

UDC 621.86. 621. 629.3; 669.54. 793

## Toygambayev S.K. The technological process of processing parts by plastic deformation

Технологический процесс обработки деталей пластическим деформированием

**Toygambayev S.K.**

Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Technical Service of Machinery and Equipment. K.A. Timiryazev Russian State Agrarian University, Moscow, Russia.

Тойгамбаев С. К.

д.т.н., профессор кафедры технической сервис машин и оборудования. Российский государственный аграрный университет им. К.А. Тимирязева, г. Москва, Россия.

***Abstract.** Processing of a part by surface plastic deformation is based on the principle of local compression. Depending on the loading pattern of the surface layer of a part, the plasticity of the metal of a given layer has a different degree, one of the estimates of which can be the magnitude and sign of residual stresses. The article describes the technological process of processing a part by surface plastic deformation.*

***Keywords:** Cast iron; detail; technological process; repair; rolling; voltage; compression.*

***Аннотация.** Обработка детали поверхностным пластическим деформированием основана на принципе местного сжатия. В зависимости от схемы нагружения поверхностного слоя детали пластичность металла данного слоя имеет различную степень, одной из оценок которой может являться величина и знак остаточных напряжений. В статье приводится технологический процесс обработки детали поверхностным пластическим деформированием.*

***Ключевые слова:** чугун; деталь; технологический процесс; ремонт; раскатка; напряжение; сжатия.*

---

**Рецензент:** Торопцев Василий Владимирович - кандидат технических наук, доцент.  
ФГБОУ ВО «РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева»

При обработке деталей методом ППД роликовыми раскатками или обкатками возникают сжимающие напряжения с максимумом на поверхности детали, рис. 1. В соответствии с теорией пластической деформации применительно к металлам, максимум остаточных напряжений сжатия возникает в области наиболее интенсивного пластического деформирования металла, поэтому для создания максимальных сжимающих напряжений на поверхности обрабатываемой детали требуется создать такую схему нагружения деформирующий инструмент-деталь, при которой наиболее интенсивное пластическое деформирование металла происходило на поверхности.

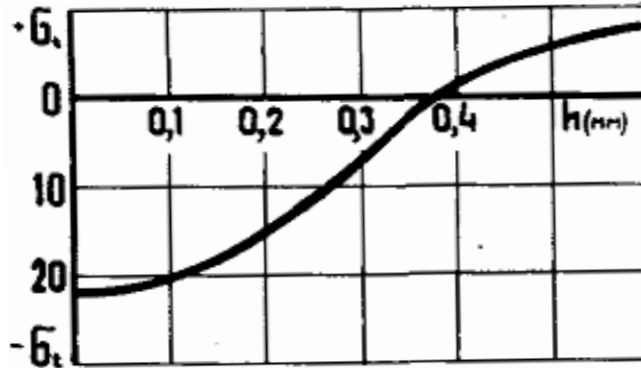


Рис. 1. Эпюры остаточных напряжений при обработке деталей многороликовой раскаткой

Согласно теории М.М. Кобрин, расположение максимума остаточных напряжений сжатия на поверхности детали возможно лишь в случае контактно-сдвиговой схемы деформирования слоя детали.

В настоящее время при обработке деталей поверхностным пластическим деформированием наибольшее предпочтение получили инструменты, у которых деформирующими элементами являются шарики или ролики (конические, цилиндрические, специальной формы).

В своих исследованиях М.М. Кобрин показал, что "шар в процессе сглаживания снижает сопротивление перемещению металла в поверхностном слое, в результате чего затруднительно получение контактно-сдвиговой схемы... При воздействии ролика возникают значительные сдвиговые усилия, вызывающие более глубокую деформацию микронеровностей и способствующие сравнительно лучшему выравниванию поверхности".

С учетом этого, ниже дается анализ только тех работ, в которых исследовались или применялись роликовые инструменты.

