

Министерство высшего и среднего специального образования
Р С Ф С Р

Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени авиационный
институт имени академика С.П.Королева

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УСЛОВИЙ РЕЗАНИЯ
НА УСАДКУ СТРУЖКИ

Утверждено редакционным
советом института в качестве
методических указаний
к проведению лабораторных
работ

Куйбышев 1963

УДК 621.9:539:621.317.004.14

Методические указания знакомят с экспериментальными исследованиями по установлению влияния условий резания на усадку стружки, с устройством и принципом работы измерительной аппаратуры, с методами обработки, анализа и обобщения полученных результатов.

Методические указания предназначены для студентов факультета "Двигатели летательных аппаратов" с технологической специализацией.

Авторы-составители: Ф.П.Урывский, В.М.Зайцев

Рецензенты: М.К.Клебанов, А.В.Тарасов

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УСЛОВИЙ РЕЗАНИЯ
НА УСАДКУ СТРУЖКИ

ц е л ь р а б о т ы: изучение влияния условий резания (геометрии заточки реза, режимов резания и др.) на деформированное состояние зоны резания, деформацию и скорость скольжения стружки по передней поверхности, рассчитанные на базе коэффициента продольной усадки стружки; освоение практических навыков постановки экспериментов с применением инструментального микроскопа, аналитических весов, "мягкого" масштаба и т.д., обработки и обобщения результатов исследований.

Теоретические основы эксперимента

Процесс резания металлов сопровождается образованием стружки, форма и размеры которой (шаг и радиус кривизны витков, ширина и толщина стружки, сплошность ее продольного сечения) зависят от условий резания (геометрии заточки и износа инструмента, режимов резания, технологических смазочно-охлаждающих сред).

Форма и деформированное состояние стружки определяют износ передней поверхности инструмента, производительность и качество обработки, делают в ряде случаев невозможным применение станков-автоматов и станков с ЧПУ, затрудняют брикетирование стружки.

Важнейшим показателем деформированного состояния стружки является ее усадка. Впервые явление усадки стружки было установлено основоположником отечественной науки о резании И.А.Тиме в 1870г. Под усадкой стружки Тиме понимал уменьшение ее длины по сравнению с длиной пути, пройденного резцом при снятии припуска, превратившегося в стружку.

В настоящее время деформацию стружки в продольном направлении принято характеризовать коэффициентом продольной усадки, величина которого равна отношению длины пути, пройденного резцом при снятии стружки, к ее длине. Установлено, что как правило этот коэффициент больше единицы, однако в ряде случаев он может быть и меньше еди-

ницы ("отрицательная" усадка).

По известной величине коэффициентов усадки можно определить деформации в зоне резания, преимущественный вид деформированного состояния, скорость скольжения стружки по передней поверхности и т.д. Зная закономерности влияния условий резания (геометрии заточки и износа инструмента, элементов режима резания) на величину коэффициента усадки стружки в ряде случаев можно прогнозировать их влияние на силы и температуру резания, износ инструмента и качество поверхностного слоя. Рассмотрим закономерности изменения геометрических размеров снимаемого припуска при превращении его в стружку. В процессе резания снимаемый припуск испытывает значительные пластические деформации, сохраняя практически постоянный объем. Пусть снимаемый припуск имеет длину l , ширину b и толщину a , а стружка, из него образовавшаяся, имеет длину l_1 , ширину b_1 и толщину a_1 . В связи с тем, что объем материала в процессе превращения снимаемого припуска в стружку сохраняется постоянным, объемы снимаемого припуска и образовавшейся из него стружки равны между собой. Можно записать:

$$l a b = l_1 a_1 b_1,$$

или

$$\frac{l}{l_1} = \frac{a_1 b_1}{a b} = \frac{F_{cmp}}{F_{усх}}, \quad (1)$$

где F_{cmp} и $F_{усх}$ - соответственно площади поперечного сечения стружки и снимаемого припуска.

