**Розрахунок контактної напруги**

**при суміщеній прокатці-пресуванні по прикладу С.В.Бєляєва**

**Дано:**

Сплав *AD31*

Розмір: 10˟10

Обтиск 50% = ɛh

R1 = 100 мм

R2 = 80 мм

Заготівля в алюмінієвому сплаві AD3*.* Розмір h0˟ b0 = 11˟11

h0 - товщина,

b0 - ширина.

Застосуємо розроблену методику визначення контактної напруги для аналізу динаміки процесів СПП з одним та двома приводними валками.При t = 480 °C під час прокатки отримало обтиснення ɛh = 50% і видавлювалася в пруток даметром dпр = 7 мм. Матриця має висоту hм = 20 мм. Валки радіусом R1 = 100 мм, R2 = 80 мм оберталися з однаковою швидкістю nвр = 4 об/мин. (ω1 = ω2 = 0,42 с-1). В разі СПП (з одним приводним валком) - валок з R1 був не приводним ( 100 м ).

Знаходимо:

1. Визначаємо температурні кути для обох видів СПП. Потрібно знайти кут захоплення.



Рис. 1. Характерні зони осередку деформації при СПП: 1 – зона відставання прокатки; 2 – перехідна зона прокатки; 3 – зона випередження прокатки; 4 – зона випередження пресування; 5 – перехідна зона пресування; 6 – зона відставання пресування.

$$γ\_{пр}=\frac{R\_{i}× γ\_{i}}{R\_{пр}}$$

$$γ\_{1}=\frac{α\_{1}}{2}×\left(1-\frac{α\_{1}}{2β}\right)$$

$$γ\_{2}=\frac{α\_{2}}{2}×\left(1-\frac{α\_{2}}{2β}\right)$$

$$α\_{1}= \sqrt{\frac{2R\_{1}×∆h}{R\_{2}×(R\_{1}+R\_{2 })}}$$

$$α\_{2}= \sqrt{\frac{2R\_{2}×∆h}{R\_{1}×(R\_{1}+R\_{2 })}}$$

$$h\_{1}=h×ε$$

$$h\_{1}=10×0,50=5 мм$$

$$∆h=h-h\_{1}=10-5=5 мм $$

$$α\_{1}= \sqrt{\frac{2×100×5}{80×(100+80)}}=0,263 град.$$

$$α\_{2}= \sqrt{\frac{2×80×5}{100×(100+80)}}=0,210 град.$$

$$γ\_{1}=\frac{0,263}{2}×\left(1-\frac{0,263}{2×0,4}\right)=0,125$$

$$γ\_{2}=\frac{0,210}{2}×\left(1-\frac{0,210}{2×0,4}\right)=0,100$$

$$γ\_{1пр}=\frac{α\_{1}}{2}×\left(1+\frac{f\_{ш}×τ\_{ш}}{β×R\_{1}}\right)$$

$$γ\_{2пр}=\frac{α\_{2}}{2}×\left(1+\frac{f\_{ш}×τ\_{ш}}{β×R\_{2}}\right)$$

$τ\_{ш}$ - радіус шийки валка

$$τ\_{ш}=0,7R\_{в} $$

$f\_{ш}$ - коефіцієнт тертя в шийки валка (у холодному стані)

$$f\_{ш}=0,03$$

$$γ\_{1пр}=\frac{0,263}{2}×\left(1+\frac{0,03×0,7}{0,4×100}\right)=0,132$$

$$γ\_{2пр}=\frac{0,210}{2}×\left(1+\frac{0,03×0,7}{0,4×80}\right)=0,105$$

$$α=\frac{180}{π}×\sqrt{\frac{∆}{R}}≈57,3×\sqrt{\frac{∆h}{R}}$$

$$γ=\frac{α}{2}×\left(1-\frac{α}{2×β\_{y}}\right)$$

$$β\_{y}=arctgf\_{y}$$

$$β\_{y}=0,291$$

$f\_{y}$ - коефіцієнт тертя

$$f\_{y}=0,3$$

$$α\_{1}=\frac{180}{5}×\sqrt{\frac{5}{100}}=8,04 °$$

$$α\_{2}=\frac{180}{5}×\sqrt{\frac{5}{80}}=9 °$$

$$γ\_{1}={\frac{∆h}{R\_{1}}}/{2}×\left(1-{\frac{∆h}{R\_{1}}}/{2×β\_{y}}\right)= 2,31°$$

$$γ\_{2}={\frac{∆h}{R\_{2}}}/{2}×\left(1-\frac{∆h}{R\_{2}}×β\_{y}\right)=2,57 °$$

