

Е.Б. Иманбаев<sup>1</sup>, К.Т. Шеров<sup>2\*</sup>, Б.Т. Мардонов<sup>3</sup>, Л.Н. Махмудов<sup>3</sup>,  
М.Т. Усербаев<sup>2</sup>, И.С. Куанов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Карагандинский технический университет им. А. Сагинова, Караганда, Казахстан

<sup>2</sup>Казахский агротехнический университет им. С. Сейфуллина, Нур-Султан, Казахстан

<sup>3</sup>Навоийский государственный горно-технологический университет, Навои, Узбекистан

E-mail: [y.imanbayev@gmail.com](mailto:y.imanbayev@gmail.com), [shkt1965@mail.ru](mailto:shkt1965@mail.ru), [mbt69@mail.ru](mailto:mbt69@mail.ru), [lmm\\_76@mail.ru](mailto:lmm_76@mail.ru), [usermur@mail.ru](mailto:usermur@mail.ru), [isa\\_kuan@mail.ru](mailto:isa_kuan@mail.ru)

## Экспериментальное исследование твердости наплавленной поверхности при различных способах термофрикционного фрезерования

**Аннотация.** В данной статье приводятся результаты исследования, направленного для решения проблемы обеспечения твердости наплавленных поверхностей после механической обработки. В качестве механической обработки предложены два способа термофрикционного фрезерования - традиционное термофрикционное фрезерование и термофрикционное фрезерование с импульсным охлаждением. Для проведения экспериментальных исследований выполнено планирование эксперимента и определено необходимое количество проводимых опытов. Для обработки были подготовлены специальные образцы с наплавленным слоем из наплавочного материала, который используется на производстве ТОО «Электровоз құрастыру зауыты» (г. Нур-Султан, Казахстан). Результаты экспериментальных исследований показали, что оба способа термофрикционного фрезерования обеспечивает повышение твердости наплавленной поверхности. Также изучено влияние режимов фрезерования на твердость обработанной поверхности. Установлены оптимальные значения режимов фрезерования, которые обеспечивают повышение исходной твердости обработанной поверхности.

**Ключевые слова:** термофрикционное фрезерование, импульсное охлаждение, твердость, наплавочный материал, изнашивание, ремонт

DOI: [doi.org/10.32523/2616-7263-2022-139-2-62-71](https://doi.org/10.32523/2616-7263-2022-139-2-62-71)

### Введение

Анализ состояния ремонтного производства локомотивных и вагоностроительных производств показал, что существует проблема нарастающего износа деталей локомотивов и вагонов, особенно автосцепной части подвижного состава [1].

ТОО «Электровоз құрастыру зауыты» выпускает грузовые и пассажирские электровозы серий KZ8A и KZ4A, а также занимается ремонтом и восстановлением деталей и узлов подвижного состава. Одним из таких основных узлов, подвергающихся циклическому ремонту и восстановлению деталей, является автосцепное устройство подвижного состава.

В результате исследования технологии ремонта деталей автосцепного устройства было выявлено, что существует проблема обеспечения качества, связанная с механической обработкой и наплавкой изношенных поверхностей деталей. Не всегда удается сохранить исходную твердость наплавочного материала после наплавки или после механической обработки [2].

На рисунке 1 показана деталь «замок автосцепного устройства», который после наплавки подвергается механической обработке – торцовому фрезерованию.



а) – детали, подготовленные для наплавки; б) – детали с наплавкой

Рисунок 1 - Детали автосцепного устройства

Для наплавки изношенных поверхностей деталей автосцепного устройства применяется наплавочный материал (электрод) SURRADUR 400В. Твердость наплавочного материала (электрода) SURRADUR 400В составляет HB 320÷450.

Для повышения исходной твердости наплавочного материала после наплавки путем механической обработки предлагаются способы термофрикционной обработки – традиционное термофрикционное фрезерование и термофрикционное фрезерование с импульсным охлаждением.

### Основная часть

Выбираем факторы матрицы планирования:  $x_1$  - скорость вращения инструмента, об/мин,  $x_2$  – подача, мм/мин,  $x_3$  – глубина резания, мм, функцией отклика  $Y$  выбираем – твердость поверхности заготовки после обработки, мкм.

Количество опытов составит  $N=2^3$ . Модель построена в виде следующей зависимости:

$$Y = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_3 \cdot x_3. \quad (1)$$

При планировании опыта для упрощения используют так называемые кодированные значения рассматриваемых факторов [3,4].

Уровни варьирования запишем упрощенным способом: верхний уровень соответствует +1, нижний - 1, а основной 0 (таблица 1).

