

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ АБРАЗивно-ОБДИРОЧНОГО ИНСТРУМЕНТА НА ОСНОВЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЕГО СОСТАВА

Сидоров Д.Е., Богуцкий В.Б., Колесов А.Г., Савельев Н.В.
Севастопольский государственный университет, Севастополь

Ключевые слова: абразивно-обдирочный инструмент, абразивный материал, металлоабразивные отходы, технологический процесс, состав абразивных масс, наполнитель.

Аннотация. Показано, что для обдирочной обработки сортового проката, слитков и отливок в настоящее время активно используются процессы обдирочного шлифования, в которых наиболее нестабильным элементом технологического процесса является абразивный инструмент, который претерпевает существенные изменения за период стойкости, вследствие износа режущих элементов и их выкрашивания из связки. На снижение сырьевой составляющей себестоимости абразивно-обдирочного инструмента является использование вторичных сырьевых компонентов, содержащих в своем составе порошкообразный металл, которые не представляют большой материальной ценности. В специализированном производстве обдирочного инструмента применены два принципиально новых технологических процесса изготовления: технология с использованием ускоренного горячего прессования инструмента и технология с использованием силовой бакелизации инструмента.

DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY FOR THE MANUFACTURE OF ABRASIVE ROUGHING TOOLS BASED ON THE STUDY OF ITS COMPOSITION

Sidorov D.E., Bogutskiy V.B., Kolesov A.G., Savelyev N.V.
Sevastopol State University, Sevastopol

Keywords: abrasive roughing tool, abrasive material, metal-abrasive waste, technological process, composition of abrasive masses, filler.

Abstract. It is shown that for the roughing of long products, ingots and castings, the processes of roughing grinding are currently actively used, in which the most unstable element of the technological process is an abrasive tool, which undergoes significant changes over the period of durability, due to wear of the cutting elements and their discoloration from the bundle. To reduce the raw material component of the cost of the abrasive-stripping tool is the use of secondary raw materials containing powdered metal in their composition, which do not represent great material value. In the specialized production of stripping tools, two fundamentally new manufacturing processes have been applied: technology using accelerated hot pressing of the tool and technology using power bakelization of the tool.

Введение. Для обдирочной обработки сортового проката, слитков и отливок в настоящее время используются процессы обдирочного шлифования [1-3]. Наиболее нестабильным элементом технологического процесса является абразивный инструмент, который претерпевает существенные изменения, за период стойкости, вследствие износа режущих элементов и их выкрашивания из связки [3, 4].

Качественный уровень абразивного инструмента определяется свойствами исходных сырьевых компонентов, их составом и количественной характеристикой сочетания [5].

Материалы и методы исследований. При производстве обдирочного абразивного инструмента на предприятиях отечественной абразивной промышленности в составах абразивных масс в качестве наполнителя используется, криолит (Na_3AlF_6) и другие компоненты [6], качественная картина использования которых, приведена в таблице 1 данной статьи. Количественные соотношения и другие сведения, пригодные к непосредственному использованию, в литературе, практически, отсутствуют.

В своем исходном состоянии (до начала изготовления инструмента) фенолоформальдегидное связующее представляет собой олигомер: низкомолекулярный линейный полимерный материал, относящийся к классу резолов – термореактивных смол [7].

В процессе термообработки, в результате поликонденсации (реакция с выделением воды), образуется пространственная трехмерная структура – резит. Степень завершенности реакции

определяется в химическом аспекте количеством образовавшихся межмолекулярных связей:

$$K_{равн} = \frac{[C] \cdot [H_2O]}{[A] \cdot [B]}, \quad (1)$$

где $K_{равн}$ – константа равновесия; $[C]$ – концентрация полимера; $[A]$, $[B]$ – концентрация олигомера; $[H_2O]$ – концентрация воды.

