

**Совершенствование накатных роликов для холодного деформирования  
шлицевых профилей на валах нанесением износостойкого покрытия  
методом КИБ**

**А. П. Шадрин, студент 4 курса инженерного факультета  
С. А. Адакина, студентка 4 курса инженерного факультета  
Научный руководитель: В. А. Адакин, ассистент**

**ФГОУ ВПО «Ульяновская государственная сельскохозяйственная  
академия»**

Использование накатных роликов для холодного деформирования шлицевых профилей на валах берет своё начало во второй половине 20 века. До этого времени шлицевые профили на валах нарезались на фрезерных станках, что занимало больше времени, затрат и материала. Что касается места применения данной технологии, то можно с уверенностью называть Ульяновский завод ОАО «Автодеталь – Сервис». На котором изготовление профилей на валах методом обкатки полностью переведено уже к 2002 году и используется по сегодняшний день.

Износостойкость шлицевых валов, полученных пластическим деформированием выше изготовленных резанием на 30...40% [1]. Накатанные зубья при скручивании на 10...20% прочнее фрезерованных. При пластическом формообразовании зёрна структуры не разрушаются и расположены по контуру профиля зубьев, что повышает их усталостную прочность. Основным недостатком данной технологии низкая стойкость инструмента.

Основной вид разрушения является износ (изнашивание). Установлено, что 85...90 % инструмента, используемого в процессах холодного деформирования, выходят из строя в результате износа.

При холодном пластическом деформировании, износ, или изменение геометрии инструмента, может быть представлен истиранием (уносом частиц инструмента с поверхности трения), смятием (деформация инструмента в процессе деформирования шлиц), механической усталостью. Все перечисленные факторы в процессе эксплуатации инструмента взаимодействуют (Рисунок 1). Преобладающий вид износа может быть выявлен как для отдельных участков, так и для всей рабочей поверхности инструмента.

Износ связан с течением металла заготовки по поверхности инструмента. Состояние поверхности инструмента является основным фактором, влияющим на величину коэффициента контактного трения. Чем выше качество обработки поверхности инструмента, тем меньше коэффициент трения. Как показывают исследования, усталостные разрушения определяются усилиями нормальных и касательных напряжений, действующих совместно. При износе поверхность инструмента приобретает нерегулярные углубления, переходящие в следующей стадии в сетку трещин. Напряжения,

присутствующие в поверхностных слоях инструмента являются причиной образования канавок, простирающихся вдоль его радиуса.

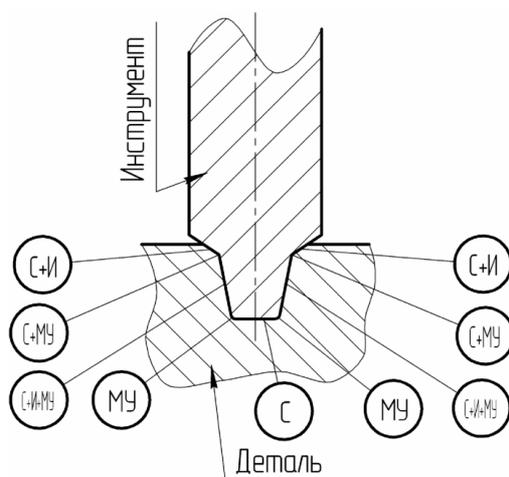


Рисунок 1 – Взаимодействие видов износа инструмента для холодного пластического деформирования:

И – истирание; С – смятие; МУ – механическая усталость.

При продольно-клиновой прокатке в разрушении инструмента, участвует образующаяся сетка трещин на боковых поверхностях инструмента. Сетка трещин располагается не по всей боковой поверхности, а лишь тонкими концентрическими окружностями. Данные концентрические окружности расположены на расстоянии равном попоходной глубине внедрения инструмента в заготовку (Рисунок 2).

