



Рис. 5. Кривые течения различных типов неньютоновских жидкостей: 1 – псевдопластичная жидкость с пределом текучести (пластичная жидкость); 2 – псевдопластичная; 3 – дилатантная

Аппроксимируя таблицу значений  $\dot{\gamma}$  и  $\tau$ , полученных в серии экспериментов при одной и той же температуре и давлении, можно найти аналитическую зависимость  $\tau = f(\dot{\gamma})$  для исследуемой жидкости при заданной температуре и давлении. Получен-

ную аналитическую зависимость можно использовать для расчетов технологических процессов, в которых применяется исследуемая жидкость, например, при расчетах процессов обработки металлов давлением в режиме жидкостного трения, где необходимо знать свойства смазки при высоком давлении и температуре.

#### Библиографические ссылки

1. Золотых Е. В. Исследование зависимости вязкости жидкости от давления // Измерит. техника. – 1955. – № 3. – С. 32–37.
2. Глухов В. П. Исследование процесса обратного выдавливания с жидкостным трением : дис. ... канд. техн. наук : 05.03.05 / ИМИ. – Ижевск, 1973. – 161 с.
3. Деформация металлов жидкостью высокого давления / В. И. Уральский, В. С. Плахотин, Н. И. Шефтель и др. – М. : Metallurgia, 1976. – 424 с.
4. Покрас И. Б., Чукуров Г. А. Определение реологических характеристик неньютоновских жидкостей // Интеллектуал. системы в пр-ве. – 2009. – № 2. – С. 42–46.

\*\*\*

I. B. Pokras, DSc in Engineering, Professor, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

G. A. Chikurov, Doctor's degree applicant, PhD in Engineering, Associate Professor, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

#### The device for experimental determination of rheological characteristics of non-Newtonian liquids at varying pressures and temperatures

A device is proposed for experimental determination of rheological characteristics of non-Newtonian fluids at varying pressures and temperatures. Sketches and the description of the device layout and its operation principle are given. Basic formulas are presented for calculating the rheology according to experimental data obtained by means of the device.

**Keywords:** non-Newtonian liquids, rheology, rheological characteristics, viscosimeter, viscosity

Получено: 11.04.13

УДК 621.9.01

А. И. Тананин, кандидат технических наук, профессор  
Ижевский государственный технический университет  
имени М. Т. Калашникова

### НАУЧНАЯ ШКОЛА КОНТАКТНЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ МАТЕРИАЛОВ

Изложены результаты исследований, выполненных учеными Ижевского механического и Волгоградского политехнического институтов. Представлены основные результаты работ по физике процесса резания материалов, контактными процессам, изнашиванию и разрушению режущих инструментов, улучшению обрабатываемости сталей и сплавов, оптимизации режима обработки.

**Ключевые слова:** научная школа, контактные процессы, механика процесса, упрочнение и разупрочнение, оптимизация

К 85-летию со дня рождения основоположника  
научной школы контактных процессов  
Николая Васильевича ТАЛАНТОВА

1945–1950 гг. – учеба в Казанском авиационном институте (КАИ).

1953–1955 гг. – учеба в аспирантуре КАИ.

1956 г. – защита кандидатской диссертации.

С 1956 г. – работа в ИМИ – зав. кафедрой «Металлорежущие станки и инструменты» (1959–1973 гг.),

деканом МТ факультета (1960–1964 гг.), проректором по учебной работе (1964–1968 гг.), ректором института (1968–1973 гг.).

1969 г. – защита диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук. 1973–1993 гг. – зав. кафедрой «Технология машиностроения» ВГТУ.

Н. В. Талантов – основоположник, широко признанной в стране в 1969 г., а позднее и за рубежом, научной школы контактных процессов при механи-

ческой обработке материалов. Результаты исследований опубликованы в 200 статьях, авторских свидетельствах на изобретения [6–14 и др.] и в монографии «Физические основы процесса резания, изнашивания и разрушения инструмента» [5].

При непосредственном участии ректора Н. В. Талантова строились учебные корпуса № 2, 4, стадион «Буревестник», первый спортлагерь, жилые дома. Наряду со всей этой работой и огромной занятостью Николай Васильевич вел большую общественную работу, являясь членом парткома института, райкома КПСС, депутатом Верховного Совета УАССР.