Табл. 1. Влияние веществ-дегидратантов на степень отверждения и термостойкость бакелитового связующего

Наполнитель	Концентрация наполнителя, %	Степень отверждения связующего, %	Термостойкость связующего, °С	Концентрация наполнителя, %	Степень отверждения связующего, %	Термостойкость связующего, °С
Оксид кальция (CaO)	0	81,31	300	40	82,08	312
	10	81,47	301	50	82,16	321
	20	81,81	305	60	82,19	327
	30	81,93	308	70	82,24	332
Сульфат кальция (CaSO ₄)	0	81,31	300	40	82,15	315
	10	81,38	301	50	82,27	325
	20	81,68	305	60	82,35	332
	30	81,98	309	70	82,41	338
Сульфат меди (CuSO ₄)	0	81,31	300	40	82,29	318
	10	81,42	301	50	82,35	322
	20	81,71	304	60	82,45	330
	30	81,97	309	70	82,49	335

Для того, чтобы сместить константу равновесия в сторону образования полимера и повысить тем самым степень завершенности реакции поликонденсации необходимо нейтрализовать или отвести воду из реакционной массы. С целью разработки рекомендаций по количественному соотношению и компонент, был произведен морфологический анализ составов по данным существующих исследований.

На основе данных морфологического анализа в качестве наполнителя, были выбраны оксид кальция (CaO), сульфат кальция (CaSO₄) и сульфат меди (CuSO₄).

Результаты. Исследования проводились на образцах (таблетках) массой 0,5 г, запрессованных с усилием 30 Н/мм², а также на абразивно-обдирочных кругах прямого профиля с размерами 150x25x32 мм. Результаты экспериментов приведены в таблице 1.

В результате увеличения концентрации вводимых наполнителей наблюдается повышение степени отверждения и термостойкости связки. Данный результат объясняется тем, что при взаимодействии с выделяющейся в процессе поликонденсации водой оксид кальция превращается в гидроксид кальция [Ca(OH)₂], сульфат кальция образует аквакомплексы [CaSO₄·nH₂O], сульфат меди образует аквааминокомплексы [Cu(NH₃)₄SO₄·H₂O], взаимодействуя также с аммиаком, выделяющимся в процессе разложения гексаметилентетрамина.

В таблице 2 приведены данные экспериментальных исследований о степени влияния веществ-дегидратантов на режущие свойства, стойкость и прочность инструмента при обработке круглого проката диаметром 40мм из стали 45 при вертикальной составляющей силы резания $P_y=200Н$, скорости осевого перемещения детали $V_{oc,d}=0,1167м/с$, скорости вращения шлифовального круга $V_k=40м/с$.

В результате проведенных исследований найдены концентрации: оксида и сульфата кальция – 3%, сульфата меди – 5%, улучшающие эксплуатационные свойства инструмента.

Табл. 2. Влияние веществ-дегидратантов на свойства инструмента

Количество наполнителя, %	Свойства абразивно-обдирочного круга								
	Твердость, З.И.			Период стойкости, мин.			Коэффициент шлифования		
	CaO	CaSO ₄	CuSO ₄	CaO	CaSO ₄	CuSO ₄	CaO	CaSO ₄	CuSO ₄
1	34	34	35	32,6	29,8	35,8	15	14	13
3	38	38	37	54,7	58,2	42,7	18	16	15
5	35	37	36	40,2	44,1	43,5	17	19	18
7	34	35	34	38,5	34,3	34,1	16	15	15
10	33	32	33	35,4	25,1	30,8	15	15	14
Круг, не содержащий веществ-дегидратантов	32			31			11		

Известно, что степень отверждения полимеров на основе феноло-формальдегидных смол зависит от наличия, эффективности и концентрации веществ-отвердителей. Производственный опыт показывает, что наличие в порошкообразной феноло-формальдегидной смоле (пудербакелите) 7,4% отвердителя – уротропина недостаточно для получения качественной связки. Увеличение количества пудербакелита сверх 15...17% резко снижает режущие свойства инструмента, а жидкого бакелита – до 10...14% ухудшает технологичность массы, повышает удельные выделения фенола, аммиака и других токсичных веществ [9].