Введем понятия:

$$\text{коэффициент продольной усадки} - K_l = \frac{l}{l_1} = \frac{F_{cmp}}{F_{усх}};$$

$$\text{коэффициент усадки по толщине} - K_a = \frac{a}{a_1};$$

$$\text{коэффициент усадки по ширине} - K_b = \frac{b}{b_1}.$$

С учетом принятых обозначений можно получить выражение для определения коэффициента продольной усадки через коэффициенты K_a и K_b :

$$K_l = K_a K_b. \quad (2)$$

Исследованиями установлено, что величина коэффициентов усадки зависит от многих факторов: физико-механических свойств обрабатываемых и инструментальных материалов, геометрии заточки режущего клина, режимов резания, свойств смазочно-охлаждающих сред. При обработке пластичных материалов в применяемых режимах резания

коэффициенты усадки находятся в пределах:

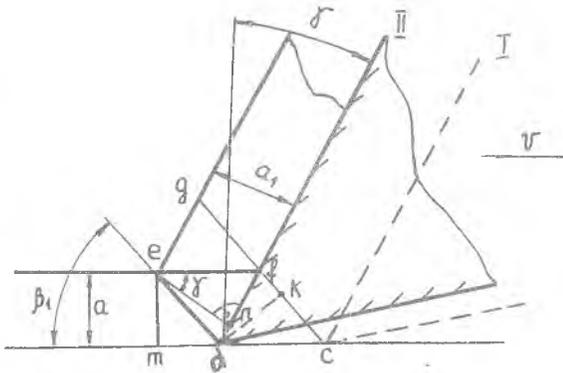
$$K_c = 1,5 \dots 4,5;$$

$$K_a = 1,35 \dots 4,0;$$

$$K_B = 1,05 \dots 1,0.$$

Можно показать влияние переднего угла γ и угла сдвига β_1 на величину K_a .

Рассмотрим процесс свободного резания пластичного материала, в результате которого образуется сливная стружка толщиной a_1 (рис. I).



Р и с. I. Схема образования сливной стружки

При перемещении реза из положения I в положение II элементарный объем срезаемого металла "cdef" оттесняется в положение "defg", сдвигаясь по направлению *de* под углом β_1 к направлению перемещения реза. К.А.Зворыкин в 1890г. показал, что

$$\beta_1^\circ = 45^\circ + \frac{\gamma^\circ}{2} - \frac{\rho_1^\circ + \rho_2^\circ}{2}, \quad (3)$$

где γ° - передний угол;

ρ_1° - угол внешнего трения, величина которого зависит от многих факторов, в том числе от смазывающих свойств смазывающе-охлаждающих сред;

ρ_2° - угол внутреннего трения на поверхности разрушения, величина которого определяется физико-механическими свойствами обрабатываемого материала.

Рассмотрим треугольники edm и edn . Сторона ed у них общая. Противлежащие катеты em и en равны соответственно толщине среза исходного объема a и толщине стружки a_1 .

Для ed справедливы отношения:

$$de = \frac{me}{\sin \beta_1} = \frac{ne}{\cos(\beta_1 - \gamma)},$$

или

$$\frac{a}{\sin \beta_1} = \frac{a_1}{\cos(\beta_1 - \gamma)}.$$

Следовательно,

$$K_a = \frac{\cos(\beta_1 - \gamma)}{\sin \beta_1}. \quad (4)$$

Учитывая то, что в большинстве случаев коэффициент усадки γ ширине мало отличается от единицы, можно считать, что и

$$K_\xi = K_a K_\beta \approx K_a = \frac{\cos(\beta_1 - \gamma)}{\sin \beta_1}. \quad (5)$$

1. Определение деформированного состояния сливной стружки

Согласно современным представлениям, сливная стружка образуется в результате простого сдвига. Ее деформированное состояние приближается к плоскому. При плоском напряженно-деформированном состоянии деформация сдвига характеризуется величиной относительного сдвига E , а линейные деформации — величиной относительной условной деформации σ по двум взаимно перпендикулярным направлениям.

Относительный сдвиг E численно равен отношению длины перемещения cf элементарного объема в направлении сдвига к его толщине dk :

$$E = \frac{cf}{dk} = \frac{fk + kc}{dk} = \frac{fk}{dk} + \frac{kc}{dk}.$$

Так как

$$\frac{kc}{dk} = \operatorname{ctg} \beta_1 \quad \text{и} \quad \frac{fk}{dk} = \operatorname{tg}(\beta_1 - \gamma),$$

то

$$E = \operatorname{tg}(\beta_1 - \gamma) + \operatorname{ctg} \beta_1. \quad (6)$$

Из рассмотрения зависимости (6) следует, что относительный сдвиг зависит от тех же факторов, что и усадка, а именно — от углов

β_1 и γ .