2. Визначаємо з одним приводним валком.

$$γ\_{н.}=\frac{α}{2}×\left(1+\frac{f\_{ш}×τ\_{ш}}{β\_{у}×R\_{1}}\right)$$

$$τ\_{ш}=0,7……0,75R\_{в}$$

$$f\_{ш}=0,03$$

$$β\_{у}=0,291$$

$$γ\_{н.}=\frac{8,04}{2}×\left(1+\frac{0,03×0,7}{0,291×100}\right)=4,02 °$$

$$γ\_{п}=\frac{α\_{2}}{2}×\left(1-\frac{α\_{2}}{β\_{у}}-\frac{f\_{ш}×τ\_{ш}}{β\_{у}×R\_{2}}\right)$$

$$γ\_{п}=\frac{0,263}{2}×\left(1-\frac{0,263}{0,291}-\frac{0,03×55}{0,291×80}\right)=0,62 °$$

$$τ\_{ш}=0,7×80=56 мм≈55 мм$$

$$γ\_{2}=1°$$

$$R\_{пр}= \frac{2R\_{1}×R\_{2}}{R\_{1}+R\_{2}}$$

$$R\_{пр}= \frac{2×100×80}{100+80}=88,88≈90$$

Визначаємо радіус прокатки:

$$α\_{пр1}= \frac{R\_{1}×α\_{1}}{R\_{пр}}= \frac{100×8,04°}{90}=8,93 °$$

Далі наводимо знайдені кути до однієї кутової координати за допомогою наведеного радіусу прокатки $R\_{пр}$:

$$γ\_{пр2}= \frac{R\_{1}×γ\_{1}}{R\_{пр}}= \frac{100×4,02°}{90}=4,47 °$$

$$8,93 °\geq φ\geq 4,47 °$$

$$φ=7 °$$

Для кожної характерної зони уточнюємо диференціальне рівняння рівноваги, інтегруємо його та знаходимо довільну постійну з граничних умов.

Для СПП з двома приводними валками отримаємо рівняння визначення контактних тисків.

Для зони відставання:

$$P\_{x1\left(φ\right)}= β\_{L}×σ\_{S}+\frac{σ\_{S}×R\_{пр}}{h\_{ср}}×\left[β\_{L}\right.\left(φ^{2}-α^{2}\right)-μ\_{1}×\left(φ-α\right)-μ\_{2}×\left(φ-α\right)×\left.\left(1+\frac{2×m\_{к}×h\_{1}}{b}\right)\right]$$

$$β\_{L}=1,5-коефіцієнт Лоде$$

$σ\_{S}$ - опір Ме деформації Al

$σ\_{S}=24^{H}/\_{мм^{2}} $

$φ$ - центральний кут деформації

$h$ - поточна висота

$$μ\_{1}=0,3$$

$$μ\_{2}=0,4$$

Товщина смуги протягом осередку деформації залишається постійною та рівною:

$$h\_{ср}=\frac{h\_{0}+2h\_{1}}{3}$$

$$h\_{1}=10×0,50=5 мм$$

$$h\_{ср}=\frac{10+2×5}{3}=6,67 мм$$

$$m\_{к}= \frac{τ\_{к}}{τ\_{2}}$$

$$m\_{к}= μ×\left(1+0,35×μ×\left.\frac{l\_{α}}{h\_{ср}}\right)\right.$$

$$l\_{α}=\sqrt{\frac{2R\_{1}×R\_{2}}{R\_{1}+R\_{2}}×∆h}$$

$$l\_{α}=\sqrt{\frac{2×100×80}{100+80}×5}=21,07$$

$$m\_{к}= 0,3×\left(1+0,35×0,3×\left.\frac{21,07}{6,67}\right)\right.=0,39$$

$$P\_{x1\left(φ\right)}= 1.15×21+\frac{21,07}{6,67}×\left[1,15\right.\left(\frac{2,5^{2}-14,8^{2}}{57,3}\right)-0,3×\left(\frac{2,5-14,8}{57,3}\right)×\left.\left(1+\frac{20,4×6,67}{10}\right)\right]=205,6 МПа$$

$$γ\_{пр2}\geq φ\geq φ\_{пр1}$$

$$4,47\geq φ\geq 2,28$$

$$φ=6°$$

$$φ\_{пр2}=\frac{80×2,57}{90}=2,28$$

Зусилля прокатки:

$$Р\_{В}= Р\_{ср}×F\_{к}= Р\_{ср}×b\left(l\_{α}+l\_{0}\right)$$

$$Р\_{ср }=\frac{1}{l\_{α}+l\_{0}}×\sum\_{}^{}\frac{\left(P\_{1}×P\_{2}\right)×\sqrt{R\_{пр}×∆h}}{2}$$

$$φ\_{пр1}\geq φ\geq 0$$

Для зони випередження прокатки:

$$Р\_{х3\left(φ\right) }=\frac{σ\_{S\left(Al\right)}×R\_{пр} }{h\_{ср}} ×\left[β\_{L}\right. ×φ^{2}+μ\_{1}×φ+μ\_{2}×φ+\left.\left(1+\frac{2m\_{к}×h\_{1}}{b}\right)\right]+C\_{3}$$

С - довільна постійна

$$C\_{3}=σ\_{S\left(Al\right)} ×β\_{L}=21 МПа ×1,15=24 МПа$$

$$γ\_{пр1}= \frac{R\_{1}×γ\_{1}}{R\_{пр}}= \frac{100×6°}{90}=1,64 °$$

$$Р\_{х3\left(φ\right) }=\frac{21×90 }{6,67} ×\left[1,15\right. ×\frac{1°^{2}}{57,3}+0,3×\frac{1°^{2}}{57,3}+0,4×\frac{1°^{2}}{57,3}×\left.\left(1+\frac{2×0,4×5}{10}\right)\right]+24=189,6 МПа$$

$$0\geq φ\geq γ\_{пр1}$$

$$0\geq φ\geq 1,64$$

Для зони випередження:

$$Р\_{х4\left(φ\right) }=\frac{σ\_{S\left(Al\right)}×R\_{пр} }{h\_{ср}} ×\left[-β\_{L}\right. ×φ^{2}+μ\_{1}×φ+μ\_{2}×φ+\left.\left(1+\frac{2m\_{к}×h\_{1}}{b}\right)\right]$$

$$Р\_{х4\left(φ\right) }=\frac{21×90 }{6,67} ×\left[-1,15\right. ×\frac{1°^{2}}{57,3}+0,3×\frac{1°^{2}}{57,3}+0,4×\frac{1°^{2}}{57,3}×\left.\left(1+\frac{2×0,4×5}{10}\right)\right]=67,5 МПа$$

$$γ\_{пр2}\geq φ\geq β$$

$$4,47° \geq φ\geq 10°$$

Для зони відставання:

$$Р\_{х6\left(φ\right) }= σ\_{пр}+β\_{L}×σ\_{S}-\frac{σ\_{S}×R\_{пр} }{h\_{ср}}\left[β\_{L}×\left(\frac{β^{2}-φ^{2}}{57,3}\right)\right.+μ\_{1}×\left(\frac{β-φ}{57,3}\right)+ μ\_{2}×\left(\frac{β-φ}{57,3}\right) ×\left.\left(1+\frac{2m\_{к}×h\_{1}}{b}\right)\right]$$

$$Р\_{х6\left(φ\right) }= σ\_{пр}+1,15×21-\frac{21×90 }{6,67}\left[1,15×\left(\frac{10^{2}-7^{2}}{57,3}\right)\right.+0,3×\left(\frac{10-7}{57,3}\right)+ 0,4×\left(\frac{10-7}{57,3}\right) ×\left.\left(1+\frac{2×0,4×5}{10}\right)\right]=283,4$$

$$l\_{пр}= \frac{100×8,04}{57,3}=14,03$$

$$l\_{1}= \frac{100×10}{57,3}=17,45$$

$$P\_{В}=205,6 ×10\left(17,45+14,03\right)=64,7 кН$$

$$P\_{В3}=189,6×10\left(17,45+14,03\right)=59,6 кН$$

$$P\_{В4}=67,5×10\left(17,45+14,03\right)=21,25 кН$$

$$P\_{В6}=283,4×10\left(17,45+14,03\right)=89,22 кН$$

**Вывод:**

У всіх випадках СПП в зоні прокатки контактні напруги мають локальні максимальні значення в районі наведених нейтральних кутів $γ\_{пр2}$ на валку з вирізом (струмком), а в зоні пресування контактна напруга збільшується, досягаючи свого абсолютного максимуму на початку області видавлювання, що відповідає центральному куту *β* розташування.

Зі збільшенням відношення радіусів валків співвідношення моментів на валках зменшуються.