

ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАЗЛИЧНЫХ ПРОЦЕССОВ ПОЛИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ЮВЕЛИРНЫХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ СПЛАВА ЗОЛОТА 585 ПРОБЫ

Галанин С.И., Сорокина М.В., Токмаков А.Ю., Субботин Д.Н.
ГОУ ВПО Костромской государственной технологической университет,
ОАО Костромской ювелирный завод

Исследована эффективность полирования поверхности ювелирных изделий из сплава золота 585 пробы с использованием ручной обработки, турбогалтования, электрохимического полирования униполярными и биполярными токами. Показано, что эффективность обработки зависит от степени подготовки и профилированности поверхности. Предложены оптимальные схемы обработки для различных изделий.

Введение

Одним из основных процессов при производстве ювелирных изделий является сглаживание высоты неровностей поверхности на промежуточных и финишных этапах обработки заготовок. Для этого наиболее часто применяется ручная обработка с использованием свободного и связанного абразива, турбо- и виброгалтование, а в последнее время разработана технология электрохимического полирования (ЭХП) и глянцеваания (ЭХГ) с использованием униполярных и биполярных импульсных токов [1-5]. Эти технологии имеют достоинства и недостатки, а также эффективные области и условия применения, зависящие от серийности производства, исходной шероховатости и сложнопрофилированности поверхности изделий, ряда других параметров. Задача исследования – сравнительный анализ эффективности использования на промежуточных и финишных операциях изготовления сложнопрофилированных ювелирных изделий следующих технологических операций:

- ручного предварительного выравнивания поверхности (шлифования) с использованием связанного абразива (надфилей и шлифовальной бумаги);
- ручное предварительное и финишное полирование и глянцеваание с использованием шлифовально-полировальных машин (ШПМ);
- предварительное и финишное полирование и глянцеваание с помощью центробежно-дисковых машин (ЦДМ);
- ЭХП и ЭХГ на предварительных и финишных операциях.

Описание эксперимента

Образцы для исследований изготавливаются литьём по выплавляемым моделям, ушки к ним - с помощью штамповки. Сплав золота 585 пробы, красный. Лигатура безокислительная **Legor 14K OR129C**, позволяющая исключить электрохимическое удаление обогащённого золотом после литья поверхностного слоя. Форма поверхности образцов позволяет фиксировать отличия в качестве полирования участков, неравнодоступных для абразивного материала. Внешний вид образцов представлен на рис. 1.

На ювелирных производствах отливки подвергаются обработке при разнообразной комбинации подготовительных и заключительных технологических операций, поэтому образцы обрабатывались по различным последовательностям операций.

В качестве подготовительных операций использовались:

- обработка поверхности механическим способом ручным инструментом (надфили, боры и т.д.) – ПР;
- обработка поверхности механическим способом с помощью связанного абразива (шлифовальной бумагой №320 – П320 и №600 – П600);
- при высоком качестве отливок подготовительная механическая обработка исключалась – ПБО.

В качестве промежуточных и заключительных операций:

- обработка на шлифовально-полировальных машинах – ЗШПМ;
- галтование на центробежно-дисковых машинах – ЗГ;
- ЭХП с использованием униполярных импульсных токов – ЗУТ;
- ЭХП с использованием биполярных импульсных токов – ЗБТ.

В качестве финишных операций:

- обработка на шлифовально-полировальных машинах – ФШПМ;
- галтование на центробежно-дисковых машинах – ФГ;
- ЭХГ с использованием униполярных импульсных токов – ФУТ;
- ЭХГ с использованием биполярных импульсных токов – ФБТ;

Для галтования использовались центробежнодисковые финишные станки **ОТЕС** серии **CF-18** при следующей последовательности операций:

При ЗГ: 1) мокрое галтование с белыми пластиковыми чипсами KX10 и PX10 (по 50% каждый) продолжительностью 6 часов;

2) сухое галтование с гранулами ореховой скорлупы H1/50 6 часов;

3) сухое галтование с гранулами ореховой скорлупы H1/500 4 часа;

При ФГ: 1) сухое галтование с гранулами ореховой скорлупы H1/50 4 часа;

2) сухое галтование с гранулами ореховой скорлупы H1/500 4 часа.

В каждом случае различных комбинаций и последовательности операций обрабатывались одновременно 3 образца. После каждого этапа эксперимента эта группа взвешивалась с точностью $\pm 0,0001$ г, определялась средняя микрошероховатость по группе (по R_z с помощью микроскопа МИИ-4). После каждого этапа

определялась отражательная способность поверхности в относительных единицах (о.е.) с помощью прибора, состоящего из микроскопа МСБ-9, снабжённого видеокамерой EQ-350/P, сопряжённой с компьютером. Обработка изображения производилась при помощи программы «Adobe Photoshop». Отражательная способность измерялась относительно зеркально отполированной механическим способом поверхности золота по методике, описанной в [6]. Внешний вид поверхности образцов фиксировался на микроскопе МЕТАМ ЛВ-32 с увеличением 1000. Измерения проводились на шести участках: на отштампованной поверхности (рис. 1, А), на месте реза штампа (рис. 1, Б), на месте обрезки литника (рис. 1, В), на предварительно фактурированной поверхности (рис. 1, Г), на легко доступной поверхности (плоской поверхности листика) (рис. 1, Д), на поверхности чашки для закрепки жемчуга (рис. 1, Е). Блеск визуально фиксировался на внутренней стороне кастов. Внешний вид исходных поверхностей представлен на рис. 2.

При ЭХП униполярными и биполярными токами через анод пропускать одинаковое количество электричества.

При различной последовательности операций определялась эффективность обработки λ [мкм/г]:

$$\lambda = \frac{\Delta R_z}{\Delta t}$$

где ΔR_z – уменьшение высоты микронеровностей поверхности за время обработки, Δt – съём металла за то же время. Величина λ позволяет сравнивать между собой различные процессы обработки, так как чем быстрее уменьшается микрошероховатость поверхности при меньшем съёме металла, тем эффективнее процесс.

Результаты и обсуждение

Эффективности процессов обработки представлены в табл. 1-4, изменение шероховатости R_z [мкм] и отражательной способности в относительных единицах [о.е.] в графическом виде – на рис. 3-6. Изменение внешнего вида участков поверхности в течение обработки представлено на рис. 7, 8.

Таблица 1

Изменение средней эффективности обработки $\lambda_{ср}$ [о.е.] при использовании биполярных токов

Последовательность обработки	ПР-ЗБТ-ФГ	П600 ЗБТ-ФГ	П320-ЗБТ-ФГ	ПБО-ЗБТ	ПБО-ЗБТ-ФГ	ПБО-ЗГ-ФБТ
$\lambda_{ср}$	4,19	2,83	3,07	6,49	6,60	1,20

Таблица 2

Изменение средней эффективности обработки $\lambda_{ср}$ [о.е.] при использовании униполярных токов

Последовательность обработки	ПР-ЗУТ-ФГ	П600 ЗУТ-ФГ	П320-ЗУТ-ФГ	ПБО-ЗУТ	ПБО-ЗУТ-ФГ	ПБО-ЗГ-ФУТ
$\lambda_{ср}$	3,56	2,365	2,70	4,67	4,85	1,46

Таблица 3

Изменение средней эффективности обработки $\lambda_{ср}$ [о.е.] при использовании полирования на ШПМ

Вид и последовательность обработки	ПР-ЗШПМ	П600-ЗШПМ	П320-ЗШПМ	ПБО-ЗШПМ
$\lambda_{ср}$	Полирование	2,92	2,29	2,62
	Глянцевание	2,52	2,565	2,375

Таблица 4

Изменение средней эффективности обработки $\lambda_{ср}$ [о.е.] при использовании галтования

Вид и последовательность обработки	ПР-ЗБТ-ФГ	П600 ЗБТ-ФГ	П320-ЗБТ-ФГ	ПБО-ЗБТ	ПБО-ЗБТ-ФГ	ПБО-ЗГ-ФБТ
$\lambda_{ср}$	Полирование	5,20	3,34	3,82	16,14	7,33
	Глянцевание	4,62	3,59	3,65	12,33	6,56

Эксперимент показал, что конечная величина R_z для различных последовательностей операций практически совпадает, то есть на доступных для абразива участках поверхности результат ЭХП и других операций соизмерим. Принципиально другой результат получен на внутренней стороне кастов: здесь снижение шероховатости возможно только в результате ЭХП. Сравнение между собой величин $\lambda_{ср}$ для различных операций позволяет сделать вывод о том, что эффективность обработки уменьшается в следующем ряду: «Галтование» - «ЭХП биполярными токами» - «ЭХП униполярными токами» - «Ручное полирование». Этот результат ожидаем, так как мы располагали предварительными данными, полученными ранее [2-5]. Это связано с тем, что в результате галтования металл «размазывается», а не удаляется с поверхности, и величина $\lambda_{ср}$ выше, чем на других операциях.

