

УДК 621.7-5

## К ВОПРОСУ О ВЗАИМОСВЯЗЯХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ ПОЛУЧЕНИЕ КАЧЕСТВЕННОГО ИСХОДНОГО РЕЛЬЕФА И ШЕРОХОВАТОСТИ ПОКРЫТИЙ ТВЕРДОГО ЖЕЛЕЗА В ПРОЦЕССЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

**Яшков В.А.**

*Муромский институт (филиал) ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», Муром, e-mail: zirjd@mail.ru*

При восстановлении деталей машин широко применяется метод гальванического нанесения твердого железа. Популярность данного метода объясняется равномерным распределением припуска, малой глубиной дефектного слоя и небольшой шероховатостью. Механическая обработка покрытий твердого железа в основном ведется тонким точением или шлифованием. Долговечность восстановленных деталей во многом определяется совокупным рельефом и глубиной слоя с разрушенной микроструктурой, оказывающим решающее влияние на показатели, внешнего трения, износа и развития явлений усталости. Формирование исходного рельефа и шероховатости наиболее эффективно в процессе шлифования. При данном виде обработки идет интенсивное теплообразование, основная доля которого (до 80%) переходит в деталь, что сопровождается структурными превращениями в обрабатываемом материале. По указанной причине и проводится исследование взаимосвязи технологических факторов, обеспечивающих получение качественного исходного рельефа и шероховатости покрытий твердого железа. В результате исследования построена схема связи факторов, обеспечивающих получение качественного исходного рельефа и шероховатости покрытий, наиболее качественные исходные слои формируются при использовании абразивного круга 24A40CM26K1 с введением ограничений по режимам резания;  $V_k = 20-30$  м/с,  $V_d = 0,6-1,16$  м/с,  $t = \text{до } 0,12$  мм,  $S = (0,2-0,3)V_k$ ,  $i$  до 2. Для повышения качества исходного слоя и гидроочистки абразивного круга рекомендуется обработку вести с подачей смазочно-охлаждающих технологических средств (СОТС) в объеме свыше 0,1 л/с.

**Ключевые слова:** гальванические покрытия, качество поверхностного слоя, шлифование, технологические факторы, шероховатость, микротвердость

## THE QUESTION OF THE INTERACTIONS OF TECHNOLOGICAL FACTORS FOR OBTAINING HIGH-QUALITY INITIAL TOPOGRAPHY AND ROUGHNESS OF COATINGS OF SOLID IRON IN THE MACHINING PROCESS

**Yashkov V.A.**

*Murom Institute (branch) Federal state budgetary Educational Institution of Higher Education «Vladimir State University named after Alexander Grigoryevich and Nickolay Grigoryevich Stoletovs», Murom, e-mail: zirjd@mail.ru*

When restoring machine parts, the method of galvanic application of solid iron is widely used. The popularity of this method is explained by the uniform distribution of the allowance, the small depth of the defective layer and the small roughness. Machining of hard iron coatings is mainly carried out by fine turning or grinding. The durability of the restored parts is largely determined by the combined relief and depth of the layer with the destroyed microstructure, which has a decisive influence on the indicators of external friction, wear and development of fatigue phenomena. The formation of the initial relief and roughness is most effective in the grinding process. At this type of processing there is an intensive heat formation, the main part of which (up to 80%) passes into the part, which is accompanied by structural transformations in the processed material. For this reason, the study of the relationship of technological factors that provide quality initial relief and roughness of coatings of solid iron. The study built scheme of factors for obtaining high-quality initial topography and roughness of coatings, the highest quality source layers are formed when using abrasive wheel 24A40CM26K1 with the introduction of restrictions on cutting parameters;  $V_k = 20-30$  m/s,  $V_d = 0.6$  and  $1.16$  m/s,  $t = \text{to } 0.12$  mm,  $S = (0,2-0,3)V_k$ ,  $i$  to 2. To improve the quality of the initial layer and hydrotreatment of the abrasive wheel, it is recommended that the treatment be carried out with the supply of lubricating and cooling technological means (LCTM) in a volume of more than 0.1 l/s.

**Keywords:** electroplating, surface layer quality, grinding, technological factors, roughness, microhardness

Эксплуатационные свойства деталей машин, восстановленных осталиванием (гальваническим нанесением твердого железа) во многом определяются комплексом свойств, полученных в процессе механической обработки, особенно во время финишной обработки (тонкое точение или шлифование) [1]. Это объясняется высокой микротвердостью гальванопокрытий, равномерным распределением припуска,

малой глубиной дефектного слоя после электролиза и небольшой шероховатостью.

