся молекул газа.

Несмотря на то что теплота образования йодида металла сравнительно мала, свободная энергия диссоциации быстро уменьшается с возрастанием температуры.

Величина константы равновесия рассчитывается по формуле



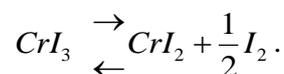
Из уравнения видно, что константа равновесия для реакции содержит величину давления атомарного йода в четвёртой степени, так что даже если величина этой константы довольно мала, в равновесии с металлом может находиться йод с заметным давлением паров.

Этот факт был использован для получения и дальнейшего использования диiodида хрома.

Как известно из различных исследований, существует четыре группы йодидных металлов. Однако нами был выбран йодидный хром, поскольку он широко производится в промышленном масштабе и относительно недорогой. Он также улучшает высокотемпературные свойства сплавов при изготовлении газовых турбин. Применяется в российском авиастроении.

Обработка диiodида йодом при $t = 300$ °С давала в результате смесь, содержащую 91 % триiodида хрома. Триiodид хрома нелегко растворялся в воде, но его растворимости способствовал ион двухвалентного хрома.

Равновесие устанавливалось:



Диiodид хрома был получен по способу Билтца и Бирка [2] - нагреванием CrI_3 до 300...350 °С в водороде.

Исследователями установлено, что йод и йодиды активно взаимодействуют с обрабатываемыми материалами и способны генерировать протекание рассмотренных выше химических реакций с образованием в зоне шлифования тонких плёнок, обладающих низким коэффициентом трения.

Йод малоактивен при низких температурах, при повышении температуры он распадается на активные радикалы, химически взаимодействующие с металлами с образованием соответствующих йодидов. Исследуя механизм действия йода при трении, Ф.П. Боуден [3] отмечал, что химические плёнки, образованные в результате реакции паров йода и металла, имеют в четыре раза более низкий коэффициент трения, чем чистые поверхности металла.

В качестве абразивных материалов использовались электрокорунд белый марки 25А и карбид бора В4В фракции F 80. Шлифовальные круги имели размеры 360x250x60 мм и изготавливались следующим образом (рис. 1, 2). В установленное количество эпоксидной диановой смолы ЭД-5 добавляется абразив, после чего полученная смесь тщательно перемешивает-

ся в течение 5-6 мин. Затем в нее добавляются высокопрочный ферритный чугун и кристаллический йод. Смесь вновь перемешивают в течение 3-5 мин, после чего в нее добавляют отвердитель – полиэтиленполиамин и органический модификатор (например, смесь Агидолов 51, 52, 53 или Агидол АФ-2) и окончательно перемешивают в течение 5-6 мин.



Рис. 1. Формовочный агрегат



Рис. 2. Сушило периодического действия

Полученная таким образом абразивная масса для изготовления шлифовальных кругов заливалась в форму и устанавлива-

лась в сушильном шкафу. Затвердевание массы происходило в течение 12-16 ч при температуре 60...80 °С.

Анализ экономических показателей обработанных деталей

Для определения производительности обработки могут быть использованы известные методики рациональной организации процесса обработки, позволяющие определять себестоимость в зависимости от принятых режимов шлифования, обрабатываемого материала и внедрения различных конструкторско-технологических мероприятий [2; 3].

При исследовании надёжности обрабатываемых деталей необходимо иметь возможно более полную информацию об отказах. Информация о надёжности полученных деталей, обработанных с применением шлифовальных кругов предлагаемой конфигурации, может поступать из следующих источников:

1) опросных листов, рассылаемых предприятиями, эксплуатирующими поставляемые детали;

2) данных, поступающих от предприятий, заводов и шеф-монтажёров, о качестве поставленных деталей, выявленном при их монтаже, наладке и запуске в работу на предприятиях-потребителях;

3) отчётных материалов о стендовых испытаниях деталей, узлов и механизмов, проводимых при изготовлении новых промышленных образцов;

4) отчётных данных о результатах испытания нового промышленного образца детали в производственных условиях;

5) результатов выборочных испытаний деталей;

6) результатов анализа износа и поломки деталей, выхода из строя отдельных узлов и механизмов.

Сроки, виды и повторяемость наблюдений в каждом конкретном случае устанавливаются соответствующими методами и зависят от условий и характера работы деталей.

