

Определение рациональных параметров процесса скоростного дорнования отверстий с помощью LS-DYNA

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ»

Постановка проблемы, анализ проведенных исследований, цель работы

Использование методов поверхностного пластического деформирования является эффективным способом увеличения циклической долговечности свободных незаполненных отверстий (например, отверстий для перетекания топлива в баке-кессоне) и отверстий под болтовые соединения.

Для упрочнения отверстий применяют раскатывание, дорнование, выглаживание, чеканку, обработку дробью и центробежную обработку.

Для отверстий диаметром 8 и 10 мм, которые составляют до 60% всех отверстий в конструкции планера самолета, рекомендуется применять дорнование.

Существует квазистатическое и скоростное дорнование.

Квазистатическое дорнование осуществляют с помощью машин для затяжки болтов, протяжных машин и прессов. При этом наблюдается следующие существенные недостатки:

- требуется двухсторонний подход в зону отверстия и участие двух рабочих;
- появляются наплывы на кромках отверстий, искажается образующая отверстия (корсетность).

Для устранения таких недостатков после дорнования требуется проведение калибровки отверстий разверткой по Н7. Однако при этом срезается наиболее наклепаный поверхностный слой материала.

По сравнению с квазистатическим скоростное дорнование имеет бесспорные преимущества, отмеченные в работах [1-3].

Экспериментальные методы выбора рациональных технологических параметров процесса скоростного дорнования требуют значительных материальных и временных затрат. Современный уровень развития программного обеспечения и вычислительной техники обеспечивает возможность численного моделирования этого процесса методом конечных элементов (МКЭ).

Для определения рациональных параметров технологического процесса (ТП) скоростного пневмоимпульсного дорнования предложен экспериментально-расчетный метод, в который входят следующие этапы:

- а) проведение поискового эксперимента (для определения коэффициентов степенного закона упрочнения $\sigma = B\varepsilon^m$);
- б) разработка конечно-элементной (КЭ) модели;
- в) определение рациональных параметров технологического процесса (ТП).

Выполнение этих этапов позволяет определить рациональные параметры ТП и дать рекомендации для проектирования новых схем и конструкций пневмоимпульсных устройств дорнования.

Разработка КЭ модели

Для получения адекватной КЭ модели необходимо определить коэффициенты степенного закона, так как использование коэффициентов, применяемых для квазистатических процессов, дает погрешность в определении геометрических параметров дорнованных отверстий до 20%.

На основе результатов анализа литературы, а также поискового эксперимента [1] эмпирическим способом были подобраны коэффициенты степенного закона $B = 380 \cdot 10^6$ и $m = 0,27$, при которых погрешность расчетов составила не более 3%. Данные коэффициенты хорошо согласуются со справочными данными (рис. 1) [2].

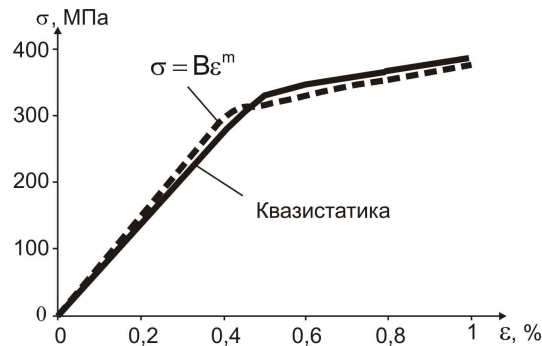


Рис. 1. Диаграмма растяжения до предела текучести сплава Д16Т

Описание КЭ модели ТП скоростного пневмоимпульсного дорнования отверстий

При моделировании процесса скоростного пневмоимпульсного дорнования отверстий выполнены следующие виды работ:

- 1) геометрическое моделирование технологической системы (ТС), состоящей из дорна, пакета, подкрепляющего элемента и упорной втулки (рис. 2);
- 2) моделирование физических свойств материалов элементов ТС;
- 3) задание контактных условий взаимодействия элементов ТС;
- 4) задание начальных условий работы элементов ТС.

