

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ ДЕТАЛЕЙ В ТРУДНОДОСТУПНЫХ МЕСТАХ С ПОМОЩЬЮ СЛЕПКОВ

Г. С. ПУШКАРЬ, А. А. АСМУС

(Представлено научным семинаром кафедр станки и резание металлов и технологии
машиностроения)

При измерении шероховатости поверхности в труднодоступных местах (эвольвентных поверхностях зубчатых колес, передних и задних поверхностей режущего инструмента, отверстий деталей и т. д.) возникает ряд трудностей. Поэтому в цеховых условиях очень часто качество поверхности оценивается визуальным сравнением с образцами чистоты. Такой метод недостаточно объективен и часто приводит к значительным ошибкам. Так, В. Хаген [3] определял шероховатости поверхностей профиля зуба зубчатых колес и указывал: «Так называемый «хороший внешний вид» профиля зуба, определяемый осмотром и ощупыванием пальцами, часто приводит к ошибочным выводам, даже при большом опыте. Например, одна из ведущих фирм считала, что она изготавливает колеса с весьма хорошей чистотой поверхности. Однако подробно проведенные исследования показали, что шероховатость поверхности была более чем в два раза больше, чем у эталонных колес».

Из приведенного примера следует, что для правильной оценки величины шероховатости необходимо производить измерения на специальных приборах.

В тех случаях, когда нет возможности произвести непосредственное измерение участка поверхности детали, широко используется метод слепков, подробно исследованный М. Г. Голубовским [1].

Сущность метода слепков заключается в том, что с измеряемой поверхности снимается слепок, шероховатость которого впоследствии замеряется на оптических или щуповых приборах.

К материалу для изготовления слепков предъявляются следующие основные требования:

1. Точное копирование шероховатости измеряемой поверхности.
2. Материал слепка не должен пластически деформироваться в момент снятия и в процессе хранения слепка.
3. Материал слепка не должен «схватываться» с поверхностью детали.

В качестве материала для изготовления слепков используются: натуральный воск, воск, смешанный с терпентином и графитом, цапон-лак, целлулоид, легкоплавкие сплавы, серографит, желатин, гипс-хром-пик, масляно-гуттаперчевая масса и др. [1], [2].

Особого внимания заслуживает применение так называемых «прозрачных слепков». В качестве материала для приготовления таких слепков может применяться этилцеллюлозная, диацетатная матированная и нитроцеллюлозная пленка толщиной 0,12÷0,16 мм. Преимуществами прозрачных слепков являются:

возможность получения хороших отпечатков с механически обработанных поверхностей;

возможность точного измерения величины шероховатости слепка на интерференционном микроскопе с помощью иммерсионной камеры Цеендера [4];

возможность измерения неровностей в широком диапазоне от 0,1 мк до 30 мк.

На кафедре технологии машиностроения была выполнена исследовательская работа по подбору материала и уточнению технологии изготовления прозрачных слепков.

1. Подбор материала для изготовления слепков

В. Хаген [3] исследовал возможность применения различных материалов для изготовления прозрачных слепков.

Было установлено, что пленки из различных материалов копируют поверхностные неровности с различными искажениями.

Величина искажения увеличивается с увеличением высоты шероховатости образца.

Лучшие результаты были получены при использовании кинопленки на нитроцеллюлозной основе. В. Хаген утверждает, что наиболее подходящей является кинопленка немецкого производства.

С целью уточнения рекомендаций В. Хагена нами были исследованы следующие материалы для изготовления слепков:

основа рентгеновской пленки;

основа фотопленки;

основа диапозитивной пленки;

основа триацетатной и диацетатной кинопленки;

основа нитроцеллюлозной кинопленки.

Все материалы были отечественного производства.

В результате исследования было установлено, что наиболее полное заполнение поверхностных неровностей достигается применением кинопленки с нитроцеллюлозной основой.

Все остальные пленки недостаточно размягчаются под воздействием растворителя и поэтому неполностью копируют неровности образца.

В дальнейшем для приготовления слепков использовалась кинопленка только на нитроцеллюлозной основе.

2. Технология приготовления слепков

На качество слепка влияют следующие основные факторы:

1. Концентрация растворителя, наносимого на поверхность пленки или образца.

2. Способ снятия отпечатка.

3. Время сушки слепка.

Влияние концентрации растворителя

В качестве растворителя применялся раствор нитроцеллюлозы в ацетоне. С этой целью обычная кинопленка на нитроцеллюлозной основе тщательно отмывалась от эмульсии, обезжиривалась четыреххлористым углеродом, нарезалась кусочками и выдерживалась в ацетоне до полного растворения.