Шлифование сопровождается высокой температурой в зоне контакта [2, 3]. Согласно данным [4], около 80% всей механической работы, возникающей при шлифовании, переходит в тепло, а 20% преобразуется в потенциальную энергию деформации кристаллической решетки. Для этого процесса характерно образование рас-

тягивающих напряжений, которые практически возможно уменьшить, но не удастся ликвидировать [5, 6].

Наиболее полно в настоящее время решены вопросы обрабатываемости шлифованием покрытий хрома. На основе комплексных исследований в работе [7] установлено, что получить в покрытиях хрома сжимающие напряжения при электролизе или технологическими методами при механической обработке не представляется возможным, за исключением методов «поверхностно-пластической деформации» (ППД).

По обработке покрытий твердого железа известно небольшое число работ, которые не раскрывают всей сущности специфики их обрабатываемости. По данным этих исследований режимы шлифования тяготеют к нормативам резания сталей. Причиной является недостаточный учёт специфики физико-механических свойств покрытий твердого железа, которые по химическому составу весьма близки к чистому железу, насыщенному водородом, а со стороны механических свойств микротвердость покрытий близка к твердости закаленных сталей, но отличается тем, что у покрытий имеется микротрещиноватая структура и при шлифовании стружка не сгорает из-за отсутствия достаточного количества углерода, а просто оплавляється. Следует учитывать также, что покрытия твердого железа имеют наивысший коэффициент теплопроводности по сравнению со сталями и покрытиями хрома, а следовательно, они более чувствительны к тепловым полям, возникающим при механической обработке.

Цель исследования: изучить и выявить связи, обеспечивающие получение качественного исходного рельефа и шероховатости покрытий твердого железа в процессе механической обработки.

#### Материалы и методы исследования

Исследования проводились на универсальных круглошлифовальных станках мод. 312М и мод.

ЗБ151. Диаметр образцов соответствовал 40 мм, толщина исходного покрытия 0,5 мм, исходя из размеров восстанавливаемых поверхностей деталей автомобилей. Величина снимаемого припуска принималась от 0,1 до 0,2 мм.

Исходя из условий специфики микроструктуры твердого железа, для окончательных испытаний были выбраны абразивные круги «Волжского абразивного завода» марок 24А, 34А и 64С, которые широко применяются для обработки простых углеродистых сталей. Структура инструмента среднеплотная № 5, 6 на керамической связке К, прямого профиля, с зернистостью 20, 25, 32, 40.

Правка кругов: черновой режим – твердосплавным диском с поперечной подачей – 0,5 м/мин; окончательный режим правки – алмазнометаллическим карандашом типа «С» с поперечной подачей – 0,01 мм/дв. Ход и продольной подачей – 0,06 м/мин.

Минутный съём металла определялся расчетным путем по изменению геометрических параметров обрабатываемых поверхностей. От весового метода отказались ввиду возникающих больших погрешностей. Выжигание поверхности не проводилось. Дополнительно исследовалась шероховатость получаемого рельефа и микротвердость наружных слоев.

#### Результаты исследования и их обсуждение

Предварительные исследования по обрабатываемости покрытий твердого железа показали, что частицы металла, снимаемые при шлифовании, не сгорают, а оплавливаются. Отработка покрытий шлифовальными кругами с материалами абразивных зерен 24А, 34А и 64С показала, что самую низкую режущую способность имеют круги с абразивным зерном 64С (табл. 1). Мягкое железо весьма интенсивно за короткое время работы шлифовального круга адгезирует на режущие грани абразивных зерен. Особенно наглядно адгезия продуктов резания проявляется у абразивных зерен 64С из-за их высокой теплопроводности. При этом поры у круга свободны от частиц металла. Итак если при шлифовании сталей шлифовальный круг работает с затуплением, то при обработке твердого железа круг работает с засаливанием мягким железом по вершинам зерен абразива.