Следовательно, зная величину коэффициента усадки, можно определить значения β_1 и E .

Угол β_1 можно определить по известной величине K_α из выражения (4). Как известно,

$$\cos(\beta_1 - \gamma) = \cos \beta_1 \cos \gamma + \sin \beta_1 \sin \gamma.$$

После некоторых преобразований (4) получим

$$K_\alpha = \operatorname{ctg} \beta_1 \cos \gamma + \sin \gamma.$$

Отсюда

$$\operatorname{ctg} \beta_1 = \frac{K_\alpha - \sin \gamma}{\cos \gamma}. \quad (7)$$

Следовательно,

$$E = \operatorname{tg}(\operatorname{arcc} \operatorname{ctg} \frac{K_\alpha - \sin \gamma}{\cos \gamma} - \gamma) + \frac{K_\alpha - \sin \gamma}{\cos \gamma}. \quad (8)$$

Линейные деформации по двум взаимно перпендикулярным направлениям: вдоль стружки — σ'_e и в направлении, перпендикулярном к ее длине, — σ'_a и σ'_b определяются по формулам:

$$\sigma'_e = \frac{l_1 - l}{l}; \quad \sigma'_a = \frac{a_1 - a}{a}; \quad \sigma'_b = \frac{b_1 - b}{b}.$$

С учетом приведенных зависимостей для коэффициентов усадки K_α , K_β и K_ℓ получим:

$$\sigma'_e = \frac{1}{K_\ell}; \quad (9) \quad \sigma'_a = K_\alpha - 1; \quad (9, a) \quad \sigma'_b = K_\beta - 1. \quad (9, б)$$

Из рассмотрения зависимостей (8) и (9) следует, что линейная относительная деформация вдоль стружки обратно пропорциональна коэффициенту продольной усадки, а деформация в направлении, перпендикулярном ее длине, пропорциональна этому коэффициенту.

Зная величину относительного сдвига и линейной относительной деформации, можно определить преимущественный вид деформированного состояния по формуле

$$\frac{E}{\sigma'_e}. \quad (10)$$

Если это отношение больше единицы, то преимущественна деформация — сдвиг, а деформированное состояние — сдвиг со сжатием. Если это отношение меньше единицы, то преимущественна деформация сжатия, а деформированное состояние — пластическое сжатие со сдвигом.

2. Определение скорости скольжения стружки

Известно, что скорость скольжения стружки оказывает значительное влияние на работу сил трения, температуру резания и износ перед ей поверхности. С увеличением скорости резания они увеличиваются.

Скорость скольжения стружки по передней поверхности определяется по формуле

$$v_{стр} = \frac{l_1}{\tau},$$

где τ - время перемещения образовавшейся стружки длиной l_1 по передней поверхности.

Резец за время τ переместится на величину l .

Скорость резания определяется по формуле

$$v_{рез} = \frac{l}{\tau}.$$

Очевидно, справедливы отношения

$$\frac{l}{v_{рез}} = \frac{l_1}{v_{стр}}$$

Следовательно,

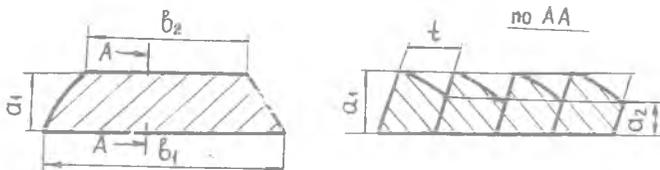
$$v_{стр} = v_{рез} \frac{l_1}{l} = \frac{v_{рез}}{K_\rho} \quad (II)$$

При $K_\rho < 1$ скорость скольжения стружки оказывается больше скорости резания. Такой случай может иметь место при обработке титановых сплавов, что является одной из главных причин повышенного износа режущего инструмента.

3. Определение коэффициентов усадки элементарной стружки

Элементарная стружка состоит из более или менее связанных между собой элементов, примерно одинаковых по форме и размерам. Форма элементов близка к форме неравнобокой трапеции. На тыльной стороне элементарной стружки имеются зубчики (рис.2).