Карта наблюдений заполняется на рабочем месте, причём в конце смены надо проводить проверку правильности учёта результатов работы и отказов деталей, используя следующее выражение:

$$\left| \frac{100(\Phi - \omega\tau - \sum t_{\text{в}})}{\Phi} - 100 \right| < 5,$$

где Φ - фонд рабочего времени детали за период наблюдения; ω - количество продукции, изготовленной за время наблюдения; τ - среднее время непрерывной работы детали или машины; $\sum t_{\text{в}}$ - суммарная длительность восстановления детали за период наблюдения.

После выполнения всех требований, установленных нормативами, была получена экономическая эффективность использования шлифовальных кругов, содержащих диоксид хрома (по данным ОАО «Красный гидропресс», публичного акционерного общества «Таганрогский научно-технический комплекс имени Г.М. Бериева», ООО «Югмашдеталь», ООО «МеталлПромИнвест», ОАО «Ейский станкостроительный завод»).

Для сравнения были выбраны шлифовальные круги двух типов: шлифовальный круг разной зернистости и шлифовальный круг, импрегнированный диоксидом хрома.

Данные исследований, а также полученные эксплуатационные данные о деталях, прошедших обработку шлифованием импрегнированными кругами, представлены в табл. 1.

Экономическая эффективность увеличивается более чем в 2,5 раза (с учетом минимальных затрат на изготовление импрегнированных кругов [2]).

Как видно из представленных данных, использование на производстве абразивных инструментов, импрегнированных диоксидом хрома, повышает экономический показатель более чем в 3,5 раза. При этом использование абразивных инструментов с диоксидом хрома целесообразнее при обработке высоколегированных сталей. При обработке жаропрочных сталей показатели эффективности выше у многосекторных шлифовальных кругов разной зернистости.

Таблица 1

Сравнительные данные экономической эффективности использования импрегнированного абразивного инструмента

Обрабатываемый материал	Многосекторный шлифовальный круг разной зернистости	Абразивный инструмент с диоксидом хрома
Высоколегированные стали	2,5-3,2	2,2-3,8
Жаропрочные сплавы	4,4-6,5	3,6-4,5

Причиной усовершенствования шлифовальных кругов для обработки деталей послужили данные, полученные с российских заводов, использующих в своём производстве обработку деталей шлифованием. Затем данные детали поступают в рабочий цикл завода в качестве рабочих единиц и получают неудовлетворительные характеристики, в частности по показателю долговечности и времени приработки взаимодействующих деталей.

При изучении и наблюдении отказов обработанных деталей учитывались и сопутствующие факторы, такие как:

- 1) конструктивные дефекты;
- 2) технологические дефекты, а именно дефекты изготовления и сборки;
- 3) нарушения правил транспортировки;
- 4) дефекты монтажа;
- 5) условия эксплуатации, в частности отклонения от норм технического обслуживания;
- 6) отклонения от нормальных параметров внешней среды (влажность, запыленность, температура);

Заключение

Повышение надёжности и долговечности машины связано с проведением конструктивных, технологических и эксплуатационных мероприятий, повышением надёжности узлов и элементов благодаря рациональной конструкции и применению износостойких материалов, а также износостойких инструментов, позволяющих изготавливать детали, соответствующие высоким требованиям заказчика.

Не последнее место в технологическом процессе занимает обработка детали шлифованием. Как финишная операция она может улучшить эксплуатационные свойства детали или ухудшить их наличием поверхностных дефектов, в частности прижогов. Поэтому очень важна конструк-

7) естественный износ;

8) комбинированное влияние разных факторов или неустановленных причин.

Было установлено, что снижение засаливания шлифовального круга достигается при применении шлифовальных кругов, импрегнированных диоксидом хрома.

Предложен критерий технического уровня изделия K , по значению которого могут назначаться конструктивные и технологические мероприятия, обеспечивающие требуемые показатели надёжности, качества и других характеристик машины или механизма:

$$K = P(t) \frac{T_{\max}}{m}$$

где $P(t)$ - требуемая вероятность безотказной работы изделия; T_{\max} - максимальный крутящий момент; m - масса изделия.

В табл. 2 приведены данные машиностроительных предприятий России, указаны характеристики шлифовальных кругов.

ция инструмента, производящего обработку шлифованием без дефектов, снижающих эксплуатационные свойства детали и рабочего агрегата. Существует множество способов улучшения конструкции шлифовального круга, однако вероятностный характер процесса шлифования не позволяет с математической точностью определить количество участвующих в шлифовании зёрен и отрезок времени, в течение которого инструмент и заготовка будут находиться в точке контакта. Также довольно сложно определить возникновение первичных технологических дефектов на шлифовальном круге, ухудшающих обработку, в период работы круга без его остановки.