Таблица 1

Влияние материала абразивных зерен на показатели процесса шлифования ( $V_k = 30$  м/с,  $V_d = 0,6$  м/с,  $S = 2$  Вк, зернистость абразива 25, твердость СМ2)

Материал абразивных зерен	Глубина шлифования, t (мм)	Шероховатость, Ra (мкм)	Снижение микротвердости, $\alpha$ (%)
24А	0,005	0,38	3,7
	0,012	0,50	6,4
34А	0,005	0,36	7,7
	0,012	0,42	12,8
64С	0,005	0,27	4,6
	0,012	0,43	6,4

При постоянстве глубины шлифования  $t = 0,005$  мм шероховатость поверхности в начальной стадии обработки возрастает с изменением материала зерна от 64С к 34А и 24А. За короткий промежуток времени (порядка 2 мин) шероховатость наружного слоя при воздействии зерна 64С начинает огрубляться из-за залипания круга. Круги с зернами 24А и 34А в это время работают стабильно и не проявляют признаков засаливания. Похожие характеристики процесса шлифования сохраняются и при переходе к глубине шлифования  $t = 0,012$  мм. Шероховатость возрастает в 1,2–1,6 раза. Дефектность наружных слоев возрастает в среднем в два раза.

Важной характеристикой в процессе шлифования является величина абразивного зерна (зернистость круга) (табл. 2).

Величина шероховатости возрастает с  $Ra = 0,3$  мкм до  $Ra = 0,42$  при  $t = 0,005$  мм, с увеличением зернистости от 20 до 40. Снижение микротвердости в наружном слое с изменением зернистости невелика и составляет 3,7–4,7%. При глубине шлифования  $t = 0,012$  мм снижение микротвердости составляет 9,4% зернистость 20 и наименьшая 5,2% при зернистости 40.

На качество обработки и производительность процесса оказывает влияние твердость шлифовальных кругов (табл. 3).

Наилучшие показатели при шлифовании покрытий твердого железа получены при обработке кругами твердости СМ2. На основе исследований шлифовальный круг марки 24А40СМ6К1 признан наиболее рациональным для обработки покрытий твердого железа и рекомендован в производство. С использованием данного круга были проведены исследования по выявлению режимов шлифования покрытий.

Расчет или выбор режимов обработки чаще всего начинают с глубины резания (в шлифовании поперечная подача). Поперечная подача ( $S_{\text{поп}}$ ) оказывает влияние на величину внедрения абразивных зерен на покрытие, что сопровождается ростом температур контакта (табл. 4).

Увеличение поперечной подачи с 0,005 до 0,025 мм вызывает следующие изменения: температура зоны контакта повышается в 1,75 раза и шероховатость в 2,9 раза, а разупрочнение активизируется в 2,87 раза.

Таблица 2

Влияние зернистости абразивов на показатели процесса шлифования ( $V_k = 30$  м/с,  $V_d = 0,6$  м/с,  $S = 0,2$  Вк, круг 24А, твердость СМ2, структура № 6)

Зернистость	Глубина шлифования, $t$ , (мм)	Шероховатость, $Ra$ (мкм)	Снижение микротвердости, $\alpha$ (%)
20	0,005	0,36	4,8
	0,012	0,40	9,4
25	0,005	0,38	3,7
	0,012	0,50	6,4
32	0,005	0,40	4,7
	0,012	0,45	7,5
40	0,005	0,42	4,6
	0,012	0,48	5,2

Таблица 3

Влияние твердости кругов на показатели процесса шлифования ( $V_k = 30$  м/с,  $V_d = 0,6$  м/с,  $S = 0,28$ , материал зерна 24А, зернистость 25)

Твердость круга	Глубина шлифования, $t$ (мм)	Шероховатость, $Ra$ (мкм)	Снижение микротвердости, $\alpha$ (%)
СМ1	0,005	0,41	4,8
	0,012	0,44	10,0
СМ2	0,005	0,38	3,7
	0,012	0,50	6,4
С1	0,005	0,39	4,7
	0,012	0,48	9,5
С2	0,005	0,40	5,0
	0,012	0,43	11,0
СТ1	0,005	0,41	5,2
	0,012	0,44	13,0

Таблица 4

Влияние поперечной подачи на параметры шлифования  
( $V_k = 30$  м/с,  $V_d = 0,6$  м/с,  $S = 0,2B$ , СОТС отсутствует)

Глубина шлифования, $t$ (мм)	Температура контакта, $t^{\circ}C$	Шероховатость, $Ra$ (мкм)	Снижение микротвердости, $\alpha$ (%)
0,005	245	0,40	4,6
0,007	275	0,43	5,2
0,012	320	0,48	6,4
0,020	400	0,82	10,5
0,25	435	1,15	13,2

Таблица 5

Влияние круговой подачи на параметры шлифования  
( $V_k = 30$  м/с,  $i = 1$ ,  $t = 0,005$  мм,  $S = 0,2B_k$ , СОТС отсутствует)