Из рассмотрения рисунка 2 следует, что стружка в продольном сечении не сплошная. Значит, ее расчетная толщина является средней величиной толщин a_1 и a_2 . Очевидно, что, чем больше величина a_2 будет отличаться от a_1 , тем больше будут погрешности определения коэффициента усадки стружки по толщине, относительного



Р и с. 2. Параметры элементной стружки: a_1 - максимальная толщина стружки; a_2 - толщина сплюсненной части стружки; b_1 - максимальная ширина стружки, b_2 - минимальная ширина стружки; t - шаг между элементами стружки

сдвига и относительной линейной деформации в направлении, перпендикулярном к ее длине. Следовательно, и поперечное сечение элемента стружки имеет переменную площадь. Исследования показывают, что и ширина стружки имеет различную величину: на контактной поверхности b_1 она больше, на тыльной поверхности b_2 - меньше. Расчетная ширина стружки также является средней величиной b_1 и b_2 .

Определим погрешность определения коэффициента усадки K_a без учета несплошности сечения стружки. Опыт показывает, что при резании с большими подачами любых материалов, особенно титановых сплавов, образуется элементная стружка, у которой

$$a_2 = (0,2 - 0,9) a_1.$$

Пусть $a_2 = 0,5 a_1$.

Коэффициент усадки без учета несплошности стружки

$$K'_a = \frac{a_1}{a}.$$

С учетом несплошности

$$K_a = \frac{a_1 + 0,5 a_1}{2a} = 0,75 K'_a.$$

Относительная погрешность

$$\Delta = \frac{K'_a - K_a}{K_a} = \frac{K'_a - 0,75 K'_a}{0,75 K'_a} = 33\%.$$

Так как в формулы для определения относительного сдвига и относительных линейных деформаций входит величина коэффициента усадки K_a , то соответствующие погрешности будут внесены и в определение этих величин.

4. Особенности выполнения практической части работы

Экспериментально исследуется влияние изменяющихся условий резания: переднего угла реза, подачи и скорости резания на коэффициент продольной усадки стружки и рассчитанные на его базе деформации и скорость скольжения стружки по передней поверхности.

С этой целью проводятся три серии экспериментов:

$$K_{\ell} = f(\gamma), \quad K_{\ell} = f(S_0) \quad \text{и} \quad K_{\ell} = f(v).$$

В каждой серии изменяется только один фактор (например, передний угол), все остальные условия проведения экспериментов сохраняются постоянными. Каждому фактору придается не менее пяти значений через примерно равные интервалы изменения. План выполнения экспериментальной части работы приведен в табл. I.

Т а б л и ц а I

Резец РЭК5; $\alpha = \alpha_1 = 10^{\circ}$; $\lambda = 0$; $\varphi = \varphi_1 = 45^{\circ}$;
 $z = 1$ мм; $t = 2$ мм; $h_3 < 0,1$ мм

Серии опытов	Условия проведения опытов	
	меняющиеся	постоянные
$K_{\ell} = f(\gamma)$	$\gamma = \gamma_1 - \gamma_2 - \gamma_3 - \gamma_4 - \gamma_5$	S, v
$K_{\ell} = f(S_0)$	$S_0 = S_1 - S_2 - S_3 - S_4 - S_5$	γ, v
$K_{\ell} = f(v)$	$v = v_1 - v_2 - v_3 - v_4 - v_5$	γ, S

Предпочтительны следующие переменные условия проведения экспериментов:

$$\gamma = -10 \dots + 15^{\circ};$$

$$S = 0,1 \dots 0,5 \text{ мм/об};$$

$$v = 0,08 \dots 0,4 \text{ м/с (для резцов из быстрорежущей стали);}$$

$$v = 0,5 \dots 2 \text{ м/с (для твердосплавных резцов).}$$

При каждом из пяти значений каждого переменного фактора отбираются три стружки и аккуратно складываются в пакет. Таким образом для каждой серии опытов должно быть отобрано по пятнадцать стружек (пять пакетов), а для полного объема опытов – 45 стружек. Затем измеряются длина, ширина и толщина каждой стружки.

В элементной стружке измеряются полная толщина a_1 и толщина сплошной ее части a_2 . Определяется длина пути, пройденного резцом при снятии каждой стружки.

Подсчитываются коэффициенты продольной усадки и усадки в направлении, перпендикулярном к длине стружки, соответствующие средним значениям длины и толщины стружек для каждого значения переменного фактора.

Определяются значения относительного сдвига, относительных линейных деформаций и скорости скольжения стружки.