Таблица 1 – Уровни варьирования

Уровни	$x_1$	$x_2$	$x_3$
Основной уровень $x_{j0}$	2500	375	3
Интервал варьирования $I_j$	500	175	2
Уровни	$x_1$	$x_2$	$x_3$
Нижний уровень -1	2000	200	1
Верхний уровень +1	3000	550	5

Условия проведения этого опыта зафиксируем матрицей планирования (таблица 2).

Таблица 2 – Матрица планирования

Номер опыта	$x_0$	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$Y$
1	+	+	+	+	$Y_1$
2	+	-	+	+	$Y_2$
3	+	+	-	+	$Y_3$
4	+	-	-	+	$Y_4$
5	+	+	+	-	$Y_5$
6	+	-	+	-	$Y_6$
7	+	+	-	-	$Y_7$
8	+	-	-	-	$Y_8$

Экспериментальное исследование твердости поверхности при различных способах термофрикционного фрезерования было проведено на лабораторной базе кафедры «Технологическое оборудование, машиностроение и стандартизация» Карагандинского технического университета имени А. Сагинова.

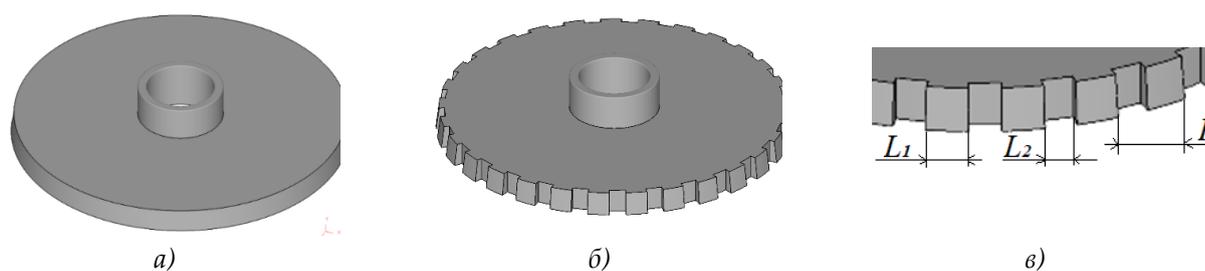
Для фрезерования были подготовлены образцы, наплавленные наплавочным материалом (электрод) SURRADUR 400В.

Для исследования процесса традиционного термофрикционного фрезерования с использованием гладкой фрезы трения были использованы следующие режимы фрезерования:  $n_{ф} = 1000 \div 3000$  об /мин;  $S = 80 \div 300$  мм/мин;  $t = 0,5 \div 2,5$  мм. Гладкая фреза трения  $\varnothing 285$  мм.

Также для исследования процесса термофрикционного фрезерования с импульсным охлаждением с использованием фрезы трения с выемками были использованы следующие режимы фрезерования:  $n_{фр} = 1000 \div 3000$  об /мин;  $S = 80 \div 300$  мм/мин;  $t = 0,5 \div 2,5$  мм.

Фреза трения с геометрическими параметрами:  $\varnothing 285$  мм; зона нагрева  $L_1 = 26$  мм; зона охлаждения  $L_2 = 6$  мм, соответственно шаг  $L = 32$  мм. Геометрия фрезы трения была выбрана согласно рекомендациям [5,6].

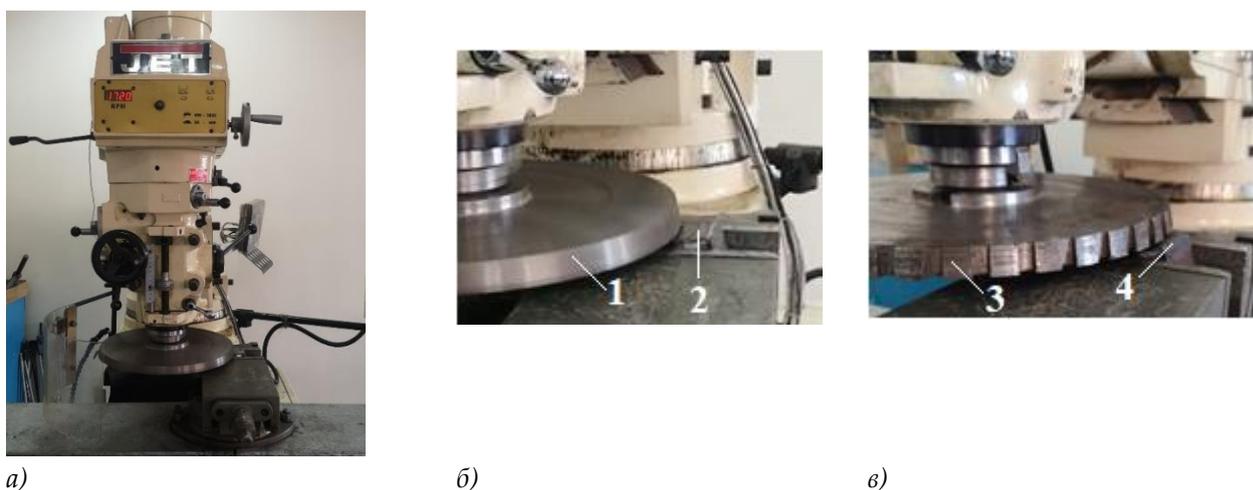
На рисунке 2 показаны фрезы трения и геометрия фрезы трения с выемками.



