

COMPARAÇÃO DE PRESSÃO ESPECÍFICA PARA AÇO ABNT 52100 EM DUAS FORMAS, RECOZIDO E TEMPERADO.

Camilo Lellis Dos Santos
Carlos Henrique Lauro
Rafael Ribeiro Tomaz
Kathlen Lopes Fazzion Ribeiro
Lincoln Cardoso Brandão
Luciano de Paiva Albuquerque

Universidade Federal de São João del-Rei, Praça Frei Orlando, 170, Centro, São João del-Rei, Minas Gerais, 36307-352.

e-mails: carloslauro@ufsj.edu.br; camilo_santos@ufsj.edu.br; rafaelribeirotomaz@gmail.com; kathlen.fazzion@hotmail.com; lincoln@ufsj.edu.br; lucianopaiva.albuquerque@gmail.com.

Resumo: A operação de torneamento de corte tem se desenvolvido muito. Em muitos casos, este processo aproxima a qualidade obtida no processo de retificação, reduz o tempo de fabricação sem afetar a qualidade da superfície. Dois pontos relevantes podem ser destacados nas operações de torneamento: as forças de corte e a rugosidade da peça. As forças de corte no processo de torneamento foram estudadas, pois vários fatores são influenciados por elas, a saber, desgaste da ferramenta, quebra da ferramenta, temperatura de corte, vibrações, etc. A influência dos três principais parâmetros do processo foi analisada: velocidade de corte, avanço e profundidade de corte. As forças de corte foram avaliadas para uma combinação previamente definida de material e ferramenta sob uma determinada combinação de parâmetros de corte. O aço ABNT 52100 foi utilizado em duas formas, recozido e temperado, para encontrar a pressão específica de corte, K_s , seguindo uma metodologia prática. Após a realização dos experimentos, a equação de Kienzle foi utilizada para encontrar os valores das constantes z e K_{s1} . O valor de K_{s1} para o estado recozido e para o estado temperado foram encontrados de acordo com a literatura.

Palavras-chave: Pressão Específica de Corte, Força de Corte, Aço Temperado e Recozido.

1. INTRODUÇÃO

A operação de torneamento com ferramentas de corte de Metal Duro pode ser considerada um dos métodos mais antigos e consagrados para usinagem dos metais. Em muitos casos esse processo pode até substituir o processo de retificação, o que reduz o lead time da fabricação sem afetar a qualidade da superfície conforme Tonshoff et al. (2000) e Rao et al. (2013).

A otimização dos parâmetros do processo é de grande relevância ao avaliar a capacidade do processo de usinagem. Rao et al. (2013) enfatizou a importância de estudar as forças de corte no torneamento operações, pois diversos fatores são influenciados por ela, a saber, precisão dimensional, qualidade da superfície usinada, desgaste da ferramenta, quebra da ferramenta, temperatura de corte, vibrações etc.

Para se estimar a força de corte (F_c), antes da usinagem, necessita-se da chamada pressão específica de corte (K_s) dada N/mm^2 . Uma vez que a pressão específica de corte é dada em N/mm^2 , ou seja, força de corte dividida pela área de corte, resta saber o que é a área de corte, ou seção do cavaco.

A área da Seção de corte é, segundo (Diniz, 2003), a área da seção transversal calculada de um cavaco a ser removido, medida perpendicularmente à direção de corte no plano de medida. A Eq. (1) é utilizada é aplicada a ângulos de posição à 90°

$$A = ap \cdot f [mm^2] \quad (1)$$

Onde:

ap = profundidade de corte (mm)

f = avanço (mm/rotação)

A definição de pressão específica de corte (K_s), dada por Machado, nos permite um excelente entendimento da sua influência na cinemática do corte em processos de usinagem. Segundo (Machado, 2011), considerando uma ferramenta sem raio de ponta, a pressão específica de corte é a força necessária para a remoção de uma área de corte equivalente a

1mm² e esta pode variar segundo os seguintes fatores: material da peça; material e geometria da ferramenta; velocidade de corte; lubrificação e refrigeração; desgaste da ferramenta.

O presente trabalho tem como objetivo estudar a influência dos três principais parâmetros de processo em uma operação de torneamento, a saber, velocidade de corte (Vc), velocidade de avanço (f) e profundidade de corte (ap). Como saída do processo serão avaliadas as forças de corte (ativas) e a pressão específica de corte (ks) para o Aço AISI 52100 na condição Temperada e Recozida.

