

6  
А-9  
Министерство высшего и среднего специального образования РСФСР  
Краснодарский политехнический институт

---

На правах рукописи

Л. И. ИЗМАЛКОВ

**„ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗНОСА И РАБОТЫ ДЕТАЛЕЙ  
ПРЕССОВОГО ТРАКТА ШНЕЛОВЫХ МАСЛОПРЕССОВ“**

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Научный руководитель  
профессор, доктор технических наук  
М. М. ХРУЦОВ

КРАСНОДАР — 1963

Министерство высшего и среднего специального образования РСФСР  
Краснодарский политехнический институт

---

На правах рукописи

Л. И. ИЗМАЛКОВ

**„ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗНОСА И РАБОТЫ ДЕТАЛЕЙ  
ПРЕССОВОГО ТРАКТА ШНЕКОВЫХ МАСЛОПРЕССОВ“**

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Научный руководитель  
профессор, доктор технических наук  
М. **М** ХРУЩОВ

КРАСНОДАР — 1963

## ВВЕДЕНИЕ

В одной из крупнейших отраслей пищевой промышленности — маслособойно-жировой, важнейшим участком в технологическом процессе добывания масла является прессование материала, приготовленного из ядра семян масличных культур. В существующих технологических схемах маслозаводов прессование является или окончательным этапом в производстве, который определяет экономические показатели предприятия, или промежуточным, влияющим на конечный результат технологического процесса в целом.

На потери масла в производстве влияют:

- а) качество масличного сырья;
- б) стабильность и правильность выбора технологических режимов подготовки сырья и мезги к прессованию;
- в) работа шнековых маслопрессов.

Известно, что при одних и тех же прочих условиях (технологические режимы подготовки мезги и качества сырья) работа шнекового маслопресса может быть различной и, как показали исследования, зависит только от качества поверхности, геометрии и степени изношенности деталей прессового тракта.

Роль прессового тракта маслопресса не только в создании давлений на материал, но и в обеспечении наилучших условий отжима масла из мезги. Наилучшими условиями отжима являются: обеспечение и правильное распределение необходимых, минимальных для данной ступени давлений; определенность направления движения мезги; обеспечение максимальной дренажной способности зернового цилиндра для свободного истечения отжатого масла; предотвращение выхода осыпи через зерные щели; минимальные затраты мощности на процесс прессования, которые, в свою очередь, зависят от рациональной геометрии, качества поверхности и изношенности деталей прессового тракта.

В настоящее время потребность промышленности в запасных частях существующей конструкции еще полностью не удовлетворяется, а их качество не всегда соответствует техническим условиям ( $H_{RC}$ ), что естественно приводит к сокращению срока их службы.

Сложившиеся условия ремонта прессового тракта, а именно частичная замена наиболее изношенных деталей, — искусственно занижают возможности обеспечения наилучших ус-

ловий отжима масла. Техническое состояние прессового тракта после ремонта на 20—30% ниже, чем у нового, поэтому, как правило, качественные показатели работы маслопрессов близки к наибольшим крайним пределам. Вопрос обеспечения масложировой промышленности запасными частями, имеющими высокую износостойкость, постоянство свойств и рациональную геометрию, в значительной степени влияет на экономические показатели работы маслозаводов, потери масла, рациональное использование и долговечность оборудования и культуру производства. Поэтому он должен решаться в соответствии с общей постановкой развития всего народного хозяйства. Правильное решение вопроса состоит в постановке всесторонних исследований в этой области, материалы и рекомендации которых могут быть положены в основу дальнейших разработок по усовершенствованию оборудования, повышению его долговечности и т. д.

#### Износ деталей прессового тракта шнековых маслопрессов типа ФП

В настоящее время нет данных о динамике и характере износа деталей прессового тракта, изменении процесса прессования в зависимости от степени их изношенности, экономически выгодных сроках службы указанных деталей, о влиянии свойств мезги на износ деталей и т. д.

Отсутствие подобных данных не дает возможности правильно влиять на процесс прессования мезги, изменять его применительно к технологической схеме данного производства, устанавливать экономическую целесообразность дальнейшей эксплуатации прессов в зависимости от степени износа деталей прессового тракта и бороться с их износом. Поэтому изучение износа деталей прессового тракта, изменения геометрии в ходе износа, влияния износа на процесс прессования, усовершенствование технологии изготовления и упрочнения этих деталей с целью повышения срока их службы имеет весьма актуальное значение.

В качестве примера приводим данные по Белореченскому маслозаводу, работающему по технологической схеме форчан — форпресс в режиме экспеллера.

Детали прессового тракта, проработавшие на прессах в течение четырех месяцев (128 дней), имели износ, при котором дальнейшая нормальная эксплуатация пресса невозможна.

Известно, что условия работы деталей по ходу прессового тракта не одинаковы, т. к. изменяется давление по ступеням, изменяется масличность мезги, а следовательно, изменяются ее механические и абразивные свойства. Поэтому зерновые планки различных ступеней имеют разный по величине и характеру износ, наибольшему износу подвергаются планки II, III, IV ступеней.

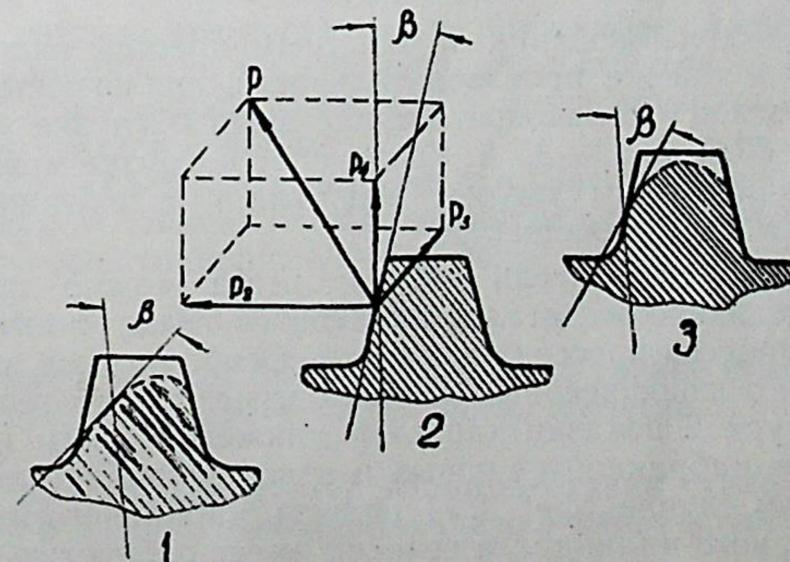
По рабочей плоскости в поперечном сечении планки изнашиваются неравномерно, а это способствует изменению их геометрии. Обычно рабочая плоскость новой зерновой планки находится под определенным углом к горизонтали, в частности, у планок пресса ФП этот угол равен  $2^{\circ} 35'$ . В процессе износа угол наклона плоскости стремится к  $0^{\circ}$ . Кроме того, ребро, образованное рабочей плоскостью и передней гранью с выступами, образующими зазор между планками, вначале округляется, а затем на нем вырабатывается ступенька, в результате чего планки приобретают новую, невыгодную геометрию.

Витки шнекового вала также изнашиваются по-разному. Так, шнековые витки № №7, 8, 9 заметного износа не имеют, на плоскостях перьев и ступицах заметны следы механической обработки. Износ начинается с 6-го шнекового витка, причем износ примерно одинаков у всех шнековых витков по характеру, но различен по величине.

В результате износа уменьшается поверхность передней грани пера, что влияет на прессующую и транспортирующую способность витка, а увеличение зазора между зерновым цилиндром и шнековым валом и снижает производительность пресса.

Изменение сечения перьев шнековых витков в значительной степени меняет усилия прессования.

На фигуре 1 показано разложение сил, действующих на виток.



Фиг. 1. Изменение усилий прессования в результате износа пера витка.

