

Повышение точности и качества изготовления деталей из титана и титановых сплавов на основе предварительного локального пластического деформирования

В.В. Максаров

*д.т.н., профессор кафедры машиностроения
Санкт-Петербургского горного университета;
Санкт-Петербург*

Е.В. Кошелева

*аспирант кафедры машиностроения
Санкт-Петербургского горного университета;
Санкт-Петербург*

ВВЕДЕНИЕ

В отечественной промышленности титановые сплавы применяются главным образом в тяжелом, энергетическом и транспортном машиностроении, приборостроении в нефтегазовой отрасли. Из них изготавливают такие детали как шатуны, впускные и выпускные клапаны, коромысла клапанов и глушителей.

Наиболее целесообразно использовать титановые сплавы для высоконагруженных деталей; для несущей конструкции горного транспорта рекомендованы сплавы средней прочности, для ходовой части – сплавы средней прочности и высокопрочные, для деталей двигателя – сплавы высокой прочности и жаропрочные.

Принято считать, что титан поддается механической обработке подобно нержавеющей сталям. Это значит, что обрабатывать титан в 4...5 раз труднее, чем обычную сталь. Основные проблемы при обработке титана – это большая склонность его к налипанию и задиранию, низкая теплопроводность, а также то обстоятельство, что практически все металлы и огнеупорны растворяются в титане, в результате чего представляет собой сплав титана и твердого материала режущего инструмента. Такая обработка вызывает быстрый износ резца. Таким образом, повышение эффективности технологического процесса изготовления деталей типа «тело вращения» из титана и титановых сплавов на автоматических станках и станках с ЧПУ является актуальной задачей для предприятий горного машиностроения, нефтегазовой отрасли, космической и авиационной промышленности. Ее решение позволит снизить себестоимость и повысить конкурентоспособность продукции [7].

Важное преимущество титановых конструкций заключается в высокой прочности, непревзойденной долговечности, относительно малых тепловых деформациях и отличных антикоррозионных качествах таких основных компонентов специального оборудования [7].

Основные проблемы при обработке титана – значительная склонность его к налипанию и задиранию, низкая теплопроводность. Налипание и приваривание титана на режущую кромку инструмента приводит к изменению его геометрических параметров. При этом сама режущая кромка инструмента будет представлять собой сплав титана и твердого материала. Такая обработка вызывает быстрый износ резца.

Для увеличения производительности механической обработки титановых сплавов резанием и повышения стойкости режущего инструмента применяют различные способы, в том числе: механическую обработку титановых сплавов в нагретом состоянии; смазывающе-охлаждающих жидкостей; охлаждение обрабатываемых деталей посредством обильного полива, вакуумный отжиг и др. [1, 3].

Особенностью титановых сплавов является то, что термической обработкой не удастся существенно повысить обрабатываемость заготовок, полученных ковкой или прокаткой. В процессе резания металлов около 80% работы затрачивается на пластическое и упругое деформирование срезаемого слоя и слоя, прилегающего к обработанной поверхности и поверхности резания, и около 20% работы – на преодоление трения по передней и задней поверхностям резца. Примерно 85...90% всей работы резания превращается в тепловую энергию, количество которой (в зоне резания) существенно влияет на износ и стойкость инструмента, на шероховатость обработанной поверхности [1, 3].

Один из наиболее предпочтительных способов повышения износостойкости инструмента и механической обрабатываемости титана и титановых сплавов – предварительное локальное пластическое деформирование. Основная особенность данного метода: в структуре материала появляется локальная неоднородность, т.е. пластическая деформация сосредоточивается в отдельных определенных местах очага деформации (рис. 1).

Данный метод заключается в создании зоны предварительного локального поверхностного пластического деформирования, создающей необходимые параметры наклепа для каждого из видов механической обработки, для последующего съема упрочненного слоя металла в виде стружки.