За заслуги перед страной, большой вклад в развитие высшего образования, научных исследований и внедрение их в народное хозяйство страны награжден орденом Дружбы народов, орденом Трудового Красного Знамени, орденом «Знак Почета», медалями, неоднократно поощрялся Министерством высшего и среднего специального образования РСФСР. Ему присвоено звание «Заслуженный деятель науки и техники Российской Федерации».

Резание материалов является одним из старейших методов механической обработки. Первые теоретические и экспериментальные исследования, выполненные русскими учеными, по своему научному уровню и оригинальности были поистине выдающимися достижениями в области науки о резании материалов и сохранили свое значение до настоящего времени, стали классическими трудами. Среди них выдающиеся русские ученые *И. А. Тиме, К. А. Зворыкин, А. А. Брикс, Я. Г. Усачев, А. Н. Челюсткин* [1].

Известно, что основоположниками науки о резании материалов являются русские ученые, а создателями – советские ученые. Прежде всего это *А. И. Каширин, А. В. Кривоухов, И. М. Беспрозванный, С. Д. Тишин, В. Д. Кузнецов, С. С. Рудник* (в 1930–1940-х гг.), *В. А. Кривоухов, Г. И. Грановский, А. М. Розенберг, А. Н. Еремин, М. И. Клушин, А. И. Исаев, Т. Н. Лоладзе, Н. Н. Зорев, В. Ф. Бобров, Д. Т. Васильев, Н. Г. Абуладзе, А. Д. Макаров, В. Н. Подураев, М. Ф. Полетика, Н. И. Резников, А. Н. Резников, Н. В. Талантов, С. С. Силин* и др. (конец двадцатого столетия).

Появление большого количества новых обрабатываемых материалов, оптимизация режимов обработки, автоматизация регулирования режимов обработки, использование ЭВМ в решении проблемы математического описания закономерностей процесса резания потребовали более широкого, глубокого и тонкого исследования физических основ процесса резания, особенно процесса стружкообразования и процесса взаимодействия обрабатываемого материала с контактными поверхностями режущего инструмента.

Механика процесса резания является базовым разделом науки о резании материалов, предопределяет протекание всех других явлений, сопровождающих процесс резания: контактные явления, тепловые, диффузионные и адгезионные процессы, наклеп, фазовые превращения, электрохимическое взаимодействие с окружающей средой и др. [1, 2, 5].



8 сентября 1927 г. – 24 июля 1993 г.

В этом сложном, поистине интереснейшем и малоисследованном разделе науки о резании материалов практически неизученными оставались контактные процессы.

Первые исследования под руководством Н. В. Талантова в Ижевском механическом институте в этом направлении были проведены в 1960 г.

Аспиранты (*Ю. Г. Глухов, Т. В. Шитова, И. И. Мансуров, А. И. Коньшин*), исследователи (*А. И. Тананин, Л. А. Хохряков, А. И. Хватов*), впоследствии также аспиранты этой школы, *А. А. Лубягин* за период с 1960 по 1969 год провели многочисленные эксперименты по установлению закономерностей физической сущности контактных процессов и прежде всего установили существование контактной зоны между сходящей стружкой и передней поверхностью инструмента, между поверхностью резания и задней поверхностью инструмента, основные параметры этих зон и влияние условий обработки на них [6–13].

Позднее, с 1970 г. по настоящее время, в школах Ижевского механического института, Волгоградского политехнического института последователями и учениками при непосредственном участии и под руководством Н. В. Талантова эти исследования были продолжены, получив не только широту охвата, глубину, но и качественно новые положения, изыскания. Вот некоторые основные из них.

Установлены закономерности процесса резания во взаимосвязи с контактными явлениями. Реальная схема процесса стружкообразования и контактного взаимодействия [5, 15].

Впервые установлено, что известную зону пластического контакта необходимо разделить на две: зону контакта упрочнения и зону контакта разрушения. При этом эти зоны имеют место как на передней поверхности инструмента, так и на задней [6, 12], как при средних толщинах среза, так и при малых, в том числе при алмазном точении [16], как при токарной обработке, так и при резьбовываивании [18].