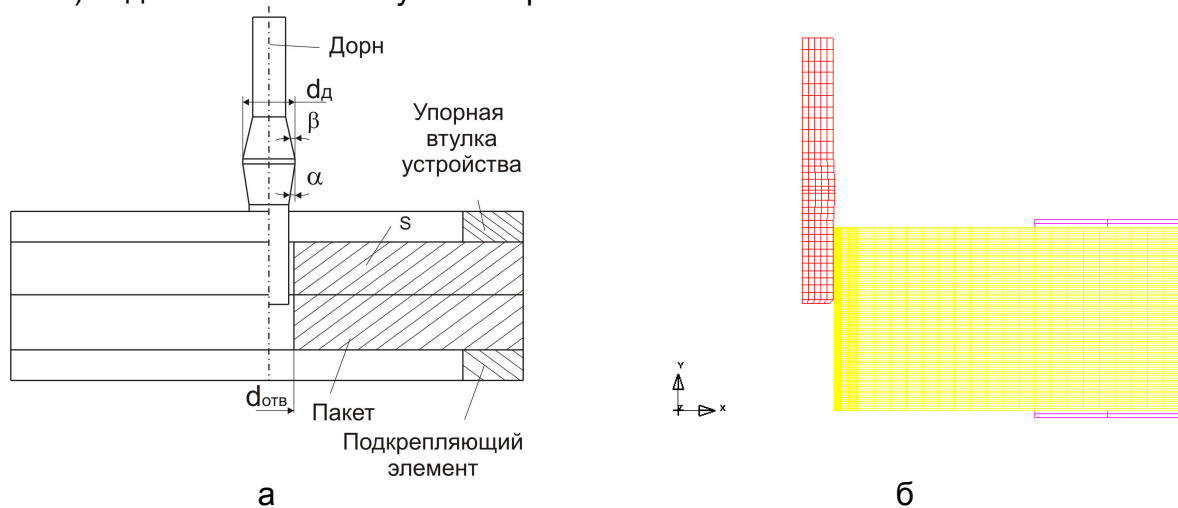


Рис. 2. Схема процесса (а) и КЭ модель (б) скоростного дорнования отверстий

При моделировании приняты следующие допущения:

- дорн является абсолютно жестким телом;
- упрочнение материала осуществляется по степенному закону;
- задача решена в осесимметричной постановке;
- трение на контактной поверхности описывается законом Амонта-Кулона;

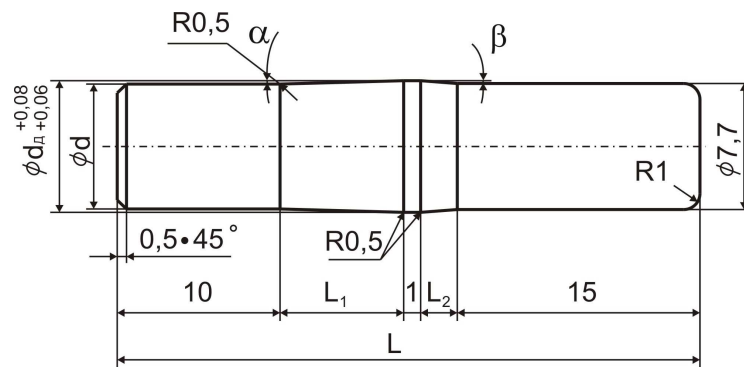
– тепловые эффекты, вызванные пластическим деформированием, не учитываются.

При решении скоростных процессов пластического деформирования используют явный метод интегрирования дифференциальных уравнений.

Начальная скорость движения инструмента V_H принята равной 20 м/с (начальная кинетическая энергия дорна $E_H = 100$ Дж).

Исследование влияния геометрии дорна на геометрические параметры отверстий

Наиболее важными факторами, влияющими на геометрические параметры отверстий, являются передний α и задний β углы дорна. Согласно анализу литературы, а также рекомендациям НИИАТа и с учетом реверсного (обратного) дорнования, для исследования выбраны следующие параметры дорна (рис. 3).



№ п/п	L	α , град	β , град	L_1	L_2
1	39,17	1,5	3	8,78	4,39
2	37,41	1,5	5	8,78	2,63
3	34,78	3	3	4,39	4,39
4	33,02	3	5	4,39	2,63

Рис. 3. Геометрические параметры дорна

При моделировании приняты следующие допущения:

- 1) материалы дорна и образца приведены выше;
- 2) диаметры пояска дорна $d_D = 8$ и 10 мм, а диаметры направляющих частей дорна $d = 7,7$ и $9,7$ мм;
- 3) углы дорна:
 - передний $\alpha = 1,5^\circ$ и $\alpha = 3^\circ$;
 - задний $\beta = 3^\circ$ и $\beta = 5^\circ$;
- 4) толщина пакета пластины S принята равной d_D , $2d_D$, $3d_D$;
- 5) начальная скорость дорнования $V_H = 20$ м/с (энергия $E = 100$ Дж);
- 6) натяг – 2,4 и 3,6 %;
- 7) коэффициент трения $\mu = 0,07$ (используется смазка – керосин);
- 8) задача осесимметричная.