Строятся графики искоемых зависимостей в простых координатах.

5. Установление параметров стружки и снятого припуска

Д л и н а стружки может быть измерена с помощью растягивающейся ленты или ленты ("мягкого метра"), путем обкатки роликком с цилиндрической шгалой или установлена расчетным путем, если непосредственное измерение длины стружки невозможно. В этом случае ее длина (мм) определяется после измерения объема или веса и параметров поперечного сечения по формуле

$$l_1 = \frac{v_{стр}}{F_{стр}} = \frac{M 10^6}{\rho F_{стр}}, \quad (12)$$

где $v_{стр}$ - объем стружки, мм³;

M - масса стружки, г;

ρ - плотность материала стружки, кг/м³;

$F_{стр}$ - площадь поперечного сечения стружки, мм².

Объем стружки можно определить с помощью измерительных мензурок, а массу - на аналитических весах.

П а р а м е т р ы поперечного сечения сливной стружки a_1 и b_1 измеряются с помощью микрометра.

С р е д н я я т о л щ и н а сплошной части элементной стружки a_2 измеряется на инструментальном микроскопе.

Д л и н а п у т и , пройденного резцом при снятии стружки, определяется расчетным путем аналогично определению длины стружки. Только в расчетную формулу необходимо подставить параметры исходного сечения среза:

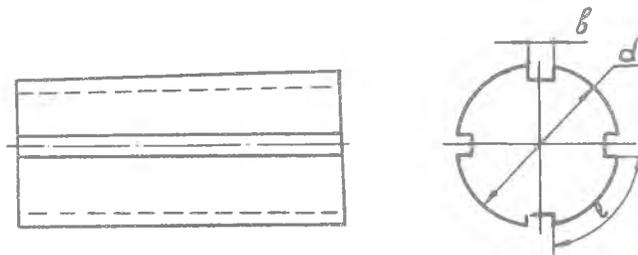
$$l = \frac{v_{стр}}{F_{усх}} = \frac{M 10^6}{\rho F_{усх}},$$

где $F_{усх} = ab = tS$.

Для ускорения исследований изготавливают специальные цилиндрические заготовки с продольными пазами (рис.3). Длина пути, пройденного резцом в этом случае, определяется расчетным путем по формуле

$$l = \frac{\pi d}{n} - b, \quad (13)$$

где d - диаметр заготовки, мм;
 n - число пазов;
 b - ширина паза, мм.



Р и с. 3. Образец для проведения исследований

6. Обработка и обобщение результатов исследований

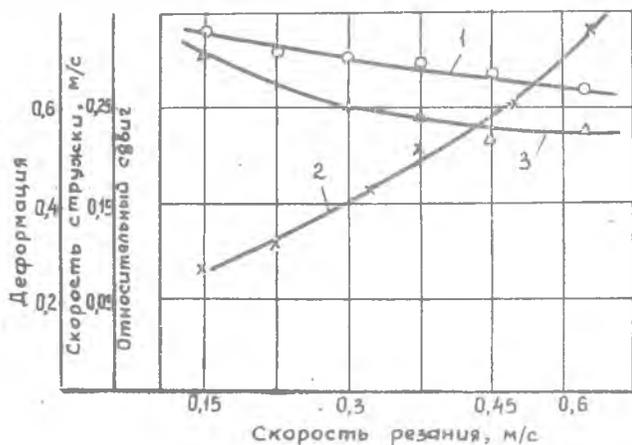
Обработка результатов начинается с определения среднеарифметических значений коэффициентов усадки стружки, подсчитанных по формуле

$$K_{пср} = \frac{\sum_{i=1}^n K_{пi}}{n} \quad \text{или} \quad K_{пср} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{m_{прi}}{n}}{n}, \quad (14)$$