Круговая подача, $V_d$ м/с	Температура контакта, $t^{\circ}C$	Шероховатость, $Ra$ (мкм)	Снижение микротвердости, $\alpha$ (%)
0,220	230	0,33	4,3
0,433	245	0,42	4,6
0,883	280	0,60	5,5
1,000	290	0,60	5,5
1,333	330	0,71	6,8

Таблица 6

Влияние продольной подачи на процесс шлифования  
( $V_k = 30$  м/с,  $V_d = 0,6$  м/с,  $t = 0,005$  мм, СОТС отсутствует)

Продольная подача в полях ширины абразивного круга, (ВК)	Температура контакта, $t^{\circ}C$	Шероховатость, $Ra$ (мкм)	Снижение микротвердости, $\alpha$ (%)
0,1 ВК	170	0,29	–
0,2 ВК	245	0,42	4,6
0,3 ВК	310	0,53	5,1
0,4 ВК	390	0,72	8,0

Таблица 7

Влияние СОТС на показатели процесса шлифования  
( $V_k = 30$  м/с,  $V_d = 0,4$  м/с,  $t = 0,010$  мм,  $S = 0,3$  Вк)

Количество подаваемой	Шероховатость, $Ra$ (мкм)	Снижение микротвердости, $\alpha$ (%)
0	1,25	16
0,032	0,62	6,3
0,064	0,52	3,6
0,096	0,48	2,4
0,320	0,44	2,4
0,670	0,40	1,9

На параметры шлифования оказывает влияние круговая подача (скорости вращения детали) (табл. 5).

Экспериментом было установлено, что при  $V_d = 1,16$  м/с и выше наступает качественное изменение параметров процесса резания, которое сопровождается ростом сил резания, интенсификацией температур и активным налипанием металла на грани зерен абразива. На основе изложенного значение  $V_d = 1,16$  м/с следует считать допустимым пределом.

Количество абразивных зерен, участвующих в процессе резания элементарно-

го сечения обработки, во многом зависит от величины продольной подачи ( $S$ ) влияющей на параметры качества поверхностного слоя деталей (табл. 6).

Анализ влияния продольной подачи и требований к шероховатости восстановленных деталей показывает, что задавать величину  $S$  более 0,3 Вк нецелесообразно.

Современное шлифование металлов в основном производится с подачей СОТС. Подача 5% раствора эмульсора из насадки, равной ширине круга, падающей струей показала эффективность до ~0,1 л/с (табл. 7).

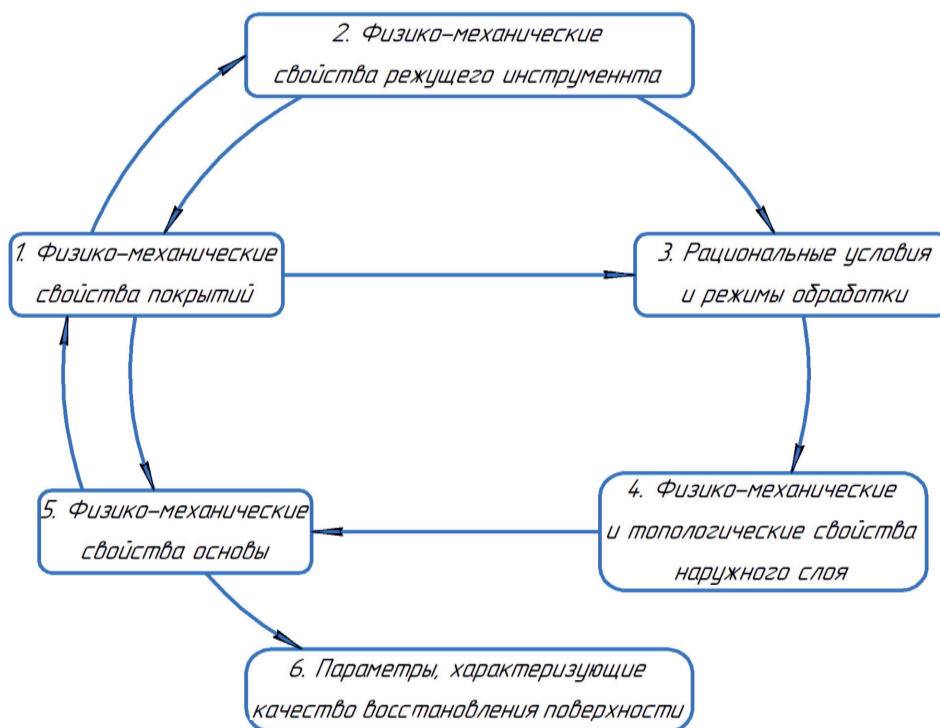


Схема связи факторов, обеспечивающих формирование исходных слоев твердого железа

Повышение количества СОТС свыше 0,1 л/с менее ощутимо для снижения шероховатости и дефектности наружного слоя, но оно резко улучшает условия резания шлифовального круга.