Конечно-элементная модель деформации в зоне отверстия после прямого и

реверсного скоростного дорнования дорном показана на рис. 4.



Рис. 4. Конечно-элементная модель деформации в зоне отверстия после прямого и реверсного скоростного дорнования

К отверстиям для постановки болтов показателями критерия качества являются требования к отклонению от прямолинейности образующей отверстия (корсетность), а также опорной и свободной поверхностям образца (наплывы). Одним из наиболее важных показателей качества дорнованного отверстия является отклонение образующей Δ .

Результаты моделирования показали, что отклонение образующей отверстия и допуск на диаметр $\Delta d_{\text{ОТВ}}$ имеют минимальные значения при $\alpha = 1,5^\circ$, чем при $\alpha = 3^\circ$, а также отклонение образующей отверстия и допуск на диаметр при обратном скоростном дорновании меньше при $\beta = 3^\circ$, чем при $\beta = 5^\circ$ (рис. 5 и 6);

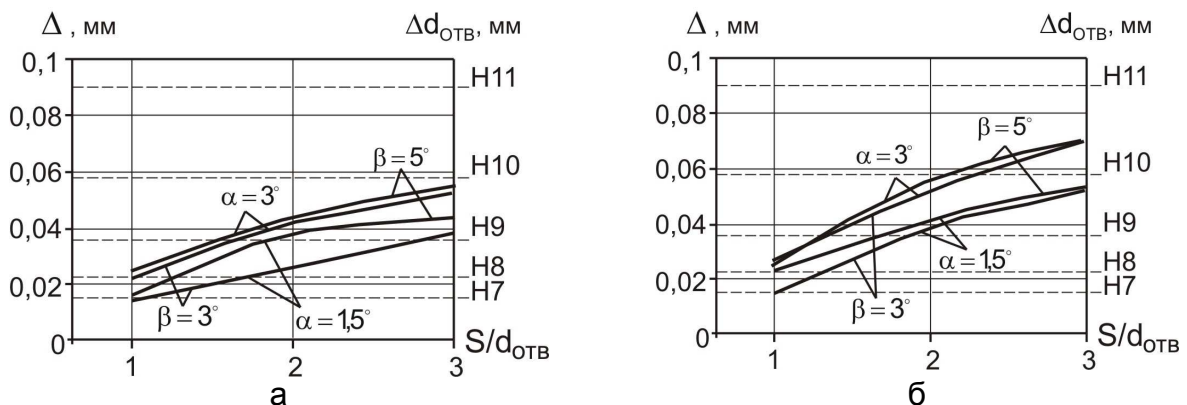


Рис. 5. Влияние геометрии дорна и толщины пакета на отклонения образующей и допуск на диаметр при различных передних и задних углах дорна ($d_d = 8$ мм (а) и $d_d = 10$ мм (б) при натяге 2,4%)