Применялись растворители с концентрацией нитроцеллюлозы от 3 до 12% (по весу). Увеличение концентрации ведет к увеличению вязкости растворителя и значительному содержанию воздушных пузырьков в нем, которые не могут быть удалены при наложении пленки на образец.

Малая концентрация нитроцеллюлозы и применение чистого ацетона приводит или к выжиманию растворителя при опрессовке, или, при обильном смачивании, к размягчению всего объема пленки с резким искажением высоты неровности образца.

Наиболее качественные отпечатки получались при применении растворителя с 4÷6% содержанием нитроцеллюлозы.

Способ снятия отпечатка

Качество отпечатка зависит от способа нанесения растворителя.

Проверялись следующие варианты:

1. Растворитель наносился на образец, после чего пленка накладывалась на поверхность образца (рис. 1).

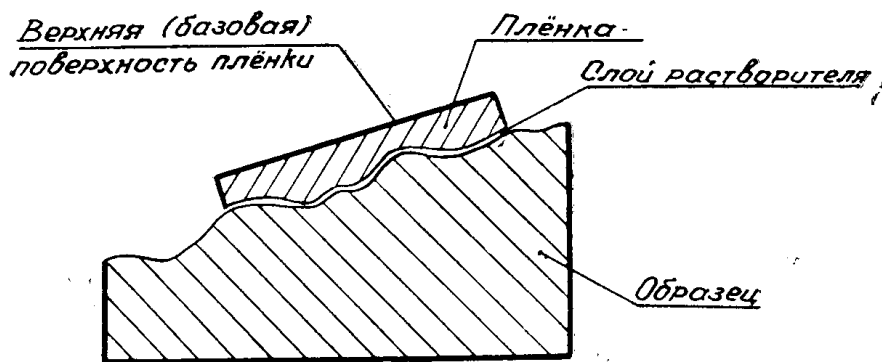


Рис. 1.

2. Растворитель наносился на пленку с быстрым последующим наложением пленки на образец.

3. Растворитель наносился на образец и пленку, после чего пленка накладывалась на образец.

Для образцов с шероховатостью не более 20 мк рекомендуется использовать 2 вариант нанесения растворителя. Для образцов с шероховатостью более 20 мк рекомендуется третий вариант нанесения растворителя. Это объясняется тем, что при применении второго варианта размягченный слой пленки не заполняет полностью большие впадины неровностей. При нанесении растворителя на образец происходит более полное заполнение неровностей и на слепке образуется более точная копия неровностей образца.

После наложения пленки на образец производится легкая опрессовка с целью удаления воздушных пузырей и излишка растворителя между пленкой и образцом.

Продолжительность опрессовки 1÷2 минуты.

Были опробованы:

опрессовка надавливанием пальцами;

опрессовка резиной и плиткой;

опрессовка плиткой с доведенной поверхностью.

Опрессовка пальцами и резиной дает волнистость на базовой поверхности, что приводит к существенному уменьшению шероховатости слепка по сравнению с шероховатостью образца.

Опрессовка плиткой дает наиболее ровную базовую поверхность. Желательно плитку при опрессовке перемещать в направлении, перпендикулярном к направлению неровностей.

Влияние времени сушки слепков

По данным В. Хагена [3], сушка пленки, смоченной растворителем, продолжается примерно 5 минут, после чего пленка в большинстве случаев отскакивает.

По данным М. Г. Голубовского [1], время сушки колеблется от 2 до 10 *мин* для чистых поверхностей и от 5 до 40 *мин* для грубых поверхностей.

По полученным нами результатам, для 5%-ного раствора нитроцеллюлозы в ацетоне и температуре сушки $18 \div 20^\circ\text{C}$ время сушки $20 \div 40$ *мин*; что совпадает с данными М. Г. Голубовского. Следует отметить, что на недостаточно просушенных слепках за счет пластической деформации их наблюдается увеличение шероховатости по сравнению с шероховатостью образца.

Анализ причин искажения величины неровностей слепков

По данным различных источников, величина неровностей слепка получается заниженной по сравнению с неровностями образца.

Так, В. Хаген [3] указывает, что при шероховатости более 30 *мк* уменьшение высоты неровностей слепка составляет 10 %.

По данным М. О. Якобсона [2], искажение неровностей для различных классов чистоты составляет $5 \div 7$ %.

Ни В. Хаген, ни М. О. Якобсон не указывают причин, которые вызывают уменьшение неровностей на слепке.

С целью выявления причин искажения неровностей слепка была проведена специальная работа.

Нитроцеллюлозная кинопленка, очищенная от светочувствительной эмульсии, покрывалась растворителем (5%-ный раствор нитроцеллюлозы в ацетоне) и накладывалась на образец, опрессовывалась доведенной плиткой, после чего образец вместе с пленкой устанавливался в поле зрения микроскопа МИС-11.

