

К ВОПРОСУ ИЗМЕРЕНИЯ ШАГА ЧЕРВЯЧНЫХ ФРЕЗ

А. А. АСМУС

(Представлена научным семинаром кафедр станков и резания металлов
и технологии машиностроения)

Для выявления фактической точности червячных фрез достаточно произвести измерение по одной из трех групп проверок, предусмотренных ГОСТ 9324-60.

Выбор той или иной группы проверяемых параметров в значительной мере зависит от средств измерения, имеющихся в распоряжении предприятия.

Наиболее полное представление дают результаты измерений параметров первой группы. Контроль погрешности зацепления в этом случае может быть осуществлен только на специальных приборах типа БВ-5005; PWF-250 и т. п.

На заводах очень часто используется 3 группа, которая предусматривает измерение ряда параметров, в том числе измерение наибольшей погрешности шага Δt и наибольшей накопленной погрешности шага на длине трех соседних шагов Δt_3 .

Как правило, контролируется не отклонение осевого шага, а отклонение проекционного шага фрезы (см. позиц. 5, таблица 5 ГОСТ 9324-60).

Величина проекционного шага определяется по формулам:

$$t_{\text{пр}} = t_n \cdot \cos \omega_d \quad (1)$$

или

$$t_{\text{пр}} = t \cdot \frac{H}{H + t}, \quad (2)$$

где $t_{\text{пр}}$ — проекционный шаг,

t_n — шаг по нормали,

ω_d — угол наклона винтовых стружечных канавок на делительном цилиндре,

t — осевой шаг,

H — шаг винтовых стружечных канавок.

Как видно из формул (1) и (2), на величину $t_{\text{пр}}$ влияет погрешность шага винтовых стружечных канавок ΔH .

Кроме того, погрешность ΔH вызывает смещение режущей кромки с поверхности основного червяка (на рис. 1 и 2 величина a).

На рис. 1 показана схема измерения проекционного шага для правой стороны профиля, а на рис. 2 — для левой стороны профиля.

Отклонения проекционного шага от номинального значения составляют:

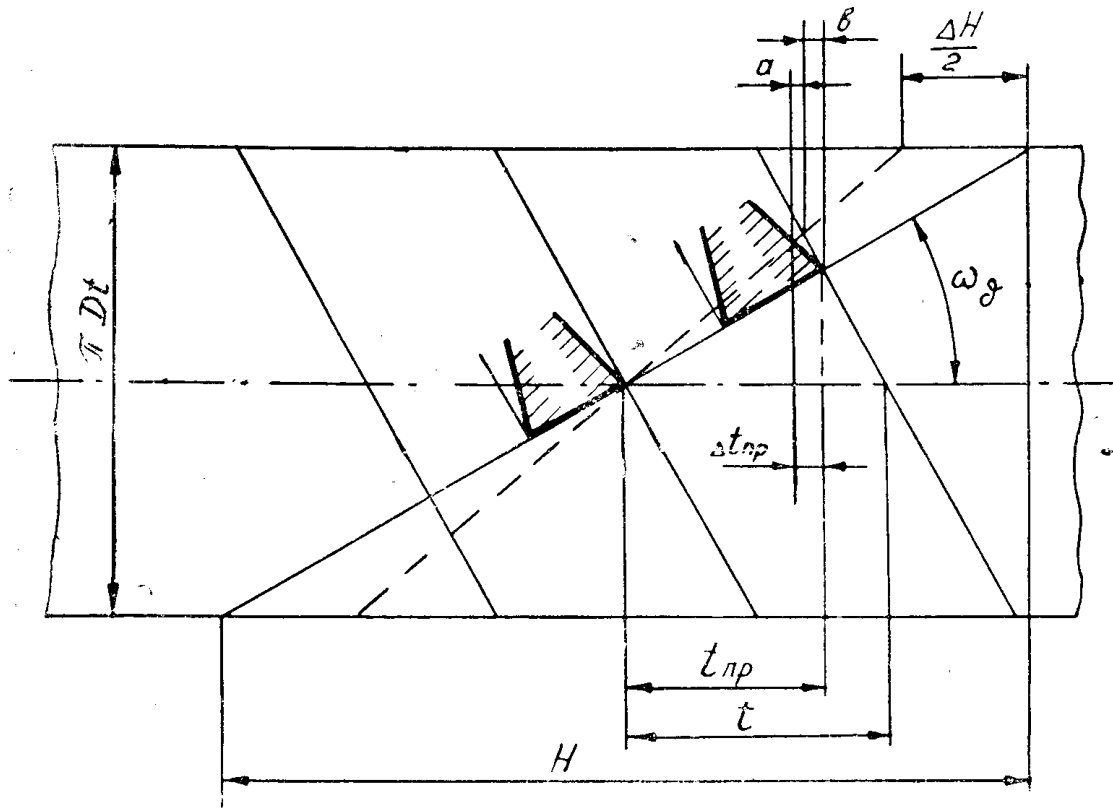


Рис. 1

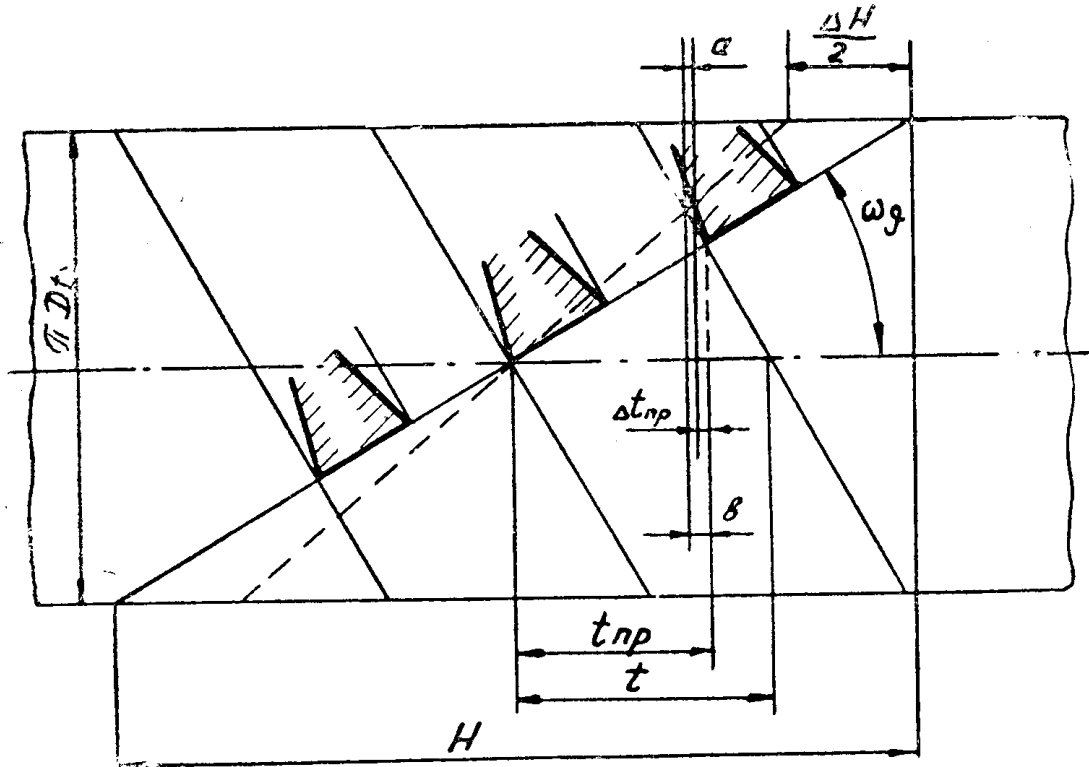


Рис. 2

- а) при измерении по правой стороне профиля $\Delta t_{\text{пр}} = b \pm a$,
 б) при измерении по левой стороне профиля $\Delta t_{\text{пр}} = b \mp a$,
 где a — смещение режущей кромки червячной фрезы с поверхности
 основного червячка, вызванное погрешностью шага винтовых
 стружечных канавок;
 b — величина искажения проекционного шага, вызванная погреш-
 ностью шага винтовых стружечных канавок.

Верхние знаки в формулах относятся к правым червячным фре-
 зам, нижние — к левым.

С достаточной для практики точностью величины a и b можно
 определять по формулам:

$$a = \kappa \cdot z \cdot \sin^2 \omega_d \cdot \cos^2 \omega_d \cdot \sin \alpha \cdot \frac{\Delta H}{H},$$

$$b = \frac{t^2 \cdot \Delta H}{(H + t)(H + t + \Delta H)} [1],$$

где κ — величина затылования фрезы,

z — число зубьев фрезы,

α — угол профиля фрезы.