Самая низкая эффективность обработки для последовательности «ПБО-ЗГ-ФБТ» и «ПБО-ЗГ-ФУТ». Это связано с тем, что после операции галтования поверхность уже достаточно выглажена, микронеровности в процессе галтования «замазаны» металлом. Продолжительное ЭХГ (более 40-80 с) в этом случае малоэффективно, так как высота микронеровностей снижается относительно быстро и стабилизируется на достаточно высоком уровне за счёт вскрытия «замазанных» микронеровностей на операции галтования, и на поверхности проявляется эффект «лимонной» или «апельсиновой» корки, связанной со вскрытием «замазанных» микровпадин (рис. 13). Блеск поверхности при этом значительно увеличивается при явно заметной невоору-

жённым глазом неровности поверхности. Например, на рис. 8, а показано, что предварительно отгалтованная поверхность после 20 с ЭХГ существенно выглаживается – здесь проявляется положительный эффект из-за непродолжительности обработки. В дальнейшем, при увеличении продолжительности ЭХГ, качество поверхности ухудшается (рис. 8, б-е). Однако, через определённое время (380 с), поверхность опять начинает выглаживаться за счёт значительного электрохимического съёма металла (рис. 8, ж).

Сравним теперь эффективность следующих последовательностей операций: «ПР-ЗБТ-ФГ», «П600-ЗБТ-ФГ», «П320-ЗБТ-ФГ». Использование первой последовательности эффективнее, в связи с тем, что исходная микрошероховатость поверхности после обработки надфилем выше, нет «замазанных» металлом микровпадин, скорость выглаживания больших микровыступов при ЭХГ, как правило, при прочих равных условиях выше, чем небольших. Хотя и незначительно, но эффективность третьей последовательности операций выше, чем второй. Это в определённой степени можно объяснить тем, что после обработки шлифовальной бумагой 320 номера высота исходной микрошероховатости поверхности перед ЭХГ выше, по сравнению с обработкой бумагой 600 номера, и сглаживаются они быстрее.

Последовательности «ПБО-ЗБТ» и «ПБО-ЗУТ» эффективнее других последовательностей операций обработки, а «ПБО-ЗБТ» эффективнее «ПБО-ЗУТ» за счёт значительно меньшего съёма металла при одинаковом конечном результате по микрошероховатости поверхности.

Не всегда финишное галтование улучшает поверхность. Как видно из рис. 7, внешний вид поверхности (а также микрошероховатость и отражательная способность) после галтования ухудшился, и его полностью исправить не смогло даже последующее ЭХГ. Это говорит о том, что параметры галтования после операций ЭХГ необходимо очень тщательно подбирать.

Необходимо отметить, что эффективность сглаживания микронеровностей поверхности не одинакова на участках поверхности образцов, подвергнутых различной предварительной обработке. Чем меньше затронута надфилем или шлифовальной бумагой после литья по выплавляемым моделям поверхность, тем эффективнее процесс. При использовании высококачественного литья предварительная обработка надфилем или шлифовальной бумагой должна быть минимальна. Последующее ЭХГ или галтование с успехом и высокой эффективностью сглаживают микронеровности. Также это касается и обработки труднодоступных участков поверхности, например, внутри кастов. Их вообще не надо подвергать механической обработке надфилем или бумагой, а только ЭХГ.

Можно также заключить, что операция финишного галтования после операции ЭХГ в ряде случаев может уменьшать высоту микронеровностей поверхности. Это связано с тем, что при ЭХГ невозможно бесконечно уменьшать высоту микронеровностей поверхности от значительной исходной величины. Через определённое время обработки эта высота стабилизируется на определённой величине, и в дальнейшем микрошероховатость либо остаётся более или менее постоянной при продолжающемся удалении металла, или даже ухудшается из-за межкристаллитного растравливания поверхности в результате продолжающегося процесса анодного растворения. [5]. Специально в проведённом эксперименте продолжительность ЭХГ была увеличена больше оптимальной для определения наиболее выгодной длительности процесса. При превышении оптимальной продолжительности ЭХГ качество поверхности ухудшается, как, например, на рис. 8.

Важно отметить, что при выборе тех или иных последовательностей операций необходимо в обязательном порядке учитывать сложнопрофильность поверхности обрабатываемых заготовок. Существует несколько классов изделий, поверхность которых не поддается галтованию, или такая их обработка существенно затруднена [3]. Например, это относится к изделиям, имеющие сложные касты или поднутрения, как на исследованных образцах. Визуальный контроль внутренней поверхности кастов, внутренней поверхности чашки под закрепку жемчужины после обработки при различных последовательностях операций показал, что придание блеска этим поверхностям возможно лишь при ЭХГ. Кроме того, контроль состояния после обработки выступающих деталей (краны у кастов, штыри для закрепки жемчуга) показал, что их утонение и изменение формы минимально при ЭХГ.

Также с экономической точки зрения необходимо отметить отличия в регенерации отходов металла при различных операциях обработки. Безвозвратные потери металла от ушедшего в отходы металла после обработки на ШПМ могут составлять до 40%, после обработки на РДМ – до 20%, после ЭХГ – 1-5%. Следовательно, основное выглаживание поверхности и съём металла с этой точки зрения выгоднее производить на операции ЭХГ.

Средняя отражательная способность (или блеск) обработанной поверхности уменьшается в следующем ряду: «ЭХГ биполярными токами» (4,88 о.е.) - «ЭХГ униполярными токами» (4,64 о.е.) - «Галтование» (4,27 о.е.) - «Ручное полирование на ШПМ» (4,06 о.е.). Хотя необходимо отметить, что при использовании последней операции можно более оперативно прополировать те участки, которые в первую очередь «бросаются в глаза» при осмотре изделия, например, основную поверхность (рис. 1, Д) и поверхность чашки для закрепки жемчуга (рис. 1, Е).

Полученные результаты в основном подтверждают положение о том, что уменьшение высоты микронеровностей поверхности приводит к увеличению отражательной способности поверхности. Однако, в предлагаемой нами методике определения отражательной способности, учитывается также и разброс микронеровностей по высоте – чем он больше, тем меньше величина показателя отражательной способности.

Таким образом, на основании анализа динамики увеличения отражательной способности и уменьшения микрошероховатости поверхности образцов, а также сравнения эффективности процесса обработки при использовании различных последовательностей операций, можно заключить следующее. Наиболее эффективным является получение качественных отливок, позволяющих отказаться от операций предварительного выглаживания поверхности при помощи абразивных материалов, дальнейшее выглаживание поверхности ЭХГ импульсными биполярными токами, последующая финишная доводка на ЦДМ и заключительное ЭХГ биполярными токами. Если же заготовки получены штампованием, то использование ЭХГ эффективнее, чем ручное полирование с использованием ШПМ и надфилей.

На некоторых предприятиях для улучшения финишного блеска поверхности и выравнивания неравномерности возможной окраски используется финишное нанесение тонких (менее 1 мкм) разноцветных гальванических покрытий. Цвет покрытия соответствует цвету сплава золота. Покрытия используются блестящие, причём их блеск тем выше, чем лучше подготовлена покрываемая поверхность. Такая технология используется и на ОАО КЮЗ. Для сравнения такие покрытия были нанесены и на образцы, подвергнутые различной обработке. Сравнивался блеск поверхности внутри каста и на открытой основной поверхности. Он уменьшался в следующем ряду:

- для поверхности каста: «ЭХП биполярными токами» - «ЭХП униполярными токами» - «галтование» - «ручное полирование»;

- для основной поверхности: «ручное полирование» - все остальные процессы.

Полученные результаты ещё раз доказывают необходимость и эффективность использования ЭХП импульсными токами для обработки сложнопрофильных поверхностей заготовок ювелирных изделий, как на заключительных, так и на промежуточных этапах.

Литература

1. Галанин С.И. Способ импульсного электрохимического глянцеваания золота и его сплавов. Патент РФ на изобретение №2184801 от 31.07.2002г., зарегистрирован 10.07.2002 г.

2. Галанин С.И., Чекотин А.В. Электрохимическое полирование и гляцевание ювелирных сплавов золота 585 пробы импульсным током // Физика и химия обработки материалов, 2001. №3.- С. 20-23.

3. Галанин С.И., Сорокина М.В., Токмаков А.Ю. Дизайн ювелирных изделий с учётом технологии финишной обработки // Ювелирное обозрение.- Апрель 2005.- С. 28-30.

4. Галанин С.И., Успенский С.В. Электрохимическое полирование поверхности сплава 3лСрМ 585-80 импульсами биполярного тока // Металлообработка, 2005, №2(26).- с.10-13.

5. Галанин С.И., Сорокина М.В., Токмаков А.Ю. Электрохимическое полирование и гляцевание поверхности ювелирных изделий с использованием импульсных токов – технология завтрашнего дня // Русский ювелир, 2005, сентябрь №6.- с.113-116.

6. Галанин С.И., Успенский С.В., Сорокина М.В., Ломагин В.Н., Субботин Д.Н. Способ определения блеска поверхности//Вестник КГТУ, №14, 2006.