Таблица 2

Режимы эксплуатации шлифовальных кругов на машиностроительных предприятиях (АвтоВАЗ, КамАЗ)

Обрабатываемый материал		Вид операции	Характеристика круга применяемая	Характеристика круга нормативная	Режим резания при-меня-емый $V_{Sppra}, (V_{Soc}),$ мм/мин	Режим резания нормативный $V_{Sppra}, (V_{Soc})$ мм/мин	При-пуск, мм	Потеря произ-водительности $(T_0 / T_{Оперн})$
Марка	Группа обраба-тываемости							
40Х9С2>55	Ia	Круглое наружное шлифование с радиальной подачей	ЭК (имп.)	92А(25А,14А)25НСТ2	0,35	1,25	0,38	1,08/0,304=3,55
5Х20Г9АН4	Ia		91А16НВТ5К5	92А(25А,14А)25НСТ	0,35	2,56	0,3	0,85/0,11=7,7
АС35Г2<277	Ia		14А25НС15К	92А(25А,14А)25НС1	0,52	1,12	0,3	0,57/0,26=2,19
Сталь 40	IIa		91А32ПСМ17К5	92А(25А,14А)32НСМ	1,0	2,71	0,3	0,3/0,11=2,7
20ХГНМ>58	I		24А25ПСМ27К5	92А(25А,14А)25НС	1,0	1,26	0,3	0,3/0,23=1,3
Сталь 38>58	IIa		24А25НС16К5	92А(25А,14А)25НС1	0,95	1,2	0,348	0,36/0,29=1,24
12ХН	IIa		14А25НС17К	92А(25А,14А)25НС	0,44	1,53	0,3	0,68/0,19=3,57
12ХН>55	IIa		24А10НСМ16К5	92А(25А,14А)16НС	1,2	1,34	0,3	0,25/0,22=1,13
Сталь 08 кп	IIa		91А32НСМ27К11	92А(25А,14А)32НСМ	0,6	1,45	0,15	0,25/0,103=2,4
АС35Г2<277	Ia		96А16НС17К20	92А(25А,14А)25НС	0,715	4,3	0,4	0,56/0,09=6,22
19ХГН>60	Ia	91А8ПСТ28К5	92А(25А,14А)12НС2	1,13	2,2	0,45	0,39/0,2=1,95	
Чугун 1040	VII	14А25НСТ17К20	14А20НСТ27К	0,5	0,72	0,03	0,06/0,04=1,5	
40Х, HRC>45	IIa	Бесцентровое наружное шлифование с осевой подачей	24А25НСМ27К26	92А(25А,14А)40НС2	(800)	(970)	0,3	0,375/0,309=1,2

В связи с этим необходимо более глубокое изучение процесса импрегнирования шлифовальных кругов как одного из способов увеличения срока службы ин-

