

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ ИЗ СТАЛИ МАРКИ HARDOX НА ОСНОВЕ ТЕРМОФРИКЦИОННОГО РЕЗАНИЯ

АННОТАЦИЯ

к диссертационной работе докторанта Куанова Иса Сериковича
на соискание доктора философии (PhD) по образовательной программе
8D07105 – «Механическая инженерия»

1. Актуальность работы.

В современных условиях развития машиностроительной отрасли Республики Казахстан особое значение приобретает повышение эффективности механической обработки труднообрабатываемых материалов, используемых при изготовлении высоконагруженных и износостойких деталей машин и оборудования. В связи с интенсивным развитием горнодобывающей, металлургической, строительной, транспортной и перерабатывающей промышленности возрастает потребность в материалах, обладающих высокой прочностью, твердостью и износостойкостью. Одним из таких материалов является сталь марки HARDOX, выпускаемая компанией SSAB (Швеция), которая получила широкое распространение благодаря своим высоким эксплуатационным характеристикам.

Стали HARDOX применяются при изготовлении ковшей экскаваторов, кузовов карьерных самосвалов, дробильного оборудования, футеровок, режущих элементов, транспортеров, бункеров, элементов дорожной и строительной техники, а также другого оборудования, работающего в условиях интенсивного абразивного износа. Основными преимуществами HARDOX являются высокая твердость, повышенная ударная вязкость, устойчивость к механическому износу и длительный срок службы. Однако указанные свойства одновременно существенно осложняют процессы механической обработки материала.

При обработке HARDOX традиционными способами резания наблюдаются интенсивный износ режущего инструмента, повышенное тепловыделение в зоне резания, ухудшение качества обработанной поверхности, снижение стойкости инструмента и увеличение себестоимости изготовления деталей. Особенно остро данные проблемы проявляются при выполнении операций фрезерования и отрезки, которые наиболее часто применяются при обработке HARDOX на машиностроительных предприятиях.

Анализ отечественных и зарубежных научных исследований показал, что существующие методы обработки HARDOX в основном ориентированы на использование дорогостоящего импортного инструмента, специальных твердых сплавов, плазменной, лазерной или гидроабразивной обработки. Однако данные технологии отличаются высокой стоимостью оборудования и значительными эксплуатационными затратами. В условиях отечественного машиностроения возникает необходимость разработки более экономичных и эффективных способов обработки труднообрабатываемых материалов.

Одним из перспективных направлений является применение термофрикционного резания, основанного на локальном нагреве материала за счет трения высокоскоростного инструмента о поверхность заготовки. Использование термофрикционного воздействия позволяет уменьшить сопротивление резанию, снизить силовые нагрузки на инструмент и повысить производительность обработки. Особый интерес представляет технология термофрикционного фрезерования с

импульсным охлаждением, позволяющая локализовать температурные и деформационные процессы в зоне контакта «инструмент–заготовка».

В связи с этим разработка технологии обработки деталей из стали марки HARDOX на основе термофрикционного резания является актуальной научно-технической задачей, имеющей важное значение для повышения эффективности отечественного машиностроительного производства.

2. Объект исследования. Технологические процессы механической обработки деталей из труднообрабатываемых материалов, в частности из стали марки HARDOX 450, при использовании термофрикционного резания с импульсным охлаждением.

3. Цель исследования. Разработка технологии обработки деталей из стали марки HARDOX на основе термофрикционного резания с импульсным охлаждением, обеспечивающей повышение эффективности механической обработки, снижение износа инструмента и улучшение качества обработанной поверхности.

Для достижения поставленной цели были определены следующие задачи:

- провести анализ существующих технологий обработки стали HARDOX и определить современное состояние проблемы;
- исследовать существующие конструкции и способы термофрикционной обработки труднообрабатываемых материалов;
- разработать специальную конструкцию фрикционной фрезы для обработки HARDOX 450 с импульсным охлаждением;
- провести экспериментальные исследования процесса термофрикционного фрезерования HARDOX;
- определить влияние режимов резания на шероховатость и твердость обработанной поверхности;
- разработать математические модели оценки показателей качества обработанной поверхности;
- выполнить моделирование тепловых процессов в зоне резания с использованием программных комплексов ANSYS WB и DEFORM-3D;
- определить экономическую эффективность предлагаемой технологии и разработать рекомендации для внедрения в производство.

4. Методы и методики. В ходе выполнения диссертационной работы использовались:

- методы анализа и обобщения научно-технической литературы;
- экспериментальные методы исследования процессов резания;
- методы планирования эксперимента;
- методы математической статистики и регрессионного анализа;
- металлографические исследования;
- измерение шероховатости и твердости обработанной поверхности;
- методы компьютерного моделирования на основе конечных элементов;
- программные комплексы ANSYS Workbench, DEFORM-3D и STATISTICA 10.

5. Научная новизна работы. Научная новизна диссертационной работы заключается в следующем:

- разработан новый способ обработки деталей из стали HARDOX на основе термофрикционного резания с импульсным охлаждением;
- разработана специальная конструкция фрикционной фрезы для обработки HARDOX 450;
- экспериментально установлены закономерности влияния режимов резания на шероховатость и твердость обработанной поверхности;

- впервые получены математические зависимости для оценки качества поверхности после термофрикционного фрезерования:

- о шероховатость:

$$Ra = 4,62 - 1,77 \cdot x_1 + 0,83 \cdot x_2 + 0,57 \cdot x_3 + 0,26 \cdot x_4.$$

- о твердость:

$$HB = 448,27 - 7,31 \cdot x_1 + 14,81 \cdot x_2 + 3,4 \cdot x_3 + 5,65 \cdot x_4$$

- разработана номограмма выбора оптимальных режимов обработки;
- впервые выполнено моделирование температурно-деформационного состояния при термофрикционном фрезеровании HARDOX 450 с использованием ANSYS WB и DEFORM-3D;

- установлено, что температура в зоне резания не превышает температуру рекристаллизации HARDOX 450, что обеспечивает сохранение эксплуатационных свойств материала.