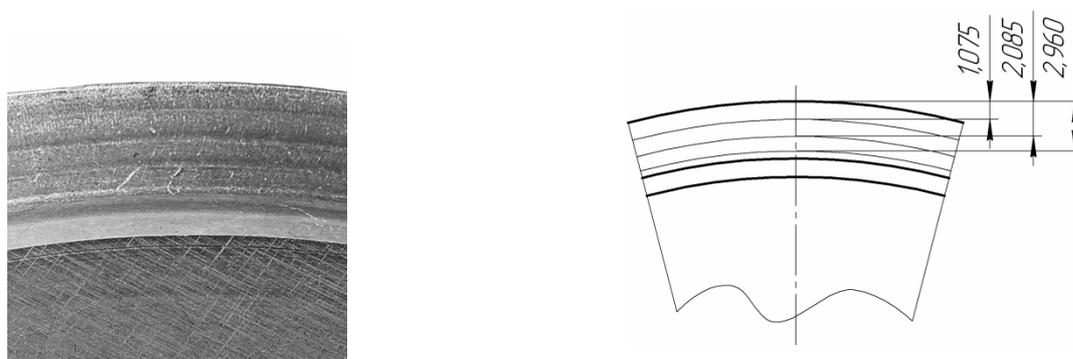


Рисунок 2 – Схема расположения концентрических окружностей по боковой поверхности деформирующего инструмента

Сетка трещин образуется в пятне контакта инструмента с заготовкой при больших давлениях и сил трения, которые способствуют возникновению касательных напряжений. В результате схватывания и действия касательных напряжений, направленных перпендикулярно радиусу инструмента возникают микротрещины. Часть инструмента зажата металлом заготовки на глубину внедрения инструмента в деталь. В процессе прокатки, на инструменте от больших давлений возникают моменты сил, пытающиеся вывести его из положения равновесия. Часть инструмента, зажата металлом, остаётся неподвижной относительно этих моментов. Соответственно моменты сил

пытаются вывернуть свободную часть инструмента относительно зажатой его части. Возникают усталостные напряжения. Совокупность данных напряжений и действие больших нагрузок, на границе внедрения инструмента, способствуют соединению продольных микротрещин, образуя концентрично расположенные поперечные трещины. Образование поперечных трещин, приводит к катастрофическому разрушению инструмента (Рисунок 3).

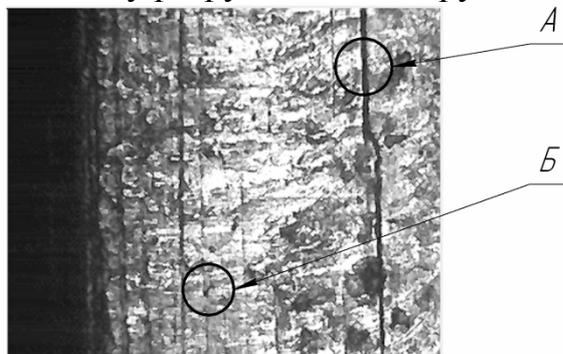


Рисунок 3 – Износ боковой поверхности инструмента для холодного пластического деформирования ( $\times 120$ )

А – поперечная трещина; Б – продольная микротрещина.

Анализируя вышесказанное, делаем вывод, что основной причиной потери работоспособности инструмента для холодного пластического деформирования является разрушение его контактных площадок вследствие трещинообразования. Поверхностные слои инструмента для холодного пластического деформирования должны обладать высокой энергоёмкостью с целью увеличения уровня энергии, необходимой для возникновения трещин. Они должны иметь мелкозернистую структуру с минимальным количеством дефектов различного уровня и обладать стойкостью к окислительным процессам, приводящим к разупрочнению инструментального материала и способствующим зарождению и распространению трещин. В связи с этим предлагаем наносить на инструмент износостойкие покрытия с низким коэффициентом трения, позволяющие снижать усилия деформирования, силы трения и повышать износостойкость.