струмента, обеспечивающего бесприжоговое шлифование и снижение коэффициента трения в зоне обработки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Славин А.В., Бржозовский Б.М. Повышение эффективности шлифования путём управления физико-химическими процессами в контакте «инструмент - заготовка» // *Научно-технические технологии в машиностроении*. 2016. № 5 (59). С. 24-30.
2. Гусакова Л.В., Бутенко В.И., Кулинский А.Д. Перспективные направления повышения эффективности шлифования поверхностей деталей машин // *Вестник Брянского государственного технического университета*. 2016. № 2 (50). С. 112-121.
3. Пат. 2574182 РФ. Способ импрегнирования абразивных инструментов / Бутенко В.И. 2016. Бюл. № 4.
4. Пат. 2392109 РФ. Масса для изготовления абразивного инструмента / Бутенко В.И., Дуров Д.С., Гусакова Л.В., Фоменко Е.С. 2010. Бюл. № 17.
5. Пат. 2532660 РФ. Способ импрегнирования абразивных инструментов / Бутенко В.И., Кулинский А.Д., Гусакова Л.В. 2014. Бюл. № 31.
6. Бабичев А.П., Бутенко В.И., Гусакова Л.В. Комбинированная упрочняющая обработка сварных стыков металлических труб большого диаметра // *Виброволновые процессы в технологии обработки деталей высокотехнологичных изделий: сб. тр. Ростов н/Д: ДГТУ, 2017. С. 116-118.*
7. Славин А.В., Шумячер В.М., Кадильников А.В. Контактные взаимодействия абразивных зёрен с обрабатываемой поверхностью при шлифовании металлов // *Вестник Волгоградского архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура*. 2011. Вып. 25 (44). С. 197-200.
8. Безьязычный В.Ф., Драпкин Б.М., Прокофьев М.А. Обеспечение качества поверхностного слоя при плоском шлифовании жаропрочных сплавов на никелевой основе // *СТИН*. 2008. № 5. С. 35-38.
9. Cowan R.W., Schertz D.J., Kurfess T.R. An adaptive statistically Based controller for through-feed center less grinding // *Transactions of the ASME*. 2001. Vol. 123. P. 380-386.
10. Hashimoto F. Effect of friction and wear characteristics of regulating wheel on center less grinding // *Abrasives. Center less grinding coated abrasives*. 2000. P. 8-15.
11. Багайсков Ю.С., Шумячер В.М. Совершенствование структурно-механических свойств абразивных инструментов высокой плотности // *Вестник Саратовского государственного технического университета*. 2006. № 2 (12). Вып. 1. С. 38-42.
1. Slavin A.V., Brzhozovsky B.M. Grinding effectiveness increase through physical-chemical process control in "tool-billet" contact // *Science Intensive Technologies in Mechanical Engineering*. 2016. No.5 (59). pp. 24-30.
2. Guskova L.V., Butenko V.I., Kulinsky A.D. Promising directions in effectiveness increase of machinery surface grinding // *Bulletin of Bryansk State Technical University*. 2016. No.2 (50). pp. 112-121.
3. Pat. 2574182 the RF. *Method for abrasive tool impregnation* / Butenko V.I. 2016. Bull. No. 4.
4. Pat. 2392109 the RF. *Mass for Abrasive Tool Manufacturing* / Butenko V.I., Durov D.S., Guskova L.V. Fomenko E.S. 2010. Bull. No.17.
5. Pat. 2532660 the RF. *Method of Abrasive Tool Impregnation* / Butenko V.I., Kulinsky A.D., Guskova L.V. 2014. Bull. No.31.
6. Babichev A.P., Butenko A.P., Guskova L.V. Welded joints combined strengthening in large diameter metal pipes // *Vibro-wave Processes in Technologies of Parts Processing of High-tech Product: Rostov-upon-Don Proceedings: DSTU, 2017. pp. 116-118.*
7. Slavin A.V., Shumyacher V.M., Kadilnikov A.V. Contact interactions of abrasive grains with surface worked during metal grinding // *Bulletin of Volgograd Architectural-Construction University. Construction and Architecture*. 2011. Issue 25 (44). pp. 197-200.
8. Beziyazychny V.F., Drapkin B.M., Prokofiev M.A. Quality support of surface layer during flat grinding of high-temperature nickel-based alloys // *STIN*. 2008. No.5. pp. 35-38.
9. Cowan R.W., Schertz D.J., Kurfess T.R. An adaptive statistically Based controller for through-feed center less grinding // *Transactions of the ASME*. 2001. Vol. 123. P. 380-386.
10. Hashimoto F. Effect of friction and wear characteristics of regulating wheel on center less grinding // *Abrasives. Center less grinding coated abrasives*. 2000. P. 8-15.
11. Bagaiskov Yu.S., Shumyacher V.M. Improvement of structural stress-strain properties of high-density abrasive tools // *Bulletin of Saratov State Technical University*. 2006. No.2 (12). Issue 1. pp. 38-42.

Ссылка для цитирования:

Гусакова Л.В. Импрегнирование шлифовальных кругов // Вестник Брянского государственного технического университета. 2019. № 12. С. 13–20. DOI: 10.30987/1999-8775-2019-2019-12-13-20.

Статья поступила в редакцию 12.11.19.

Рецензент: д.т.н., профессор Брянского государственного
технического университета

Киричек А.В.,

гл. редактор журнала «Вестник БГТУ».

Статья принята к публикации 20. 11. 19.

Сведения об авторах:

Гусакова Лиана Валерьевна, доцент кафедры «Проектирование специальных авиационных комплексов» Московского авиационного института (национального исследовательского университета), e-mail: GusakovaLV@mail.ru.

Gusakova Liana Valerievna, Assistant Prof. of the Dep. “Design of Special Aircraft Complexes”, Moscow Aircraft Institute (National Research University), e-mail: GusakovaLV@mail.ru.