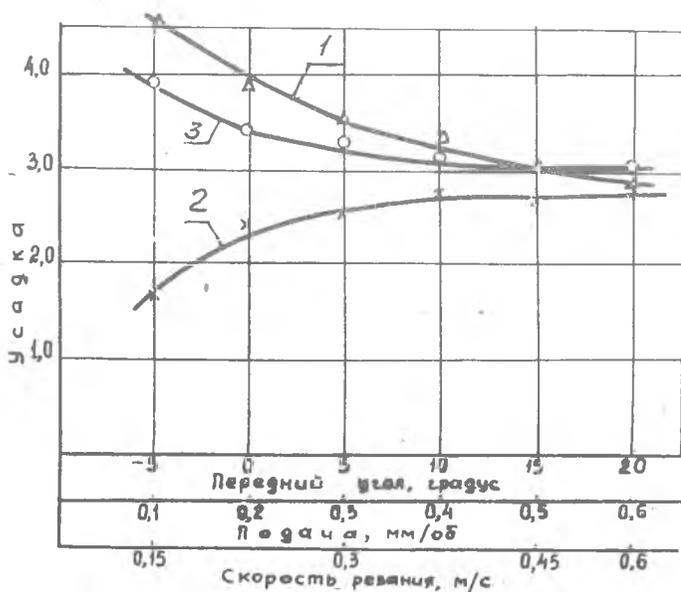
где $K_{пi}$ - коэффициент усадки по одному из параметров стружки (длине, толщине и ширине), соответствующий условиям i -го опыта, $K_{лср}$, $K_{аср}$ и $K_{вср}$;

n - число опытов;

$m_{прi}$ - параметры стружки (длина, толщина и ширина), соответ-



Р и с. 4. Влияние скорости резания на параметры деформированного состояния и скорость скольжения стружки: 1 - деформация; 2 - скорость скольжения стружки; 3 - относительный сдвиг



Р и с. 5. Влияние на усадку условий резания: 1 - переднего угла; 2 - подачи; 3 - скорости резания

ствующие условиям ℓ -го опыта при использовании специальных заготовок;

- ℓ - параметры снятого припуска, соответствующие условиям опыта;
- ℓ - длина дуги заготовки между пазами;
- a, b - соответственно расчетная величина толщины и ширины сечения среза, $a = S_0 \sin \varphi$; $b = \frac{\ell}{\sin \varphi}$.

После этого в простых координатах строятся совмещенные на одном рисунке графические зависимости:

$$\begin{array}{lll} K_{\ell} = f(\gamma) & \text{или} & K_a = f(\gamma); \\ K_{\ell} = f(S) & \text{или} & K_a = f(S); \\ K_{\ell} = f(\nu) & \text{или} & K_a = f(\nu). \end{array}$$

При известных значениях коэффициентов усадки по формуле (8) рассчитывается относительный сдвиг, по формулам (9) и (9,а) определяются относительные линейные деформации, по уравнению (II) - скорость скольжения стружки.

Строятся совмещенные графические зависимости влияния какого-то одного переменного фактора (например, скорости резания) на все изучаемые параметры (рис.4) или всех переменных факторов на какой-то один параметр, например, на усадку стружки (рис.5).

По формуле (10) определяется преимущественная деформация и вид деформированного состояния. Работа выполняется бригадой в составе 3-4 студентов. Отчет оформляется на стандартном бланке. Содержание протокола для всех членов бригады одинаково. Однако графический материал, его анализ и вытекающие из него выводы каждый член бригады представляет в соответствии с индивидуальным заданием, задачей которого является изучение влияния всех переменных факторов (γ , S и ν) на один из параметров (например, на относительный сдвиг) или одного из переменных факторов (например, переднего угла) на все изучаемые параметры.

Общие выводы по результатам исследований складываются из частных и по своему содержанию одинаковы у всех членов бригады.

Выводы должны содержать сведения о том, какой фактор оказывает более сильное влияние на соответствующий показатель деформированного состояния и скорость стружки и какой показатель деформированного состояния подвержен более сильному изменению при изменении условий обработки.

Авторы-составители: Федор Прокофьевич Урывский,
Владимир Михайлович Зайцев

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УСЛОВИЙ РЕЗАНИЯ
НА УСАДКУ СТРУЖКИ

Методические указания к лабораторной работе № I

Редактор Э.А.Г р я з н о в а
Техн. редактор Н.М.К а л е н ъ к
Корректор Е.Г.Ф и л и п п о в а

Подписано в печать 13.06.83 г.
Формат 60х84 1/16. Бумага оберточная белая,
Печать оперативная. Усл.п.л. 0,93. Уч.-изд. л. 0,8.
Т. 500 экз. Заказ № 3818

Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени
авиационный институт имени академика С.П.Королева,
г. Куйбышев, ул. Молодогвардейская, 151.

Обл. тип. им. В.П.Маги, г. Куйбышев, ул. Венцева, 60.