Периодические изменения условий резания, по сравнению с исходным материалом, являются особенностью процесса точения заготовок, подвергнутых такому воздействию. Физическое воздействие на поверхность материала в локальной зоне приводит к изменению в ней структуры и, следовательно, изменению механических свойств обрабатываемого металла (рис. 2).

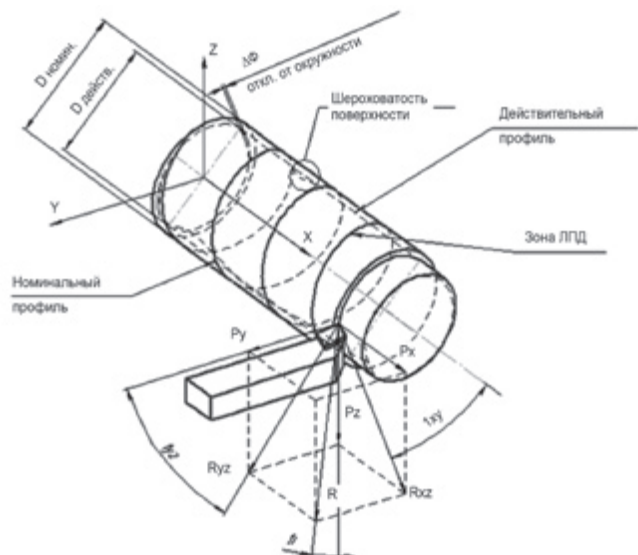


Рис. 1. Схема резания и направление сил резания при обработке деталей с зоной предварительного локального пластического деформирования: x, y, z – направление координат на станке; φ – главный угол в плане; t – глубина резания; P_x – осевая сила резания; P_y – радиальная сила резания; P_z – тангенциальная сила резания; R, R_{xz}, R_{yz} – равнодействующие силы резания под углом f_n, f_{xz}, f_{yz}

Зона локального воздействия находится в упрочненном состоянии по сравнению с основным металлом, поэтому при механической обработке происходит мгновенное изменение напряженно-деформированного состояния в зоне стружкообразования при пересечении данного слоя инструментом, что позволяет динамически стабилизировать процесс обработки.

Создаваемая по специально заданной траектории зона локального упрочнения в области предполагаемого припуска приводит к локальным изменениям структуры материала и образованию упруго диссипативных свойств, отличных от свойств основного материала.

Обработка металлов методом предварительного локального пластического деформирования в холодном состоянии основана на использовании их пластических свойств, т.е. способности в определенных условиях под действием внешних сил пластически деформироваться без нарушения целостности. Управление процессом предварительного локального пластического деформирования в сравнении с формообразованием существенно осложняется тем,

что приповерхностный слой материала заготовки предельно неоднородно деформирован в результате предшествующей ее обработки резанием или давлением [2, 3].

Метод локального пластического воздействия состоит в том, что поверхностные слои металла, контактируя с инструментом высокой твердости, в результате давления оказываются в состоянии всестороннего сжатия и подвергаются пластической деформации [3]. Вследствие этого под инструментом образуется давление только в зоне контакта. В качестве инструмента 1 (рис. 3) для реализации данного процесса используется ролик или шарик, который перемещается относительно заготовки 2 по специально заданной траектории 3 с частотой вращения $n_{лпд}$ и подачей $S_{лпд}$, что обеспечивает перемещение пятна контакта по поверхности заготовки.

Обкатку инструментом (роликом или шариком) 1 производят с помощью специальных приспособлений на обычных токарных станках. Давление РПР на инструмент осуществляется гидростатическим способом с помощью пружины 4. В зоне предварительного локального воздействия на поверхности заготовки происходят внутренние структурные изменения.

Известно, что пластическая поверхностная деформация в локальной зоне не термообработанного металла уже при температуре $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ приводит к изменению структуры и свойств материала [4, 6]. Деформирование сопровождается зарождением, скольжением и накоплением дислокаций в деформируемом металле. С ростом плотности дислокаций и несовершенств кристаллического строения затрудняется свободное перемещение дислокаций [3].