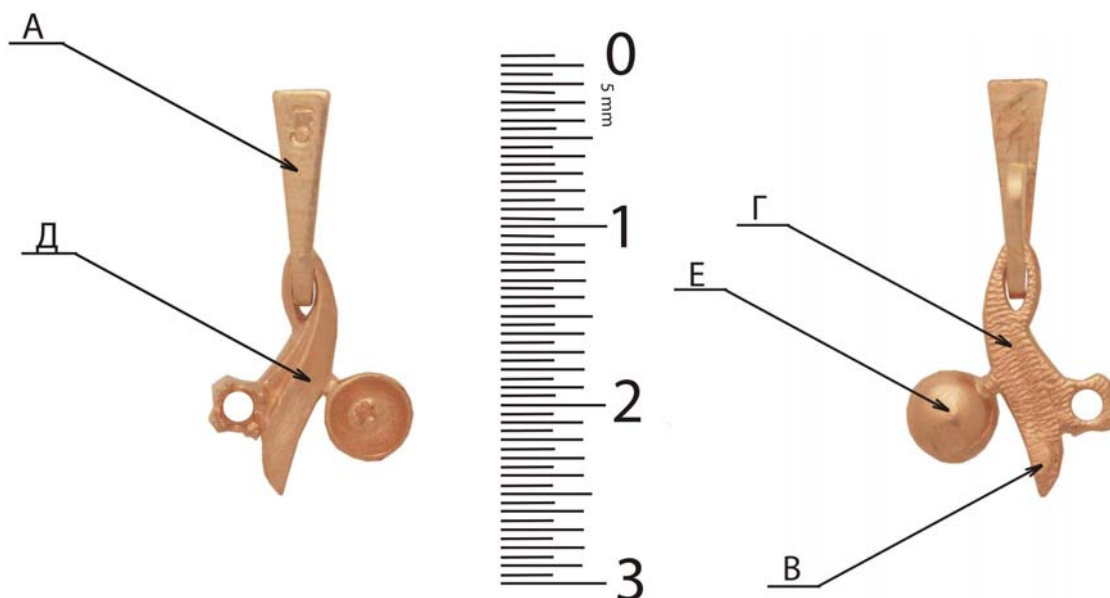
Реферат

Галанин С.И., Сорокина М.В., Токмаков А.Ю., Субботин Д.М. Эффективность различных процессов полирования поверхности ювелирных изделий из сплавов золота 585 пробы.

Исследована эффективность полирования поверхности ювелирных изделий из сплава золота 585 пробы с использованием ручной обработки, галтования, электрохимического полирования униполярными и биполярными токами. Показано, что эффективность различных последовательностей операций обработки зависит от степени подготовки и профилированности поверхности. Предложены оптимальные технологические схемы обработки для изделий различной степени профилированности поверхности.

Galanin S.I., Sorokina M.V., Tokmakov A.J., Subotin D.M. Efficiency of different polishing processes of jeweler 14-carat gold articles surface.

Efficiency of different polishing processes of jeweler 14-carat gold articles surface under using manual processing, barreling, electrochemical polishing with uni- and bipolar pulls current was studied. Efficiency of different processing operations depends on graduate's surface preparation and a profile was showed. Introduced optimal technological chimes processing for articles with different graduate of surface profile.



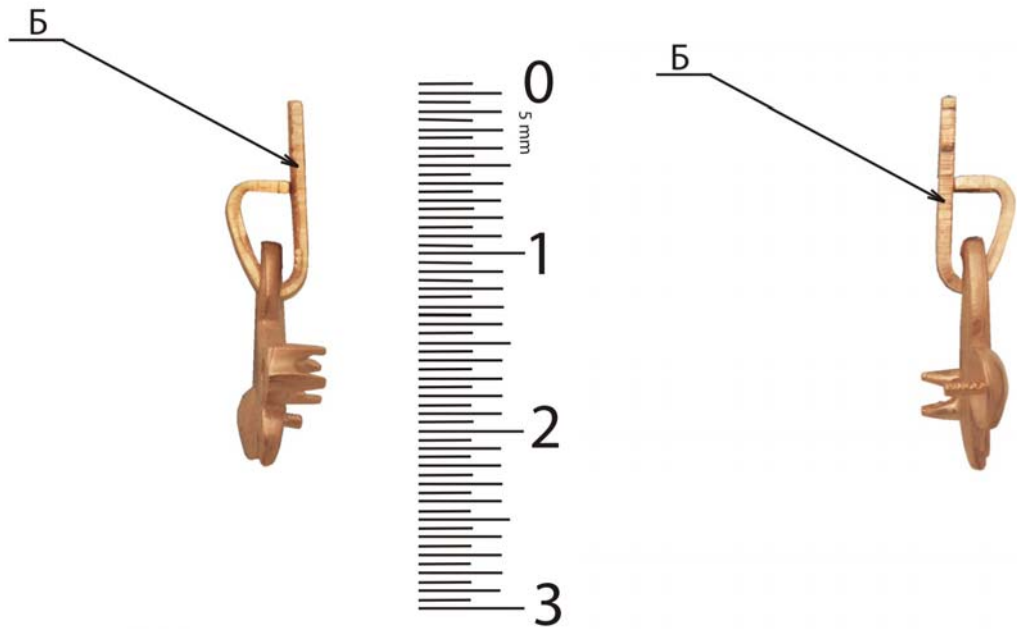


Рис. 1. Внешний вид образцов и различные участки их поверхности:
 А - отштампованная поверхность, Б - место реза штампа, В - место обрезки литника, Г - предварительно фактурированная поверхность, Д - основная, легко доступная поверхность (плоская поверхность листика),
 Е - поверхность чашки для закрепки жемчуга



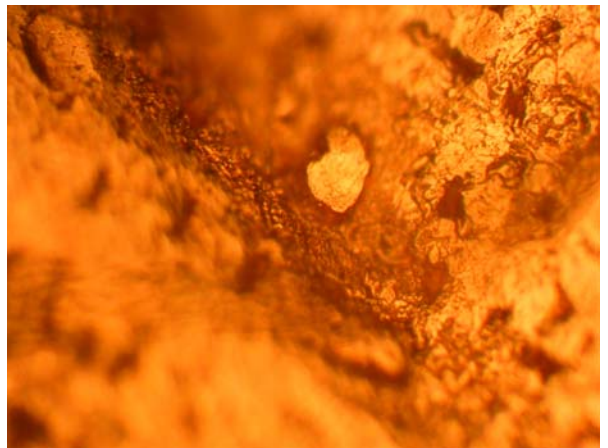
а



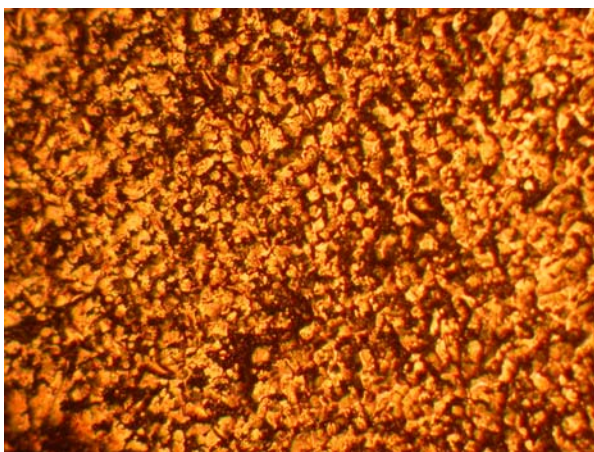
б



в



г



д



е

Рис. 2. *Различные участки исходной поверхности образцов перед обработкой ($\times 1000$): а – после штамповки; б – место реза штампом; в – место обрезки литника; г – предварительно фактурированная поверхность; д – основная поверхность; е – внешняя поверхность чашки под закрепку жемчужины*