2. PRESSÃO ESPECÍFICA DE CORTE

A literatura é ampla em termos de operação de torneamento devido à sua relevância no corte de metais. Os três processos parâmetros importantes nesta pesquisa são: velocidade, avanço e profundidade de corte.

A revisão bibliográfica supracitada revela que o estudo do avanço, velocidade e profundidade de corte na força de corte tem sido amplamente pesquisado, entretanto há uma necessidade contínua de estender este estudo para as diferentes combinações de ferramentas e materiais.

A revisão da literatura também mostra que não há muito trabalho realizado com a combinação de ferramenta de metal duro e o aço ABNT 52100. Assim, o principal objetivo desta pesquisa é estudar a significância da influência da velocidade, avanço e profundidade de corte na força.

A força de Corte pode ser expressa pela relação:

$$Fc = Ks \cdot A [N/mm^2] \quad (2)$$

Onde:

Ks = pressão específica de corte

A = área da seção de corte

Vários autores, como Tylor, Hucks e Kronenberg, e instituições como ASME e AWF, já propuseram fórmulas para o cálculo de Ks.

Kienzle apresentou uma fórmula suficientemente precisa para o cálculo de Ks. Nesta fórmula, Ks figura como função da espessura de corte h. O aumento de Ks, com a diminuição de h é uma propriedade geral, que vale para todas as opções de usinagem segundo (Ferraresi, 1977)

A Figura 1 mostra a representação gráfica de valor de Ks, em função do avanço e da profundidade de corte para um determinado par ferramenta-peça. A equação pode ser dada por:

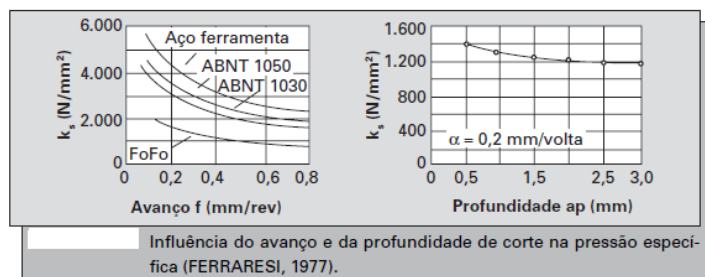


Figura 1: Influência do avanço e da profundidade de corte no Ks (Ferraresi, 1977)

$$Fc = Ks \cdot h \cdot b = Ks1 \cdot h^{-z} \cdot b \quad (3)$$

onde:

Ks1 e z = constantes do material

3. METODOLOGIA

3.1. Descrição do problema

Avaliar fatores que influenciam a pressão específica de corte (ks) na usinagem do Aço ABNT 52100 em duas condições – Recozido e Temperado. Avaliar por meio do corte ortogonal, a pressão específica de corte em três níveis de parâmetros de usinagem a seco. Analisar a influência da taxa de avanço na força de corte em operações de torneamento. Avaliar a força de corte com as condições de trabalho na usinagem do supracitado. Analisar a Pressão Específica de corte (Ks) por meio da fórmula de Kienzle.

3.2. Proposta de estudo

O presente estudo teve por objetivo analisar a influência dos parâmetros de corte na operação de torneamento sob a ótica das seguintes hipóteses:

- a taxa de avanço tem influência significativa na força de corte?
- a profundidade de corte contribui para o aumento da força de corte?
- a força de corte aumenta com a área da seção de corte?
- a pressão específica de corte (K_s) é influenciada pela dureza da peça?

O presente trabalho possibilitou melhor entendimento sobre como a seleção adequada de parâmetros de corte, influência nos esforços de corte e consequentemente na qualidade da usinagem do material. Possibilitou ainda compreender melhores métodos de cálculos para encontrar a Pressão Específica de Corte (k_s). Analisar a variação da força de corte em aço com diferentes tratamentos térmicos (Recozido e Temperado). Compreender a necessidade de ajuste de parâmetros de corte no processo de usinagem.

3.3. Recursos para análise

O presente trabalho foi realizado no Laboratório de Usinagem Mecânica da UFSJ com a utilização dos seguintes recursos:

- Tubo de Aço ABNT 52100 – Temperado (Amostra “T”);
- Tubo de Aço ABNT 52100 – Recozido (Amostra “R”);
- Torno CNC Romi GL 240M;
- Dinamômetro piezoelétrico estacionário Kistler®; e
- Software DynoWare também fornecido pela Kistler®.