Это положение позволило дать физическое толкование ранее установленным параметрам зоны среза, угла сдвига, уточнить форму и размеры зоны среза [15].

В свете полученных результатов исследований контактных явлений по-новому представлены тепловые явления, температурно-деформационные закономерности процесса резания, силы и контактные напряжения в процессе резания [7–18].

При обработке материалов резанием в зависимости от условий обработки образуются различные виды стружек и существуют различные виды контактного взаимодействия. Дана более полная классификация видов стружек и не установленная ранее классификация видов контактного взаимодействия обрабатываемого материала с режущим инструментом в широком диапазоне скоростей резания [5]. Впервые установлена и исследована зона стружкообразования с циклическими стружками, а также зона неустойчивого пластического деформирования металла с пульсирующей контактной зоной [12]. Впервые теоретически и экспериментально доказана взаимосвязь зоны стружкообразования с зонами контактного взаимодействия, что позволило установить реальную схему стружкообразования, ее размеры [15]. Установлены также характерные участки этих зон, кинематика контактного пластического деформирования металла в них [6, 5].

Влияние температуры и скорости резания на процесс упругопластического деформирования в зонах среза и контактного взаимодействия долгое время рассматривалось исследователями по-разному. Проведенные исследования позволили установить существование двух конкурирующих процессов в зоне контактных пластических деформаций: упрочнения и разупрочнения [6, 5], установить величины нормальных и касательных напряжений в контактных зонах и на участках упрочнения и разупрочнения, а также и во всей зоне стружкообразования. Названные процессы упрочнения и разупрочнения находятся в тесной зависимости от температуры резания, в целом, и от контактных температур в этих зонах, в частности. Результирующим эффектом двух конкурирующих процессов в этих зонах является: на участке зоны упрочнения – увеличение контактных напряжений, а на участке зоны разупрочнения – снижение контактных напряжений. Объяснение протекания этих процессов дано и с позиций теории дислокационного механизма пластического деформирования [7, 5].

Установленные закономерности изменения напряжений в зоне стружкообразования и в контактных зонах позволили уточнить расчетную схему определения теплового состояния и температуры этих зон, а также по-новому представить температурно-деформационные закономерности процесса пластического деформирования металла в зоне контактного взаимодействия. В частности, впервые установлено, что на формирование зон упрочнения и разупрочнения влияет не только величина температуры резания и контактной температуры, но и закономерность изменения контактной температуры в этих зонах. Участок пластического контакта, в пределах которого температура возрастает до значений температуры Дебая и завершается процесс упрочнения деформируемого

металла, и есть участок упрочнения. Процесс упрочнения деформируемого металла четко согласуется с кинематикой контактного течения деформируемого металла в этой зоне. Данное положение подтверждено экспериментально: исследованиями деформационного состояния металла (путем замера микротвердости), исследованиями кинематики контактного течения (путем применения металлографического метода) [6, 13].

В установление этих положений легли многочисленные исследования деформационного состояния металла в зоне среза и в контактных зонах, выполненные профессором А. И. Тананиным, впоследствии, после переезда Н. В. Талантова в ВПИ, возглавившем ижевскую школу контактных процессов при механической обработке материалов. В уточнение и создание расчетного метода контактных температур с использованием объемной схемы тепловыделения легли большие исследования доцента Т. В. Шитовой [9, 15]. А в установление закономерностей контактного взаимодействия на задних поверхностях инструмента и распространения ранее установленных закономерностей на передней поверхности легли исследования, выполненные доцентом Л. А. Хохлаковым [5, 12].

Рассматривая температурно-деформационное состояние металла в зоне резания во взаимосвязи со скоростью резания и другими параметрами условий резания, нельзя не отметить впервые установленные фактически обоснованные закономерности изменения таких важных характеристик процесса резания, как силы резания, усадка срезаемого слоя, угол сдвига, размеры срезаемого слоя, свойства обрабатываемого и инструментального материалов, геометрические параметры режущей части инструмента. В частности, установлен скачкообразный характер изменения сил резания, коэффициентов усадки стружки, параметров контактных зон в начале зоны наростообразования и пульсирующий характер в зоне скоростей резания при переходе от зоны наростообразования к зоне устойчивых контактных пластических деформаций. Показаны с применением металлографического метода исследований вид, параметры этих зон, объемов, закономерности их формирования и разрушения [5, 12].