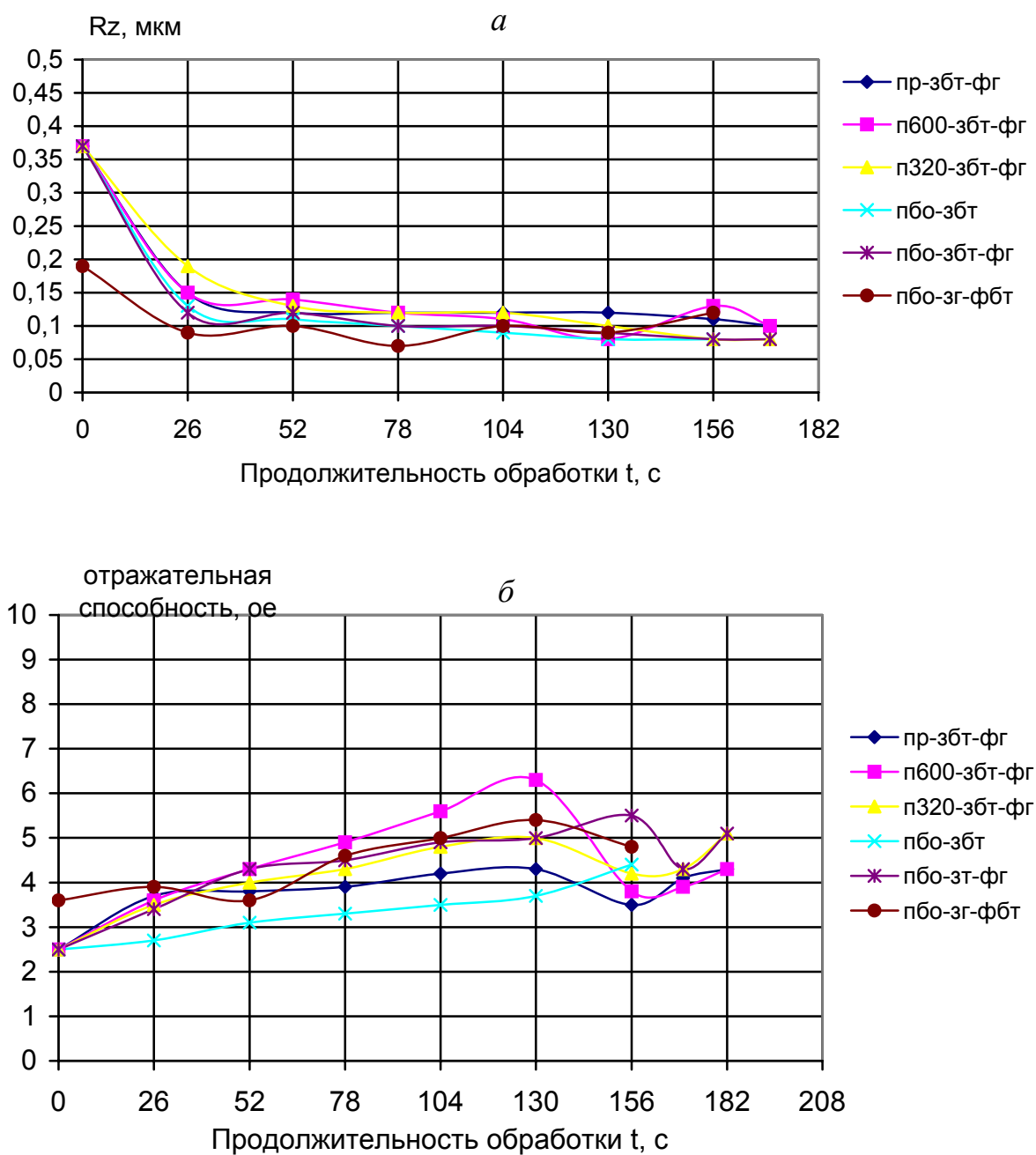


Рис. 3. Изменение шероховатости R_z [мкм] (а) и отражательной способности в относительных единицах [oe] (б) поверхности образцов после штамповки с течением времени обработки в результате обработки при различной последовательности операций (при ЭХП на биполярных токах) (при последовательности ПБО-ЗГ-ФБТ шероховатость и отражательная способность исходной поверхности сформирована после операции галтования)

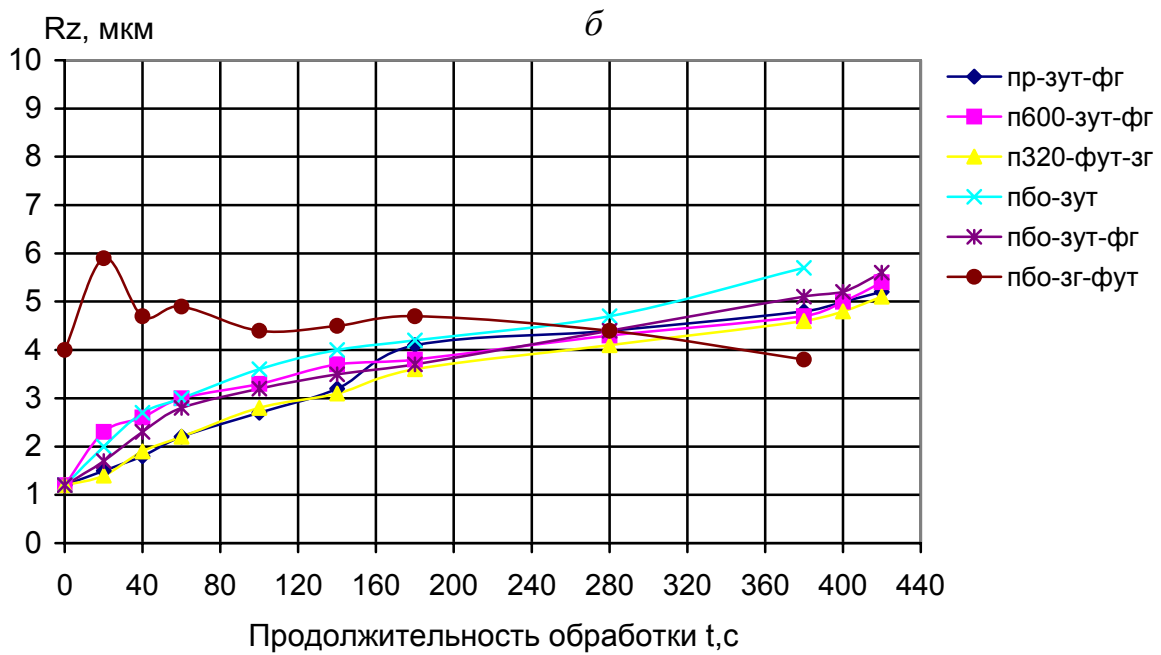
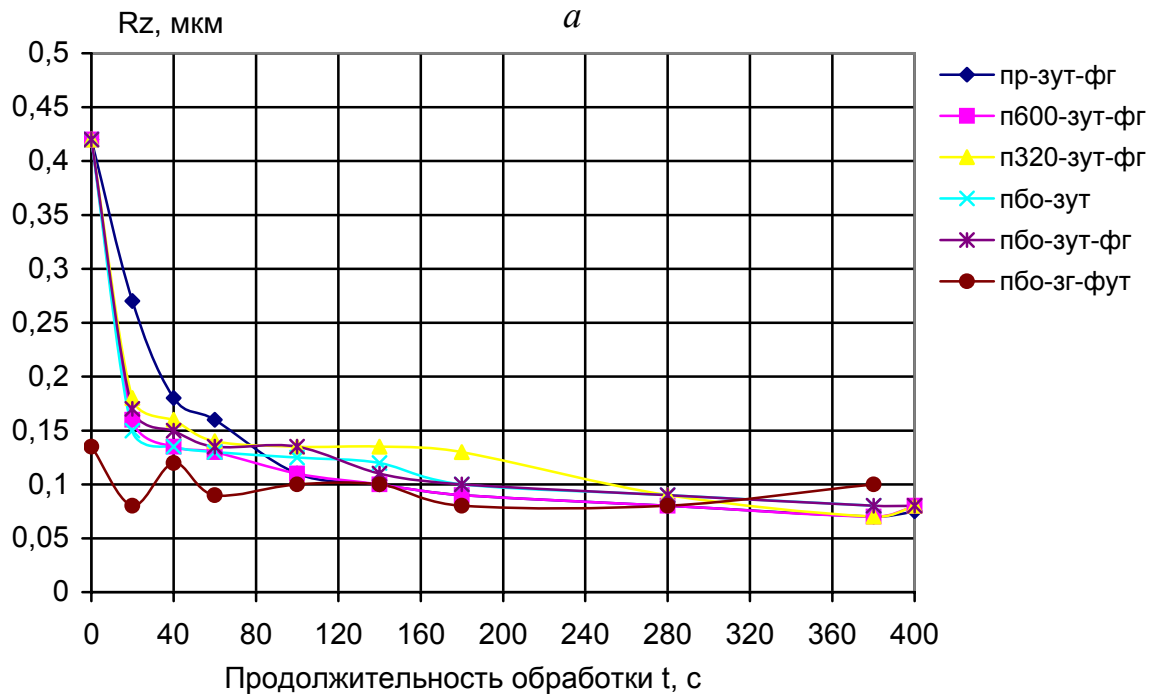


Рис. 4. Изменение шероховатости R_z [мкм] (а) и отражательной способности в относительных единицах [oe] (б) предварительно фактурированной поверхности образцов с течением времени обработки в результате обработки при различной последовательности операций (при ЭХП на униполярных токах) (при последовательности ПБО-ЗГ-ФУТ шероховатость и отражательная способность исходной поверхности сформирована после операции галтования)