Механическая обработка сопровождается противоборством между обрабатываемым металлом и прочностными свойствами режущего инструмента. Физико-механические свойства твердого железа (фактор 1) оказывают влияние на физико-механические свойства режущего инструмента (фактор 2), это: материал и величина зерна абразива, твердость, вид связи и структура и др. Результатом взаимодействия покрытия и инструмента является рациональные режимы и условия обработки (рисунок) (фактор 3), выходными параметрами которых являются физико-механические и топологические свойства наружного слоя. Выходные параметры характеризуются комплексом показателей качества восстановленной поверхности детали (фактор 6).

Параметры (фактор 6) могут быть равны утраченными или превзойти их (лучший вариант), а возможно и уступать утраченным свойствам (худший вариант). Из рассмотренной схемы взаимосвязи групп факторов следует, что фактор 4 формируется в процессе механической обработки. Он является

заключительной стадией в восстановительной технологии и одной из ответственных.

### Выводы

1. Установлено, что применимость режущего инструмента для механической обработки твердого железа находится в прямой связи с адгезионной инертностью к железу. Обработка шлифованием сопровождается оплавлением частиц твердого железа и их налипанием на вершины абразивных зерен. Данные эксперимента показывают, что наибольшей универсальностью обладает шлифовальный круг с материалом абразивных зерен белого электрокорунда 24А.

2. С целью повышения работоспособности навощённого слоя при его обработке необходимо сохранять неизменной величину микротвердости, полученную в процессе электролиза, поэтому на операции чистового шлифования твердого железа эффективен припуск до 0,2 мм.

3. Выявлено, что шлифованием получают наиболее качественные исходные слои при использовании абразивного круга 24А40СМ26К1 с введением ограничений по режимам резания;  $V_k = 20-30$  м/с,  $V_d = 0,6-1,16$  м/с,  $t =$  до 0,12 мм,  $S = (0,2 - 0,3)V_k$ ,  $i$  до 2. Для повышения



качества исходного слоя и гидроочистки абразивного круга рекомендуется обработку вести с подачей СОТС в объеме свыше 0,1 л/с.

#### Список литературы

1. Гречишников В.А., Яшков В.А., Пивкин П.М., Романов В.Б., Исаев А.В., Маслов А.Р. Абразивные инструменты для обработки отверстий в деталях робототехнических комплексов // СТИН. 2016. № 9. С. 11–14.
2. Яшков В.А., Силин Л.В. Технология внутреннего шлифования без тепловых эффектов // СТИН. 2012. № 3. С. 22–25.
3. Худобин Л.В., Михайлин С.М., Унянин А.Н., Веткасов Н.И. Контактные температуры и силы шлифования кругами, термообработанными по микроволновой технологии // Вектор науки Тольяттинского государственного университета. 2010. № 4 (14). С. 81–86.
4. Веткасов Н.И., Крупенников О.Г., Улитин С.И. Исследование механизмов проникающего и смазочного действий тсм при шлифовании кшк // Инновационные технологии в металлообработке Всероссийская научно-практическая заочная конференция с международным участием: сборник научных трудов (посвящается 90-летию Заслуженного деятеля науки и техники РСФСР, д.т.н., профессора Л.В. Худобина). Отв. ред. Н.И. Веткасов. 2019. С. 381–386.
5. Степанов А.В., Веткасов Н.И. Повышение качества поверхностного слоя шлифованных заготовок путем применения многослойных смазочных покрытий // Техника и технологии машиностроения: материалы IV международной студенческой научно-практической конференции. Редакционная коллегия: Е.Н. Еремин (отв. ред.), Ю.О. Филиппов, А.Г. Анатольев. 2015. С. 226–229.
6. Маталин А.А. Технологические методы повышения долговечности деталей машин. Киев: Техника, 1971. 210 с.
7. Худобин Л.В., Михайлин С.М., Унянин А.Н., Веткасов Н.И. Технологическая эффективность композиционных шлифовальных кругов на бакелитовой связке // СТИН. 2012. № 7. С. 20–24.