Величину составляющих можно определить по следующим формулам:

$$\begin{aligned} P_2 &= P \cos \alpha \cdot \cos \beta \\ P_3 &= P \cos \beta \cdot \sin \alpha \\ P_4 &= P \sin \beta \end{aligned}$$

где  $P$  — удельное давление;

$P_2$  — сила, направленная вдоль оси витка, сила нажатия витка на мезгу — аксиальная сила;

$P_3$  — сила, направленная против вращения шнекового вала;

$P_4$  — сила, направленная от вала к внутренним поверхностям зерного цилиндра — радиальная сила;

$\alpha$  — угол наклона пера к оси витка (угол подъема пера);

$\beta$  — угол между передней гранью пера и перпендикуляром к оси витка.

В процессе износа угол  $\alpha$  несколько изменяется, а угол  $\beta$  изменяется в значительной степени, причем, если у нового витка он колеблется в пределах  $5-8^\circ$ , то у изношенного он достигает  $45^\circ$ .

В связи с тем, что изменяются углы, будут изменяться и составляющие общего усилия  $P_2, P_3, P_4$ . Аксиальная составляющая  $P_2$  будет уменьшаться, т. к. углы  $\alpha$  и  $\beta$  увеличиваются, составляющая  $P_3$  изменяется незначительно, радиальная составляющая  $P_4$  заметно возрастает.

Рост составляющей  $P_4$  до определенного предела явление положительное, т. к. эта составляющая прижимает мезгу к зерному цилиндру и способствует выдавливанию из нее масла. Однако значительный ее рост приводит к увеличению силы трения мезги о зерные планки, продавливанию ее через щели зерного цилиндра и заметному снижению производительности пресса.

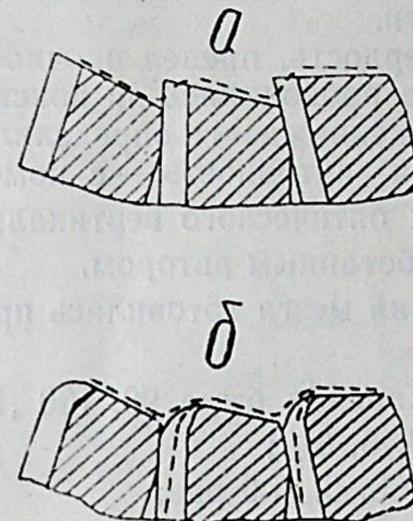
Из данных наблюдений за опытным прессом видно, что при одной и той же производительности, аналогичных параметрах мезги и одинаковой ширине щели нагрузка увеличилась с  $28-30$  А до  $33-35$  А. Увеличение нагрузки можно объяснить значительным увеличением угла  $\beta$  а следовательно, увеличением составляющей  $P_4$ .

Анализируя показатели работы пресса, можно предположить, что с износом деталей прессового тракта изменяется картина процесса прессования мезги. Особо важное значение в этом имеют износ зерных планок и изменение их геометрии.

На фигуре 2 показан характер движения мезги по зерной камере, набранной из новых и изношенных деталей.

В первом случае (фиг. 2 а) полость набранного из новых планок зерного цилиндра в сечении имеет ребристую поверхность, направленную по вращению вала. Мезга, перемещаемая валом, обладает определенной упругостью, особенно во II, III и IV ступенях, и поэтому, скользя поперек зерной планки как бы с трамплина, попадает на следующую планку на некотором расстоянии от ее начала. В этом случае между выступом первой и спинкой второй пластинки образуется свободное пространство, в котором выдавливается из мезги мас-

ло. В дальнейшем оно свободно течет через щели зерного барабана.



Фиг. 2.

После того, как ребро между рабочей плоскостью и гранью с выступами будет изношено и закруглено, а рабочая плоскость примет положение, близкое к горизонтальному, полость зерного цилиндра будет иметь вид, изображенный на фигуре 2 б.

Как видно из фигуры, в этом случае отсутствует начальная завершенность, а процесс движения мезги поперек пластин будет иной, потому что часть мезги, прижимаемая составляющей  $P_4$ , направляется в щели зерного цилиндра, т. к. отсутствует так называемый трамплин, а мезга, проходя первую планку, опускается в щель.

В итоге можно сделать выводы, что качество деталей прессового тракта и степень их изношенности влияют на экономические и эксплуатационные показатели работы прессов.

#### *Свойства подсолнечной мезги и ее засоренность*

В рассматриваемом случае происходит трение сталей, имеющих различные механические свойства и состав, о подсолнечную мезгу.

Чтобы выяснить характер взаимодействия стали и мезги при трении и износе, необходимо было в первую очередь изучить свойства мезги.

Свойства подсолнечной мезги находятся в полной зависимости от технологических параметров ее подготовки и качества сырья.

В лабораторных условиях были проведены опыты по установлению значений твердости, предела прочности при сжатии, предельного напряжения сдвига, упругой деформации, коэффициента трения и коррозионной активности подсолнеч-

ной мезги, в зависимости от ее влажности, лужистости, температуры жарения, степени сжатия и кислотного числа, а также засоренности мезги.

Испытания на твердость, предел прочности при сжатии и упругую деформацию проводились на консистометре Гепплера, предельное напряжение сдвига определялось прибором Симоняна, коррозионная активность — с помощью эталонных стальных образцов и оптического вертикального длинномера по методикам, разработанным автором.

Для всех испытаний мезга готовилась при следующих параметрах:

- 1) температура жарения была 90, 100, 110, 120°C;
- 2) влажность 2, 4, 6, 8%;
- 3) степень сжатия 3, 5, 7, 9 раз;
- 4) лужистость — 5%.

В таблице 1 и на фигуре 3 показана зависимость твердости мезги от различных факторов.

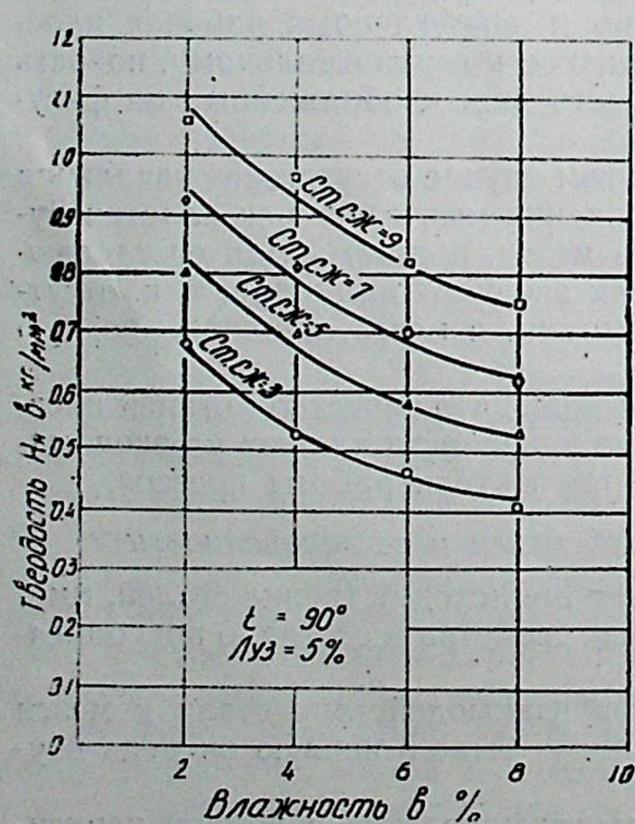


Таблица 1

Влажность мезги, %	Температура жарения мезги, °C		
	90	100	110
	Твердость мезги в кг/мм <sup>2</sup>		
2	0,68	0,76	0,92
4	0,53	0,54	0,75
6	0,47	0,50	0,61
8	0,41	0,46	0,57

Фиг. 3.

Зависимость предела прочности мезги при сжатии от температуры жарения и влажности (предварительная степень сжатия 3, лужистость 5,0%) указана в таблице 2 и фигуре 4.