В работе А.С. Белашова исследованию подвергался серый чугун СЧ21 и частично чугуны СЧ15 и СЧ18. Изучая влияние усилия деформирования на пластичность микронеровностей чугуна, автор отмечал, что возникающая «...контактно-сдвиговая схема нагружения уменьшает межкристаллитные сдвиги зерен металла, увеличивая, в свою очередь, внутрикристаллическую деформацию. Появляющаяся объемная схема напряжений сжатия содействует закрытию внутренних пустот или изменению формы в благоприятном направлении; различного рода "ослабления", существующие в деформирующем слое металла (легкоплавкие включения, графит и т.д.) вытягиваются только в одном направлении и, тем самым, снижают свое вредное влияние на пластичность чугуна". Для обработки чугунных поверхностей А.С. Белашов отдает

предпочтение инструментам, в которых применяются ролики специальной формы (диски), использование которых возможно лишь при обработке отверстий диаметром свыше 200 мм. Работа по изучению характера напряженного состояния металла в поверхностном слое детали при обработке ее коническими роликами проведена Н.М. Денщиком. В своих исследованиях он показал, что при раскатывании отверстий под воздействием конических роликов в микронеровностях и поверхностных слоях стенок детали возникают напряжения, которые можно охарактеризовать как:

1. Радиально-сжимающие напряжения, образующиеся в результате нормального давления роликов на металл.

2. Окружные (тангенциальные) растягивающие напряжения, направленные по касательной к окружности радиуса детали.

Эти напряжения возникают вследствие того, что кольцевые слои металла, облегающие ролики раскатки за счет упругости стенок цилиндра, в процессе раскатывания растягиваются.

3. Осевые сжимающие напряжения, возникающие в результате противодействия деформации соседних участков металла.

Следовательно, напряженное состояние элементарного объема металла, находящегося в зоне деформации раскатываемого цилиндра будет характеризоваться наличием 2-х напряжений сжатия и одного напряжения растяжения, что приводит к пластическому деформированию металла на определенную глубину.

Проводились исследования о влиянии различного напряженного состояния чугуна на его пластичность с учетом микроструктуры чугуна. Эксперименты проводились на чугуне СЧ21, имевшего три структуры: перлитную, ферритно-перлитную и ферритную. На графике рис. 2 представлено изменение пластичности чугуна при всестороннем неравномерном сжатии. Степень деформации чугуна достигает до 30...40%. Рассмотрение одновременно нескольких структур чугуна позволило автору прийти к выводу, что:

а) независимо от микроструктуры чугуна способен пластически деформироваться;  
б) пластические свойства чугуна не зависят от структуры графитовой фазы, хотя интенсивность его пластической деформации увеличивается при уменьшении размеров графитовых включений.

Одной из объективных оценок способности чугуна пластически деформироваться может служить изменение чистоты сглаживаемой поверхности детали. На рис. 3 (исследования Я.Д. Колкера) представлен график зависимости приложенного усилия деформирования и чистоты сглаживаемой поверхности серого чугуна СЧ21, имевшего

ферритную, ферритно-перлитную и перлитную структуры, при раскатывании роликами.

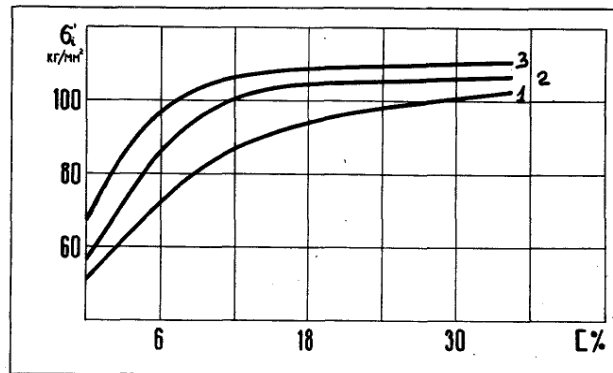


Рис. 2. Степень деформации чугуна различной структуры при ППД  
1. перлитная структура, 2. перлитно-ферритная структура  
3. ферритная структура

Как видно из графика, чистота поверхности детали с увеличением прикладываемого усилия деформирования улучшается до соответствующего "критического" значения усилия, превышение которого ведет к ее ухудшению и даже шелушению металла поверхностного слоя. На рис. 4 представлена аналогичная зависимость для стали 45 с целью сравнения.