$a$  – гладкая фреза трения;  $b$  – фреза трения с выемками;  $c$  – геометрия фрезы трения с выемками;  $L_1$ –зона нагрева;  $L_2$ – зона охлаждения;  $L$ – шаг зоны

Рисунок 2 – Фрезы трения и геометрия фрезы трения с выемками

На рисунке 3 показан процесс обработки способами термофрикционного фрезерования.

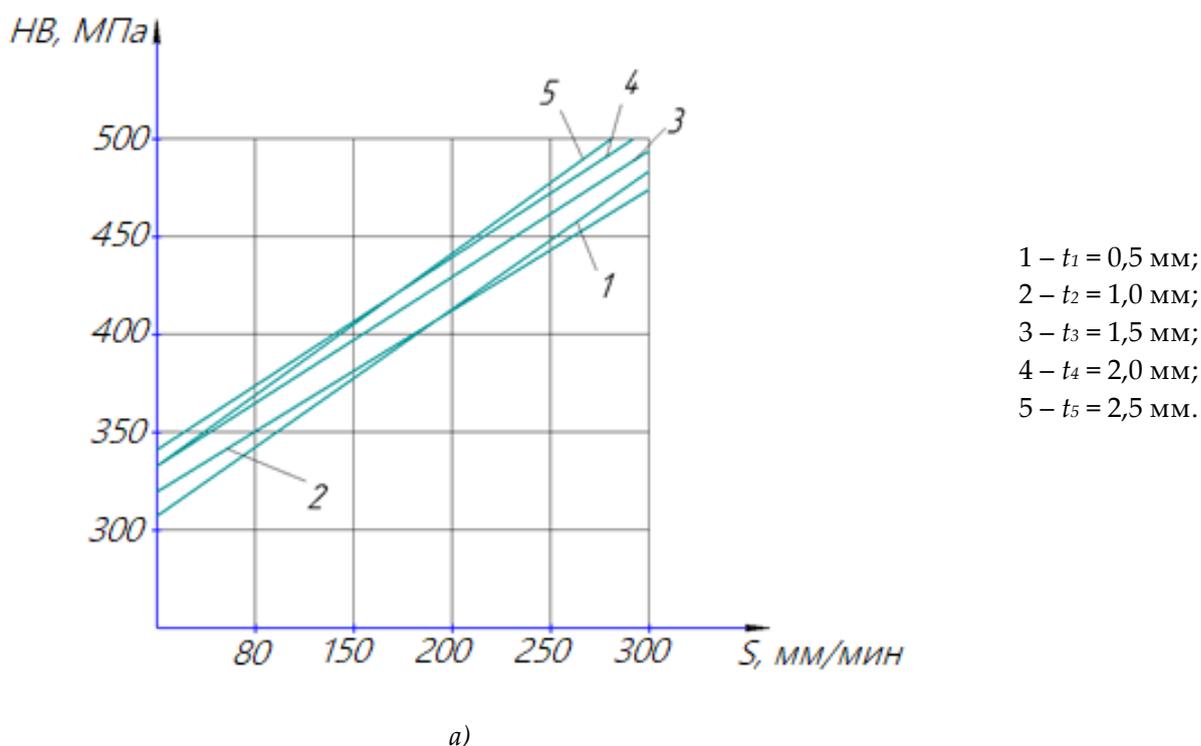


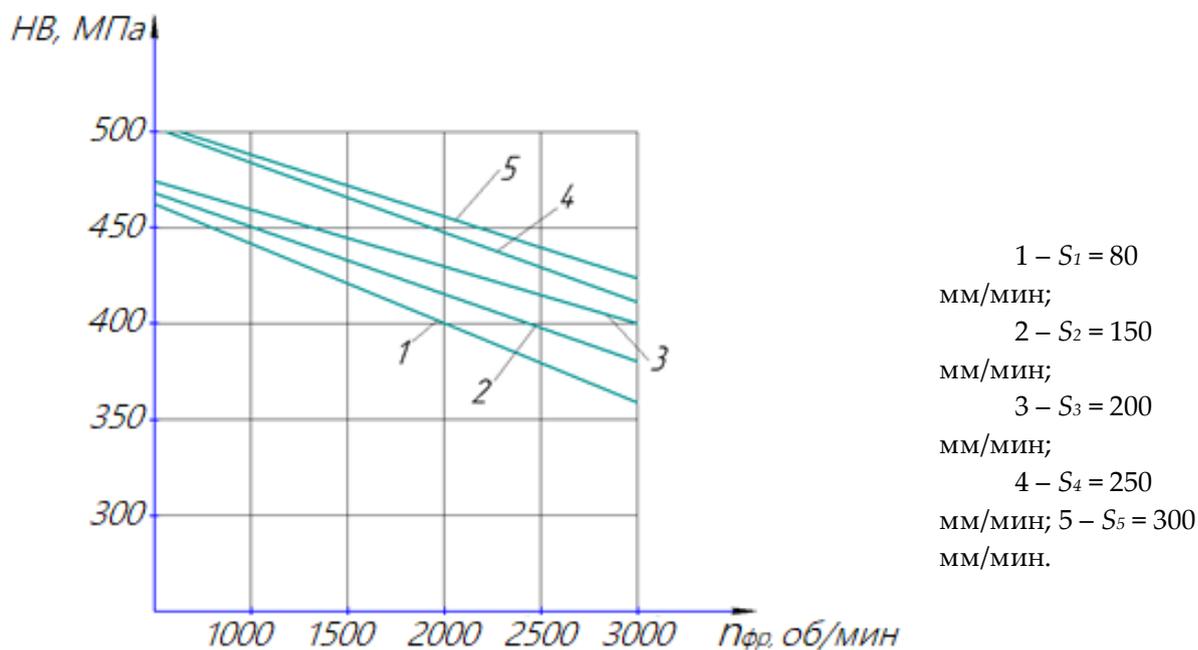
а - вертикально-фрезерный станок модели JTM-1050 VSE JET; б - процесс фрезерования гладкой фрезой трения; в - процесс фрезерования фрезой трения с выемками; 1 -гладкая фреза трения; 2,4 - образец-заготовки; 3 - фреза трения с выемками

Рисунок 3 - Процессы обработки способами термофрикционного фрезерования

Экспериментально были исследованы влияния режимов фрезерования на твердость обработанной поверхности после наплавки.

На рисунке 4 показаны графики влияния режимов фрезерования гладкой фрезой трения на твердость обработанной поверхности после наплавки.