Большое многообразие типов покрытий, наносимых на режущий инструмент, можно классифицировать по определенному набору свойств и функций, определяющих их служебное назначение: по составу покрытия и его строению (Рисунок 4). Предлагается наносить слоистые и композиционные многослойные покрытия из тугоплавких соединений, обладающих высокой термодинамической устойчивостью (за счет мягкого слоя, который заполняет межзеренные пространства и микротрещины на поверхности инструментальной основы).

Применение комбинированного покрытия получаемого методом физического осаждения TiZrN, осаждаемого методом КИБ, способствует повышению периода стойкости инструмента из углеродистой стали до 2,0 ... 2,5 раз.

<b>По составу покрытия</b>	
<b>По строению покрытия</b>	
<i>Однослойные</i>	<i>Многослойные</i>
Признак: постоянный состав, структура и свойства покрытия по объему	Признак: переменный состав, структура и свойства по объему
<i>Одноэлементные</i>	<i>Многоэлементные</i>
Признак: на основе соединения одного тугоплавкого металла	Признак: на основе смесей двух и более соединений одного тугоплавкого металла
<i>Многоэлементные</i>	<i>Композиционные</i>
Признак: на основе соединения двух и более тугоплавких металлов	Признак: на основе смесей двух и более соединений двух и более тугоплавких металлов

Рисунок 4 – Обобщенная классификация износостойких покрытий для режущего инструмента [2].

Изучены параметры метода КИБ и их влияние на качество покрытия. Установлено, что важнейшим параметром процесса КИБ является давление реакционного газа. Установлено, что покрытия на основе нитридов титана, циркония и хрома в зависимости от давления азота состоят из фаз стехиометрического и нестехиометрического состава. При этом область гомогенности нитрида титана лежит в пределах содержания азота от 29,6 до 53,7%, что соответствует химическому составу от  $TiN_{0,42}$  до  $TiN_{1,16}$  [3].

Нанесение покрытий осуществляли на ролики из стали Р6М5 на установке «Булат-6» по методу КИБ, оснащённой системой магнитной фокусировки плазменного потока. Для крепления деформирующего инструмента в камере установки была изготовлена оправка из стали 20Х13. Данная оправка способна одновременно крепить до 11 роликов. Оправка (Рисунок 5) состоит из оси 1, 12 оригинальных шайб необходимых как для разграничения инструмента между собой, так и скрывает нерабочие поверхности инструмента от попадания покрытий 2 и гайки 3 не обходимой для зажима инструмента, которая вращалась с частотой  $8 \text{ мин}^{-1}$ , что обеспечивало равномерный прогрев инструмента (Рисунок 5).

Оправка в камеру устанавливается в вертикальном положении, таким образом, чтобы рабочая поверхность роликов была перпендикулярна катодам. Крепление оправки осуществляется за счёт резьбовой части в основании оси. Перед нанесением покрытий, оправка проходит все стадии очистки вместе с деформирующим инструментом (роликом). Применение данной оправки позволяет равномерно наносить слой покрытия на рабочую часть деформирующего инструмента (ролика), а так же предохранять от ионного потока боковые поверхности инструмента не допустимые для нанесения покрытий по технологическим параметрам.



Рисунок 5 – Оправка для нанесения покрытий на ролики  
1 – ось оправки; 2 – шайба; 3 – гайка; 4 – ролик

Технологический процесс подготовки поверхностей роликов включал следующие этапы: предварительную очистку в бензине Б-70 или ацетоне; ультразвуковую очистку в установке УЗУ-0,25 с использованием водной эмульсии на основе препарата КМ-1 с концентрацией 60...80 г/л при температуре 60...80 °С в течении 15...20 мин; промывку в дистиллированной воде; протирку бязью, смоченной в этиловом спирте; сушку в сушильном шкафу при температуре 120...140 °С в течении 15...20 мин. После размещения роликов в камере установки проводили ионную очистку в режиме: остаточное давление  $p_0 = 6,65 \cdot 10^{-3}$  Па, ток дуги  $I_d = 100$  А, ток фокусирующей катушки  $I_\phi = 0,3$  А, напряжение  $U_{оп} = 1100$  В, время ионной очистки  $\tau_0 = 10$  мин при температуре 560 °С. Процесс конденсации покрытий протекал при давлении  $p_0 = 3,9 \cdot 10^{-1}$  Па, температура роликов была в пределах 280...600 °С в зависимости от требований к технологическому процессу нанесения покрытий. После конденсации покрытия и отключения электродуговых испарителей и подачи газа производили выдержку деформирующего инструмента с покрытием при высоком вакууме. При снижении температуры деформирующего инструмента до 150...200 °С осуществляли напуск воздуха и извлечение роликов из камеры установки.