Дополнительные барьеры для дислокаций создаются за счет деформации зерен и дробления блоков. Увеличение количества точечных и линейных дефектов строения и объемов с некогерентной связью кристаллов повышает прочность и твердость материала и снижает его пластичность, т.е. способность к дальнейшему деформированию [2, 3, 8].

Вследствие этого в локальной зоне обработки пластическим деформированием на внешней поверхности заготовки образуется наклеп по заданной траектории. При сжатии в зоне локальной обработки в области пятна контакта в пределах каждого зерна образуется множество пересекающихся полос сдвига в нескольких параллельных плоскостях скольжения.

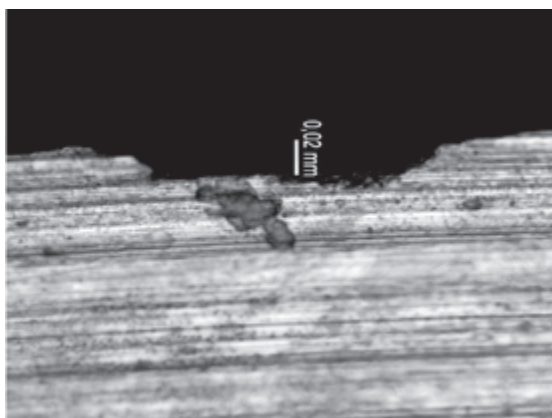
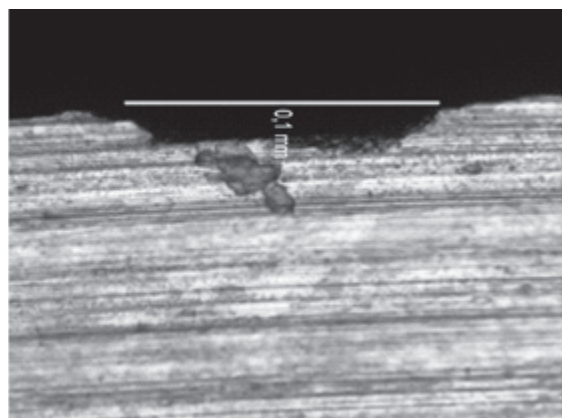


Рис. 2. Изменение структуры металла при применении ЛПД

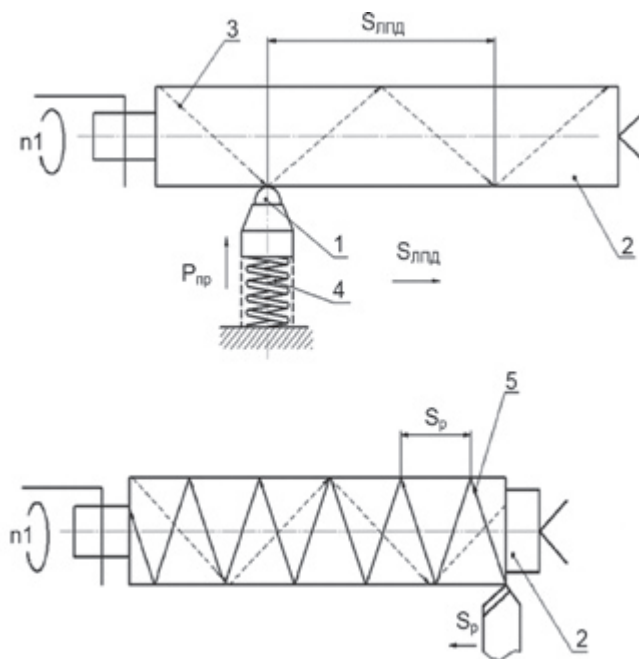


Рис. 3. Схема механической обработки с применением метода предварительного локального пластического деформирования

При этом происходит разворот беспорядочно ориентированных зерен с осями наибольшей прочности вдоль направления деформации – зерна деформируются и сплющиваются, вытягиваясь в направлении деформации. Металл под воздействием инструмента в локальной зоне образует деформационную текстуру волокнистого характера с преимущественной ориентировкой кристаллов [2, 3].