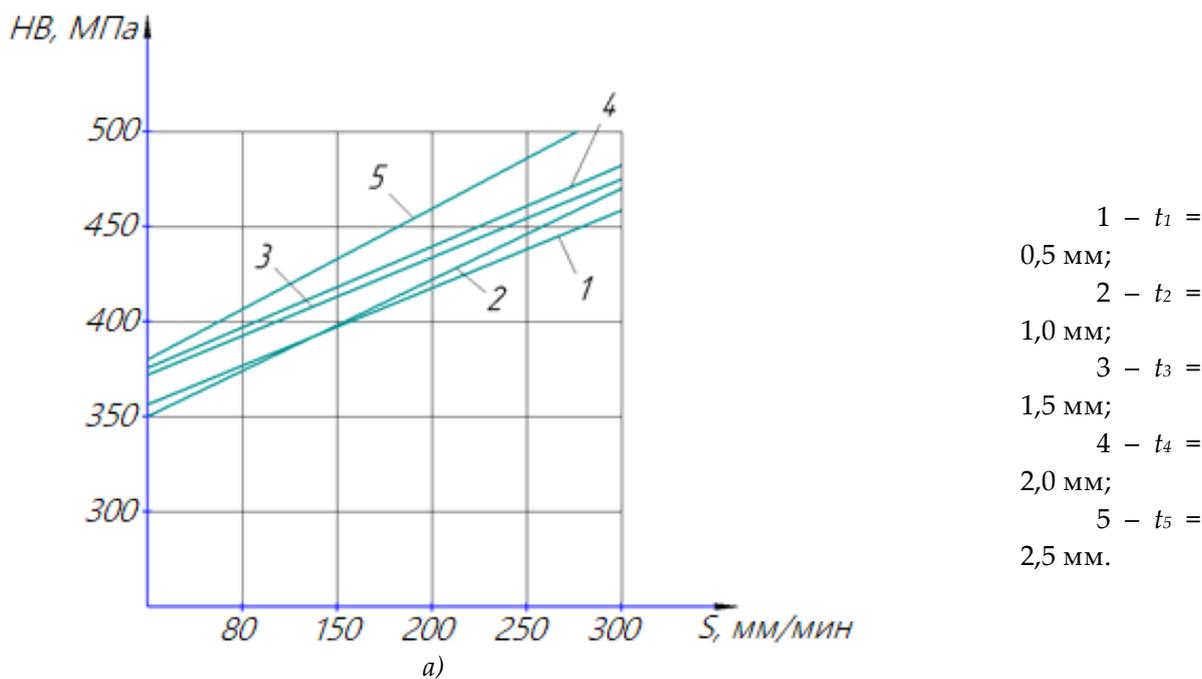


б)

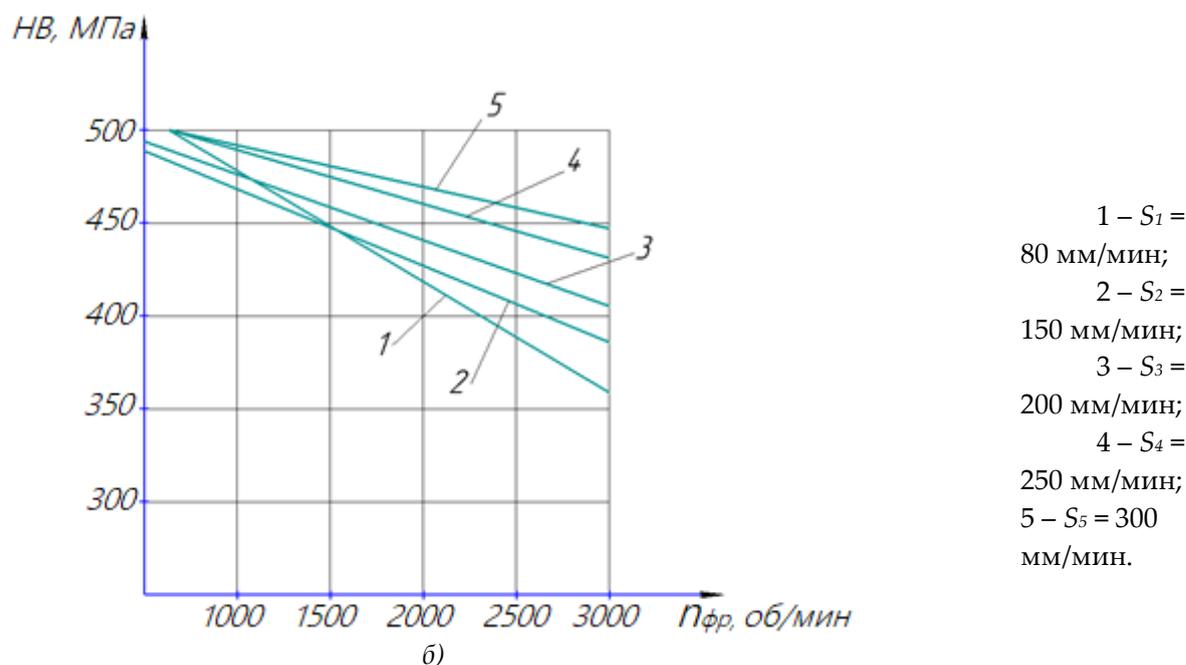
*a* – влияние глубины резания при различных скоростях подачи на твердость; *б* – влияние подачи при различных скоростях резания на твердость

Рисунок 4 – Графики влияния режимов фрезерования гладкой фрезой трения на твердость

На рисунке 5 показаны графики влияния режимов фрезерования с импульсным охлаждением с использованием фрезы трения с выемками на твердость обработанной поверхности после наплавки.