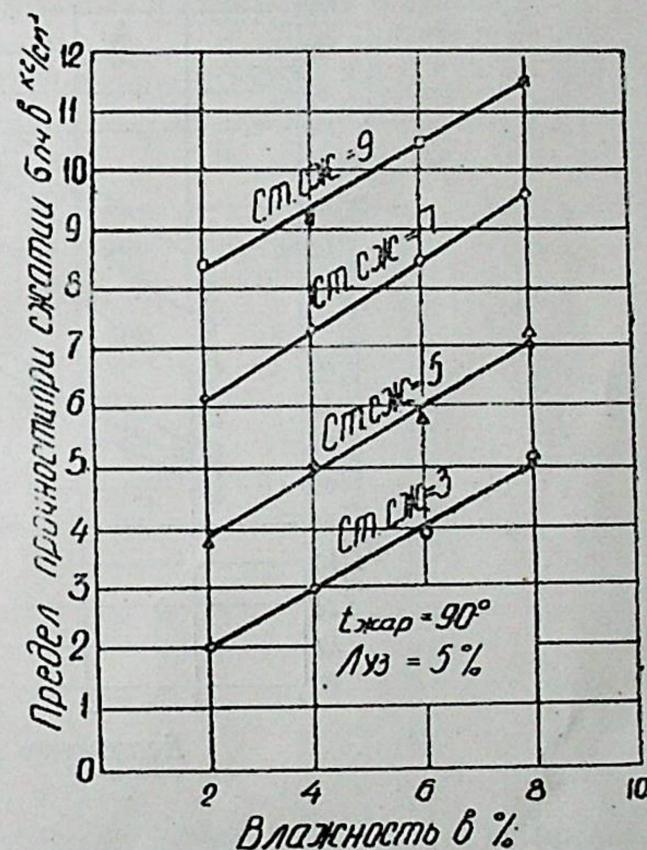
Зависимость упругой деформации мезги от температуры жарения и степени предварительного сжатия (влажность 4, 5, лужистость 5%) приведен в таблице 3.

Таблица 2

Влажность, %	Температура жарения, °C		
	90	100	110
	Предел прочности при сжатии, кг/см <sup>2</sup>		
2	2,0	2,4	4,1
4	2,8	3,8	5,3
6	3,0	4,7	5,8
8	5,3	5,8	7,3

Таблица 3

Температура жарения, °C	Степень сжатия			
	3	5	7	9
	Упругая деформация, %			
90	2	4	5	6
100	2	4	6	7
110	3	5	7	9
120	6	7	9	10



Фиг. 4.

На фигуре 5 показана зависимость предельного напряжения сдвига от влажности, температуры жарения и степени сжатия.

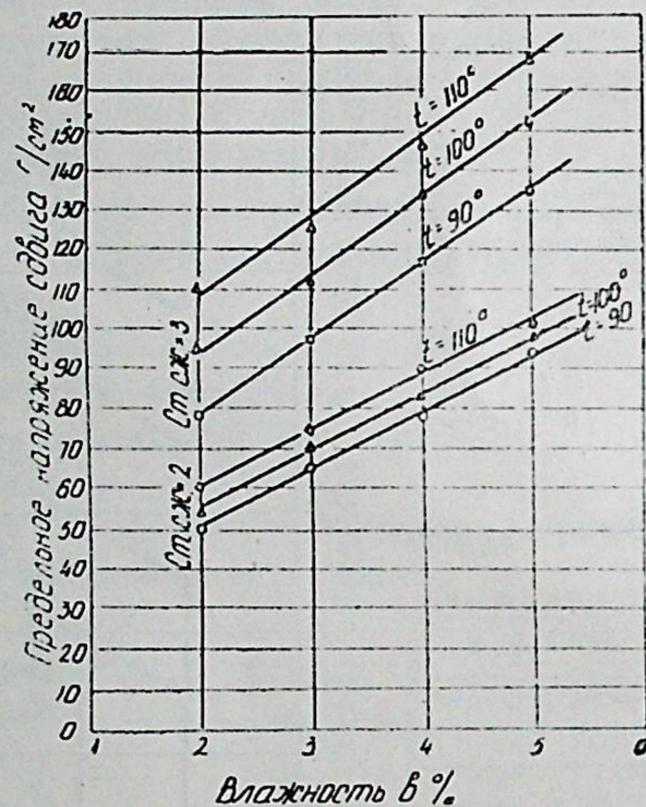
Коэффициент трения мезги определялся на приборе конструкции автора, на котором сила трения регистрировалась с помощью колец с тензометрическими датчиками, а затем высчитывался коэффициент трения. Значения коэффициента трения указаны в таблице 4.

Температура жарения мезги  $t = 100^\circ\text{C}$ , влажность 4,5%, лужистость — 5%, степень сжатия 3, шероховатость поверхности  $R_z = 8,0 - 12$  мк.

В состав мезги входят также вещества, как свободные жирные кислоты, перекисные соединения, свободный кислород, органические кислоты, которые и придают ей поверхностную и коррозионную активность по отношению к металлам.

Эти свойства в значительной степени влияют на процесс трения и износ сталей.

Зависимость коррозионной активности мезги от ее влажно-



Фиг. 5

сти, кислотного числа и времени контакта с образцами из стали 20Х показана в таблице 5.

Таблица 4

Удельное давление, кг/см²	Скорость скольжения, м/мин			
	1	2	3	4
1,0	0,078	0,076	0,073	0,07
4,0	0,105	0,105	0,101	0,100
0,8	0,152	0,120	0,117	0,113
12,0	0,143	0,138	0,135	0,129

Количество минеральных и органических примесей, не считая лузги, не должно превышать 9%, а количество лузги не более 1,6%.

Безусловно, что эти примеси в значительной мере влияют на механические и абразивные свойства мезги. Минеральные примеси повышают ее абразивную способность, а лузга — механические свойства и абразивность, ибо минеральные примеси вносят в мезгу в основном с лузгой.

Для того, чтобы установить влияние примесей на свойства мезги и износ сталей при трении о мезгу нами были опреде-

Таблица 5

Характеристика мезги			Режим испытания		Глубина разъединения, мк
влаж-ность %	маслич-ность, %	к ч. Мг КОН.	темпера-тура, °С	время контакта, час	
1	2	3	4	5	6
2					1,0
4	63	1	100	2	1,5
6					2,3
2					1,3
4	»	1	100	4	2,0
6					2,6
2					1,6
4	»	3	100	2	2,6
6					3,1
2					2,0
4	»	3	100	4	3,0
6					3,7
2					2,0
4	»	5	100	2	2,8
6					3,5
2					2,7
4	»	5	100	4	3,8
6					4,6

лены: 1) размер и форма минеральных примесей; 2) микротвердость лузги; 3) взаимосвязь минеральных примесей с лузгой.

а) Размеры и форма минеральных включений.

Состав, размеры и форма минеральных включений могут быть самыми различными и зависят от почвенно-климатических условий района, откуда получено масличное сырье.

В состав минеральных примесей входят: кремнезем, глинозем и др. вещества, количественные соотношения которых колеблются. Размер и форма минеральных примесей определялись с помощью микроскопа МИМ-7 и окулярного винтового микрометра МОВ-1-15<sup>x</sup>.

Размеры примесей колебались в пределах от 20 до 300 мк, а наиболее часто встречающихся 100—150 мк.

б) Микротвердость лузги.

Механические свойства лузги — твердость, прочность, упругость оказывают большое влияние на свойства мезги. Микротвердость лузги зависит от ее влажности, масличности и состава.

Определение микротвердости лузги производилось на приборе ПМТ-3, в зависимости от ее влажности и режимов тепловой обработки.

Результаты некоторых испытаний лужги на микротвердость приведены в таблице 6.

Таблица 6

Влажность, %	Микротвердость, кг/мм <sup>2</sup> , при P = 100 г.	
	Наружная сторона	внутренняя сторона
2	5,7	4,1
4	5,0	3,5
6	4,1	3,0
8	3,0	2,3

в) Взаимодействие минеральных примесей с лужгой

На износ деталей прессового тракта сильно влияет лужжистость мезги. Хотя лужжистость регламентируется и не должна превышать 1,6%, фактически на маслозаводах количество лужги в мезге значительно больше и достигает иногда 12—15%, что объясняется трудностью разделения фракций ядро—лужга. При изучении в микроскоп поверхности лужги и срезов наблюдались следующие взаимодействия ее с минеральными примесями.