Проведенные ранее исследования другими учеными объясняли изменения названных характеристик процесса резания с изменением скорости резания лишь явлением образования и исчезновения нароста на режущих передних поверхностях инструментов, а кинематику в зоне стружкообразования представляли как перемещение однородной массы металла, перемещающегося по передней поверхности инструмента со скоростью стружки, зависящей лишь от усадки стружки [1].

Важно отметить, что исследования деформационного состояния металла в зоне стружкообразования позволили установить и реальную картину распределения нормальных и касательных напряжений в контактных зонах [7]. А это, в свою очередь, позволило установить взаимосвязь температурно-

деформационных закономерностей процесса резания с контактными напряжениями и силами резания.

В результате представилось возможным построить типичные кривые влияния скорости резания на основные параметры процесса резания: виды стружкообразования и виды стружек; силы резания –  $P_Z$ ,  $P_Y$ ,  $P_X$ ; температуры резания; длины контактов –  $C_2$ ,  $C_1$ ,  $C$ . Кроме того, установлено влияние условий резания на положение этих типичных кривых на оси скоростей резания [5, 12, 14].

И как результат теоретических и экспериментальных исследований механики процесса резания – установлены закономерности разрушения и износа режущей части инструмента, пути улучшения обрабатываемости сталей и сплавов [5, 10, 13].

В настоящее время укоренилось представление о трех видах износа и разрушения инструментов: пластическом в виде потери формоустойчивости режущего лезвия; хрупком в виде микро- и макросколов; разрушении в результате ползучести объемов режущего лезвия. Проведенные исследования по установлению природы и закономерностей пластического деформирования режущего клина, а также для установления взаимосвязи этих процессов с контактными явлениями, с параметрами процесса резания показали, что режущий клин инструмента в процессе резания подвергается сложному пластическому деформированию, которое следует отнести к процессу ползучести. В условиях ползучести режущего клина скол его является заключительным этапом. Поэтому установленные закономерности процесса ползучести режущего клина от условий резания позволяют определить период стойкости инструмента, наметить способы снижения интенсивности процесса пластического деформирования [5, 10].

Новыми и весьма значительными являются исследования диффузионных процессов, протекающих при резании металлов и их роли в изнашивании инструмента, во взаимосвязи с контактными процессами и, прежде всего, с кинематикой контактного течения, контактной температурой. Установлен дислокационный механизм диффузионных процессов в зонах контактного взаимодействия. Все это позволило установить закономерности влияния скорости резания на стойкость и интенсивность изнашивания инструмента, выработать рекомендации по эффективному использованию твердосплавного инструмента [5, 8, 10, 13].

Проведенные школой контактных процессов теоретические и экспериментальные исследования позволили наметить также новые пути улучшения обрабатываемости сталей и сплавов. Это улучшение обрабатываемости сталей за счет изменения их структурного состояния, а именно: за счет назначения оптимального режима изотермического отжига; изменения размеров зерен структуры сталей; за счет введения при плавке и литье химических элементов и их соединений, например, раскислением или силикокальцинированием; за счет изменения теплового состояния зоны резания – путем нагрева материала заготовки внешним источником тепла; за счет опти-

мизации условий обработки с использованием новейших достижений теоретических и экспериментальных исследований в области механической обработки материалов.

Известно, что под улучшением обрабатываемости сталей и сплавов понимают прежде всего увеличение периода стойкости инструмента при прочих равных условиях. Увеличение периода стойкости инструмента за счет снижения интенсивности износа режущего лезвия инструмента является предпочтительным перед другими методами, потому что это позволяет повысить режим обработки, а следовательно, и производительность механической обработки, или сэкономить дорогостоящие и зачастую дефицитные инструментальные материалы.