6. Область применения. Разработанная технология термофрикционной обработки деталей из стали HARDOX может быть использована на машиностроительных, горнодобывающих, металлургических, ремонтно-механических и металлообрабатывающих предприятиях, занимающихся изготовлением и восстановлением деталей, работающих в условиях интенсивного абразивного износа и ударных нагрузок.

7. Практическая значимость работы. Практическая значимость диссертационной работы заключается:

- в разработке технологии термофрикционной обработки HARDOX;
- в создании конструкций специальных фрикционных фрез и режущих дисков;
- в снижении износа режущего инструмента;
- в повышении производительности механической обработки;
- в снижении себестоимости изготовления деталей;
- в возможности внедрения технологии на машиностроительных предприятиях Республики Казахстан.

Разработанная технология внедрена в производственных условиях ТОО «Steel Manufacturing» и ООО «Нестандартные машиностроительные изделия».

8. Личный вклад автора. заключается в постановке задач и разработке методики исследования; разработке и изготовлении специальных конструкций фрезы трения и режущих дисков, технологической и инструментальной оснастки; определение оптимальных режимов обработки, организации и проведении экспериментальных исследований термофрикционного фрезерования с импульсным охлаждением, термофрикционной отрезки с импульсным охлаждением, а также термофрикционной обработки открытых и закрытых шпоночных пазов в стали HARDOX.

9. Апробация работы. Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались:

- на международной научно-практической конференции «Сагиновские чтения» (Караганда, 2021);
- на международных конференциях «Сейфуллинские чтения» (Астана, 2021–2022);
- на заседаниях кафедры «Технологические машины и оборудование» КазАТИУ;
- на технических советах ТОО «Steel Manufacturing» и ООО «Нестандартные машиностроительные изделия».

10. Публикации. По теме диссертации опубликовано 14 научных работ, в том

числе:

- 2 статьи в международных научных изданиях, индексируемых в Scopus и Clarivate;
- 4 статьи в изданиях, рекомендованных КОКНВО МНВО РК;
- 5 доклада в материалах международных конференций;
- получено 2 патента Республики Казахстан на полезную модель;
- получено свидетельство о государственной регистрации авторских прав.

11. Объем и структура диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, пяти разделов, заключения, списка использованных источников и приложений. Работа изложена на 119 страницах машинописного текста, содержит 66 рисунков, 18 таблиц, список литературы из 110 наименований и приложения.

12. Выводы по диссертационной работе.

В процессе выполнения диссертационной работы были проведены комплексные научные исследования, направленные на решение актуальной проблемы механической обработки деталей из стали HARDOX, и получены следующие результаты:

1. Разработан новый способ обработки деталей из стали HARDOX на основе термофрикционного резания с импульсным охлаждением, обеспечивающий снижение сопротивления резанию, уменьшение тепловой нагрузки на инструмент и повышение эффективности обработки труднообрабатываемых материалов.

2. Разработаны и изготовлены специальные термофрикционные инструменты, технологическая и инструментальная оснастка, необходимые для реализации процесса термофрикционной обработки деталей из стали HARDOX. Предложенные конструкции обеспечивают устойчивость процесса резания и возможность обработки материалов высокой твердости.

3. Экспериментально установлено, что при термофрикционном фрезеровании обеспечивается шероховатость обработанной поверхности в диапазоне:

$$Ra=1,0-7,5 \text{ мкм}$$

что соответствует 5–7 классам шероховатости.

Установлено также, что исходная твердость стали HARDOX 450 в процессе обработки не снижается, а путем изменения режимов резания появляется возможность управления твердостью обработанной поверхности в требуемых пределах.

4. Экспериментально доказана возможность:

- применения термофрикционного способа резания с использованием режущих инструментов, изготовленных из неинструментальных материалов (сталь HARDOX 450, Сталь 20, СЧ15), для обработки деталей из стали HARDOX;
- выполнения различных технологических операций, в частности:
 - о торцового фрезерования;
 - о резки заготовок;
 - о обработки открытых и закрытых шпоночных пазов.

5. Получены математические уравнения для оценки показателей качества обработанной поверхности после термофрикционного фрезерования с импульсным охлаждением и построена номограмма выбора режимов резания для получения оптимальных значений шероховатости и твердости обработанной поверхности.

6. В результате моделирования теплового процесса в зоне резания при термофрикционном фрезеровании с импульсным охлаждением стали HARDOX 450 с использованием программных комплексов ANSYS WB и DEFORM-3D установлено, что температура в подконтактном слое зоны резания не превышает температуру

рекристаллизации стали HARDOX 450:

Трек≈600°C

что обеспечивает сохранение эксплуатационных свойств материала и предотвращает структурные изменения поверхностного слоя.

7. Результаты исследований внедрены в производство Steel Manufacturing и ООО «Нестандартные машиностроительные изделия» (г. Саратов, Россия). Годовой экономический эффект от использования разработанного инструмента - фрезы трения - составляет:

6 711 282,48 тенге

8. Разработанная технология позволяет повысить производительность механической обработки, снизить износ инструмента, уменьшить себестоимость изготовления деталей и повысить эффективность обработки труднообрабатываемых материалов в условиях машиностроительных предприятий.

9. Полученные результаты обладают научной новизной, практической значимостью и могут быть использованы при дальнейшей разработке высокоэффективных технологий обработки высокопрочных и износостойких материалов.