В период сушки слепка (до 30 *мин*) под микроскопом наблюдался характер деформации пленки.

Было установлено, что при высоте неровностей образца до 20 *мк* деформация пленки практически отсутствовала.

Последующие замеры высоты неровностей образца и слепка показали хорошее совпадение величин неровностей на образце и слепке (табл. 2).

При высоте неровностей поверхности образца от 20 до 60 *мк* под микроскопом ясно было видно, что через $8 \div 10$ *мин* после начала сушки верхняя базовая поверхность пленки начинала деформироваться (рис. 2).

Величина деформации «а» достигает $30 \div 50$ % от высоты неровностей.

После снятия слепка происходит некоторая дополнительная деформация пленки; величина «а» уменьшается, и на такую же величину искажается высота неровностей слепка.

Этим явлением можно объяснить уменьшение неровностей на слепке, которое отмечалось в работах В. Хагена и М. О. Якобсона.

С целью уменьшения искажения высоты неровностей отпечатка был изменен техпроцесс изготовления слепков при измерении неровностей порядка $20 \div 60$ *мк*.

Окончательно был принят следующий техпроцесс изготовления слепков:

1. Отмыть светочувствительный слой нитроцеллюлозной киноплёнки горячей водой.

Таблица 1

Качество копирования шероховатостей высотой более 20 мк.
одно-и двухплёночными слепками

№ п. п.	$H_{\text{ср.о.}}$ образца (мк)	$H_{\text{ср.сл.}}$ (мк) одноплёночного слепок	$H_{\text{ср.сл.}}$ (мк) для двух- плёночного слепок	$\frac{H_{\text{ср.о.}} - H_{\text{ср.сл.}}}{H_{\text{ср.о.}}} \cdot 100\%$ (для однослойного)	$\frac{H_{\text{ср.о.}} - H_{\text{ср.сл.}}}{H_{\text{ср.о.}}} \cdot 100\%$ (для 2-слойного)
1	56	31	54	48	3,6
2	49	29	48	41	2,1
3	44	28	42	36	4,6
4	38	24	37	37	2,7
5	32	22	31	31	3,2
6	26	18	24	30	7,7
7	21	16	21	24	0
8	16	14,5	15,3	9,4	4,4

2. Просушить киноплёнку.

3. Нарезать плёнку кусочками 10×30 мм.

4. Тщательно обезжирить поверхность плёнки и образца четыреххлористым углеродом (чистым для анализа).

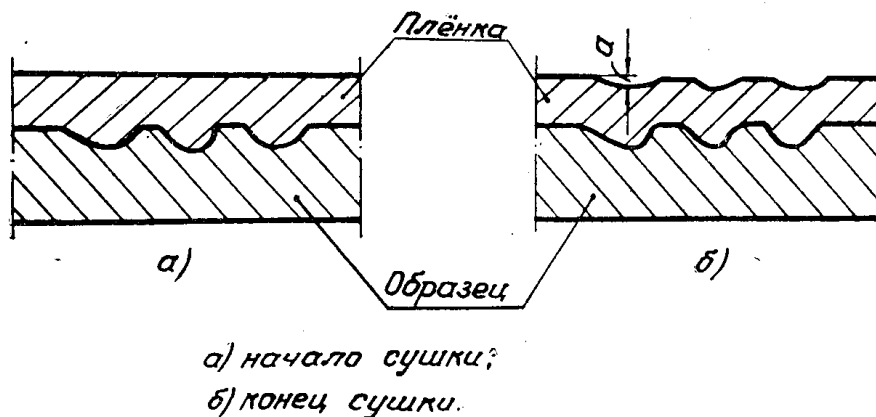


Рис. 2.

5. Подсушить в течение $1 \div 2$ мин.

6. Смазать плёнку 5%-ным раствором нитроцеллюлозы в ацетоне (чистым для анализа).

7. Наложить плёнку на образец и опрессовать доведенной пластинкой с целью выдавливания пузырьков воздуха.

8. Сушить 30 минут.

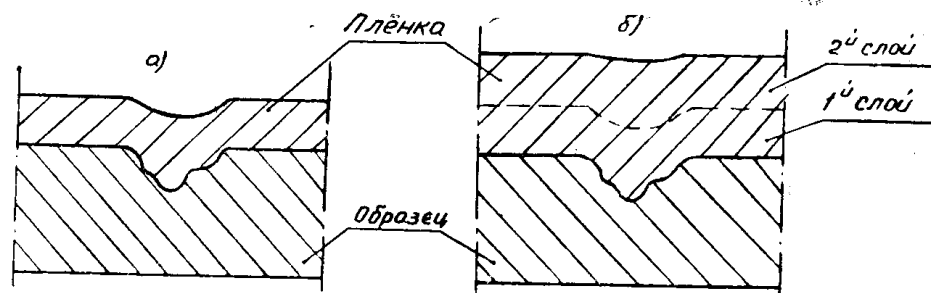
9. Протереть верхнюю поверхность плёнки и поверхность второй плёнки четыреххлористым углеродом.