Среди названных методов снижения интенсивности изнашивания или определения условий обработки, обеспечивающих наименьшую интенсивность изнашивания инструмента, наибольшего внимания заслуживает метод оптимизации режима обработки и, прежде всего, определение оптимальной скорости резания. Методов определения оптимальных скоростей резания за более чем вековой путь развития науки о резании материалов насчитывается более ста. Однако они хороши и применимы для своего времени, своего уровня развития науки о резании материалов. Кроме того, все они, включая классический ГОСТом утвержденный, весьма продолжительны по времени, трудоемки и дорогостоящие. Установленный метод оптимизации скорости резания по результатам исследований контактных процессов в большей степени не страдает этими недостатками. Он считается экспресс-методом. Определение оптимальной скорости резания осуществляется по экстремальности зависимости контакта упрочнения от скорости резания. Подробно данный метод приводится в авторском свидетельстве А.с. СССР № 841799 (опубл. в Б.И. № 2403, 1981).

В разработку данного метода оптимизации, а также для установления влияния геометрических параметров режущего клина инструмента, радиуса округления его на контактные процессы и характеристики процесса резания в целом легли большие исследования, проведенные доцентом А. И. Хватовым [15, 18, 20].

Кратко изложенное выше опубликовано в многочисленных статьях и в монографии Н. В. Талантова (Физические основы процесса резания, изнашивания и разрушения инструмента. М.: Машиностроение, 1992), в сборниках научных трудов ИМИ – ИжГТУ, ВПИ – ВГТУ. По результатам исследований создателем и его учениками опубликовано более 800 статей в центральной печати, сборниках научных трудов ИМИ – ИжГТУ, ВПИ – ВГТУ, сделано более 100 докладов на научно-технических конференциях от вузовского до международного уровня, получены 52 авторских свидетельства на изобретения, изданы учебные пособия и вышеназванная монография Н. В. Талантова.

СРЕДИ ВОСПИТАННИКОВ НАУЧНОЙ ШКОЛЫ Н. В. ТАЛАНТОВА 2 АКАДЕМИКА ОТРАСЛЕВЫХ АКАДЕ-

МИЙ НАУК РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ, 5 ДОКТОРОВ И 29 КАНДИДАТОВ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК, ЗАСЛУЖЕННЫЙ ДЕЯТЕЛЬ НАУКИ И ТЕХНИКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ, 2 ЗАСЛУЖЕННЫХ ДЕЯТЕЛЯ НАУКИ УДМУРТСКОЙ РЕСПУБЛИКИ, 2 ПОЧЕТНЫХ РАБОТНИКА ВЫСШЕЙ ШКОЛЫ. БОЛЬШИНСТВО ИЗ НИХ ТРУДЯТСЯ В ИЖГТУ И ВГТУ.

Такое большое, по значимости – выдающееся, научное наследие Н. В. Талантова характеризует его как выдающегося ученого, талантливого человека и организатора, исключительно целеустремленного, трудолюбивого и любимого студентами, аспирантами, товарищами по работе.

Проведенные школой контактных процессов теоретические и экспериментальные исследования позволили наметить также новые пути улучшения обрабатываемости сталей и сплавов, разработать физически достоверную многоуровневую математическую модель процесса, в которой учтены такие ранее не учитывающиеся факторы, как параметры контактных процессов, уточненные характеристики стружкообразования и т. д., дает возможность оптимизировать многочисленные параметры процесса резания и управлять им.