Как показали исследования [5], повышение прочности и режущей способности инструмента при одновременном сокращении токсичных выбросов обеспечивается вводом в состав массы в качестве отвердителя формалина (40%-ный водный раствор формальдегида) в количестве 2,5...3,5%. Превышение приводит к охрупчиванию связки. Пудербакелит при этом ограничивается 8...13%, жидкий бакелит – 3,75...7%, а соотношение жидкого бакелита и формалина – 1,5...2:1.

Положительный результат объясняется химическим взаимодействием формалина с фенолами (5...6% в пудвер-бакелите, 10...20% в жидком бакелите) и образованием в результате дополнительных линейных молекул феноло-формальдегидной смолы. Обеспечивается также химическое связывание фенола, существенно снижающее его выброс в окружающую среду.

В целях максимального использования возможностей простых в реализации процессов холодного прессования предложена технология, предусматривающая применение порошкообразного полиамида, 5...30% пудербакелита и термообработку до температуры 215...220°C с выдержкой 18...24 часа. Взаимодействуя с выделяющимся при разложении уротропина формальдегидом, полиамид образует метилполиамидные соединения, обладающие высокой прочностью и адгезионной способностью, которая обусловлена наличием т.н. метилольных групп. Являясь терморезистивным материалом, метилполиамид при нагреве, в процессе термической обработки заготовки круга, переходит в неплавкое и нерастворимое состояние. Отвержденные метилполиамиды обладают повышенной термостойкостью. Во время термообработки пудербакелит, реагируя с образовавшимся метилполиамидом, образует привитой сополимер, также характеризующийся высокой прочностью. Благодаря вовлечению части выделяющегося формальдегида в реакцию с полиамидом, сокращается количество вредных выбросов.

Появляется возможность упрочнения связки и повышения ее термостойкости путем ввода в массу геля этилсиликата, модифицированного добавками В₂О₃ и Al₂O₃, благодаря образованию высокопрочных фаз, армирующих связку [8]. При этом, площади поверхности геля и пудербакелита должны быть равны между собой. Оптимальное количество геля составляет 4...40%, соотношение добавок В₂О₃:Al₂O₃=4:3...2:1, а их количество – 1...10% в зависимости от содержания SiO₂ в геле.

Влияние количества вводимого геля этилсиликата на температуру деструкции связки (T_d , °C), максимальную окружную (разрывную) скорость (V_p , м/с) и коэффициент шлифования Кш проиллюстрировано на рисунке 1.

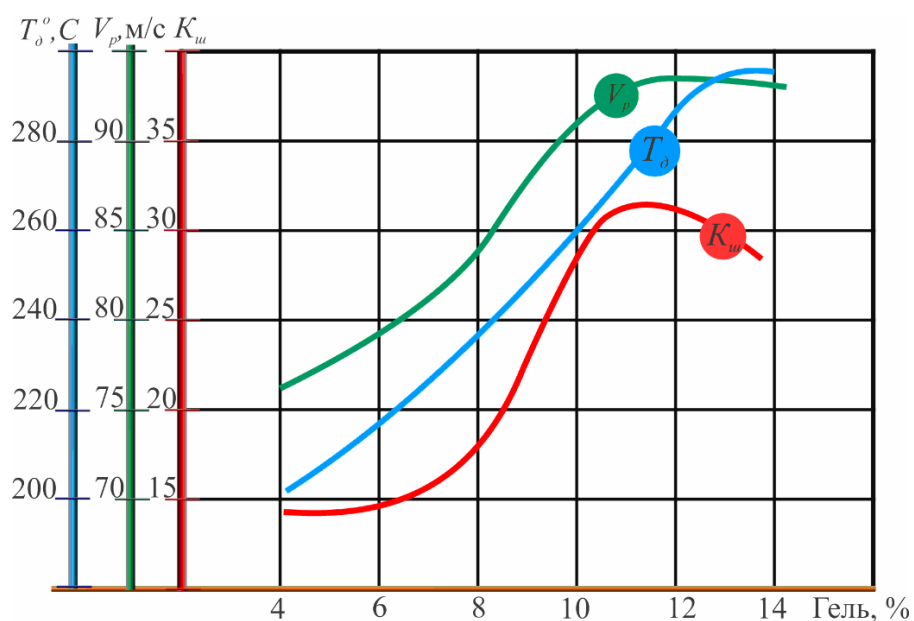


Рис. 1. Влияние геля этилсиликата на качественные характеристики инструмента

Известны исследования, касающиеся ввода в абразивную массу в качестве водопоглощающего наполнителя карбамида $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ в количестве 4...23% [9]. Являясь доступным для массового производства веществом, карбамид, между тем, разлагается при термообработке на двуокись углерода CO_2 и аммиак NH_3 , сопровождаясь парообразованием, повышением токсичности выбросов.