3.4. Materiais e Métodos

A operação de torneamento foi realizada em um Torno CNC Romi GL 240M com capacidade de aplicação de rotação do eixo árvore de 6 rpm a 6000 rpm, e um motor de 15 KW. A ferramenta de corte utilizada na usinagem foi composta com inserto CNMG 120408-PM 4225 da Sandvik de raio de ponta igual a 0,8mm. O material utilizado foi um aço ABNT 52100 endurecido (dureza de 65 HC) e um aço ABNT 52100 recozido (dureza de 60 HC). A usinagem ocorreu sem lubrificação. As castanhas do torno foram previamente usinadas para melhorar a fixação da peça na máquina.

Os corpos de prova utilizados nos experimentos foram de aço ferramenta adequados para trabalhos a frio. Este é um aço elevado teor de carbono ligado ao cromo, temperável em óleo, de alta resistência mecânica e boa resistência ao desgaste em temperaturas elevadas. A Tab. 1 apresenta a composição química do aço ABNT 52100.

Tabela 1. Composição química do aço ABNT 52100 (Vilares metais,2005)

% em peso na composição química			
C	Si	Mn	Cr
1,00	0,25	0,35	1,45

3.5. Medição da força de corte

O instrumento utilizado para a medição da força de corte foi o Dinamômetro piezoelétrico estacionário Kistler®. Composto por três displays digitais independentes, devidamente calibrados, para exibir a força diretamente usando o dinamômetro de ferramenta de três componentes. Este instrumento compreende fonte de excitação DC independente para alimentar pontes de medidores de tensão, sistemas de processamento de sinal para processar e calcular os respectivos valores de força para exibição independente direta.

O instrumento opera em 110 ou 220V, 50Hz AC. Para registrar as leituras de força, foi utilizado o Software DynoWare.

3.6. Condições de corte e procedimento experimental

Entre as combinações de velocidade, avanço e profundidade de corte disponíveis no Torno, três níveis de parâmetros de corte foram selecionados com base em dados técnicos do fabricante da ferramenta (Tab. 2 e Tab. 3).

Tabela - 2: Fatores e seus níveis (Aço ABNT 52100 Recozido) (Autor, 2022)

Fatores para Amostra “R”	Parâmetros	Nível 1	Nível 2	Nível 3
Velocidade de corte(m/min)	Vc	300	300	300
Avanço (mm/rot)	Fn	0,1	0,2	0,3
Profundidade de corte (mm)	Ap	2	2	2

Tabela - 3: Fatores e seus níveis (Aço ABNT 52100 Temperado) (Autor,2022)

Fatores para Amostra "T"	Parâmetros	Nível 1	Nível 2	Nível 3
Velocidade de corte(m/min)	Vc	100	100	100
Avanço (mm/rot)	Fn	0,05	0,10	0,15
Profundidade de corte (mm)	Ap	1	1	1