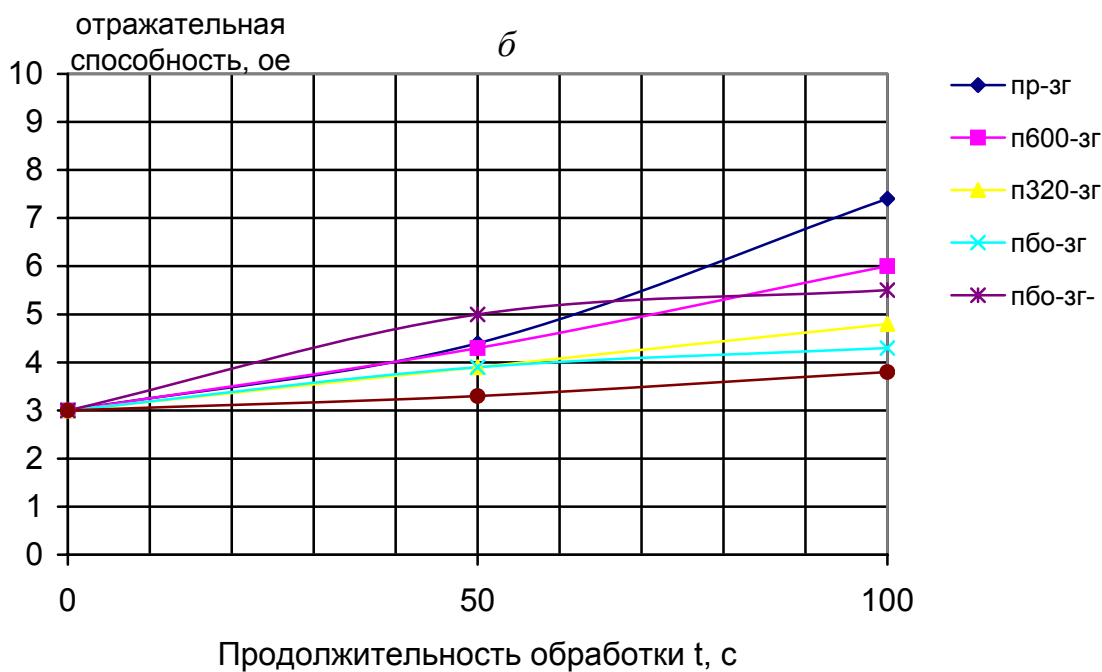
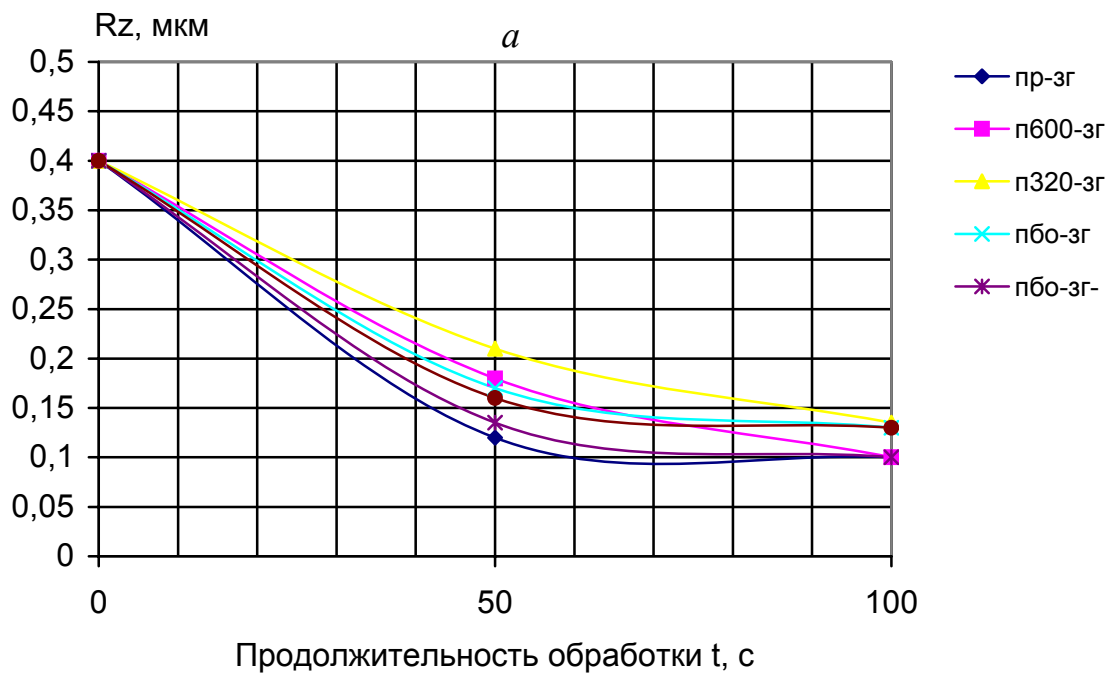


Рис. 5. Изменение шероховатости R_z [мкм] (а) и отражательной способности в относительных единицах [о.е.] (б) поверхности образцов на месте реза штампом с течением времени обработки в результате обработки при различной последовательности операций (при использовании турбогалтания)

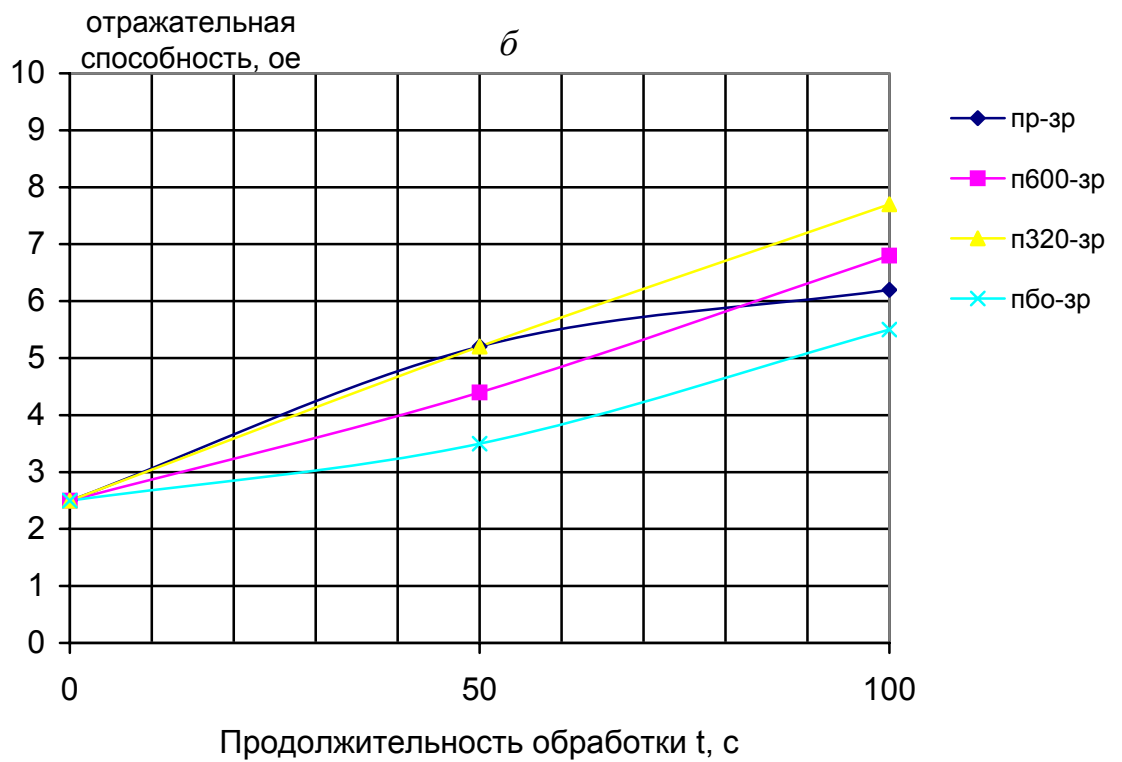
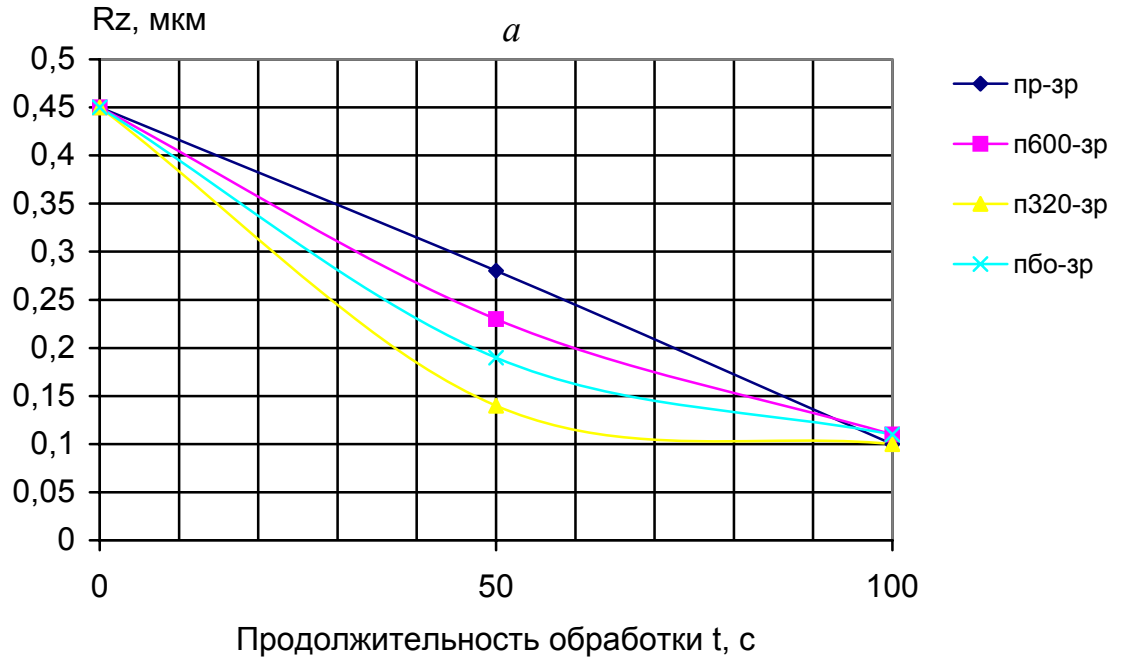