а)



*a* – влияние глубины резания при различных скоростях подачи на твердость; *b* – влияние подачи при различных скоростях резания на твердость

Рисунок 5 – Графики влияния режимов фрезерования с импульсным охлаждением с использованием фрезы трения с выемками на твердость

### Обсуждение

При традиционном термофрикционном фрезеровании с использованием гладкой фрезы трения влияние глубины резания  $t$  и скорости подачи  $S$  носит монотонный характер (см. рис. 4а). С увеличением значения глубины резания  $t$  и скорости подачи  $S$  значение твердости обработанной поверхности после наплавки увеличивается. Оптимальными значениями глубины резания и скорости подачи выбираем  $S = 300$  мм/мин и  $t = 0,5$  мм. Из графика (см. рис. 4а) видно, что максимальные значения обоих режимов обеспечивают более высокую твердость обработанной поверхности после наплавки. Однако чрезмерное увеличение значения глубины резания нежелательно, так как это приводит к большему расходу наплавочного материала. Учитывая данные факторы, выбрали значение глубины резания  $t = 0,5$  мм. При этом (см. рис.4а, кривой 1) твердость обработанной поверхности составляет НВ480, что на  $\approx 7\%$  (НВ30) больше, чем исходная твердость (НВ450) наплавленной поверхности.

А увеличение значения подачи  $S$  и скорости резания  $n_{фр}$ , наоборот, приводит к уменьшению твердости обработанной поверхности после наплавки (см. рис. 4б). При этом оптимальными будут максимальное значение подачи  $S = 300$  мм/мин и минимальное значение скорости резания  $n_{фр} = 1000$  об/мин. При этом так же твердость обработанной поверхности составляет НВ480 (см. рис.4б, кривой 5).

Результаты термофрикционного фрезерования с импульсным охлаждением с использованием фрезы трения специальными выемками приведены на рисунке 5. Из графиков видно, что характер влияния режимов фрезерования такой же, как и при традиционном термофрикционном фрезеровании. Увеличение значения глубины резания  $t$  и скорости подачи  $S$  положительно сказываются на твердости обработанной поверхности после наплавки (см. рис. 5а). А увеличение значения подачи  $S$  и скорости резания  $n_{фр}$  отрицательно влияют на значение

твердости обработанной поверхности после наплавки (см. рис. 5а). Выбираем оптимальные значения режимов фрезерования:  $S = 300$  мм/мин;  $t = 0,5$  мм;  $n_{фр} = 1000$  об/мин.

Результаты показывают, что при режимах фрезерования  $S = 300$  мм/мин и  $t = 0,5$  мм (см. рис.5а, кривой 1) твердость обработанной поверхности составляет НВ460, что на 1,0% (НВ10) больше, чем исходная твердость (НВ450) наплавленной поверхности. При режимах фрезерования  $S = 300$  мм/мин и  $n_{фр} = 1000$  об/мин твердость обработанной поверхности составляет НВ480 (см. рис.5б, кривой 5), как и при традиционном термофрикционном фрезеровании (см. рис.4б, кривой 5).

В результате при обоих способах термофрикционного фрезерования наплавленной поверхности достигнуты положительные результаты по повышению его исходной твердости. Однако при традиционном термофрикционном фрезеровании с использованием гладкой фрезы трения достигнута более высокая твердость (НВ480) обработанной поверхности.

### Выводы

1. Для решения проблемы повышения исходной твердости наплавленных поверхностей деталей автосцепного устройства после механической обработки были предложены два способа термофрикционного фрезерования - традиционное термофрикционное фрезерование и термофрикционное фрезерование с импульсным охлаждением.

2. Результаты экспериментального исследования фрезерования наплавленных поверхностей образцов способами термофрикционного фрезерования показали положительные результаты при обоих способах обработки. Достигнуто повышение исходной твердости обработанной поверхности в пределах  $1 \div 7$  %, что составляет соответственно  $10 \div 60$  НВ.

3. Установлено, что при обоих способах фрезерования увеличение значения глубины резания  $t$  и скорости подачи  $S$  положительно сказываются на твердости обработанной поверхности после наплавки, а увеличение значения подачи  $S$  и скорости резания  $n_{фр}$  влияют отрицательно. С учетом обеспечения минимального расхода наплавочного материала для обоих способов фрезерования были выбраны следующие оптимальные режимы фрезерования:  $S = 300$  мм/мин;  $t = 0,5$  мм;  $n_{фр} = 1000$  об/мин.

### Список литературы

1. Иманбаев Е.Б., Шеров К.Т., Мардонов Б.Т. Исследование технологии ремонта и восстановления деталей автосцепного устройства подвижного состава // Труды международной научно-практической конференции «Интеграция науки, образования и производства – основа реализации Плана нации» (Сагиновские чтения №12), Часть 2. – Караганда: Изд-во КарГТУ, 2020. – С.324-326.

2. Иманбаев Е.Б., Шеров К.Т., Мардонов Б.Т. Исследование твердости наплавленных поверхностей деталей автосцепного устройства подвижного состава / Труды университета. – Караганда: Изд-во КарТУ, 2022.- №1(86)- С.5-10. DOI 10.52209/1609-1825\_2022\_1\_5

3. Кадыров А.С., Кадырова И.А. Основы научных исследований. –Караганда: КарГТУ, 2015. – 279 с.