Ввод в массу комплексного наполнителя в составе каменноугольного кокса (3,5...6,5%) и термически обработанного известняка (5,5...6,5%) [8] также не приводит к получению ощутимого технического эффекта, поскольку обожженный известняк – оксид кальция CaO , взаимодействуя с выделяющейся при поликонденсации водой, превращается в гидроксид кальция $\text{Ca}(\text{OH})_2$ – рыхлое щелочное соединение [9]. Отсюда – замедление процесса отверждения феноло-формальдегидного связующего и увеличение продолжительности термообработки. Гораздо лучшие результаты обеспечиваются применением безводного гипса: сульфат кальция $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (до обжига) и CaSO_4 (более 90%, с примесями CaO до 1,5%...2%, в готовом виде). Ввод в состав абразивной массы 2...10% гипса (при полном отсутствии криолита) обеспечивает повышение режущих свойств инструмента в 1,3...1,5 раза.

При изготовлении абразивно-обдирочного инструмента, предназначенного для эксплуатации в условиях значительных контактных давлений – обработка твердых материалов, неоднородных поверхностей (например, слитков и отливок), ребер заготовки и т.п. – оправдан ввод в состав массы в качестве наполнителя измельченного огнеупорного кирпича. Размер частиц должен быть соизмерим с размером абразивных зерен. Материал вводится в абразивную массу в количестве 3...15% при одновременном использовании криолита, 1...4%, пульвербакелита и жидкого бакелита, 6...12% и 2...6%.

Наличие в абразивном круге измельченных отходов динасовых огнеупоров, которые содержат до 94,0% оксида кремния (кварца) SiO_2 – хрупкого материала с низкой термостойкостью, но достаточной адгезией с бакелитовой связкой, обеспечивает высокую механическую прочность инструмента при облегченном порообразовании в зоне резания, что необходимо для самозатачивания круга. Измельченные отходы шамотных огнеупоров, содержащих до 40% электрокорунда Al_2O_3 (SiO_2 – 60%), обеспечивают, помимо облегченного самозатачивания, наличие в круге дополнительных режущих компонентов.

Магнезитовые огнеупоры, содержащие до 94% оксида магния MgO , характеризуются значительной теплостойкостью – температура плавления MgO в 1,25...1,3 раза выше температуры плавления электрокорунда (2800...2900 $^\circ\text{C}$ против 2050...2100 $^\circ\text{C}$). Поэтому ввод в состав абразивной массы измельченных отходов магнезитовых огнеупоров обуславливает повышение температуры начала снижения прочностных свойств инструмента. Результаты

исследований проиллюстрированы на рисунке 2. Очевидно повышение в 1,5...3 раза режущих свойств инструмента.