Рис. 6. Изменение шероховатости R_z [мкм] (а) и отражательной способности в относительных единицах [оe] (б) поверхности образцов на месте удаления литника с течением времени обработки в результате обработки при различной последовательности операций (при использовании полирования вручную на ШПМ)

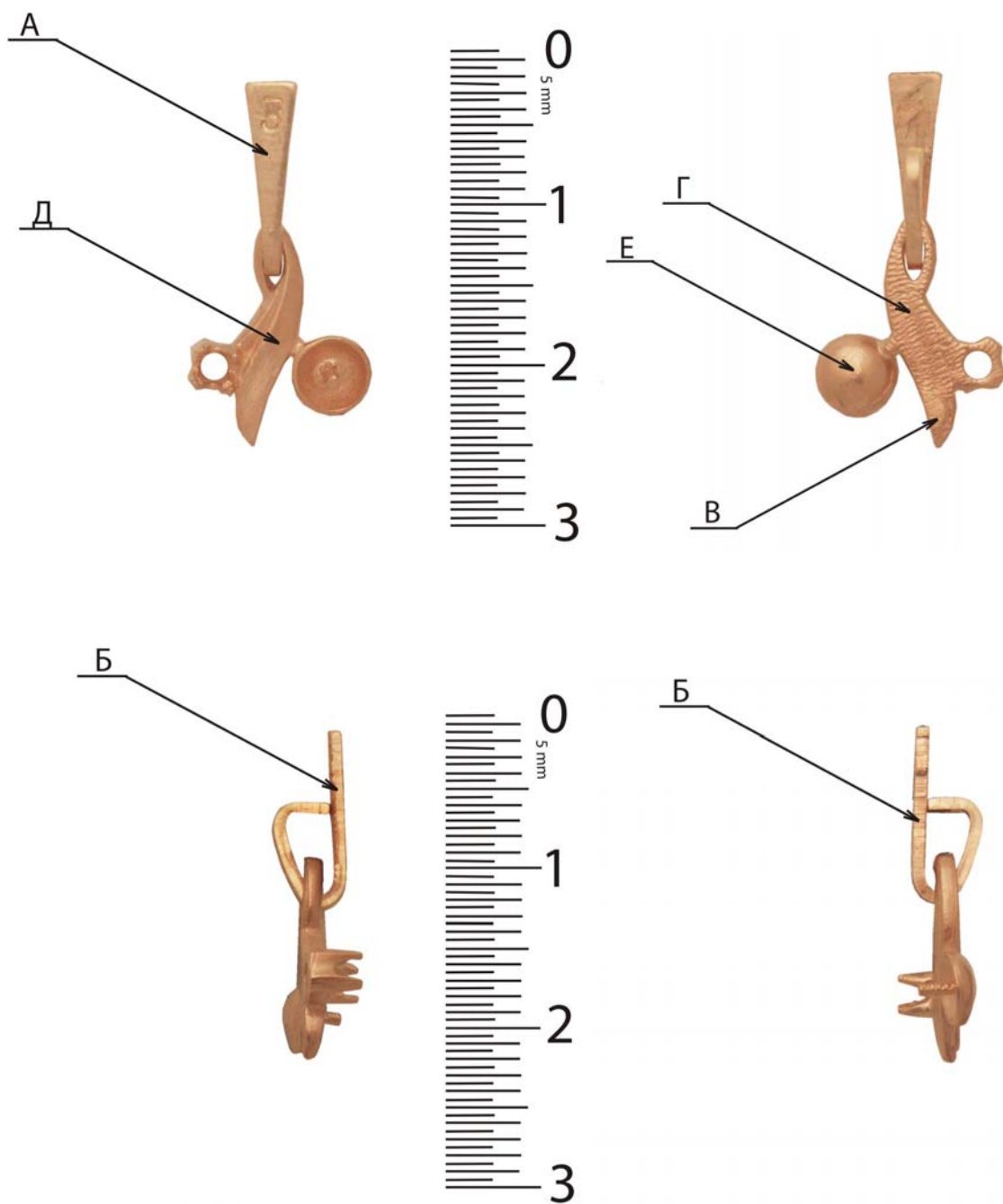


Рис. 1. Внешний вид образцов и различные участки их поверхности:
 А - отштампованная поверхность, Б - место реза штампа, В - место обрезки литника, Г - предварительно фактурированная поверхность, Д - основная, легко доступная поверхность (плоская поверхность листика), Е - поверхность чашки для закрепки жемчуга



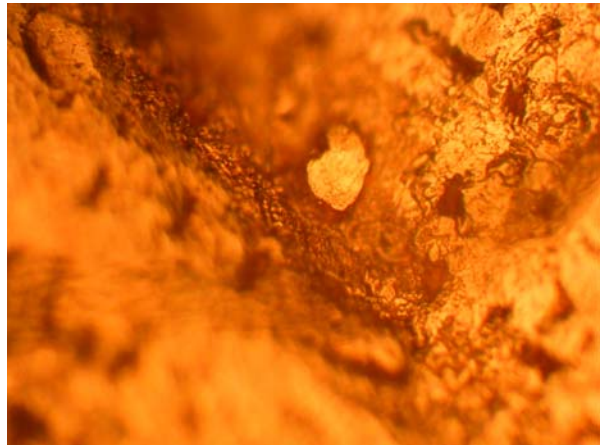
а



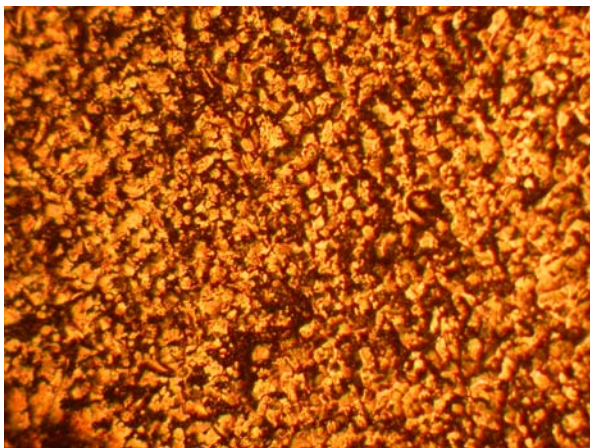
б



в



г



д



е

Рис. 2. Различные участки исходной поверхности образцов перед обработкой ($\times 1000$): а – после штамповки; б – место реза штампом; в – место обрезки литника; г – предварительно фактурированная поверхность; д – основная поверхность; е – внешняя поверхность чашки под закрепку жемчужины