4. Реброва И.А. Планирование эксперимента: учеб. пос. – Омск: СибАДИ, 2010. – 105 с.

5. Айнабекова С.С., Шеров К.Т., Мусаев М.М., Габдысалык Р., Иманбаев Е.Б. Исследование и определение оптимальной геометрии дисковой пилы для термофрикционной отрезки малоуглеродистой стали / Вестник КазНИТУ. – Алматы: Изд-во КазНИТУ им. К. Сатпаева, 2020.- №5(141)- С.440-446.

6. Sherov, K.T., Ainabekova S.S. Tusupova S.O. [Sagitov](#) A.A. [Imanbaev](#) E.B. Thermofrictional

Cutting with Pulsed Cooling / Russian Engineering Research. Vol. 40, pp. 926–929 (2020).  
<https://doi.org/10.3103/S1068798X20110179>

Е.Б. Иманбаев<sup>1</sup>, К.Т. Шеров<sup>2\*</sup>, Б.Т. Мардонов<sup>3</sup>, Л.Н. Махмудов<sup>3</sup>,  
М.Т. Усербаев<sup>2</sup>, И.С. Қуанов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>А. Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды, Қазақстан

<sup>2</sup>С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті, Нұр-Сұлтан, Қазақстан

<sup>3</sup>Науайы мемлекеттік тау-кен және технологиялық университеті, Науайы, Өзбекстан

### Термофрикционды фрезерлеудің әртүрлі әдістерімен өңдеу кезінде балқымаланған беттің қаттылығын тәжірибелік зерттеу

**Андатпа.** Мақалада өңдеуден кейін балқымаланған беттердің қаттылығын қамтамасыз ету мәселесін шешуге бағытталған зерттеу нәтижелері берілген. Механикалық өңдеу ретінде термофрикционды фрезерлеудің екі әдісі ұсынылады – дәстүрлі термофрикционды фрезерлеу және импульстік салқындатумен термофрикционды фрезерлеу.

Эксперименттік зерттеулер жүргізу үшін экспериментті жоспарлау жүргізілді және қажетті эксперименттер саны анықталды. Өңдеу үшін «Электровозқұрастыру зауыты» ЖШС (Нұр-Сұлтан, Қазақстан) өндірісінде қолданылатын жабын материалымен балқымаланған қабатқа ие арнайы үлгілер дайындады. Эксперименттік зерттеулердің нәтижелері термофрикционды фрезерлеудің екі әдісі де балқымаланған беттің қаттылығының жоғарылауын қамтамасыз ететінін көрсетті.

Фрезерлеу режимдерінің өңделген беттің қаттылығына әсері де зерттелді. Өңделген беттің бастапқы қаттылығын арттыруды қамтамасыз ететін фрезерлеу режимдерінің оңтайлы мәндері белгіленді.

**Кілт сөздер:** термофрикциондық фрезерлеу; импульстік салқындату; қаттылық; жабын материалы; тозу; жөндеу.

E.B. Imanbaev<sup>1</sup>, K.T. Sherov<sup>2\*</sup>, B.T. Mardonov<sup>3</sup>, L.N. Mahmudov<sup>3</sup>,  
M.T. Usserbaev<sup>2</sup>, I.S. Kuanov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Karaganda Technical University named after A. Saginova, Karaganda, Kazakhstan

<sup>2</sup>S. Seifullin Kazakh Agro Technical University, Nur-Sultan, Kazakhstan

<sup>3</sup>Navoi State Mining and Technological University, Navoiy, Uzbekistan

### Experimental study of the hardness of the deposited surface with various methods of thermofriction milling

**Annotation.** The article presents the results of a study aimed at solving the problem of ensuring the hardness of the deposited surfaces after machining. The authors propose two methods of thermofriction milling as mechanical processing such as traditional thermofriction milling and thermofriction milling with pulsed cooling. To conduct experimental studies, the authors determined the planning of the experiment was carried out and the required number of experiments.

For processing, special samples were prepared with a deposited layer of surfacing material, which is used in the production of Electric Locomotive Kurastyru Zauyty LLP (Nur-Sultan, Kazakhstan). The

results of experimental studies have shown that both methods of thermofriction milling provide an increase in the hardness of the deposited surface. The article investigates the influence of milling modes on the hardness of the machined surface. The optimal values of milling modes have been established, which provide an increase in the initial hardness of the machined surface.