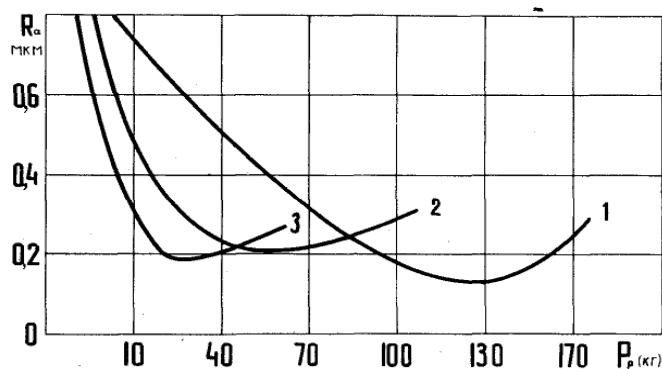


Рис. 3. Зависимость чистоты поверхности от радиального усилия деформирования  
1. перлитная структура 2. перлитно-ферритная структура  
3. ферритная структура

Из этих двух графиков, а также анализа ряда других работ можно заключить, что:  
а) чистота поверхности чугуна при раскатывании улучшается до  $R_a 0,15...0,2$  мкм, т.е. практически как у стальных деталей;

б) усилие деформирования для получения одного и того же класса чистоты при сглаживании чугуна меньше, чем при раскатывании стали;

в) соотношение между величиной усилия, вызывающей шелушение металла

поверхностного слоя и "критическим" усилием (в точке перегиба кривой чистоты) для чугуна во много раз меньше, чем для стали. Это объясняется "малым запасом пластичности поверхностных слоев у чугуна" и, как результат этого, "большая чувствительность чугуна к перенаклепу".

Другой объективной оценкой способности чугуна пластически деформироваться при обработке его раскатыванием может служить изменение прочностных характеристик обрабатываемой поверхности.

Одной из таких характеристик является микротвердость поверхностного слоя детали. Наиболее полно вопрос об изменении микротвердости чугуновых деталей, раскатанных коническими роликами, изучался в работах А.В. Румянцева, М.М. Сабурова и В.Г. Мартинсона.

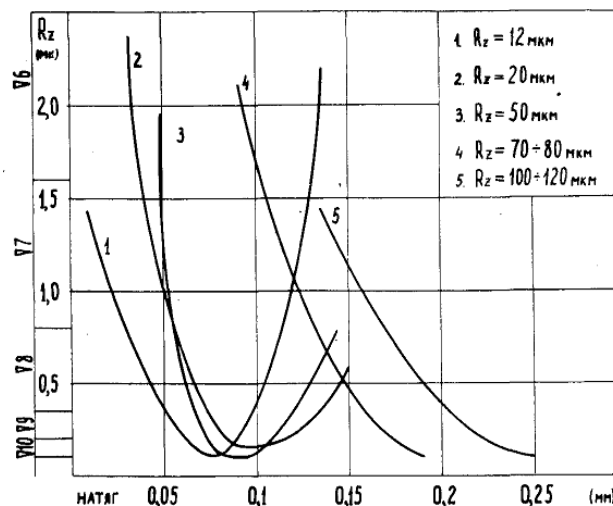


Рис. 4. Зависимость чистоты поверхности от усилия деформирования (натяга) для стали 45

В первой работе исследования проводились на перлитных серых чугунах СЧ18 и СЧ21, Металлическая основа чугуна СЧ18 состояла из мелкопластинчатого перлита, а СЧ21 - из мелко- пластинчатого перлита и до 10% фосфидной эвтектики. Графитные включения исследуемых чугунов представляли пластинчатую форму средней завихренности, с длиной пластинок 10...150 мкм. Раскатывание осуществлялось роликами диаметром 3...13,5 мм.

Результаты экспериментов дали основание автору сделать следующие выводы:

а) при раскатывании чугуна роликовым инструментом за счет пластической деформации микронеровностей и нижележащих слоев металла, происходит упрочение поверхности обрабатываемой детали;

б) повышение микротвердости после раскатывания наблюдается значительно глубже

от поверхности, чем визуально замеченные изменения в микроструктуре;

в) микротвердость поверхностного слоя возрастает в среднем на 18...27%. Наибольшее упрочение наблюдается у чугунов, графитовые включения которых имеют меньшую длину, более обособлены и завихрены;

г) толщина упроченного слоя зависит от диаметра роликов в раскатке. С увеличением диаметра роликов от 3 до 13,5 мм глубина распространения повышенной микротвердости увеличивается с 0,05 до 0,20 мм.

Во второй работе обработке подвергался чугун СЧ21 с повышенным содержанием кремния (2,3%). Раскатывание велось при натягах от 0,05 до 0,15 мм. Микротвердость измерялась по одной структурной составляющей - тонко пластинчатому перлиту. Результаты экспериментов приведены на рис. 5.