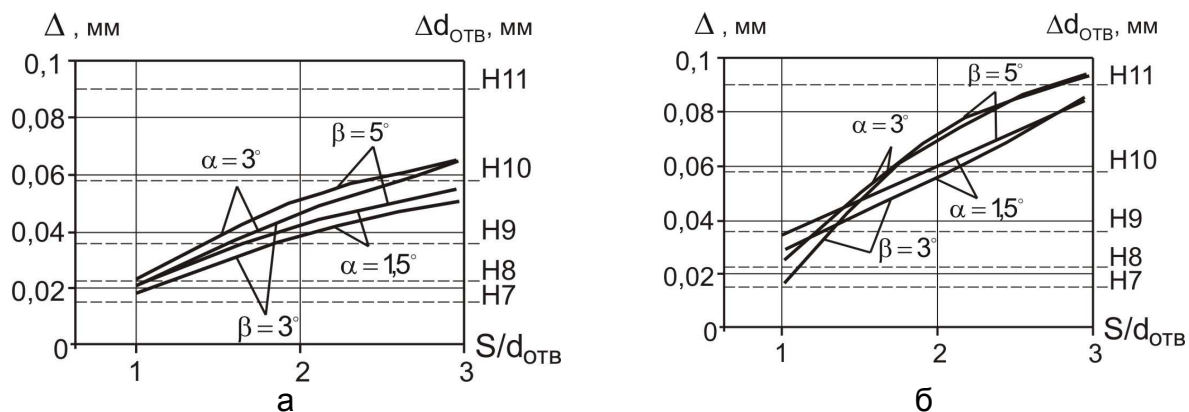


Рис. 6. Влияние геометрии дорна и толщины пакета на отклонения образующей и допуск на диаметр при различных передних и задних углах дорна ($d_d = 8$ мм (а) и $d_d = 10$ мм (б) при натяге 3,6%)

Были получены также результаты, определяющие затраченную энергию на процесс прямого и обратного дорнования и значения скорости дорна на выходе из отверстия (рис. 7–10).

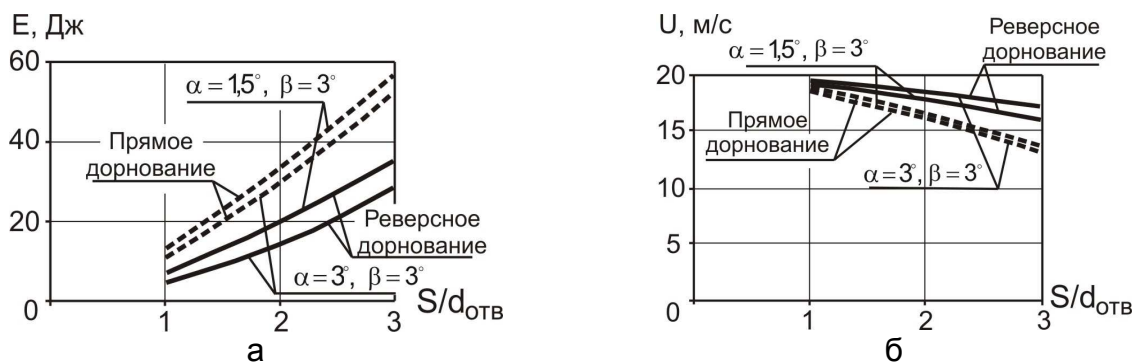


Рис. 7. Влияние геометрии дорна и толщины пакета на количество затраченной энергии на процесс дорнования (а) и на скорость дорна на выходе из отверстия (б) при прямом и реверсном дорновании ($d_d = 8$ мм, натяг 2,4%)

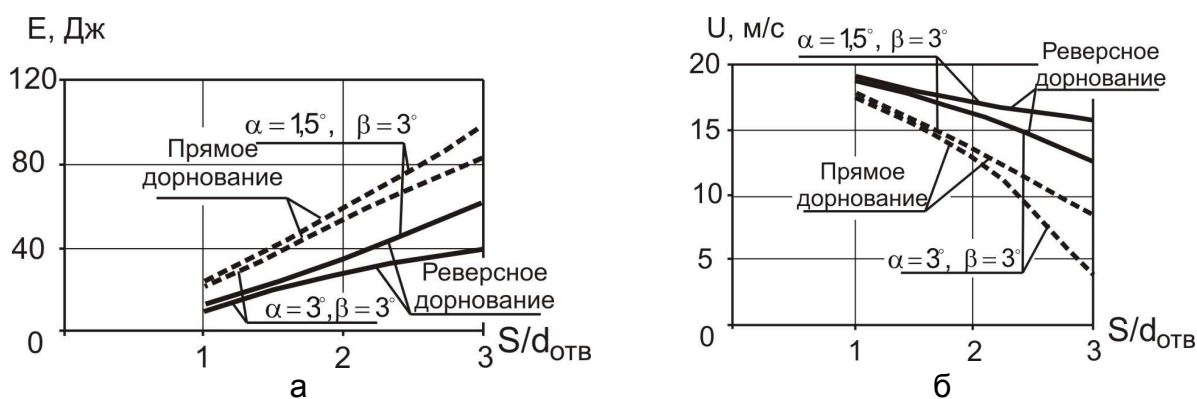


Рис. 8. Влияние геометрии дорна и толщины пакета на количество затраченной энергии на процесс дорнования (а) и на скорость дорна на выходе из отверстия (б) при прямом и реверсном дорновании ($d_d = 10$ мм, натяг 2,4%)