Для правых червячных фрез класса А типа II по ГОСТ 9324-60 при
 измерении проекционного шага по правой стороне профиля:

Модуль	$\frac{\delta H}{H}$	a	b	$\Delta t_{\text{пр}} = b + a$	$\frac{\Delta t_{\text{пр}}}{\Delta t} 100\%$	$\frac{3\Delta t_{\text{пр}}}{\Delta t_{\Sigma}} 100\%$
1	0,03	0,0001	0,00003	0,00013	1,2	2
2,5	0,03	0,0006	0,00027	0,00087	9,2	16
4	0,025	0,0011	0,00063	0,00173	17	25
6	0,025	0,0021	0,00143	0,0035	29	42
10	0,02	0,0035	0,0035	0,0070	44	66
14	0,02	0,0072	0,0084	0,0156	78	117

δH — допустимая погрешность шага винтовых стружечных канавок по
 ГОСТ 9324-60.

То же при измерении по левой стороне профиля:

Модуль	$\frac{\delta H}{H}$	a	b	$\Delta t_{\text{пр}} = b - a$	$\frac{\Delta t_{\text{пр}}}{\Delta t} 100\%$	$\frac{3\Delta t_{\text{пр}}}{\Delta t_{\Sigma}} 100\%$
1	0,03	0,0001	0,00003	-0,00007	1	1,5
2,5	0,03	0,0006	0,00027	-0,00033	4	6
4	0,025	0,0011	0,00063	-0,00047	5	7
6	0,025	0,0021	0,00143	-0,00067	5,5	8
10	0,02	0,0035	0,0035	0	0	0
14	0,02	0,0072	0,0084	0,0012	6	9

Данные показывают, что для фрез модуля 5 мм и более допусти-
 мые по ГОСТ 9324-60 погрешности шага винтовых стружечных кана-
 вок δH вызывают недопустимые погрешности при измерении проекци-
 онного шага по правой стороне профиля правозаходных фрез.

При измерении проекционного шага правозаходных фрез по левой стороне профиля результаты измерения дают заниженные значения погрешности.

По результатам измерения трудно судить о погрешности винтовой линии фрезы, так как при измерении проекционного шага по правой стороне профиля величина b и величина a складываются, а при измерении по левой стороне профиля — вычитаются.

При расчете допусков на шаг винтовых стружечных канавок [4] учитывалось только влияние ΔH на наибольшую погрешность винтовой линии фрезы на одном обороте Δt_s . (В источнике [4] величине Δt_s соответствует $\Delta t_{ц}$ — циклическая ошибка шага).

Значительно большие погрешности возникают при измерении проекционного шага многозаходных червячных фрез.

Кроме вышеизложенных ошибок, связанных со схемой измерения (величины a и b), при измерении многозаходных червячных фрез допускаются ошибки, связанные с расчетом номинального значения $t_{пр}$. Величина $t_{пр}$ определяется по формулам (1) и (2). В практике контроля было замечено, что для многозаходных фрез формулы (1) и (2) дают различные численные значения $t_{пр}$.

Многие считают, что формула (2) дает более точные значения.

Так, Д. И. Семенченко [3] утверждает, что «при угле наклона винтовых стружечных канавок $\omega_d > 7^\circ$ пользоваться формулой (1) нельзя, так как она дает значительные отклонения, связанные с тем, что в действительности мы имеем винтовую линию (а не прямую), расположенную на цилиндрической поверхности и проектируемую на осевую плоскость».

Это утверждение ошибочно.

С. П. Карцев [1] справедливо указывал, что способ измерения проекции нормального шага на осевую плоскость теоретических ошибок не имеет, но не рассматривал контроль многозаходных фрез.