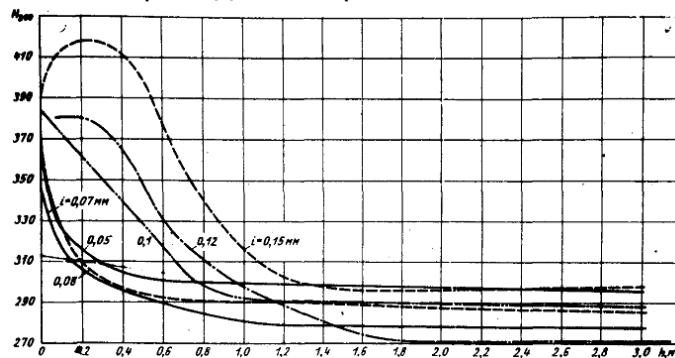


Рис. 5. Изменение микротвердости раскатанного чугуна от натяга

Из графика видно, что при натягах от 0,05 до 0,08 мм повышенная твердость сохраняется до глубины 0,14...0,15 мм. При этом снижение микротвердости происходит довольно резко. При натягах 0,1...0,12 мм повышенная микротвердость наблюдается глубиной до 0,4...0,6 мм и снижение ее происходит более плавно. При раскатывании с натягом 0,15 мм максимальная твердость имеет место на глубине 0,1...0,4 мм. Общие выводы по данной работе совпадают с выводами А.В. Румянцева.

#### Выводы:

В целом, по результатам анализа рассмотренных выше всех вопросов, можно сделать следующие выводы:

1. Металл поверхностного слоя чугунной детали способен пластически деформироваться при воздействии на него внешних сил по соответствующей схеме нагружения.

2. Одной из таких схем нагружения металла является контактно-сдвиговая схема, которая обеспечивает пластическое деформирование металла на поверхности детали.

3. При создании контактно-сдвиговой схемы нагружения металла поверхностного

слоя чугуна детали пластичность данного, слоя практически не зависит от микроструктуры чугуна.

4. Пластические свойства чугуна не зависят от графитовой фазы в основании чугуна, хотя интенсивность его пластической деформации увеличивается при уменьшении размеров графитовых включений,

5. За счет пластической деформации поверхностного слоя детали происходит повышение ее эксплуатационных характеристик.

## References

1. Апатенко А.С., Быков В.В., Голубев И.Г., Голубев М.И., Евграфов В.А. Технология и организация восстановления деталей и сборочных единиц при сервисном сопровождении. / Том Часть 2. Москва, 2018.

2. Мочунова Н.А., Карапетян М.А. Вопросы оптимизации производственных процессов в ремонтном производстве сельскохозяйственного парка. / Международный технико-экономический журнал. -М.; 2017. № 6. 101-106с.

3. Орлов Б.Н., Карапетян М.А., Абдулмажидов Х.А. Исследования износа рабочих элементов машин и технологического оборудования./ Тракторы и сельхозмашины. 2014. № 2. С. 36-38.

4. Коваленко В.П., Лесной К.Я., Гусев С.С., Леонов И.Н. Использование ПГС – полимеров для очистки жидкостей в сельскохозяйственном производстве./ Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина". 2003. № 1. С. 10.

5. Рыбаков К.В., Дидманидзе О.Н. Автотранспортные процессы и системы: учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по специальностям 311300 «Механизация сельского хозяйства» и 150200 «Автомобили и автомобильное хозяйство». М.: ООО «УМЦ Триада», 2004. 128 с.

6. Тойгамбаев С.К. Повышение долговечности деталей сельскохозяйственных и мелиоративных машин при применении процесса термоциклической диффузионной металлизации./ Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Российский государственный аграрный университет-Московская сельскохозяйственная академия им. К.А. Тимирязева. Москва, 2000г.

7. Тойгамбаев С.К. Технология производства транспортных и технологических машин природообустройства./ Учебник / Москва. 2020. 484с.

8. Rudyk N.V., Niyazbekova S.U., Yessymkhanova Z.K., Toigambayev S.K. Development and regulation of the digital economy in the context of competitiveness./ В сборнике: Cooperation and Sustainable Development. Conference proceedings. Cham, 2022. С. 167-174.