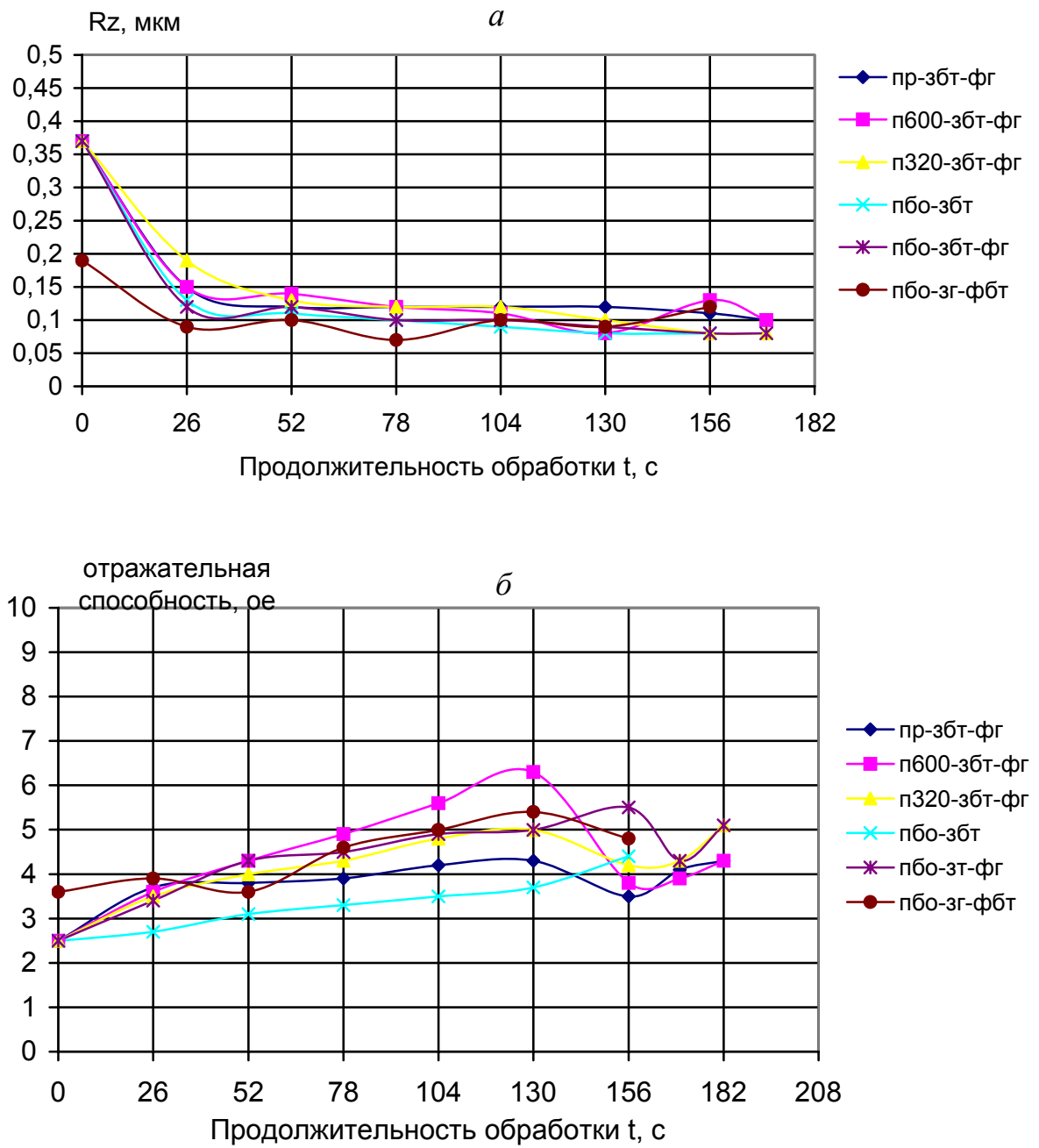


Рис. 3. Изменение шероховатости R_z [мкм] (а) и отражательной способности в относительных единицах [oe] (б) поверхности образцов после штамповки с течением времени обработки в результате обработки при различной последовательности операций (при ЭХП на биполярных токах) (при последовательности ПБО-ЗГ-ФБТ шероховатость и отражательная способность исходной поверхности сформирована после операции галтования)

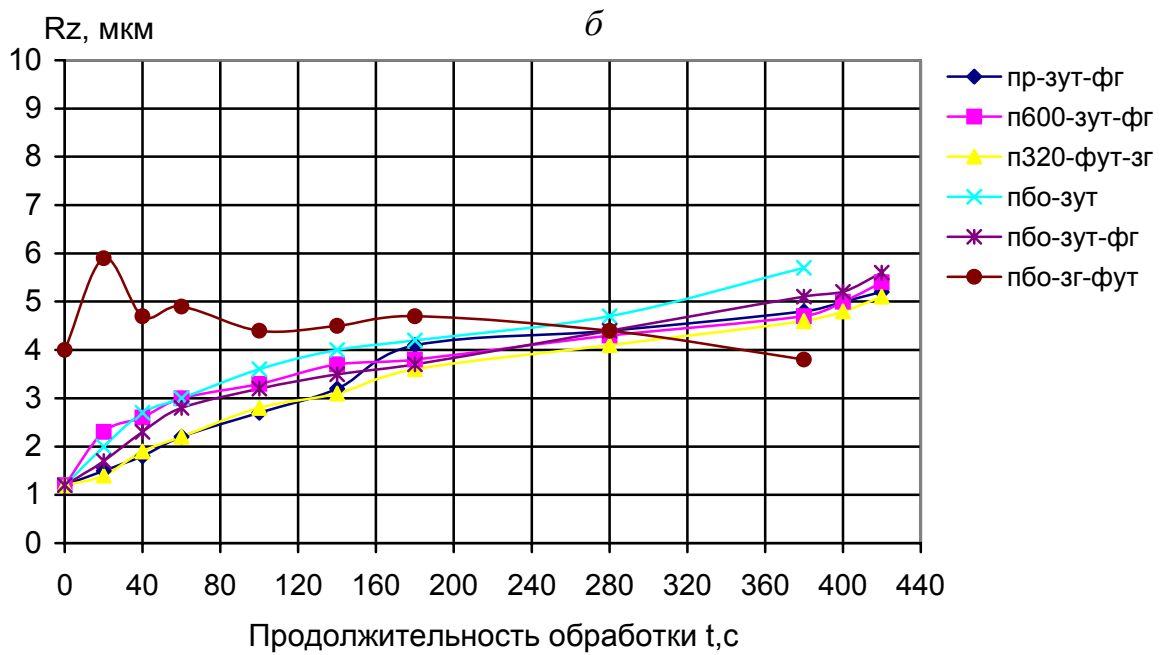
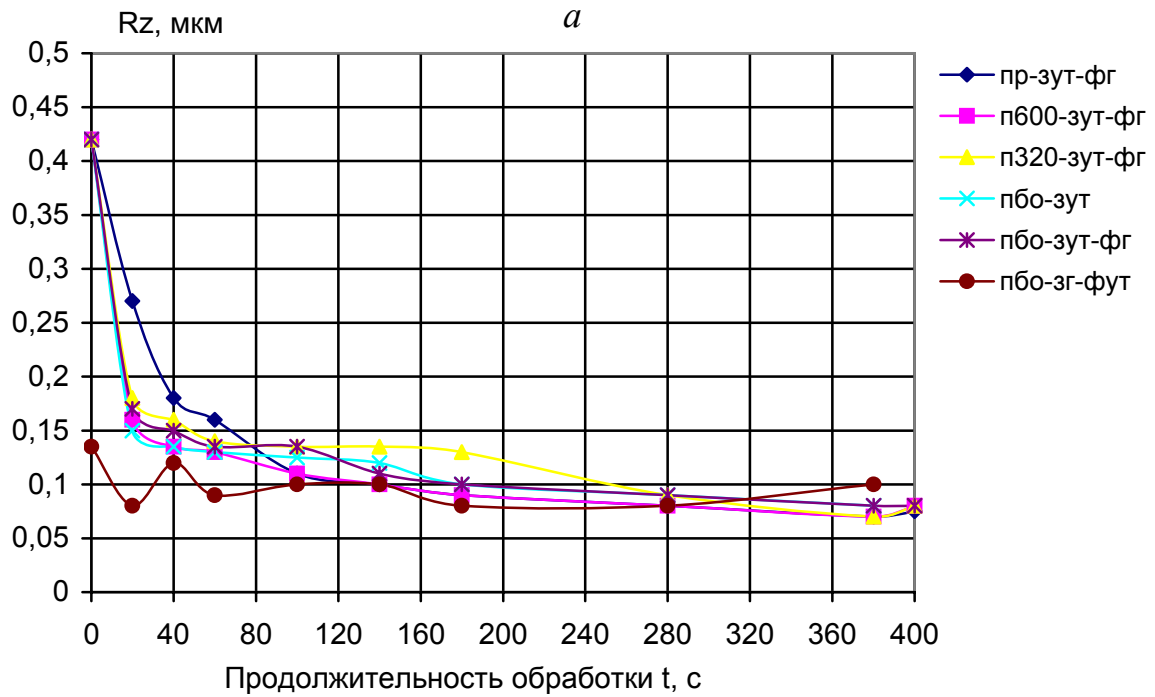


Рис. 4. Изменение шероховатости R_z [мкм] (а) и отражательной способности в относительных единицах [oe] (б) предварительно фактурированной поверхности образцов с течением времени обработки в результате обработки при различной последовательности операций (при ЭХП на униполярных токах) (при последовательности ПБО-ЗГ-ФУТ шероховатость и отражательная способность исходной поверхности сформирована после операции галтования)