Наружный слой (кожица и рыхлая ткань), состоящий из целлюлозы и гемицеллюлозы, проколот минеральными частицами, которые, в свою очередь, заклинены в одревеневшей ткани. В силу того, что кожица и рыхлая ткань пластичны, они как бы зажимают и удерживают по периферии вдавленную минеральную частицу. Такая взаимосвязь лужги с примесями дает полное основание считать ее шаржированной минералами, главным образом песком, а это объясняет повышенный износ деталей при увеличении содержания лужги.

Приведенные выше материалы дают основание сделать следующие выводы:

Технологические параметры подготовки мезги следующим образом определяют ее механические, абразивные и поверхностно активные свойства.

1) твердость мезги увеличивается с повышением температуры и времени жарения, лужжистости, степени сжатия, засоренности, а также с уменьшением влажности;

2) предельное напряжения сдвига возрастает с увеличением лужжистости, степени сжатия, температуры жарения;

3) предел прочности при сжатии возрастает с увеличением температуры жарения, лужжистости, влажности и степени сжатия. Однако при больших степенях сжатия и малом количестве жидкой фазы (масла, воды) нарушается структурная связь в мезге, она становится сухой, сыпучей;

4) остаточная деформация мезги увеличивается с повыше-

нием температуры жарения, лужжистости, степени сжатия;

5) коэффициент трения мезги увеличивается с повышением влажности, удельного давления, лужжистости, степени сжатия, шероховатости поверхности металла.

6) коррозионно и поверхностно активные свойства мезги возрастают с повышением влажности, температуры и времени жарения, а также значения кислотного числа в мезге;

7) засоренность мезги минеральными и растительными примесями и лужгой способствует повышению ее механических и абразивных свойств;

8) микротвердость лужги повышается с уменьшением влажности и увеличением температуры и продолжительности жарения, причем микротвердость наружной стороны оболочки выше, чем у внутренней;

9) минеральные примеси шаржируют наружную сторону оболочки, оставаясь плотно закрепленными в ней.

Учитывая многообразие факторов, влияющих на трение и износ деталей прессового тракта, можно предположить, что при трении пары стали о мезгу имеет место сложный комплекс видов взаимодействия и изнашивания.

*Влияние свойств мезги и условий испытаний на износ*

Изучение влияния свойств подсолнечной мезги и условий испытаний на износ сталей производилось в лабораторных условиях на установке, имитирующей контакт и взаимодействие мезги и деталей прессового тракта в шнековых маслопрессах.

В основу конструкции установки положен метод торцевого трения, а определение величины износа производилось по методу, предложенному проф. Хрущовым М. М., — методу отпечатков, с измерением их на металлографическом микроскопе МИМ-7.

Для обеспечения идентичности условий испытаниям подвергались временно 6 образцов.

В качестве эталонного материала была взята сталь 20Х, цементированная на глубину 1,2—1,5 мм, закаленная и отпущенная до твердости Н<sub>RC</sub> = 50—55.

Кроме того, для определения относительной износостойкости были испытаны стали 20, 45, 40Х, имеющие такую твердость, как у 20Х и СЧ 21-40, выплавляемой Краснодарским заводом «Октябрь».

Мезга готовилась при тех же параметрах, что и для определения ее свойств.

Условия испытания были следующие:

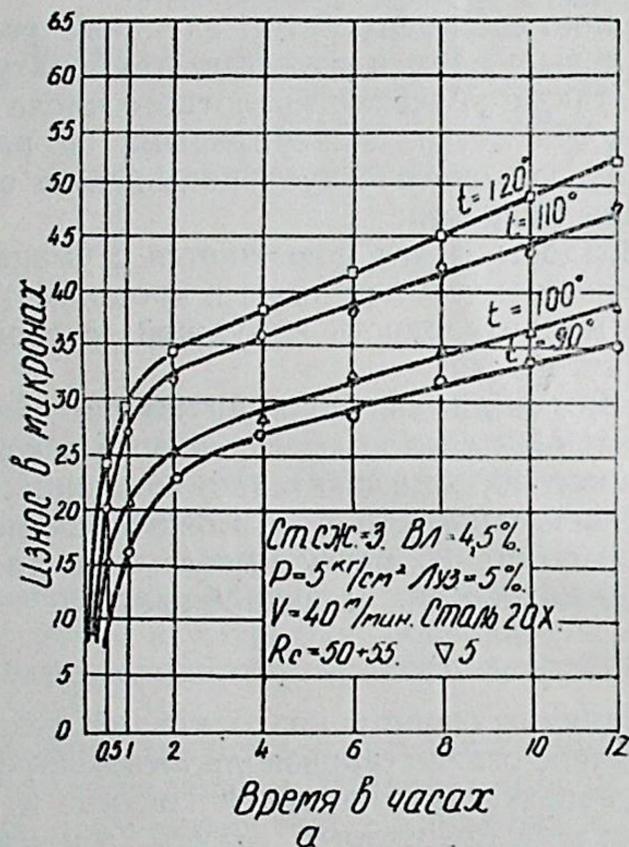
а) скорость скольжения 40 м/мин;

б) удельное давление 5 кг/см<sup>2</sup>;

в) шероховатость поверхности образцов — ∇5

Для примера на фигуре 6 а, б, в показано влияние некото-

рых факторов на износ сталей при трении о мезгу: в зависимости от влажности «а», лужистости «б» и твердости стали «в».



Фиг. 6 а.

Результаты исследований износа сталей при трении о мезгу позволяют сделать следующие выводы:

1. Износ стали 20X цементированной и закаленной до  $HRC = 50-55$ , при трении о мезгу, приготовленную при различных технологических режимах, имеет аналогичный характер, но различную интенсивность.

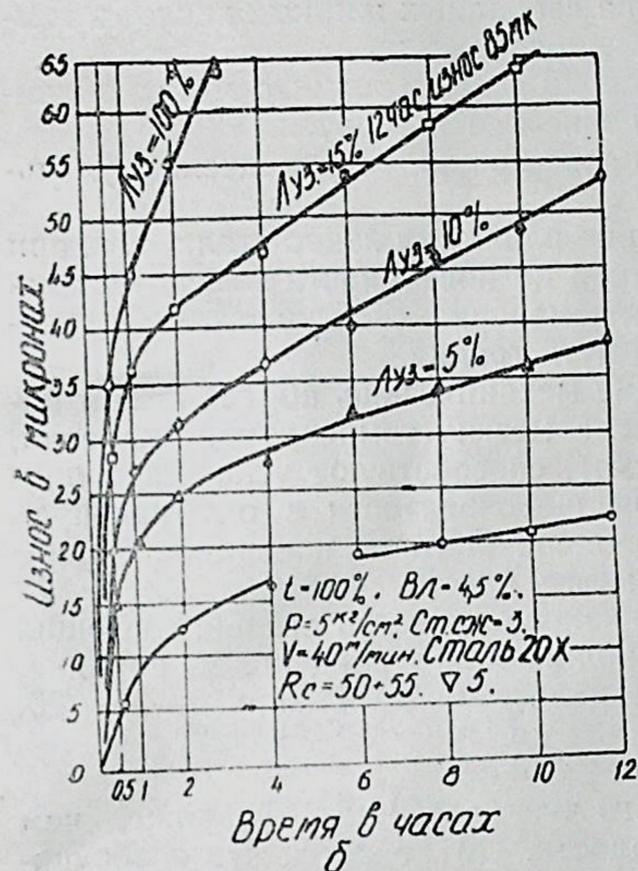
2. Влияние технологических параметров подготовки и состава мезги на износ стали 20X. сказывается следующим образом:

а) повышение температуры жарения увеличивает механические, абразивные, поверхностно и коррозионно-активные свойства мезги и износ стали;