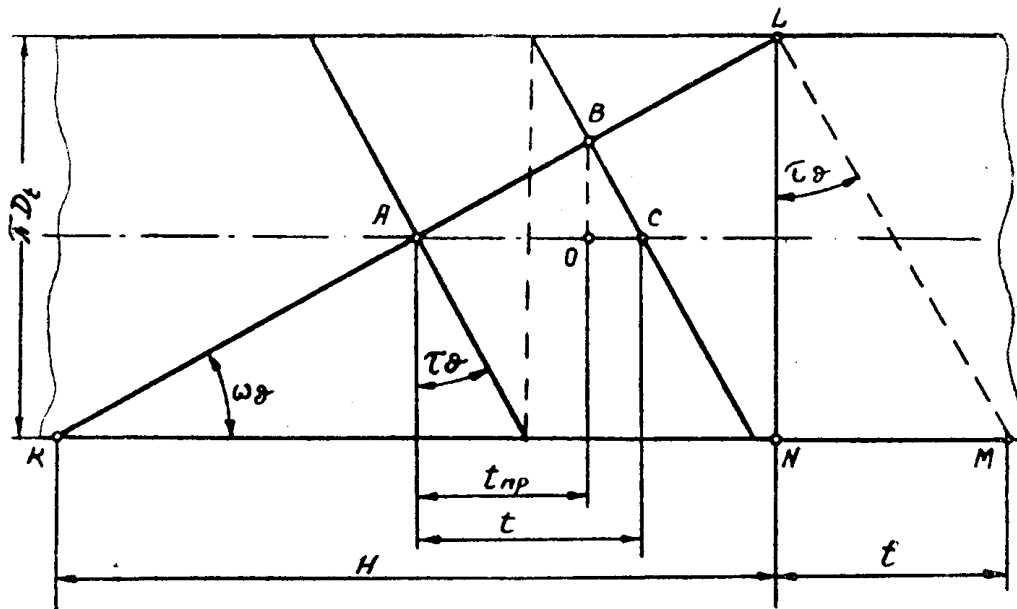


Рис. 3

Из рис. 3 видно, что при различных значениях углов ω_d и τ_d $\triangle ABC$ и $\triangle KLM$ подобны:

$$\frac{AO}{KN} = \frac{AC}{KM}, \text{ т. е. } \frac{t_{пр}}{H} = \frac{t}{H+t},$$

тогда $t_{\text{пр}} = t \cdot \frac{t}{H+t}$, т. е. формула (2) справедлива при различных значениях углов ω_d и τ_d .

Формула (1) справедлива только при $\omega_d = \tau_d$; действительно, при $\omega_d = \tau_d$ из рис. 3 имеем:

$$KL = (H+t) \cdot \cos \omega_d \quad \text{и} \quad KL = \frac{H}{\cos \omega_d},$$

тогда $(H+t) \cdot \cos \omega_d = \frac{H}{\cos \omega_d}$ или $\frac{H}{H+t} = \cos^2 \omega_d$. подставляя это значение в формулу (2), получим:

$$t_{\text{пр}} = t \cdot \cos^2 \omega_d; \quad \text{имея в виду, что } t = \frac{t_n}{\cos \omega_d}, \quad \text{получаем } t_{\text{пр}} = t_n \cdot \cos \omega_d,$$

т. е. формулу (1).

Следовательно, расчет по формулам (1) и (2) при любых значениях ω_d дает одинаковое значение величины $t_{\text{пр}}$.

Действительно, при расчете величины $t_{\text{пр}}$ для многозаходных фрез по формулам (1) и (2) получаются различные результаты даже при $\omega_d = \tau_d$.

Но в этом случае более правильные значения дает формула (1), а не формула (2), так как формула (1) справедлива и для многозаходных, а формула (2) только для однозаходных фрез.

Величину $t_{\text{пр}}$ для многозаходных фрез можно определить из следующих соображений. Предположим, что на фрезе нарезан только один заход резьбы. Тогда величину проекции хода на осевую плоскость фрезы можно определить по формуле (2):

$$\kappa_{\text{пр}} = \frac{K_0 H}{H + K_0},$$

где κ_0 — осевой ход витков фрезы;

$\kappa_{\text{пр}}$ — проекция хода на осевую плоскость фрезы.

Заменяя $\kappa_0 = t \cdot z_{\text{зах}}$ и $\kappa_{\text{пр}} = t_{\text{пр}} \cdot z_{\text{зах}}$, где $z_{\text{зах}}$ — число заходов червячной фрезы, получим:

$$t_{\text{пр}} = t \frac{H}{H + t \cdot z_{\text{зах}}}. \quad (3)$$

Из формулы (3) видно, что формула (2) представляет частный случай при $z_{\text{зах}} = 1$.