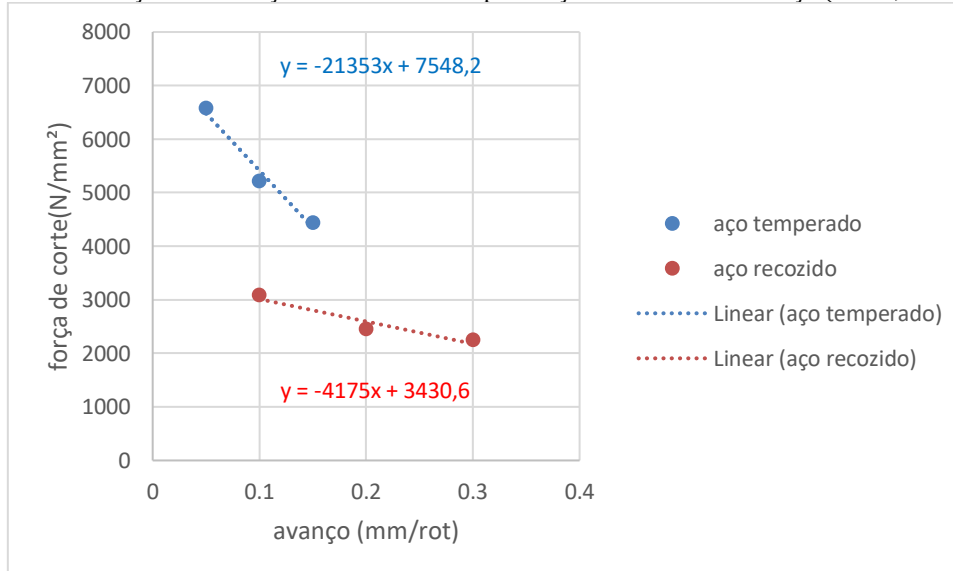
4. ANÁLISE DE RESULTADOS

4.1. Análise da força de corte

O Gráfico 1, a seguir, apresenta uma relação entre a força de corte dividida pela seção transversal e o avanço para os dois estados do aço. A força de corte foi dividida pelo produto entre avanço e profundidade de corte, conforme a Eq. (4), uma vez que, como foi utilizado profundidades diferentes para os dois estados, trabalhando-se com força de corte pela área da seção transversal fica mais claro de compreender e comparar o comportamento do aço nas suas duas formas

$$Fc/(ap * f) \quad (4)$$

Gráfico 1. Relação entre força de corte dividida pela seção transversal e avanço (Autor, 2022)



Analisando o Gráfico 1, percebe-se que a força de corte é um parâmetro dependente do avanço. Quanto maior for o avanço, menor será a razão entre a força de corte e a seção transversal. Para os dois aços tem-se um comportamento linear entre as duas grandezas, portanto a relação entre força de corte e avanço pode ser representada por meio de função do 1º grau, apresentadas no Graf. 1, em azul para o aço temperado e em vermelho para o aço recozido. E, sendo assim, qualquer valor de força de corte para o aço temperado para avanços entre 0,05 e 0,15 mm/rot pode ser encontrada através da equação em azul. Qualquer valor de força de corte para o aço recozido para avanços entre 0,1 e 0,3 mm/rot pode ser encontrada através da equação em vermelho. Percebe-se também que os valores da razão da força de corte pela seção transversal para aço no estado temperado são maiores que para o aço no estado recozido, uma vez que este é mais dúctil que o aço no estado temperado.

4.2. Análise da Pressão Específica de Corte (Ks)

Após a realização dos experimentos na máquina, foram encontrados os valores das forças de corte para os três níveis do aço nos dois estados, conforme as Tab. 4 e Tab. 5

Tabela 4: Forças de corte para o aço recozido

Ensaio "R"	Nível 1	Nível 2	Nível 3
f	0,1	0,2	0,3
Fc	617 N	980,7 N	1350 N

Tabela 5: Forças de corte para o aço temperado

Ensaio "T"	Nível 1	Nível 2	Nível 3
f	0,05	0,10	0,15
Fc	328,9 N	521,8 N	666,4 N

As forças de corte foram obtidas em Software DynoWare também fornecido pela Kistler®, conforme demonstradas, nos gráficos abaixo:

Gráfico 2: Forças de corte para o aço temperado

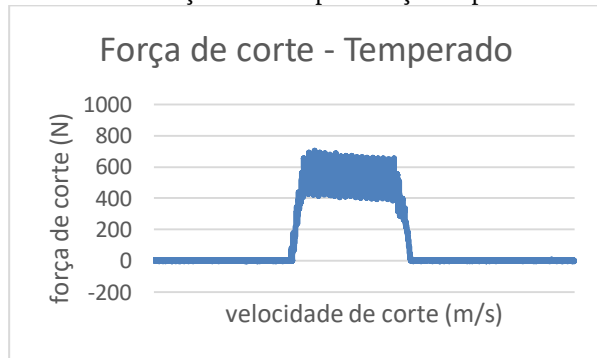
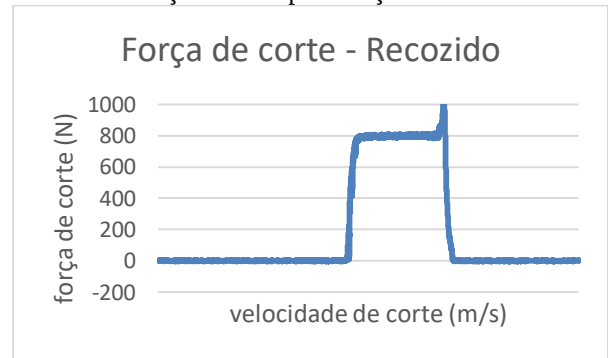


Gráfico 3: Força de corte para o aço Recozido



Os valores da força de corte para o aço no estado recozido apresentam-se maiores que para o estado temperado, devido a utilização de parâmetros de corte diferentes.