**Keywords:** thermal friction milling; impulse cooling; hardness; surfacing material; wear; repair.

## References

1. Imanbayev Ye.B., Sherov K.T., Mardonov B.T. Issledovaniye tekhnologii remonta i vosstanovleniya detaley avtostsepnogo ustroystva podvizhnogo sostava // Trudy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Integratsiya nauki, obrazovaniya i proizvodstva – osnova realizatsii Plana natsii» (Saginovskiye chteniya №12), Chast' 2. – Karaganda: Izd-vo KarGTU, 2020. – S.324-326.
2. Imanbayev Ye.B., Sherov K.T., Mardonov B.T. Issledovaniye tverdosti naplavlennykh poverkhnostey detaley avtostsepnogo ustroystva podvizhnogo sostava / Trudy universiteta. – Karaganda: Izd-vo KarTU, 2022.- №1(86)- S.5-10. DOI 10.52209/1609-1825\_2022\_1\_5
3. Kadyrov A.S., Kadyrova I.A. Osnovy nauchnykh issledovaniy. –Karaganda: KarGTU, 2015. – 279 s.
4. Rebrova I.A. Planirovaniye eksperimenta: ucheb. pos. – Omsk: SibADI, 2010. – 105 s.
5. Aynabekova S.S., Sherov K.T., Musayev M.M., Gabdysalyk R., Imanbayev Ye.B. Issledovaniye i opredeleniye optimal'noy geometrii diskovoy pily dlya termofriktsionnoy otrezki malouglerodistoy stali / Vestnik KazNITU. – Almaty: Izd-vo KazNITU im. K. Satpayeva, 2020.- №5(141)- S.440-446.
6. Sherov, K.T., Ainabekova S.S. Tusupova S.O. [Sagitov A.A.](#) [Imanbaev E.B.](#) Thermofrictional Cutting with Pulsed Cooling / Russian Engineering Research. Vol. 40, pp. 926–929 (2020). <https://doi.org/10.3103/S1068798X20110179>

### Сведения об авторах:

**Иманбаев Е.Б.** – докторант кафедры «Технологическое оборудование, машиностроение и стандартизация» Карагандинского технического университета имени А. Сагинова, пр. Н. Назарбаева 56, Караганда, Казахстан.

**Шеров К.Т.** – доктор технических наук, профессор кафедры «Технологические машины и оборудование» Казахского агротехнического университета имени С. Сейфуллина, пр. Женис 62, Нур-Султан, Казахстан.

**Мардонов Б.Т.** - доктор технических наук, профессор, проректор Навоийского государственного горно-технологического университета, ул. Галаба Шох, 27, Навои, Узбекистан.

**Махмудов Л.Н.** – преподаватель кафедры «Технология машиностроения» Навоийского государственного горно-технологического университета, ул. Галаба Шох, 27, Навои, Узбекистан.

**Усербаев М.Т.** – кандидат технических наук, заведующий кафедрой «Технологические машины и оборудование» Казахского агротехнического университета имени С. Сейфуллина, пр. Женис, 62, Нур-Султан, Казахстан.

**Куанов И.С.** - докторант кафедры «Технологические машины и оборудование» Казахского агротехнического университета имени С. Сейфуллина, пр. Женис, 62, Нур-Султан, Казахстан.

**Imanbaev E.B.** - Ph.D. student of the Department of Technological equipment, mechanical engineering and standardization" of the Karaganda Technical University named after A. Saginov, Karaganda, N. Nazarbayev Ave. 56, Kazakhstan.

**Sherov K.T.** - Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of "Technological Machines and Equipment" of the Kazakh Agrotechnical University named after S. Seifullin, Nur-Sultan, Zhenis Ave. 62, Kazakhstan.

***Mardonov B.T.*** - Doctor of Technical Sciences, Professor, Vice-Rector of the Navoi State Mining and Technology University, Navoi, Galaba Shoh 27, Uzbekistan.

***Makhmudov L.N.*** – Lecturer at the Department of Engineering Technology of the Navoi State Mining and Technology University, Navoi, Galaba Shokh st. 27, Uzbekistan.

***Usserbaev M.T.*** - Candidate of Technical Sciences, Head of the Department "Technological Machines and Equipment" of the Kazakh Agrotechnical University named after S. Seifullin, Nur-Sultan, Zhenis Ave. 62, Kazakhstan.

***Kuanov I.S.*** - doctoral student of the department "Technological machines and equipment" of the Kazakh Agrotechnical University named after S. Seifullin, Nur-Sultan, Zhenis avenue 62, Kazakhstan.