При $\omega_d = \tau_d$, что имеет место в большинстве случаев, значения $t_{\text{пр}}$, подсчитанные по формулам (1) и (3), совпадают.

Следует обратить внимание еще на одну особенность.

Из формулы (1) следует, что величина $t_{\text{пр}}$ зависит от ω_d . При измерении $t_{\text{пр}}$ измерительный наконечник устанавливается не точно по среднему диаметру D_t , а с некоторым отклонением $\frac{\Delta D_t}{2}$ (рис. 4).

Величины ω_d в точках 1 и 2 различны, что казалось бы должно привести к изменению величины $t_{\text{пр}}$.

В действительности величина $t_{\text{пр}}$ остается постоянной.

Докажем это положение.

На рис. 5 I — развертка винтовой линии поверхности стружечной канавки, проходящая через точку 1 (рис. 4);

II — развертка винтовой линии поверхности основного червячка фрезы, проходящая через точку 1 (рис. 4);

III — развертка винтовой линии поверхности стружечной канавки, проходящая через точку 2 (рис. 4);

IV — развертка винтовой линии поверхности витка основного червяка фрезы, проходящая через точку 2 (рис. 4).

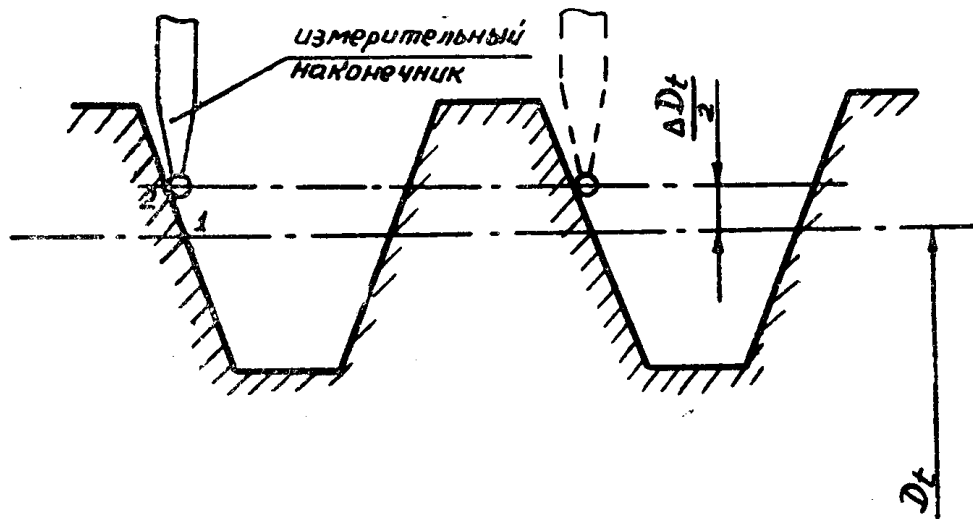


Рис. 4.