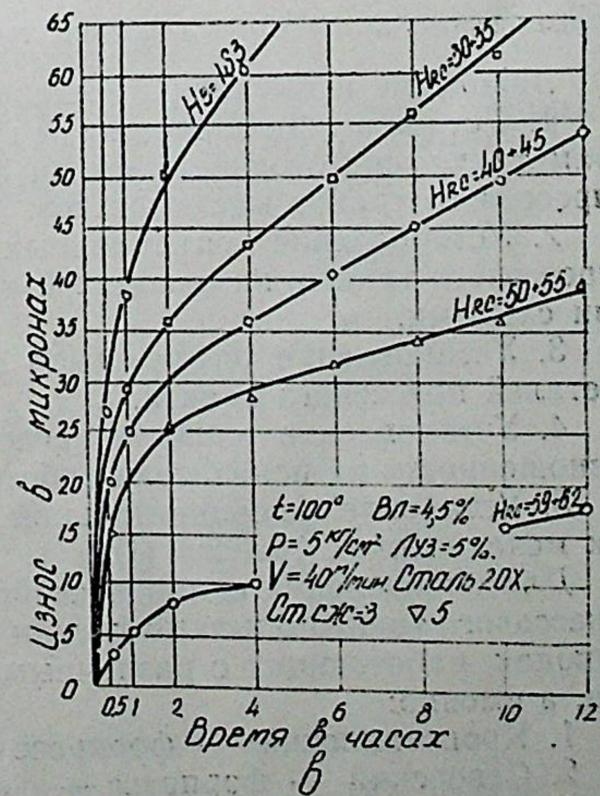
б) повышение влажности мезги способствует увеличению ее пластичности и уменьшению износа стали;

в) наибольшее влияние на износ стали оказывает содержание лужги в мезге;

г) увеличение степени сжатия мезги приводит к снижению ее маслячности, увеличению механических и абразивных свойств и износа стали;



Фиг. 6 б.



Фиг. 6 в.

д) повышение количества свободных жирных кислот в мезге приводит к увеличению износа стали.

3. Износостойкость стали 20X, при трении о мезгу, значительно возрастает с повышением ее твердости.

4. Износ стали прямо пропорционален увеличению удельного давления.

5. Скорость скольжения не влияет на износ стали, т. к. при трении ее о мезгу температура на поверхности изменяется незначительно и не приводит к изменению свойств стали. Определяющим в износе является путь трения.

6. Факторы, повышающие механические, абразивные и поверхностно-активные свойства мезги (температура жарения, лузжистость, степень сжатия), способствуют ускорению процесса приработки исходной шероховатости в оптимальную. При установившемся износе шероховатость поверхности зависит от содержания лузги в мезге и имеет значение  $\nabla 7 - \nabla 9$

7. При трении о мезгу износостойкость сталей, имеющих одинаковую твердость, располагается в следующем порядке: 20X, цементированная и закаленная до  $H_{RC} = 50-55$ , 20, цементированная и закаленная до  $H_{RC} = 50-55$ , 40X и 45, закаленные и отпущенные до  $H_{RC} = 50-55$ .

8. Износостойкость серого чугуна СЧ 21-40 ниже, чем стали 20X, одинаковой твердости. Объясняется это особенностью взаимодействия мезги и стали при трении и повышенной коррозией чугуна в присутствии воды и поверхностно-активных веществ.

#### Заводские испытания деталей прессового тракта на износ

Заводские испытания преследовали следующие цели:

1. Установление зависимости между технологическими параметрами подготовки мезги на заводах и износом деталей прессового тракта маслопрессов.

2. Установление оптимальных сроков службы деталей прессового тракта на заводах с различными технологическими схемами.

3. Установление оптимальной шероховатости поверхности деталей прессового тракта.

4. Установление влияния качества поверхности и степени изношенности на показатели работы маслопрессов.

5. Установление сравнительной износостойкости деталей от их механических свойств ( $H_{RC}$ ).

Для определения влияния свойств мезги на износ деталей прессового тракта опытные детали устанавливались на маслозаводах, работающих с различными технологическими схемами, а именно:

1. Кропоткинский — форпресс — экстрактор
2. Северский — форпресс — экспеллер
3. Кировоградский — форпресс — экспеллер

4. Полтавский — форпресс — экспеллер
5. Лабинский — форчан — форпресс в режиме экспеллера
6. Белореченский — форчан — форпресс в режиме экспеллера.

#### Характеристика опытных деталей и их свойства

Опытные детали прессового тракта шнекового пресса ФП были изготовлены Ростовским и/Дону машиностроительным заводом «Главпродмаш» по техническим условиям «Главпродмаш». По этим условиям детали изготавливаются из стали 20X, цементуются на глубину 1,5—1,8 мм, калятся до  $H_{RC} = 55-65$ . Шероховатость поверхности деталей должна соответствовать пятому классу. После изготовления все детали прошли клеймение, были испытаны на твердость и взвешены. Металлографический и химический анализ показали, что технические условия на глубину цементации и содержание углерода выдерживаются удовлетворительно, а твердость занижена и неравномерна. Как показали исследования, причиной неравномерной и низкой твердости части деталей (зеерных планок) является неправильное ведение технологического процесса термической обработки — закалки. Твердость шнековых витков, промежуточных колец и зеерных планок, подлежащих установке на пресса, была в пределах  $H_{RC} = 50-60$ .

Результаты заводских испытаний дали возможность установить следующее:

#### а) Износ деталей по заводам

В таблице 7 приведены данные о износе деталей (зеерных планок) по заводам, работающим с различными технологическими схемами и параметрами подготовки мезги.

Таблица 7

Завод	Весовой износ по ступеням, %			
	I	II	III	IV
Кропоткинский	1,4	1,8	2,3	3,0
Северский	1,6	2,1	2,5	3,8
Кировоградский	1,7	2,2	2,6	4,0
Полтавский	1,5	2,0	2,4	3,5
Лабинский	2,0	4,1	4,5	5,8
Белореченский	2,2	4,0	4,8	5,8

До испытаний планки имели вес:

I ступень 388—390 грамм, II ступень 399—400 грамм;  
III ступень 408—410 грамм, IV ступень 415—417 грамм

Центральная научная  
БИБЛИОТЕКА  
Академии наук Киргизской ССР

305425

Сопоставляя параметры подготовки мезги и величины износа деталей, можно сделать следующее распределение: наибольший износ имеет место на заводах, работающих по схеме форчан — форпресс, затем форпресс — экспеллер и наименьший — при схеме форпресс — экстрактор.

Результаты заводских испытаний наглядно подтверждают полученные в лабораторных условиях выводы о зависимости износа стали 20X от технологических параметров подготовки мезги.

Так, на заводах, работающих по схеме форчан — форпресс, температура жарения мезги выше, чем у заводов со схемой форпресс — экстрактор, а масличность и влажность ниже, следовательно, выше ее механические и абразивные свойства. Кроме того, режимы эксплуатации прессов (нагрузка, давление) более тяжелые. Этим и объясняется повышенный износ деталей прессового тракта на Белореченском и Лабинском маслозаводах по сравнению с другими.

#### б) Срок службы деталей

Максимальный срок службы деталей, установленный приказом № 50 от 4 апреля 1956 г. по Главному Управлению маслороботочной промышленности МППТ СССР, в среднем для всех систем прессов менее одного года. Причиной замены деталей является ухудшение работы пресса, наступающее в результате их износа. Как показали исследования, фактический оптимальный срок службы зерновых планок форпрессов ФП для заводов с различными технологическими схемами следующий (одной стороны):

1. Форчан — форпресс — 4—6 месяцев
2. Форпресс — экспеллер — 6—8 месяцев
3. Форпресс — экстрактор — 10—12 месяцев.

Причем, наименьший срок относится к зерновым планкам III и IV ступеней, наибольший к — I и II.

Эксплуатация планок более продолжительные сроки приводит к заметному ухудшению показателей работы маслопрессов и увеличению потерь масла.

Использование второй стороны зерновых планок, по нашему мнению, нецелесообразно, т. к. в результате износа одной стороны невозможно обеспечить необходимую геометрию зернового цилиндра, при котором создаются оптимальные условия прессования. Цилиндр, набранный из пластин с одной изношенной стороной, не имеет первоначальной завершенности (оптимальной или близкой к ней), поэтому при прессовании зерновые щели будут забиваться мезгой, препятствуя свободному выходу масла, а все это приведет к увеличению потерь, снижению производительности и т. д.

#### в) Оптимальная шероховатость деталей прессового тракта

В силу того, что процесс прессования мезги в шнековых маслопрессах связан с ее непрерывным движением и скольжением относительно деталей прессового тракта, шероховатость поверхности этих деталей существенно влияет на ход процесса.