10. Нанести слой растворителя на поверхность второй плёнки, опрессовать.

11. Сушить $20 \div 30$ мин. После этого слепок готов для измерения.

Слепки, изготовленные по новому техпроцессу (двухслойные), наблюдались под микроскопом МИС-11 в течение всего периода сушки.

Величина деформации при изготовлении двухслойных слепков значительно меньше, чем у однослойных слепков (рис. 3).



а) деформация однослойного слепка,
б) деформация двухслойного слепка.

Рис. 3.

Для дальнейших измерений необходимо слепок или наклеить базовой поверхностью на гладкую пластинку, или закрепить в специальном приспособлении.

Нами были произведены сравнительные замеры неровностей с применением однослойных и двухслойных слепков (см. табл. 1).

Таблица 2

Качество копирования шероховатостей высотой менее 25 мк
одноплёночными слепками

№ п. п.	$H_{\text{ср. о.}}$ (образца) (мк)	$H_{\text{ср. сл.}}$ (слепка) (мк)	$\frac{H_{\text{ср. о.}} - H_{\text{ср. сл.}}}{H_{\text{ср. о.}}} 100\%$
1	24,0	22,4	6,7
2	18,8	17,6	6,4
3	16,9	16,2	4,2
4	13,6	13,0	3,6
5	11,0	10,6	3,6
6	9,4	9,4	0
7	7,75	7,30	5,8
8	8,00	7,75	3,2
9	5,40	5,17	4,3
10	4,90	4,50	8,1
11	3,53	3,23	8,5
12	3,46	3,18	8,1
13	2,58	2,35	8,9
14	2,52	2,38	9,5
15	1,65	1,44	12,7
16	1,51	1,37	9,3

Из табл. 1 ясно видно, что при применении двухслойных слепков искажение неровностей меньше, чем при применении однослойных слепков.

В дальнейшем были проведены опыты с целью установления возможности копирования неровностей поверхности с применением двухслойных слепков.

Таблица 3

Качество копирования неровностей слепками, изготовленными из нитроцеллюлозной киноплёнки (слепки 2-слойные)

№ п. п.	$H_{\text{ср. о.}}$ образца (мк)	$H_{\text{ср. сл.}}$ слепка (мк)	$\frac{H_{\text{ср. о.}} - H_{\text{ср. сл.}}}{H_{\text{ср. о.}}} \cdot 100\%$
1	61	59,5	2,5
2	57	55	3,5
3	50	47,5	5,0
4	47,5	47,5	0
5	45,5	40,3	11,4
6	44,3	42,6	3,9
7	39,8	39,8	0
8	37	35	5,4
9	36	38	-5,6
10	33	30	9,1
11	31	28,6	7,8
12	29	27	6,9
13	28,2	25,8	8,5
14	28	28	0
15	27,4	25,8	5,9
16	26,2	25,0	4,6
17	30	30	0
18	28	26	7,2
19	24	22,4	6,7
20	23,3	23,5	-0,85
21	22,8	21,8	4,4
22	18,8	17,6	6,4
23	16,9	16,2	4,2
24	42	41	2,4
25	18,1	17,3	4,4

Измерялись неровности с высотой от 17 до 60 мк. Результаты замеров приведены в табл. 3, из которой видно, что искажение величины неровностей не превышает погрешности измерения на оптических приборах.

Выводы

1. В качестве материала для изготовления слепков можно использовать обычную киноплёнку на нитроцеллюлозной основе.
2. В качестве растворителя следует применять раствор нитроцеллюлозы в ацетоне. Оптимальная концентрация раствора 4÷6% нитроцеллюлозы (по весу).
3. При измерении неровностей порядка 20÷60 мк необходимо изготавливать двухслойные слепки по приведенной технологии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Голубовский М. Г. Метод слепков для контроля чистоты поверхности. Сб.: «Качество поверхности деталей машин», ЛОНИТОМАШ, 1949.
 2. Якобсон М. О. Шероховатость, наклеп и остаточные напряжения при механической обработке. Машгиз, 1956.
 3. Hagen W. Der Einfluß von Werkstoff, Maschine und Werkzeug auf die Oberflächengüte der Zahnflanken. VDI — Z. Bd 97, N 25; 27, 1955.
 4. Zehender E. Ein Interferenzverfahren zur Untersuchung rauher Oberflächen. VDI — Z. Bd 94, Nr. 14/15, 1952.
-