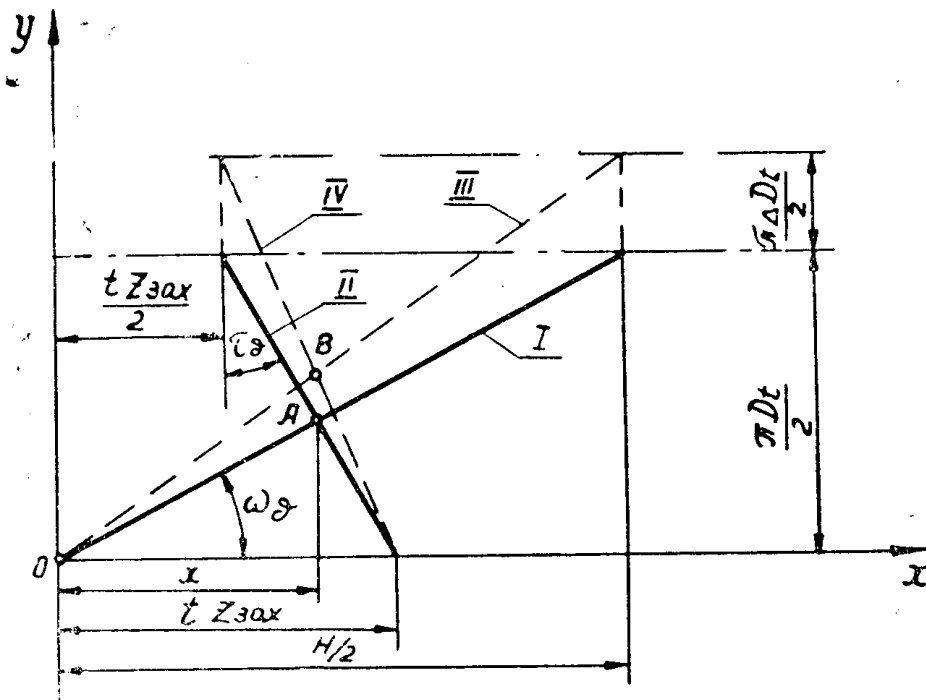


Рис. 5

Уравнение прямой I в координатах $ХОУ$:

$$y = \frac{\pi D_t}{H} x.$$

Уравнение прямой II:

$$y = \pi D_t \left(1 - \frac{x}{t \cdot z_{зax}} \right).$$

Абсцисса точки A пересечения прямых I и II:

$$\frac{\pi D_t}{H} x = \pi D_t \left(1 - \frac{x}{t \cdot z_{\text{зах}}} \right)$$

$$x = t \cdot z_{\text{зах}} \frac{H}{H + t \cdot z_{\text{зах}}}.$$

Уравнение прямой III:

$$y = \frac{\pi (D_t + \Delta D_t)}{H} x.$$

Уравнение прямой IV:

$$y = \pi (D_t + \Delta D_t) \left(1 - \frac{x}{t \cdot z_{\text{зах}}} \right).$$

Абсцисса точки B пересечения прямых III и IV:

$$\pi (D_t + \Delta D_t) \frac{x}{H} = \pi (D_t + \Delta D_t) \left(1 - \frac{x}{t \cdot z_{\text{зах}}} \right)$$

$$x = t \cdot z_{\text{зах}} \frac{H}{H + t \cdot z_{\text{зах}}}.$$

Абсциссы точек A и B одинаковы, следовательно, величина $t_{\text{пр}}$ не зависит от положения измерительного наконечника по высоте профиля фрезы.

Выводы

1. Измерение проекционного шага фрез по ГОСТ 9324-60 допустимо только для фрез до модуля 5 мм.

2. Измерение проекционного шага у фрез модулем от 5 мм до 12 мм допустимо при условии уменьшения допуска на шаг винтовых стружечных канавок (δH) в два раза.

3. Измерение проекционного шага у фрез модулем от 13 мм до 20 мм допустимо при условии определения номинального значения $t_{\text{пр}}$ по формуле (2), исходя из фактических значений H , полученных при затачивании фрезы.

Для определения номинального значения $t_{\text{пр}}$ в зависимости от H могут быть составлены таблицы или номограммы.

4. Для многозаходных червячных фрез величина $t_{\text{пр}}$ должна определяться по формуле (3), исходя из фактического значения величины H , полученного при затачивании фрезы.

5. Определение величины $t_{\text{пр}}$ по формуле (2) для многозаходных фрез приводит к ошибочным результатам, так как формула (2) не учитывает числа заходов.

6. Смещение измерительного наконечника в радиальном направлении не вносит дополнительных погрешностей при измерении проекционного шага.

ЛИТЕРАТУРА

1. С. П. Карцев. Измерение шага червячных фрез. Ж. Станки и инструмент, № 11, 1950.
2. И. И. Семенченко, В. М. Матюшин, Г. Н. Сахаров. Проектирование металлорежущих инструментов. Машгиз, 1962.
3. Д. И. Семенченко. Технология изготовления червячных фрез. ЦБТИ МСИИП СССР, 1955.
4. ВНИИ. Фрезы червячные, чистовые, однозаходные для цилиндрических зубчатых колес с эвольвентным профилем. (Взамен ГОСТ 3346-46 и ГОСТ 2973-45). Проект ГОСТ (первая редакция) Москва, 1959.
5. ГОСТ 9324-60. Фрезы червячные чистовые, однозаходные для цилиндрических зубчатых колес с эвольвентным профилем.
6. А. Н. Грубин, М. Б. Лихцнер, М. С. Полоцкий. Зуборезный инструмент. Часть II. Машгиз, 1946.