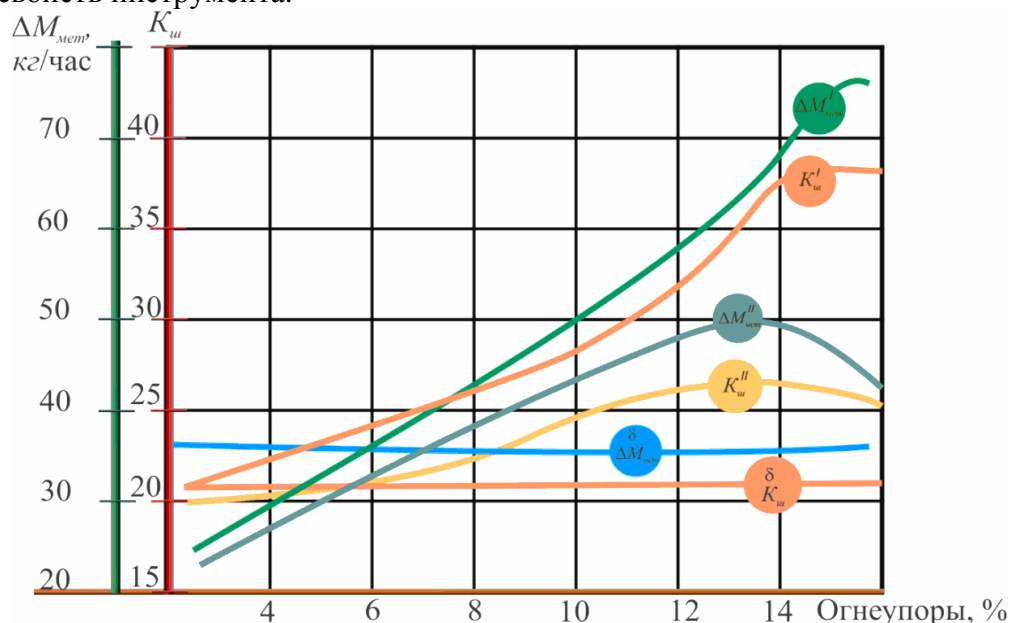


Рис. 2. Влияние измельченных огнеупоров в составе абразивного инструмента на его свойства: коэффициент шлифования $K_{ш}^{\delta}$; скорость съема металла $\Delta M_{мет}^{\delta}$ – базовый инструмент (без огнеупоров); $K_{ш}^I$, $K_{ш}^{II}$, $\Delta M_{мет}^I$, $\Delta M_{мет}^{II}$ – данные при обработке сталей ШХ15 и Р6М5, соответственно. Абразивный круг прямого профиля с размерами 300x40x76 мм

Известны попытки ввода в состав абразивной массы веществ, улучшающих процессы микрорезания металла. Отметим наиболее распространенные в работах различных авторов подходы: ввод порошкообразного и волокнистого графита, борфтористого калия KBF_4 . При определенном смазывающем эффекте, который нивелируется по мере увеличения глубины обработки и размера зерен, данные вещества существенно разупрочняют связку.

В предложенном решении наполнитель, в качестве которого использован термообработанный карналлит, играет комплексную роль, упрочняя связку и улучшая условия обработки. Являясь соединением хлоридов калия и магния, карналлит обладает высокой гигроскопичностью. Находясь в составе абразивной массы, при взаимодействии с водой в период протекания реакции поликонденсации, он образует кристаллогидрат с шестью молекулами воды $KCl \cdot MgCl_2 \cdot 6H_2O$. В результате эффективного отвода образующейся воды снижается количество остаточных пор в связке, чем улучшается ее прочность. Образующиеся в результате контактных реакций непосредственно в процессе шлифования хлориды железа различных групп $FeCl_2$, $FeCl_3$, Fe_2Cl_6 имеют в 2...5 раз более низкую, чем обрабатываемая сталь температуру плавления – 307...677°C, а, следовательно, существенно более низкие температуры начала снижения прочностных свойств, что улучшает условия микрорезания. Имеющий относительно низкую температуру плавления – 710...770°C, непрореагировавший карналлит, расплавляясь в зоне шлифования, образует пленку, являющуюся эффективной смазкой, что также облегчает условия обработки. Как показали эксперименты, оптимальное количество карналлита в составе абразивной массы составляет 1...6%. Технологический процесс массоприготовления включает в себя выдержку измельченного карналлита при 400°C в течение 2 часов, с целью дегидратации.

Как показывает практика ведущих мировых производителей, направление улучшения условий микрорезания металла путем использования в составе круга металлических порошков не может, между тем, быть рекомендовано к массовому использованию в силу высокой стоимости порошков (в 5...10 раз превосходящей цену абразивных зерен). Перспективным в технико-экономическом отношении является использование вторичных сырьевых компонентов, содержащих в своем составе порошкообразный металл.