Анализ результатов показал, что при реверсном дорновании затрачивается энергии меньше на 55%, чем при прямом дорновании. Это позволит проводить прямое дорнование за два удара, а реверсное – за один. Этот факт подтвержда-

ется при моделировании процесса дорнования пакета толщиной $3d_d$ дорном $d_d = 10$ мм и углами $\alpha = 1,5^\circ$, $\beta = 3^\circ$ (5°) (рис. 10, б).

Поэтому необходимо заложить в разработку устройства возможность проводить процесс прямого и реверсивного дорнования как за один, так и за несколько ударов.

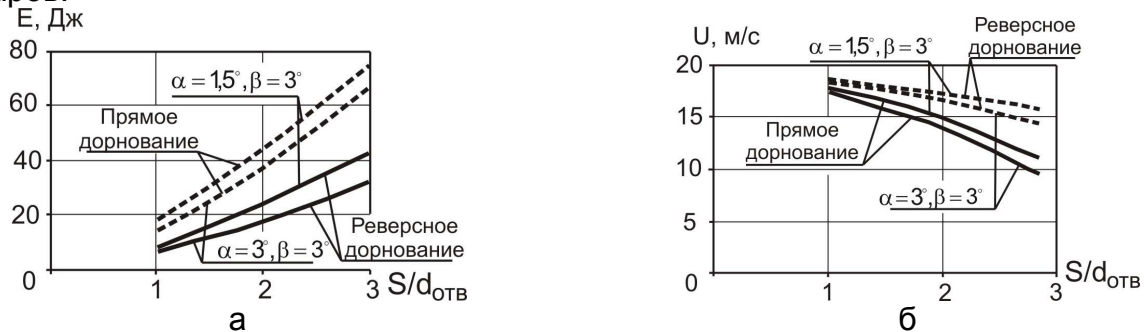


Рис. 9. Влияние геометрии дорна и толщины пакета на количество затраченной энергии на процесс дорнования (а) и на скорость дорна на выходе из отверстия (б) при прямом и реверсном дорновании ($d_d = 8$ мм, натяг 3,6%)

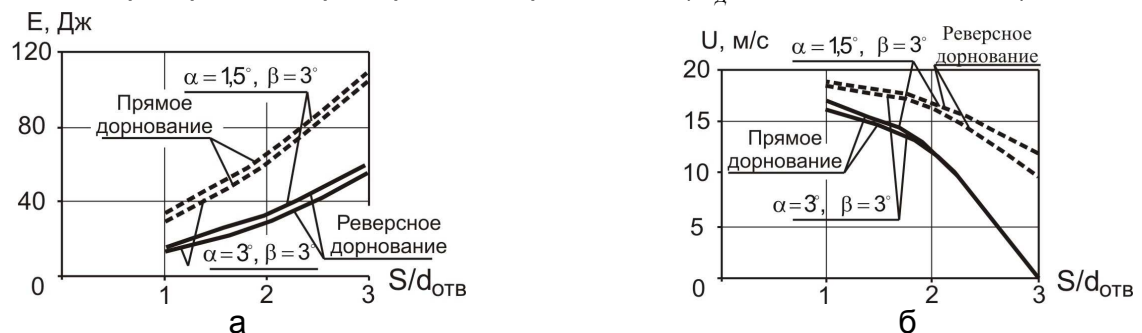


Рис. 10. Влияние геометрии дорна и толщины пакета на количество затраченной энергии на процесс дорнования (а) и на скорость дорна на выходе из отверстия (б) при прямом и реверсном дорновании ($d_d = 10$ мм, натяг 3,6%)

Исследование влияния коэффициента трения (смазки) на геометрические параметры отверстий

При исследовании коэффициента трения использовали те же параметры, что и при моделировании влияния геометрии дорна. При этом был исследован коэффициент трения в пределах $\mu = 0,02 \dots 0,1$.

Полученные результаты (рис. 11) показали, что с уменьшением коэффициента трения величина отклонения образующей увеличивается.