По техническим условиям шероховатость поверхности деталей (зерновых пластин, шнековых витков и промежуточных колец) должна быть не ниже пятого класса чистоты. Проводимые нами испытания прессов показали, что при указанной шероховатости поверхности деталей прессового тракта прессование вести невозможно. Пресс не принимает мезгу и работает сам на себя. Причиной этому является то, что трение между деталями с грубой шероховатостью поверхности и мезгой выше, чем внутрискрутирующее трение в мезге.

Нормальная работа пресса устанавливается по истечении периода приработки. В процессе приработки образуется оптимальная шероховатость поверхности деталей, которая остается на весь период дальнейшей работы пресса.

Для примера приведем значение шероховатости поверхности зерновых планок по ступеням, проработавших различные сроки на Лабинском маслозаводе (табл. 8).

Таблица 8

Ступень	Исходная чистота поверхности, Ra мк	Волнистость, мм		Шероховатость поверхности планок в зависимости от времени работы, мк (Ra)				Оптимальная шероховатость	
		шаг	высота					Ra, мк	класс
				2,0 мес.	3,0 мес.	4,5 мес.	5,0 мес.		
2	3,8	0,7—1,0	0,1—0,15	0,75	0,65	0,35	0,35	0,35	девятый
3	4,0	1,0—1,2	0,1—0,15	0,6	0,55	0,5	0,55	0,55	восьмой
4	3,8	1,0—1,2	0,1—0,15	1,2	1,2	1,1	1,1	1,1	седьмой

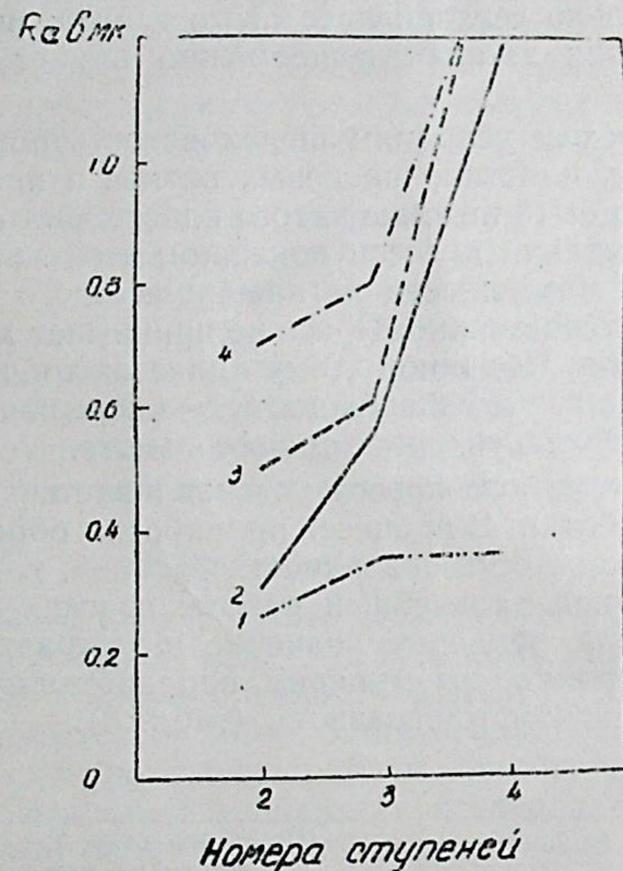
Оптимальная шероховатость поверхности деталей прессового тракта зависит от технологической схемы завода.

На фигуре 7 представлен график значения оптимальной шероховатости зерновых планок по заводам с различными технологическими схемами.

Приведенный выше материал дает основание сделать общий вывод, что шероховатость поверхности деталей прессового тракта значительно влияет на процесс прессования и качественные показатели работы маслопрессов. Шероховатость поверхности новых деталей должна быть близкой к приработанной.

г) Влияние свойств деталей на их износостойкость и ремонт

Рассматривая технологию термической обработки деталей прессового тракта и их свойства, мы указали на несовершенство



Фиг. 7. 1 — Кропоткинский, 2 — Лабинский, 3 — Белореченский, 4 — Северский.

ство процесса закалки зерных планок и их низкую и неравномерную твердость.

При изучении изношенных зерных планок, проработавших одни и те же сроки, было установлено, что планки изношены неодинаково. Причиной этого является неравномерная твердость по длине планки и разная твердость (от  $HRC = 25$  до  $HRC = 60$ ) у планок одной и той же ступени. Естественно, что планки с наименьшей твердостью изнашиваются гораздо быстрее.

Преждевременный износ отдельных планок с низкой твердостью приводит к нарушению нормальной работы пресса и остановке на ремонт.

При существующем положении прессовый тракт очень часто находится в состоянии ремонта, а его возможности, с точки зрения обеспечения наилучших условий отжима, искусственно занижены.

В производстве необходимо добиться такого положения,

чтобы детали имели высокую износостойкость, изнашивались равномерно, а их замена производилась как можно реже и одновременно. Только при этом прессовый тракт маслопресса будет отвечать техническим требованиям и обеспечит необходимые, наиболее эффективные условия отжима масла, потери которого дорого обходятся государству.

д) Влияние износа деталей на работу пресса

Анализируя причины, вызывающие потери масла в производстве, мы пришли к выводу, что наряду с технологическими неполадками в процессе, большую роль играет качество работы маслопресса.

Из практики известно, что при одних и тех же технологических режимах подготовки мезги шнековый маслопресс может работать различно. Естественно, что единственной причиной этого является только качество поверхности деталей прессового тракта и степень их изношенности.

Износ деталей прессового тракта вызывает резкое изменение их геометрии. Изменение геометрии приводит к нарушению условий прессования: перераспределению давлений, изменению направления движения мезги, увеличению выхода осыпи и коэффициента возврата мезги, снижению производительности, повышению маслячности жмыха, ухудшению условий труда.

Результаты заводских испытаний дают возможность сделать следующие выводы и пожелания, соблюдение и выполнение которых в производстве крайне желательно.

1. Исходная шероховатость поверхности зерных пластин шнекпрессов, установленная техническими условиями «Главпродмаш», низка. Как показали опыты, на маслозаводах оптимальная шероховатость поверхности, образовавшаяся в процессе приработки, зависит от абразивных и механических свойств мезги и колеблется от  $\nabla 7$  до  $\nabla 9$ . Поэтому исходная шероховатость поверхности новых деталей должна быть не ниже седьмого класса.

2. Шероховатость поверхности деталей прессового тракта сильно влияет на качественные показатели работы шнекпрессов. Грубая шероховатость поверхности вообще недопустима для пусковых условий новых прессов, так как при ней практически невозможно вести прессование.

3. Процесс приработки исходных микронеровностей длится приблизительно 2—4 недели и зависит от технологической схемы завода.

4. Низкие качественные показатели работы шнекпрессов в течение 2—4 недели после капитального ремонта завода частично можно объяснить низкой шероховатостью поверхности деталей тракта и их загрязненностью.

5. Влияние износа деталей на процесс прессования сказывается в следующем:

а) в случае износа витка и пластин увеличивается зазор между шнековым валом и зерным цилиндром, уменьшается площадь пера витка, что способствует увеличению коэффициента возврата мезги и снижению производительности пресса.

б) в случае износа витка изменяется его геометрия, которая в свою очередь влияет на распределение усилий прессования и изменяет ход процесса.

в) нарушение геометрии планок по причине износа частично изменяет процесс прессования и вызывает обильное выделение обратного товара (осыпи) через щели зерного цилиндра, что в свою очередь затрудняет свободный выход масла и эксплуатацию пресса.

6. Износ деталей прессового тракта находится в зависимости от технологических параметров мезги и ее свойств, от технологической схемы маслозавода. Причем, наибольший износ имеет место при схемах завода форчан — пресс, форпресс — экспеллер, а наименьший при схеме форпресс — экстрактор.

7. Экономически выгодное использование планок (одной стороны) II, III и IV ступеней лежит в следующих пределах: при работе заводов по схемам форчан — форпресс в режиме экспеллера — 4—6 месяцев, форпресс — экспеллер — в пределах 6—8 месяцев, форпресс — экстрактор — 10—12 месяцев.