Após a obtenção da força de corte acompanhado de parâmetros selecionados, foi possível calcular os valores de Ks para ambos estados através da Eq. (1) utilizando os níveis 1 e 2 das Tab. 2 e Tab. 3.

Primeiramente, foi feito para o aço recozido com o valor de 617 N para força e os parâmetros $b = 2\text{mm}$ (profundidade de corte) e $h = 0,1$ (avanço), substituindo os valores na Eq. (1), obteve-se Ks igual a 3085 N/mm^2 . Para o valor de 980,7 N de força de corte, $b = 2\text{ mm}$ e $h = 0,2\text{ mm}$ obteve-se Ks igual a $2451,75\text{ N/mm}^2$. Com esses dois valores de Ks foi possível encontrar os valores das constantes Ks1 e z presentes na Eq. (3)

Devido ao fato de existir dois parâmetros para serem encontrados, os dois valores de Ks foram utilizados na Eq. (2) da seguinte forma

$$3085 = Ks1 \cdot 0,1^{-z} \quad (5)$$

$$32451,75 = Ks1 \cdot 0,2^{-z} \quad (6)$$

Como se trata de duas equações exponenciais e o parâmetro z estar com expoente, foi aplicado às propriedades do logaritmo para resolvê-las.

Primeiramente, colocando log nos dois lados das equações

$$\log 3085 = \log Ks1 \cdot 0,1^{-z} \quad (7)$$

$$\log 2451,75 = \log Ks1 \cdot 0,2^{-z} \quad (8)$$

Posteriormente, aplicou-se a propriedade da soma e do expoente nas Eq. (7) e (8). Ficando da seguinte maneira:

$$-3,39 = -\log Ks1 + z \log 0,2 \quad (9)$$

$$3,49 = \log Ks1 - z \log 0,1 \quad (10)$$

Ao somar as Eq. (9) e (10), obteve-se $z = 0,332$.

Ao escolher a Eq. (10) para substituir o valor de z, obteve-se o valor de Ks1 igual a $1435,48\text{ N/mm}^2$.

Todo esse processo para obter o K_{s1} foi realizado para o aço no estado temperado. Mudou-se apenas os valores, a seguir, Forças de corte de 328,9 N e 666,4 N, $b = 1$ mm e $h = 0,05$ mm para força de 328,9 N e $h = 0,15$ mm para força de 666,4 N. Logo, os valores obtidos foram $K_{s1} = 2269,86$ N/mm² e $z = 0,35$

A Equação (1) foi aplicada para os parâmetros do nível 3 para o ensaio “R” obtendo K_s igual a 2250 N/mm². E assim sendo, foi construído o Gráf. 4 que relaciona o avanço com K_s para o aço nos estados recozido e temperado.

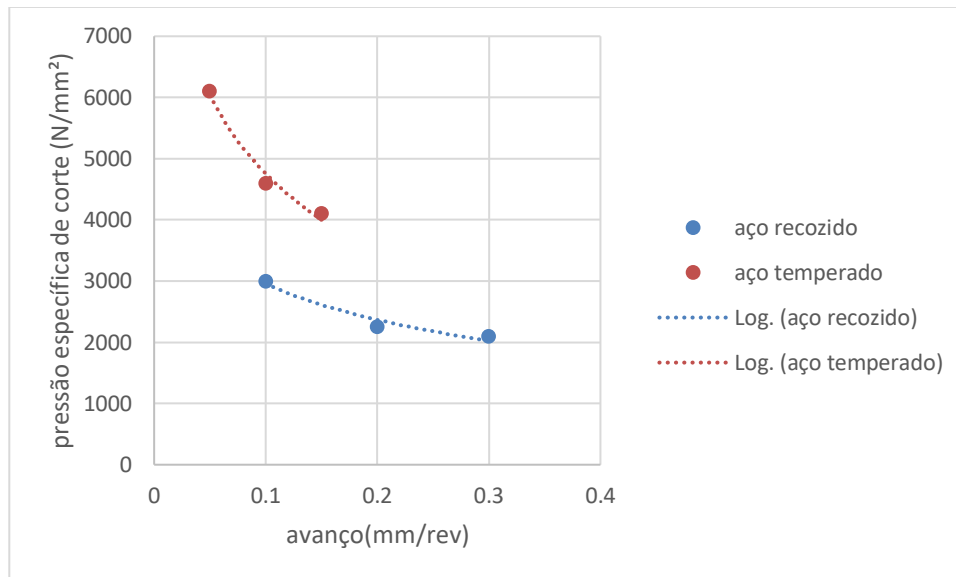


Gráfico 4. Relação entre avanço e K_s para o aço nos estados temperado e recozido (Autor,2022)