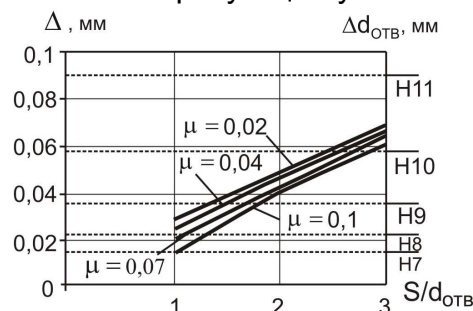


Рис. 11. Влияние геометрии дорна и толщины пакета на отклонение образующей и допуск на диаметр при различных смазках (коэффициентах трения)

Полученные результаты позволяют сделать вывод, о том, что не всегда эффективно использовать дорогостоящие смазки (МП2000, дисульфид молибдена и т.д.), при которых коэффициент трения является наименьшим ($\mu = 0,02 \dots 0,04$).

На рис. 12 показаны результаты расчета скорости дорна на выходе из отверстия при прямом и реверсном дорновании, а также значения энергии затраченной на данные процессы. Результаты этих исследований позволяют рационально выбирать смазки для процессов скоростного дорнования, а также рационально использовать энергетические возможности пневмоимпульсных устройств дорнования отверстий.

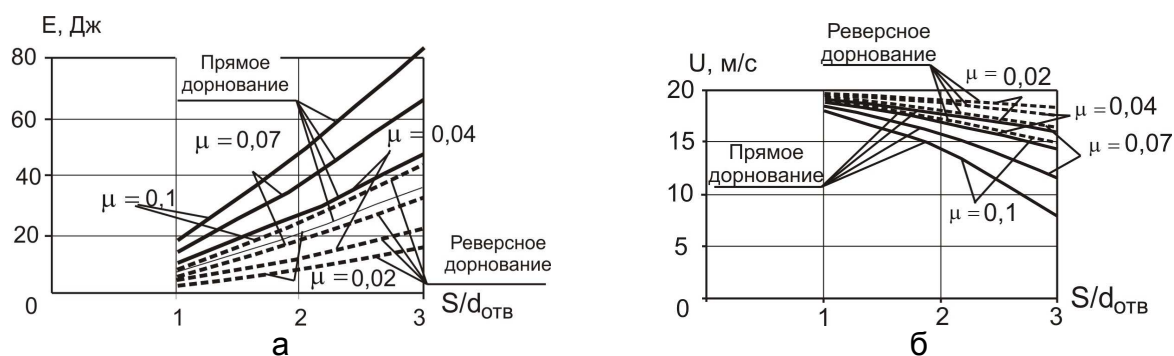


Рис. 12. Влияние геометрии дорна и толщины пакета на количество затраченной энергии на процесс дорнования (а) и на скорость дорна на выходе из отверстия (б) при различных коэффициентах трения (б)

Выводы

1. Разработанная на основе предложенного экспериментально-расчетного метода КЭ модель позволяет определить с заданной точностью рациональные параметры технологического процесса скоростного дорнования.
2. Определены рациональные параметры технологического процесса скоростного дорнования, которые обеспечивают требуемое качество поверхности отверстий.
3. Для подтверждения полученных результатов необходимо провести полнофакторный натурный эксперимент.

Список литературы

1. Воробьев Ю.А. Перспективные устройства для реализации процесса дорнования отверстий/ Воробьев Ю.А., Воронько В.В. // Авиационно-космическая техника и технология. 2004. – №3 (11). – С. 28-32.
2. Лысенко Ю.Л. Высокоскоростное дорнование отверстий с применением магнитно-импульсного привода при сборке агрегатов летательных аппаратов. / Лысенко Ю.Л., Щербатых В.В., Несолений В.С. // Вопросы технологии сборки конструкций летательных аппаратов. – Куйбышев: КуАИ, 1982. – С. 115-121.
3. Воробьев Ю.А. Сравнительный анализ способов дорнования отверстий / Воробьев Ю.А., Воронько В.В., Степаненко В.Н. // Системи обробки інформації. – Харківський університет Повітряних Сил, 2007. – Вып. 5 (63). – С. 35-38.
4. Полухин П.И. Сопротивление пластической деформации металлов и сплавов / Полухин П.И., Гун Г.Я., Галкин А.М. – М.: Металлургия, 1976. – 488 с.