8. Использование второй стороны нецелесообразно, т. к. износ одной стороны не позволяет обеспечить необходимую, оптимальную геометрию (завершенность) зерного цилиндра, при которой создаются лучшие условия отжима масла.

9. Практическое осуществление технологии термической обработки зерных планок на заводах (закалка) не обеспечивает выполнения требований технических условий, планки имеют различную и неравномерную по длине твердость, что приводит к их разновременному износу, вызывающему преждевременные остановки на ремонт.

10. Зерный цилиндр часто находится в состоянии ремонта (замена разновременно изношенных планок), его техническое состояние после ремонта на 20—30% ниже, чем у нового.

11. В заводской практике крайне необходимо уделить особое внимание ремонту и техническому состоянию основного органа пресса — прессовому тракту. Своевременная замена деталей, тщательно набранный зерный цилиндр обеспечивают лучшие условия отжима масла и снижают его потери.

12. Особенности износа зерных планок (износ выступов), нецелесообразность использования второй стороны, сложность конструкции и технологии изготовления говорят о нерациональности их геометрии.

### *О видах изнашивания при трении пары сталь — мезга*

Сравнивая поверхность новых и изношенных деталей прессового тракта шнековых маслопрессов, можно легко обнаружить резкое различие между ними.

Особенностью поверхности изношенной детали является ее блеск, присущий полированному изделию. Под микроскопом на поверхности видны риски, направление которых соответствует направлению движения мезги.

Учитывая условия работы деталей, свойства мезги и характеристику поверхности изношенных деталей, мы пришли к выводу, что при трении стали о мезгу имеет место сложный комплекс видов изнашивания, а именно: коррозионно-механический и абразивный.

Рассмотрим условия и механизм каждого вида изнашивания, происходящего при трении сталь — мезга.

#### **Коррозионно-механический вид изнашивания**

«Механическое изнашивание, усиливается явлением коррозии, называют коррозионно-механическим. При сочетании коррозионных воздействий различного характера с различными видами механического взаимодействия могут получиться разные виды коррозионно-механического изнашивания».

В существующих классификациях видов изнашивания коррозионно-механическое изнашивание не подразделено на подгруппы. В рассматриваемом случае, принимая во внимание структуру и свойства мезги, можно выделить следующие взаимодействия ее со сталью, происходящие при трении: полирование, химическая и электрохимическая коррозии, расклинивающее и диспергирующее действие активной среды и др.

#### **Полирующее действие**

Как указывает академик И. В. Гребенщиков и др., для осуществления процесса полирования необходимы вещества, способствующие ускорению процесса пленкообразования на поверхности детали. В подсолнечном масле и мезге как раз есть такие вещества: влага, свободные жирные и органические кислоты, свободный кислород, перекисные соединения и др.

При контакте стали с мезгой на поверхности образуются пленки окислов и различных соединений. На эти пленки адсорбируются молекулы стеариновой и олеиновой кислот.

Твердые вещества мезги (лузга, минеральные примеси, денатурированные белки) адсорбируют жирные части молекул кислот, как бы склеивая их, и при движении отрывают кислотную часть вместе с пленками. В дальнейшем процесс непрерывно повторяется в описанной выше последовательности.

Наличие в мезге влаги, свободных жирных кислот, перекисных соединений, свободного кислорода создает хорошие условия для химической и электрохимической коррозии и других видов химического взаимодействия.

Рассмотрим условия и ход каждого вида химического взаимодействия, возникающие при контакте сталь — мезга.

Для химической коррозии характерно образование окислов и гидроокислов.

Необходимым условием для этого является наличие свободного кислорода или перекисных соединений. Как отмечалось ранее, в результате разложения жирных кислот под действием влаги и тепла мезга обогащается свободным кислородом и перекисными соединениями, которые, взаимодействуя с металлом, окисляют его, образуя защитные пленки окислов.

Электрохимическая коррозия имеет место, потому что в масле и мезге есть органические кислоты. Растворы этих кислот в воде образуют электролиты.

Наличие на поверхности деталей разнородных структурных составляющих, окруженных пленкой электролита, приводит к электрохимической коррозии. Кроме того, электрохимическая коррозия активизируется возникновением местных гальванических пар, особенно в первый период работы деталей прессового тракта, когда на их поверхности имеется большое количество микротрещин, рисок и царапин.

Известно, что свободные жирные кислоты, взаимодействуя с металлами, образуют с ними соли мыла.

Мыла оказывают при трении активное смазывающее действие, одновременно являясь посредником в разрушении этого металла, т. к. легко удаляются и смываются с его поверхности. На обновленной поверхности металла вновь образуется слой мыла, и процесс повторяется.

#### Расклинивающее и диспергирующее действие поверхности активных веществ мезги

Детали прессового тракта шнековых маслопрессов работают в условиях обильной смазки. Однако значительный их износ и относительно малый срок службы, а также свойства смазывающего вещества — подсолнечного масла — дают основание полагать, что происходящие взаимодействия поверхности деталей со смазкой ускоряют износ.

Ранее указывалось, что в состав подсолнечного масла и мезги входят поверхностно-активные вещества. Эти вещества могут оказывать на металл при трении смазывающее, расклинивающее, диспергирующее действия. Поэтому вполне вероятно, что при контакте стали с мезгой вышеуказанные явления имеют место.

Особое внимание нужно уделить расклинивающему и диспергирующему действиям.

Как указывает акад. П. А. Ребиндер, механизм расклинивающего действия состоит в том, что жидкость, попав в микротрещину шириной порядка двух диаметров молекулы жидкости, развивает большое давление, и возникающие высокие напряжения в металле значительно ослабляют его поверхностный слой и облегчают разрушение.

Диспергирующее действие поверхностно-активных веществ состоит в том, что они активно способствуют увеличению числа микротрещин в единице объема металла. А активная смазка, проникая в трещины зоны предразрушения (наклепа) или трещины другого характера, облегчает пластическое течение металла и повышает его пластический износ.

В заключение необходимо отметить, что все рассмотренные процессы и действия значительно активизируются повышенной температурой мезги (90—120°C).

#### Абразивное изнашивание

Абразивное изнашивание, являющееся наиболее распространенным видом, рассматривается как изнашивание поверхности детали в результате режущего или царапающего действия твердых частиц, основной механизм которого заключается в снятии твердой частицей стружки очень малого сечения или пластическом деформировании более мягкого металла и оставлении следов в виде рисок.

В соответствии с источником и характером абразивного действия, этот вид изнашивания разделяется на три подвида:

- а) твердые частицы (или неровности) материала режут материал сопряженной детали;
- б) твердые посторонние частицы шаржируют поверхность одной детали и режут материал другой и
- в) твердые посторонние частицы передвигаются между поверхностями обеих и режут их.

В рассматриваемом случае наиболее близко подходят условия второго подвида изнашивания. Однако механизм взаимодействия гораздо сложнее. Сложность заключается в том, что твердые посторонние частицы (минеральные примеси) находятся в мезге в двух связях: а) шаржируют лужгу, б) являются составляющими мезги как примеси. При трении стали о мезгу минеральные примеси царапают поверхность деталей, оставляя следы в виде рисок. Причем, как показали исследования, основное абразивное воздействие оказывает лужга, шаржированная минеральными частицами.

Вместе с тем условия подходят к третьему подвиду абразивного изнашивания. Минеральные примеси, находясь в мезге и лужге и передвигаясь между деталями зернового цилиндра и шнекового вала, царапают их.

Наличие на поверхности изношенных деталей рисок говорит о том, что глубина царапания больше толщины пленок, образующихся в результате действия поверхностно-активных веществ, имеющихся в мезге.

Кроме того, можно предположить, что царапающее действие оказывают и продукты окислов и других соединений, образовавшихся на поверхности деталей, которые, отрываясь от поверхности, царапают ее.

Учитывая сложность взаимодействия и многообразие факторов, влияющих на износ стали при трении о мезгу, процесс изнашивания стали можно представить следующим образом и разбить на несколько этапов:

- 1) Изнашивание новых деталей (период приработки).
- 2) Эксплуатационное изнашивание.
- 3) Изнашивание, при котором производят замену деталей.