#### Библиографические ссылки

1. Развитие науки о резании металлов / В. Ф. Бобров, Г. И. Грановский, Н. Н. Зорев и др. – М. : Машиностроение, 1967. – 416 с.
2. Зорев Н. Н. Вопросы механики процесса резания металлов. – М. : Машгиз, 1956. – 368 с.
3. Полетика М. Ф. Контактные нагрузки на режущих поверхностях инструмента. – М. : Машиностроение, 1969. – 150 с.
4. Резников А. Н. Теплофизика процессов механической обработки материалов. – М. : Машиностроение, 1981. – 279 с.
5. Талантов Н. В. Физические основы процесса резания, изнашивания и разрушения инструмента. – М. : Машиностроение, 1992. – 240 с.
6. Талантов Н. В., Тананин А. И. Исследование кинематики и процесса пластического деформирования контактных слоев стружки // Совершенствование процессов резания и повышение точности металлорежущих станков : [сб. ст.] / Ижев. мех. ин-т. [Вып. 3]. – Ижевск, 1969. – С. 4–22.
7. Талантов Н. В., Мансуров И. И. Контактные напряжения на передней поверхности инструмента // Совершенствование процессов резания и повышение точности металлорежущих станков : [сб. ст.] / Ижев. мех. ин-т. [Вып. 3]. – Ижевск, 1969. – С. 23–39.
8. Талантов Н. В. Контактные процессы и температура нагрева режущих поверхностей инструмента // Совершенствование процессов резания и повышение точности металлорежущих станков : [сб. ст.] / Ижев. мех. ин-т. [Вып. 3]. – Ижевск, 1969. – С. 40–52.
9. Талантов Н. В., Шитова Т. В. Методика расчета температуры от трения при резании // Совершенствование процессов резания и повышение точности металлорежущих станков : [сб. ст.] / Ижев. мех. ин-т. [Вып. 3]. – Ижевск, 1969. – С. 53–58.
10. Талантов Н. В., Мансуров И. И. Экспериментальные исследования процесса деформации и разрушения режущей части инструмента // Совершенствование процессов резания и повышение точности металлорежущих станков : [сб. ст.] / Ижев. мех. ин-т. [Вып. 3]. – Ижевск, 1969. – С. 59–79.
11. Талантов Н. В. Влияние условий обработки на контактные процессы и стружкообразование // Совершенствование процессов резания и повышение точности металлорежущих станков : [сб. ст.] / Ижев. мех. ин-т. [Вып. 3]. – Ижевск, 1969. – С. 81–97.
12. Талантов Н. В., Тананин А. И., Хохряков Л. А. Некоторые особенности процесса контактных пластических деформаций при различных скоростях резания // Совершенствование процессов резания и повышение точности металлорежущих станков : [сб. ст.] / Ижев. мех. ин-т. [Вып. 3]. – Ижевск, 1969. – С. 98–106.
13. Талантов Н. В. Контактные процессы и износ режущих поверхностей инструмента. – М. : Машиностроение, 1969. – 150 с.
14. Талантов Н. В. Физические основы процесса резания : учеб. пособие. – Волгоград : Изд-во ВолгПИ, 1988. – 129 с.
15. Тананин А. И., Шитова Т. В., Хватов А. И. О взаимосвязи контактных и тепловых явлений и процесса стружкообразования // Совершенствование процессов обработки металлов резанием. Вып. 1 : межвуз. сб. / Удмурт. гос. ун-т, Ижев. мех. ин-т. – Ижевск : [б. и.], 1976. – С. 62–73.
16. Талантов Н. В., Тананин А. И. Исследование контактных процессов при тонком точении // Совершенствование процессов резания и повышение точности металлорежущих станков : [сб. ст.] / М-во высш. и сред. спец. образования РСФСР, Ижев. мех. ин-т. [Вып. 4]. – Ижевск : Удмуртия, 1972. – С. 18–26.
17. Безбородый В. Л., Тананин А. И., Глухова Г. Ф. Способ восстановления алмазных резцов. Передовой научно-технический и производственный опыт. № 16 – 66 – 28/4 ГОСИНТИ. – М., 1966. – С. 3–8.
18. Тананин А. И., Мурзин Ю. П., Свитковский Ф. Ю. Исследование контактных процессов при формировании резьбы деформирующими и режущими метчиками // Совершенствование процессов обработки металлов резанием. Вып. 5 / ред. В. В. Пузанов. – Ижевск : [б. и.], 1974. – С. 108–116.
19. Тананин А. И., Хватов А. И. О влиянии радиуса округления главной режущей кромки на основные параметры процесса резания // Совершенствование процессов обработки металлов резанием. Вып. 2 : межвуз. сб. / Удмурт. гос. ун-т, Ижев. мех. ин-т. – Ижевск : [б. и.], 1977. – С. 44–51.
20. Тананин А. И., Хватов А. И. Об оптимизации точения труднообрабатываемых материалов // Совершенствование процессов обработки резанием. – Ижевск, 1978. – С. 81–91.

\*\*\*

A. I. Tananin, PhD in Engineering, Professor, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

#### Scientific school of contact processes when machining materials

The article describes the results of investigations carried out by scientists Izhevsk Mechanical Institute and Volgograd Polytechnic Institute. It presents the main results of works on physics of the material cutting process, contact processes, wearing and destruction of cutting tools, workability improvement for steels and alloys, and on optimization of the machining mode.

**Keywords:** scientific school, contact processes, mechanics of the process, hardening and softening, optimization