Удельный объем наклепанного металла из-за повышенного количества дефектов атомно-кристаллического строения больше, чем отожженного не наклепанного, поэтому помимо повышения твердости и предела текучести металла в поверхностном слое металла в зоне локального пластического воздействия создаются остаточные напряжения сжатия, что затрудняет образование и распространение трещин. Рост числа дефектов кристаллического строения и возникновение внутренних напряжений в результате наклепа приводит к тому, что свободная энергия металла возрастает, а это в свою очередь образует неравновесное и неустойчивое состояние [3, 8].

Рациональное изменение физико-механических свойств материала срезаемого слоя в зоне локального пластического воздействия (зона ЛПВ) обеспечивает улучшение условий стружкообразования при последующей механической обработке, которая осуществляется с частотой вращения n_p и подачей S_p по траектории 5 (рис. 3).

При механической обработке пластичных материалов работа резания расходуется на пластическое деформирование снимаемого металла. В зоне предва-

рительного локального пластического деформирования часть работы, затрачиваемой на пластическое деформирование, уже выполнено при предварительном воздействии контактным инструментом. Следовательно, в процессе резания в зоне деформации режущим инструментом будет совершаться только часть работы резания, затрачиваемой на пластическое деформирование основного срезаемого слоя металла. Это приведет в процессе резания в зоне предварительного локального пластического деформирования к локальному изменению объема пластического деформирования материала, угла сдвига, усадки стружки, силы и температуры резания.

Метод предварительного локального пластического деформирования основан на локальном пластическом воздействии на поверхность заготовки, которое приводит к изменению плотности дефектов кристаллической решетки в деформируемом слое, в результате чего в этом слое возникает зона повышенной упругости структуры. Все это обеспечивает процесс сегментации стружки, а также периодическое изменение условий резания при последующей обработке, из-за создания периодически повторяющейся плоскости сдвига динамически стабилизировать систему механической обработки [8], тем самым повысить качество обработки и износостойкость инструмента.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бобров, В.Ф. Основы теории резания металлов / В.Ф. Бобров. – М.: Машиностроение, 1975. – 344 с.
2. Григорьев, С.Н. Обеспечение качества деталей при обработке резанием в автоматизированных производствах: Монография / С.Н. Григорьев, А.Р. Маслов. – Старый Оскол: ТНТ, 2014. – 412 с.
3. Ганзбург, Л.Б. Создание локальной метастабильности в материале для управления процессом резания / Л.Б. Ганзбург, В.В. Максаров // Машиностроение и автоматизация производства: сб. науч. раб. – СПб.: СЗПИ, 1998. – вып. № 12.
4. Колачев, Б.А. Титановые сплавы разных стран: справочник / Б.А. Колачев, И.С. Польшин, В.Д. Талалаев. – М.: ВИЛС, 2000. – 316 с.
5. Вейц, В.Л. Динамические процессы, оценка и обеспечение качества технологических систем механической обработки / В.Л. Вейц. – Иркутск: Изд-во ИргТУ, 2001. – 299 с.
6. Армарего, И.Дж.А. Обработка металлов резанием / И.Дж.А. Армарего, Р.Х. Браун. – М.: Машиностроение, 1977. – 325 с.
7. Титановые сплавы в машиностроении / Б.Б. Чечулин [и др.]. – М.: Машиностроение, 1977. – 241 с.
8. Васин, С.А. Прогнозирование виброустойчивости инструмента при точении и фрезеровании / С.А. Васин. – М.: Машиностроение, 2006. – 332 с.