Период приработки характеризуется наибольшим износом деталей прессового тракта и образованием оптимальной шероховатости.

В этот период, наряду с постоянно действующим абразивным изнашиванием, особую роль играют расклинивающее и диспергирующее действия поверхностно-активных веществ и химическая и электрохимическая коррозии. Причиной этому является грубая шероховатость поверхности и наличие большого числа макро- и микротрещин, в которые легко проникают эти вещества. Кроме того, общая поверхность трения и контакта поверхностно-активных веществ у новых деталей больше, чем у деталей с приработанной поверхностью.

В первый период износа поверхность деталей прессового тракта более неровна, имеет повреждения от предыдущей обработки, а также ослаблена и напряжена активной жидкостью, поэтому значительно легче царапается и пластически деформируется движущейся мезгой. Таким образом, процесс идет до тех пор, пока большая часть поверхности деталей не будет иметь характеристику приработанной.

Как уже говорилось, приработанная поверхность деталей имеет полированный вид.

Известно, что полированная поверхность обладает повышенной механической прочностью и химической устойчивостью по сравнению с поверхностями, полученными шлифованием, точением, прессованием.

Эти свойства полированной поверхности академик И. В. Гребенщиков объясняет отсутствием на ней «хотя бы самых ничтожных и микроскопических трещин». Поэтому на участках, где поверхность имеет высокую чистоту и является полированной, определяющим в износе является дальнейшее полирование и абразивное изнашивание, наряду с этим имеет место и эффект расклинивающего и диспергирующего действия поверхностно-активных веществ.

Когда детали приобретут приработанную шероховатость поверхности, которая остается весь период нормальной работы прессов, изнашивание идет так же, как и на отдельных приработанных участках, механизм его описан выше.

С момента окончания периода приработки до износа, при котором резко нарушается нормальная работа пресса, определяющими в изнашивании деталей являются полирование и абразивное действие минеральных частиц и лузги.

Общая картина взаимодействия и износа деталей при трении о мезгу представляется следующей:

1. При контакте мезги с деталями на их поверхности образуются пленки различных химических соединений (окислы, гидроокиси, соли и т. д.).

2. Образовавшиеся пленки химических соединений адсорбируют на себя жирные кислоты (стеариновую, олеиновую).

3. Поверхностно-активные вещества расклинивают имеющиеся микротрещины и пленки, напрягая поверхностный слой, облегчают его диспергирование при трении.

4. Твердые частицы мезги (лузга, минеральные примеси, денатурированные белки), адсорбируя жирную часть молекул кислот, при движении увлекают ее и отрывают вместе с пленками. Отрыв облегчается расклинивающим и диспергирующим действием поверхностно-активных веществ.

5. Минеральные примеси относительно легко царапают и пластически деформируют разрыхленную и напряженную поверхностно-активными веществами поверхность деталей, значительно увеличивая их износ.

6. Риски, трещины, переходы сечений на поверхности деталей, места соединений, стыки являются местами начала и концентрации износа этих деталей.

На основании приведенных исследований можно сделать следующие общие выводы и предложения.

#### ВЫВОДЫ:

1. Технологические и экономические показатели работы маслопрессов в большой степени зависят от шероховатости поверхности, износостойкости и степени изношенности деталей прессового тракта маслопрессов.

2. Проведенная исследовательская работа дает возможность судить о сложных взаимодействиях, происходящих при трении пары сталь—мезга, о свойствах мезги, зависящих от технологии ее подготовки, о механизме износа сталей, о возможных методах упрочения и т. д., а именно:

а) Механические, абразивные, поверхностно и коррозионно-активные свойства мезги находятся в зависимости от технологических параметров ее подготовки. Повышение температуры жарения, лузжистости, степени сжатия и уменьшение влажности способствуют возрастанию этих свойств.

б) Механизм износа при трении пары сталь—резина сводится к абразивному, коррозионно-механическому изнашиванию и сложному взаимодействию веществ, входящих в резину с поверхностью деталей, образованию пленок окислов, солей и других соединений, а затем отрыву их постоянно движущимися твердыми частицами резины.

Кроме того, расклинивающее и диспергирующее действия поверхностно-активных веществ значительно интенсифицируют пресс.

в) Основным свойством, определяющим износостойкость деталей прессового тракта, является их твердость.

г) Основными факторами, влияющими на износ стали 20Х при трении о резину, являются: лужистость, температура жарения, кислотное число и степень сжатия резины, удельное давление и путь трения.

д) Основные положения, вытекающие из работы, о влиянии механических свойств сталей и условий испытаний (удельного давления, скорости скольжения, среды и др) на износ совпадают с современными наиболее распространенными исследованиями и мнениями по этому вопросу.

3. Геометрические параметры деталей должны обеспечивать наибольшую эффективность отжима масла, а их износостойкость сохранение этих параметров длительное время эксплуатации.

4. Обеспечение масложировой промышленности деталями прессового тракта, обладающими высоким качеством и износостойкостью, является очень важным вопросом в производстве надежного ремонта, эксплуатации прессов и экономии дорогостоящего сырья и масла.

5. Применяемая для изготовления деталей прессового тракта сталь 20Х, при правильном ведении технологического процесса термической обработки, имеет достаточно высокую износостойкость и может быть рекомендована основным материалом для этих деталей.

6. Оптимальный срок службы деталей прессового тракта, при котором экономически выгодно эксплуатировать пресс, должен строго выдерживаться. Дальнейшая эксплуатация приводит к повышенным потерям масла и сырья.

7. При ремонте необходимо производить замену всех деталей. Частичная замена наиболее изношенных деталей приводит к искусственному снижению технического состояния прессового тракта и эффективности отжима масла.

8. Существующая технология термической обработки (закалка) полностью не обеспечивает выполнения технических условий на твердость деталей. Неравномерная твердость поверхности деталей прессового тракта приводит к равновременному их износу, преждевременным и дополнительным остановкам на замену деталей и ремонт пресса.

9. Шероховатость поверхности новых деталей прессового тракта должна быть не ниже седьмого класса. При шероховатости поверхности  $\nabla 5$  прессование вести невозможно. Существующие в практике методы приработки длятся довольно продолжительное время и вызывают ускоренный износ деталей и большие потери масла. Введение в технологический процесс изготовления деталей операции шлифовки рабочих поверхностей быстро окупится за счет сокращения периода приработки.

10. Существующая геометрия и технология изготовления зерновых планок нерациональны и сложны. Износ одной стороны планок не дает возможности обеспечить оптимальные параметры зернового барабана при наборе его из работавших планок. Расположение выступов на передней грани планки препятствует свободному осевому движению резины, способствует концентрации износа рабочего ребра планки и закупорке зерновых щелей.

#### ПРЕДЛОЖЕНИЯ:

1. Технологический процесс термической обработки зерновых планок (закалка) не обеспечивает необходимой твердости. Автором диссертации совместно с работниками механического завода Краснодарского МЖК сконструирован и изготовлен полуавтоматический агрегат для закалки планок на установке ТВЧ. При закалке планок в агрегате будет обеспечена необходимая по величине и равномерности твердость и ликвидирован брак.

2. На основании изучения характера износа существующих зерновых планок установлены ее недостатки и предложена зерновая планка измененной конструкции. При наборе зернового цилиндра из планок предлагаемой конструкции его геометрические параметры, завершенность и сечение щелей обеспечат лучшие условия отжима масла, а дренажная способность цилиндра увеличится на 50—60%.

#### *Основные положения, опубликованные в следующих статьях:*

1. Измалков Л. И. Износ деталей прессового тракта шнекпресса ФП на Белореченском маслозаводе. Изв. вузов СССР, Пищевая технология, № 1, 1957.
2. Измалков Л. И. К вопросу об оптимальной чистоте поверхности деталей шнекпрессов. Изв. вузов СССР, Пищевая технология, № 3, 1959.
3. Измалков Л. И., Мавриенко П. К. К вопросу о рациональной геометрии зерновых планок. Изв. вузов СССР, Пищевая технология, № 12, 1963.