Предлагается использовать в качестве наполнителя металлоабразивные отходы обдирочного шлифования, являющихся доступным и не имеющим эффективного применения сырьем. Они содержат более 90% металлической фракции, остальное – абразивные зерна, присутствие которых в зоне резания является позитивным фактором. Рекомендуемое количество вводимых металлоабразивных отходов – 2...10%. Большие значения соответствуют инструменту для обработки полупродукта и сталей, не склонных к трещинообразованию. Размер частиц металлической фракции не должен превышать $(1,5...2,5)n$, где n – размер абразивных зерен. Состав остальных компонентов абразивной массы: абразивное зерно – 74...93%; пульвербакелит – 2...8%; жидкий бакелит – 1,5...4%; криолит – 1...4%. В качестве порошкообразного металлического наполнителя может быть использована измельченная окалина, дающая, между тем, меньший упрочняющий эффект. Наиболее эффективно, как показали наши исследования, применение комплексного наполнителя, содержащего окалину и порошкообразный графит в соотношении 2,5:1...6:1.

Одним из наиболее эффективных и экономичных путей повышения прочности и режущей способности инструмента является заполнение образующихся в связке при поликонденсации пор легкодоступным, гигроскопичным материалом, обладающим, к тому же, малой массой. В результате выполненных исследований в качестве такого материала были предложены измельченные отходы стекловолокнистого материала (стеклосетки), используемого для армирования абразивного инструмента, покрытие сорбентом – алюмосиликатами. Количество материала – 0,5...2,5% при сочетании основных компонентов: абразивное зерно – 78...84%, жидкий бакелит – 2...4%, криолит – 2...5%, остальное – пульвербакелит.

Количество вводимого стекловолокнистого материала определяется из условия заполнения объема, занимаемого порами, и рассчитывается по формуле [11]:

$$M_{см} = \frac{V_k \cdot K_b \cdot K_{пб}}{\rho_{см}}, \quad (2)$$

где $M_{см}$, $\rho_{см}$ – масса и плотность стекловолокнистого материала, вводимого в круг; V_k – объем абразивного круга; K_b – содержание бакелита в составе абразивной массы; $K_{пб}$ – потери бакелита при поликонденсации.

В таблице 3 схематично проиллюстрирован комплекс базовых технологий производства инструмента. Как видно из приведенных данных в таблице 3, в специализированном производстве инструмента применены два принципиально новых технологических процесса: технология с использованием ускоренного горячего прессования инструмента и технология с использованием силовой бакелизации инструмента. Новизной в используемых традиционных технологиях, базирующихся на методах холодного и горячего прессования, являются технологические процессы термической обработки и приготовления абразивной массы, составы абразивного инструмента и специальные технические средства.

Выводы. Таким образом, в результате выполненных исследований разработана технология подготовки абразивных зерен к дальнейшему использованию, согласно которой отходы абразивно-обдирочного инструмента дробятся, затем отжигаются путем нагрева до температуры 700...1000°C и выдержки при этой температуре в течение 2...5 часов, после чего просеиваются. Пределы температуры отжига обусловлены тем, что при температуре ниже 700°C не происходит полного распада (крекинга) бензольного ядра феноло-формальдегидной смолы, а свыше 1000°C начинаются процессы плавления и спекания имеющихся в круге неорганических наполнителей. В результате термообработки структура абразивного зерна претерпевает улучшение благодаря исчезновению пор размерами $10^{-7}...10^{-6}$ м за счет диффузии. Изготовление абразивных кругов включает смешивание абразивных зерен со связкой, содержащей связующий компонент и наполнитель, холодное и горячее прессование, выпрессовывание и термообработку в печи в специальной оснастке. Установлен оптимальный состав компонентов: извлеченное из отходов абразивное зерно – 83...93%, жидкий бакелит – 2...5%, пульвербакелит – 3...7%, комплексный наполнитель – 2...5%. Использование

технологии позволяет снизить себестоимость абразивного инструмента в 1,5...2 раза, что делает технологию особо привлекательной в условиях крупносерийного выпуска продукции.