Analisando o Gráf. 4, percebe-se um comportamento semelhante em que a pressão específica de corte é inversamente proporcional ao avanço, ou seja, quanto maior o avanço, menor a pressão específica de corte o que vai ao encontro ao proposto pela literatura, conforme a Fig. 1, portanto os resultados encontrados nessa situação foram satisfatórios.

Os valores das pressões específicas de corte para aço temperado são maiores que as pressões específicas de corte para o aço recozido, por exemplo, para o avanço de 0,1mm/rot o K_s do aço temperado é de 4500 N/mm² e para o aço recozido é de 3000 N/mm² o que representa uma diferença de 50%. Essa diferença se deve ao fato de que um material após tratamento térmico tem sua dureza elevada e por consequência há o aumento da resistência ao cisalhamento.

5. CONCLUSÃO

Após a realização dos experimentos, verificou-se que quanto maior o avanço, maior a força de corte. A profundidade de corte não influencia na pressão específica de corte. A força de corte é diretamente proporcional a área da seção de corte e a pressão específica de corte para o aço no estado temperado é maior que para o aço no estado recozido devido a dureza do aço temperado ser maior que o aço recozido. Para pesquisas futuras, pode-se trabalhar com outros parâmetros de corte e avaliar o comportamento do aço estudado.

6. REFERÊNCIAS

- Diniz, A.E.2003.*Tecnologia da usinagem dos Materiais*.4 ed, São Paulo: Artiber
Ferraresi, Dino.1977. *Fundamentos da usinagem dos metais*. São Paulo: Blucher
<http://www.proacos.com.br/images/stories/catalogos/V52100.pdf>.2005
Machado, A. R.2011.*Teoria da usinagem dos materiais*. 2 ed, São Paulo: Blucher
Rao, C. J., Rao, D. N., & Srihari, P.2013. *Influence of Cutting Parameters on Cutting Force and Surface Finish* in Turning Operation. *Procedia Engineering*.
Tonshoff, H.K., Arendt, C., Amor, R.B., 2000. *Cutting hardened steel*. *Ann. CIRP* 49 (2), 1 19.

7 RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.

SPECIFIC PRESSURE COMPARISON FOR ABNT 52100 STEEL IN TWO SHAPES, ANNEALED AND TEMPERED.

Camilo Lellis Dos Santos

Carlos Henrique Lauro

Rafael Ribeiro Tomaz

Kathlen Lopes Fazzion Ribeiro

Lincoln Cardoso Brandão

Luciano de Paiva Albuquerque

Universidade Federal de São João del-Rei, Praça Frei Orlando, 170, Centro, São João del-Rei, Minas Gerais, 36307-352.

e-mails: carloslauro@ufsj.edu.br; camilo_santos@ufsj.edu.br; rafaelribeirotomaz@gmail.com; kathlen.fazzion@hotmail.com; lincoln@ufsj.edu.br; lucianopaiva.albuquerque@gmail.com.

Abstract: *The cutting turning operation has developed a lot. In many cases, this process approximates the quality obtained in the grinding process, reduces manufacturing time without affecting surface quality. Two relevant points can be highlighted in turning operations: the cutting forces and the roughness of the part. Cutting forces in the turning process have been experimented with, as several factors are influenced by them, namely tool wear, tool breakage, cutting temperature, vibration, etc. of cut, feed and depth of cut. Cutting forces were evaluated for a previously defined combination of material and tool under a given combination of cutting parameters. ABNT 52100 steel was used in two ways, annealed and tempered, to find the specific cutting pressure, K_s , following a practical methodology. After completing the experiments, Kienzle's proof was used to find the values of the constants z and K_{s1} . The value of K_{s1} for the annealed state and for the tempered state was found according to the literature.*

Keywords: *Specific Cutting Pressure, Cutting Force, Tempered and Annealed Steel.*

RESPONSIBILITY NOTICE

The authors are the only responsible for the printed material included in this paper.