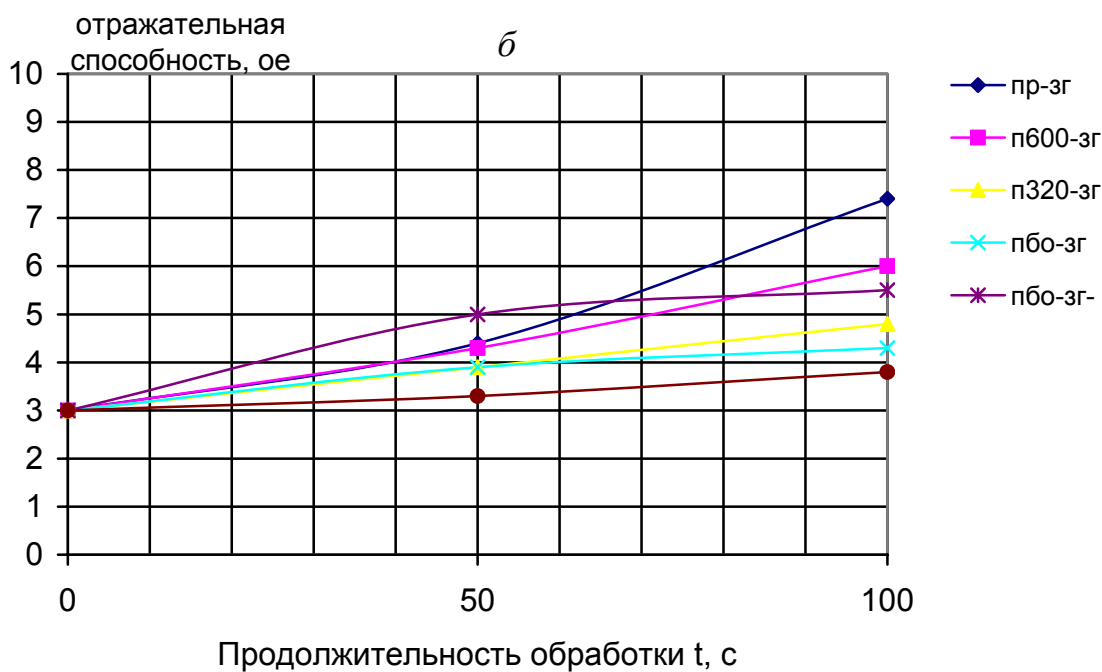
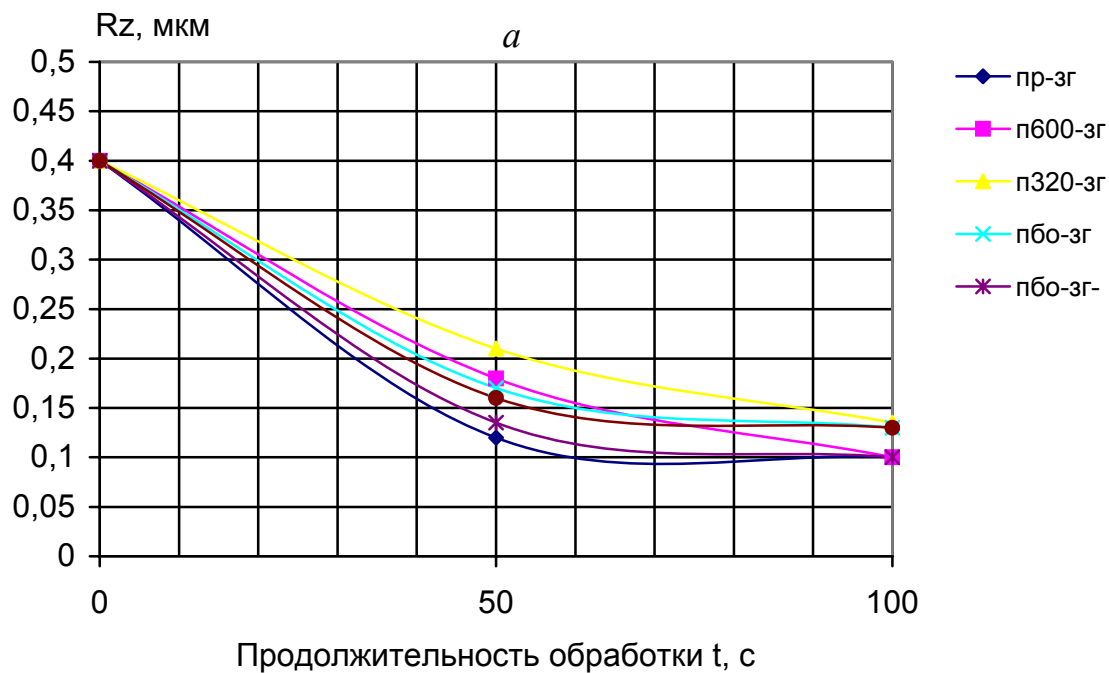


Рис. 5. Изменение шероховатости R_z [мкм] (а) и отражательной способности в относительных единицах [оe] (б) поверхности образцов на месте реза штампом с течением времени обработки в результате обработки при различной последовательности операций (при использовании турбогалтания)

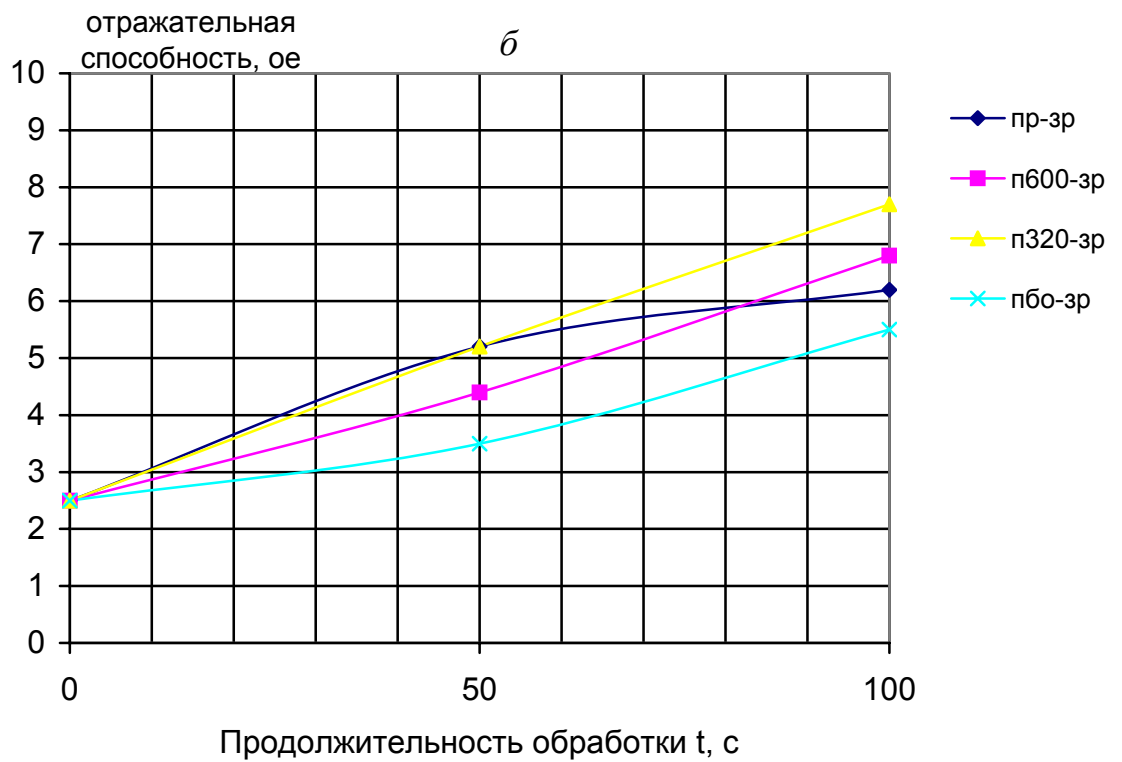
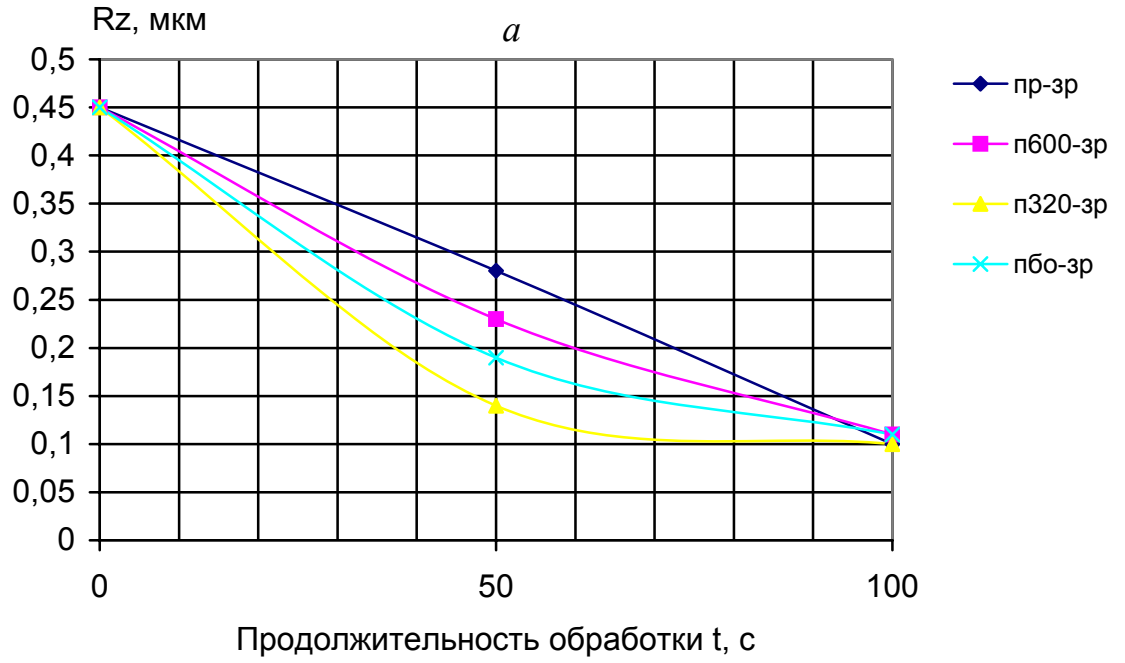


Рис. 6. Изменение шероховатости R_z [мкм] (а) и отражательной способности в относительных единицах [оe] (б) поверхности образцов на месте удаления литника с течением времени обработки в результате обработки при различной последовательности операций (при использовании полирования вручную на ШПМ)