Табл. 3. Основные базовые технологии изготовления абразивно-обдирочного инструмента в промышленном производстве

Наименование базовой технологии	Основные аспекты технологий	
	Традиционные технологии	Предлагаемые технологии
Технологии изготовления инструмента с использованием холодного прессования	<pre> graph TD A[Приготовление массы] --> B[Холодное прессование] B --> C[Выпрессовка] C --> D[Т.О. в печи] </pre>	Технологическая схема та же, отличиям являются: <ol style="list-style-type: none"> 1. Режим термообработки (Т.О.) 2. Составы абразивных масс 3. Технология приготовления абразивной массы 4. Т.О. в специальной оснастке
Технологии изготовления инструмента с использованием ускоренного горячего прессования	Не существует	<pre> graph TD A[Приготовление массы] --> B[Холодное прессование] B --> C[Горячее прессование] C --> D[Выпрессование и Т.О. в печи в спец. оснастке] </pre> <p>+ нагрев в пресс-форме до температуры жидкотекучего состояния</p>
Технологии изготовления инструмента с использованием горячего прессования	<pre> graph TD A[Приготовление массы] --> B[Прессование в холодном состоянии Т.О. под плитами прессы+давление] </pre>	Технологическая схема та же, отличиям является: <ol style="list-style-type: none"> 1. Режим термообработки (Т.О.) 2. Составы абразивных масс 3. Технология приготовления абразивной массы 4. Т.О. в специальной оснастке
Технологии изготовления инструмента с использованием силовой бакелизации	Не существует	<pre> graph TD A[Приготовление массы] --> B[Холодное прессование] B --> C[Установка в бакелизатор] C --> D[Горячее прессование] </pre> <p>+ нагрев в пресс-форме до температуры жидкотекучего состояния</p> <p>+ Т.О. в бакелизаторе с силовыми элементами</p>

Многочисленные исследования различных авторов по поиску альтернативных абразивных материалов, имевшие в своем абсолютном большинстве отрицательный результат, свидетельствуют об отсутствии реальных перспектив нахождения инженерных решений, пригодных к использованию в практике изготовления абразивного инструмента высших категорий качества. Между тем, с учетом масштабов использования в черной металлургии и других отраслях абразивно-обдирочного инструмента рядового назначения, поиск и создание новых абразивных материалов, ориентированный, в первую очередь, на снижение сырьевой составляющей себестоимости инструмента за счет использования вторичных сырьевых компонентов, содержащих в своем составе порошкообразный металл, имеет перспективы и практическую значимость.

Список литературы

1. Bratan S.M., Roshchupkin S.I., Kharchenko A.O., Belousov S.V. Quality improvement of manufacturing rolling mill rolls // CIS Iron and Steel Review. 2021, vol. 22, pp. 2631. DOI: 10.17580/cisisr.2021.02.05.

2. Bratan S.M., Roshchupkin S.I., Chasovitina A. The correlation of movements in the technological system during grinding precise holes // Materials Science Forum. 2021, vol. 1037, pp. 384-389. DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.1037.384.
3. Roshchupkin S.I., Sidorov D.E., Kolesov A.G. Assessment of the actual depth of cutting with cylindrical external grinding // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment 2019. 2020, p. 022010. DOI: 10.1088/1757-899X/709/2/022010.
4. Богуцкий В.Б., Шрон Л.Б. Изменение характеристик рабочей поверхности шлифовального круга за период его стойкости // Вестник ЮУрГУ. Серия «Машиностроение». – 2019. – Т. 19, № 2. – С. 66-74. – DOI: 10.14529/engin190206.
5. Гаршин А.П., Гронянов В.М., Логунов Ю.В. Абразивные материалы. – Л.: Машиностроение, 1983. – 230 с.
6. Сталинский Д.В., Сизый Ю.А. Оптимальное проектирование динамических систем обдирочно-шлифовальных станков. – Харьков: Харьковский государственный политехнический университет, 2000. – 113 с.
7. Якимов А.В. Абразивно-алмазная обработка фасонных поверхностей. – М.: Машиностроение, 1984. – 310 с.
8. Основы проектирования и технология изготовления абразивного и алмазного инструмента / Ю.М. Ковальчук, В.А. Букин, Б.А. Глаговский и др. – М.: Машиностроение, 1984. – 288 с.
9. Сувор С.П. Расчет рецептур абразивного инструмента на пульвер-бакелитовой связке // Абразивы. – 1979. – № 4. – С. 8-11.
10. Околович Г.А. Металловедение инструментального производства. [Электронный ресурс]: монография. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2020. – Режим доступа: http://elib.altstu.ru/uploads/open_mat/2020/Okolovich_MetvedInstrProiz_mono.pdf.
11. ГОСТ 32652-2014 Композиты полимерные. Препреги, премиксы и слоистые материалы. Определение содержания стекловолокна и минеральных наполнителей. Методы сжигания. – Введ. 2014.01.09. – М.: Стандартиформ, 2014. – 19 с.