Измерение температуры производили бесконтактным способом с помощью оптического инфракрасного пирометра ЯЗЧ-51, разработанного в ХФТИ АН Украины, а также оптическим микропирометром ВИМП-015М (ЛОМО). Данные пирометры были настроены в инфракрасной области спектра и проградуированы с помощью стандартной хромель-алюмелевой термопары с регистрирующим миллиамперметром.

В качестве реакционного газа при конденсации покрытий использовались газы и газовые смеси на основе азота (ГОСТ 9293-74) и ацетилена (ГОСТ 5457-75). При напылении покрытий на основе карбонитридов содержание ацетилена в смеси газов варьировалось от 15 до 30 %. Газовая смесь приготавливалась в баллоне низкого давления оригинальной конструкции, обеспечивающим перемешивание смеси, и подавалась в натекаТЕЛЬ установки для использования

в технологическом процессе. В качестве материалов для катодов испарителей был использован материал: титановый сплав ВТ1-0.

Толщина получаемых покрытий на инструменте измерялась по образующей ступеньке с помощью профилографа-профилометра модели К-202 завода «Калибр».

В эксперименте использовали однослойные покрытия на основе материалов: нитрид титана циркония TiZrN. Толщина покрытий варьировалась в пределах от 3 до 8 мкм. Покрытие имеет золотистый цвет, твёрдость HV 23...25 и коэффициент трения по стали 45 равный 0,4.

В результате проведённых экспериментов по стойкости накатных роликов с покрытиями TiZrN, выявлено повышение стойкости в 1,92 при этом одним комплектом роликов с покрытиями было накатано 11120 деталей вместо 5804 деталей накатанных роликами без покрытия.

Таким образом, анализируя вышесказанное, можно сделать вывод, что применение и использование износостойких покрытий нанесённых на накатные ролики методом КИБ это выгодное и экономически целесообразное решение данной проблемы в области производства.

Литература:

1. Проскуряков Ю. Г., Осколков А. И., Торхов А. С. и др. Обработка деталей без снятия стружки. Барнаул, Алт. кн. Изд., 1972. – 176 с.
2. Табаков В. П. Формирование износостойких ионно-плазменных покрытий режущего инструмента. – М.: Машиностроение, 2008. – 311 с.
3. Табаков В. П. Износостойкие покрытия режущего инструмента, работающего в условиях непрерывного резания / В. П. Табаков, А. В. Чихранов. – Ульяновск: УлГТУ, 2007. – 255 с.
4. Верещака А. С. Работоспособность режущего инструмента с износостойкими покрытиями. – М.: Машиностроение, 1993. – 356 с.

УДК 631.354.2 (470.630)

**Повышение работоспособности сельскохозяйственной техники,  
находящейся в рядовых условиях эксплуатации**

**А.С. Шумский, студент 1 курса факультета механизации с.х.,  
М.Н. Пастухов, студент 4 курса факультета механизации с.х.,  
Научный руководитель: А.Т. Лебедев, к. т. наук, доцент**

**ФГОУ ВПО «Ставропольский государственный аграрный университет»**

В последние годы в России резко снизились уровень эффективности использования машинно-тракторного парка (МТП) и оснащённость хозяйств техникой. Это стало одной из причин уменьшения производства продукции растениеводства.