References

1. Bratan S.M., Roshchupkin S.I., Kharchenko A.O., Belousov S.V. Quality improvement of manufacturing rolling mill rolls // CIS Iron and Steel Review. 2021, vol. 22, pp. 2631. DOI: 10.17580/cisirs.2021.02.05.
2. Bratan S.M., Roshchupkin S.I., Chasovitina A. The correlation of movements in the technological system during grinding precise holes // Materials Science Forum. 2021, vol. 1037, pp. 384-389. DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.1037.384.
3. Roshchupkin S.I., Sidorov D.E., Kolesov A.G. Assessment of the actual depth of cutting with cylindrical external grinding // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment 2019. 2020, p. 022010. DOI: 10.1088/1757-899X/709/2/022010.
4. Bogutsky V.B., Shron L.B. Change in the characteristics of the grinding wheel face during its redress life // Bulletin of the South Ural State University. Series Mechanical Engineering. 2019, vol. 19, no. 2, pp. 66-74. DOI: 10.14529/engin190206.
5. Garshin A.P., Gronyanov V.M., Logunov Yu.V. Abrasive materials. – L.: Mechanical Engineering, 1983. – 230 p.
6. Stalinsky D.V., Siziy Yu.A. Optimal design of dynamic systems for peeling and grinding machines. – Kharkov: Kharkov State Polytechnic University, 2000. – 113 p.
7. Yakimov A.V. Abrasive-diamond processing of shaped surfaces. – M.: Mechanical Engineering, 1984. – 310 p.
8. Fundamentals of design and manufacturing technology of abrasive and diamond tools / Yu.M. Kovalchuk, V.A. Bukin, B.A. Glagovsky et al. – M.: Mechanical Engineering, 1984. – 288 p.
9. Surov S.P. Calculation of abrasive tool formulations on a pulverized-bakelite bond // Abrasives. 1979, no. 4, pp. 8-11.
10. Okolovich G.A. Metallurgy of tool production. [Electronic resource]: monograph. – Barnaul: Publ. house of AltSTU, 2020. – Access mode: http://elib.altstu.ru/uploads/open_mat/2020/Okolovich_MetvedInstrProiz_mono.pdf.
11. GOST 32652-2014 Polymer composites. Prepregs, premixes and laminates. Determination of the content of glass fiber and mineral fillers. Burning methods. – Introduction 2014.01.09. – M.: Standartinform, 2014. – 19p.

Сведения об авторах:

Information about authors:

Сидоров Денис Евгеньевич – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры Технологии машиностроения	Sidorov Denis Evgenievich – candidate of technical sciences, associate professor of the Department of mechanical engineering technology
Богуцкий Владимир Борисович – кандидат технических наук, доцент кафедры Технологии машиностроения	Bogutskiy Vladimir Borisovich candidate of technical sciences, associate professor of the Department of mechanical engineering technology
Колесов Александр Геннадьевич – кандидат технических наук, доцент кафедры Технологии машиностроения	Kolesov Alexander Gennadievich – candidate of technical sciences, associate professor of the Department of mechanical engineering technology
Севельев Николай Викторович – аспирант sidorov-sntu@yandex.ru	Savelyev Nikolay Viktorovich – postgraduate student

Получена 12.06.2022